

2015, № 2 (16)

МЕТАФИЗИКА

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

МЕТАФИЗИКА

В этом номере:

- Геометрия пространства-времени и квантовая механика
- Анализ интерпретаций квантовой механики
- Из наследия прошлого

2015, № 2 (16)

МЕТАФИЗИКА

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

2015, № 2 (16)

Основан в 2011 г.

Выходит 4 раза в год

- **ГЕОМЕТРИЯ
ПРОСТРАНСТВА-
ВРЕМЕНИ
И КВАНТОВАЯ
МЕХАНИКА**
- **АНАЛИЗ
ИНТЕРПРЕТАЦИЙ
КВАНТОВОЙ
МЕХАНИКИ**
- **ИЗ НАСЛЕДИЯ
ПРОШЛОГО**

METAFIZIKA

(Metaphysics)

SCIENTIFIC JOURNAL

No. 2 (16), 2015

Founder:
Peoples' Friendship University of Russia

Established in 2011
Appears 4 times a year

Editor-in-Chief:

Yu.S. Vladimirov, D.Sc. (Physics and Mathematics), Professor
at the Faculty of Physics of Lomonosov Moscow State University,
Professor at the Academic-research Institute of Gravitation and Cosmology
of the Peoples' Friendship University of Russia,
Academician of the Russian Academy of Natural Sciences

Editorial Board:

- S.A. Vekshenov*, D.Sc. (Physics and Mathematics),
Professor at the Russian Academy of Education
- P.P. Gaidenko*, D.Sc. (Philosophy), Professor at the Institute of Philosophy
of the Russian Academy of Sciences,
Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences
- A.P. Yefremov*, D.Sc. (Physics and Mathematics),
Professor at the Peoples' Friendship University of Russia,
Academician of the Russian Academy of Natural Sciences
- Archpriest Kirill Kopeikin*, Ph.D. (Physics and Mathematics),
Candidate of Theology, Director of the Scientific-Theological Center
of Interdisciplinary Studies at St. Petersburg State University,
lecturer at the St. Petersburg Orthodox Theological Academy
- V.V. Mironov*, D.Sc. (Philosophy), Professor at the Department of Philosophy
at Lomonosov Moscow State University,
Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences
- V.I. Postovalova*, D.Sc. (Philology), Professor, Chief Research Associate
of the Department of Theoretical and Applied Linguistics at the Institute
of Linguistics of the Russian Academy of Sciences
- A.Yu. Sevalnikov*, D.Sc. (Philosophy), Professor at the Institute of Philosophy
of the Russian Academy of Sciences, Professor at the Chair of Logic
at Moscow State Linguistic University
- V.I. Yurtayev*, D.Sc. (History), Professor at the Peoples' Friendship University
of Russia (Executive Secretary)
- S.V. Bolokhov*, Ph.D. (Physics and Mathematics), Associate Professor
at the Peoples' Friendship University of Russia, Scientific Secretary
of the Russian Gravitational Society (Secretary of the Editorial Board)

МЕТАФИЗИКА НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

2015, № 2 (16)

Учредитель:
Российский университет дружбы народов

Основан в 2011 г.
Выходит 4 раза в год

Главный редактор –

Ю.С. Владимиров – доктор физико-математических наук,
профессор физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова,
профессор Института гравитации и космологии
Российского университета дружбы народов, академик РАЕН

Редакционная коллегия:

С.А. Векшенов – доктор физико-математических наук,
профессор Российской академии образования

П.П. Гайденов – доктор философских наук,
профессор Института философии РАН, член-корреспондент РАН

А.П. Ефремов – доктор физико-математических наук,
профессор Российского университета дружбы народов, академик РАЕН

Протоиерей Кирилл Конейкин – кандидат физико-математических наук, кандидат богословия, директор Научно-богословского центра междисциплинарных исследований Санкт-Петербургского государственного университета,

преподаватель Санкт-Петербургской православной духовной академии

В.В. Миронов – доктор философских наук, профессор философского факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, член-корреспондент РАН

В.И. Постовалова – доктор филологических наук, профессор, главный научный сотрудник Отдела теоретического и прикладного языкознания Института языкознания РАН

А.Ю. Севальников – доктор философских наук, профессор Института философии РАН, профессор кафедры логики Московского государственного лингвистического университета

В.И. Юртаев – доктор исторических наук, профессор Российского университета дружбы народов (ответственный секретарь)

С.В. Болотов – кандидат физико-математических наук, доцент Российского университета дружбы народов, ученый секретарь Российского гравитационного общества (секретарь редакционной коллегии)

ISSN 2224-7580

CONTENTS

EDITORIAL NOTE	6
THE GEOMETRY OF SPACE-TIME AND QUANTUM MECHANICS	
<i>Yefremov A.P.</i> Quantum mechanics as a mathematical description of faults of a fractal space.....	9
<i>Vladimirov Yu.S.</i> The Problem of Deriving Classical Space-Time from the Laws of Microscopic Physics.....	21
<i>Zakharov V.D.</i> The Idea of Space and the Image of the World	28
ANALYSIS OF QUANTUM MECHANICS INTERPRETATIONS	
<i>Grib A.A.</i> Quantum Physics and the Abandonment of Naive Realism.....	48
<i>Koganov A.V.</i> Transparent Sails or, an Attempt to Understand Quantum Mechanics.....	72
<i>Fil'chenkov M.L., Laptev Yu.P.</i> Manysidedness of Quantum Theory.....	91
<i>Antipenko L.G.</i> On the specifics of quantum-relativistic description of the motion of microscopic objects.....	99
<i>Polishchuk R.F.</i> Mikhail Mensky's Concept of Multiplicity of Universes.....	113
FROM THE LEGACY OF THE PAST	
<i>Geoffrey F. Chew.</i> The Dubious Role of the Space-Time Continuum in Microscopic Physics	123
<i>Alexeyev I.S.</i> Space And Quantum Mechanics	134
<i>Markov M.A.</i> Is it Possible to Represent the Microscopic World in Concepts Other Than the Concepts of Classical Mechanics?	142
OUR AUTHORS	147

© Metafizika. Authors. Editorial Board.
Editor-in-Chief Yu.S. Vladimirov, 2015
© Peoples' Friendship University of Russia, Publishing House, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

ОТ РЕДАКЦИИ	6
ГЕОМЕТРИЯ ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ И КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА	
<i>Ефремов А.П.</i> Квантовая механика как математическое описание нарушений фрактального пространства.....	9
<i>Владимиров Ю.С.</i> Проблема вывода классического пространства-времени из закономерностей физики микромира.....	21
<i>Захаров В.Д.</i> Идея пространства и образ мира.....	28
АНАЛИЗ ИНТЕРПРЕТАЦИЙ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ	
<i>Гриб А.А.</i> Квантовая физика и отказ от наивного реализма.....	48
<i>Коганов А.В.</i> Прозрачные паруса, или Попытка понять квантовую механику.....	72
<i>Фильченков М.Л., Лаптев Ю.П.</i> Многогранность квантовой теории.....	91
<i>Антипенко Л.Г.</i> О специфике квантово-релятивистского описания движения микрообъектов.....	99
<i>Полищук Р.Ф.</i> Концепция множественности миров Михаила Менского.....	113
ИЗ НАСЛЕДИЯ ПРОШЛОГО	
<i>Чью Дж.Ф.</i> Сомнительная роль пространственно-временного континуума в микроскопической физике	123
<i>Алексеев И.С.</i> Пространство и квантовая механика.....	134
<i>Марков М.А.</i> Возможно ли отображение микромира в иных понятиях, чем понятия классической механики?.....	142
НАШИ АВТОРЫ	147

© Коллектив авторов, редколлегия журнала «Метафизика»,
отв. ред. Ю.С. Владимиров, 2015
© Российский университет дружбы народов, Издательство, 2015

ОТ РЕДАКЦИИ

В данном выпуске журнала продолжается обсуждение начатых в предыдущем, 15-м номере нашего журнала метафизических проблем, связанных с интерпретацией квантовой механики. Здесь продолжена публикация статей, отражающих выступления на конференции «Онтология квантовой механики», состоявшейся 14–15 октября 2014 г. в Институте философии РАН. К ним также добавлен ряд других статей по данной тематике.

Представленный в номере материал составляет три раздела. В первом разделе продолжается обсуждение связи формулировок квантовой механики с геометрией пространства-времени. Это обусловлено тем, что в последнее время все более остро осознается необходимость решения фундаментальной проблемы – вывода классических пространственно-временных представлений из понятий и закономерностей физики микромира вместо того, чтобы продолжать подкладывать априорно заданное пространство-время под все наши теоретические построения. Идет настойчивый поиск самостоятельной системы понятий, присущих физике микромира, из которых в макроскопическом пределе возникают классические пространственно-временные представления.

Во второй раздел включены статьи, посвященные обсуждению содержания известных интерпретаций квантовой механики.

Наконец, в третий, традиционный раздел нашего журнала «Из наследия прошлого» помещены три статьи, в которых изложены разные взгляды известных авторов на соотношение классического пространства-времени и квантовой механики.

Статья известного американского физика-теоретика Дж.Ф. Чью (1963 г.) имеет характерное название «Сомнительная роль пространственно-временного континуума в микроскопической физике». В ней автор выступает за замену общепринятой полевой формулировки квантовой теории на S-матричную. Обратим внимание на две характерные мысли, высказанные в этой статье. Первая из них высказана в самом начале: «Мой тезис в данной лекции будет состоять в предположении, что пространство и время в современной микроскопической физике играет примерно ту же роль, что и понятие эфира в макроскопической физике конца XIX в. Возможно, нам никогда не удастся продемонстрировать несуществование пространственно-временного континуума, однако все большее число физиков приходит к

мысли, что дальнейшее существенное продвижение в теории предполагает отказ от ненаблюдаемого континуума».

Вторая мысль высказана уже в конце статьи: «До сегодняшнего дня никто не предпринимал попыток выстроить цепочку связующих звеньев между макроскопическим понятием пространства-времени и S -матрицей. Однако одно поразительное обстоятельство не должно ускользнуть от нашего внимания: любые экспериментальные измерения макроскопических траекторий частиц требуют далекодействующих электромагнитных взаимодействий. Иными словами, с точки зрения S -матричного подхода, само определение пространства-времени в целом требует существования электромагнитного кванта, фотона. Несомненно, поэтому фотон с его нулевой массой покоя выделяется из общего ряда». Эта мысль соответствует соображениям, высказывавшимся и другими авторами, о том, что именно электромагнитные взаимодействия ответственны за возникновение классических пространственно-временных представлений.

Во второй статье этого раздела, написанной отечественным философом И.С. Алексеевым (1970 г.), фактически поддерживается точка зрения Чью на суть пространства. Алексеев писал: «Естественно, что отказ от использования категории пространства в качестве средства задания способа существования и сосуществования микрообъектов повлечет за собой весьма далеко идущие последствия в деле понимания философского статуса этой категории. Пространство в таком случае утрачивает право быть всеобщей и универсальной формой существования материи, оставаясь лишь особенной формой существования макроматерии».

При этом Алексеев высказывает конструктивную мысль, чем заменить пространство в микромире: «Пространство, как форма существования материи, относится только к индивидуализированным фрагментам действительности. Что же касается неиндивидуализированных объектов (микрочастиц. — *Прим. ред.*), то их существование характеризуется с помощью категории структуры. Структурность материи и представляет собой абсолютную форму ее существования, более общую, чем пространство». Отметим, что примерно в то же время Ю.И. Кулаковым уже была выдвинута программа перестройки всей физики на базе теории физических структур, поддержанной академиком И.Е. Таммом. В настоящее время эта теория обобщена, комплексифицирована и в виде так называемой бинарной геометрофизики применена к описанию физики микромира, в частности квантовой механики.

Третья статья этого раздела принадлежит академику М.А. Маркову, который в своей статье (разделе книги «О природе материи») «Возможно ли отображение микромира в иных понятиях, чем понятия классической механики?» (1976 г.) признает, что ряд физиков озабочен вопросом, какой язык является наиболее адекватным для описания квантовых закономерностей. Он писал: «Мы пытаемся выразить и выражаем особые закономерности микромира в макроскопических понятиях. Для отображения микромира в этих понятиях требуется их “кентаврообразные” сочетание. Не является ли

задачей физики будущего найти эти будто бы “более адекватные” микромиру физические понятия?»

Обсудив эту проблему с позиций господствовавшей тогда в нашей стране философии марксистско-ленинского диалектического материализма, Марков приходит к выводу: «Понятия пространства-времени, понятия энергии-импульса (материи) являются отображением в сознании человека его непосредственного макроскопического бытия. Если считать вместе с классической физикой, что это отображение в макроскопических пределах правильно, то какой смысл в предложении искать новые возможные понятия или трактовки явлений микромира, понятия иные, чем координата, импульс, время и энергия (материя)? Ведь микромир всегда познается в форме макроскопического проявления». Исходя из этого, Марков полагал, «что дальнейшее развитие физических теорий, по-видимому, также не должно порывать с элементами пространственно-временных и энергетических отношений».

Подобная точка зрения до сих пор бытует среди части физиков и философов. Данная подборка статей включена в этот номер с целью показать, насколько серьезна и фундаментальна поставленная в повестку дня современной теоретической физики проблема вывода классических пространственно-временных представлений из искомой самосогласованной системы понятий и закономерностей, присущих физике микромира.

ГЕОМЕТРИЯ ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ И КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА

КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА КАК МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ НАРУШЕНИЙ ФРАКТАЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА

А.П. Ефремов

*Институт гравитации и космологии
Российского университета дружбы народов*

Обсуждается идея и феномен допустимой фрактализации геометрии физического пространства с использованием гиперкомплексных алгебр, что позволяет осуществить чисто математический вывод точных уравнений квантовой (и классической) механики. Сопутствующим фактором такого вывода является естественное возникновение простых (и оригинальных) «предгеометрических» моделей для серии квантово-механических и физических объектов, в частности волновой функции, материальной точки и функции действия.

Ключевые слова: алгебры, кватернионы, фракталы, спиноры, геометрия, квантовая механика, теория атома.

1. Введение: некоторые вопросы к квантовой механике

В отличие от механики классической, квантовая механика – экспериментально-эвристическая – и очень странная теория.

Механика Ньютона рождалась как подгонка математических формул под эксперимент, впрочем, ее автору по ходу пришлось создавать и саму математику «флюксий». Аналогичным образом были записаны законы идеального газа, электричества и «всемирного тяготения»: сначала опыты, к ним таблицы наблюдений (и, надо полагать, графики) – потом формулы похожих математических функций. К концу XIX в. возможности эмпирической физики в значительной степени были исчерпаны – и в силу собственно экспериментальных возможностей, и в силу того, что исследователи устройства мира уже оценили преимущество удовлетворять свое любопытство путем умозрительных заключений, опирающихся на тождественность математики и абсолютной истины.

Работа с формулами оказалась для физики едва ли не более плодотворной, чем с приборами и математическими таблицами. Первый успех в этом занятии – открытие Пьером Мопертюи принципа экстремума действия и последующее развитие аналитической механики, которую Юджин Вигнер столетиями позже называл непостижимой, поскольку, с его точки зрения, она не имела никакого логического объяснения. Затем последовали не менее ошеломляющие результаты размышлений за письменным столом: объединение уравнений электричества и магнетизма в систему уравнений Максвелла, статистическая физика Гиббса, включившая в себя законы термодинамики и молекулярной физики; потом – преобразования Лоренца, сохранявшие законы электромагнетизма, но противоречащие классической механике, и последующее за этим открытие теории относительности. И все же это еще были те благословенные времена, когда практика оставалась критерием истины: верность теории требовала непрямого подтверждения на опыте. К счастью (по случайному совпадению или по тайному плану развития проекта «человечество»), технологическая революция начала XX в. почти во всех случаях позволяла произвести такую проверку с хорошей степенью точности. И хотя к общей теории относительности вопросы остались, предсказания (или объяснения феноменов) практически всех других теоретических ветвей традиционной физики («работавшей» с макрообъектами) – механики, электродинамики, статистической физики и даже специальной теории относительности – убедительно подтвердились.

Однако быстрое развитие техники позволило экспериментально фиксировать – пусть косвенными методами – наличие в природе и микрообъектов, о существовании которых ранее лишь строились предположения. Уильям Крукс, Жан Перрен, Джозеф Томсон в самом конце XIX в. на основе точных опытов идентифицируют катодные лучи с потоком электронов. Но кардинально новый шаг в физике и, как ни странно, первое серьезное «доказательство» дискретной структуры материи оказывается теоретическим. В 1900 г., анализируя спектры теплового излучения черного тела, Макс Планк из эвристических соображений предлагает «очень хорошую» формулу, вполне описывающую изучаемый феномен; существенную роль в этой формуле играет экзотическая величина – квант энергии и новая фундаментальная константа (Планка), измеряемая в единицах механического действия или момента импульса (единицы одинаковы). Здесь сразу заметим, что в течение последующих более чем ста лет никто из физиков особо и не задумывался (а если и задумывался, то не мог дать версий), какое отношение постоянная Планка имеет к действию или механическому моменту импульса, в частности спину частицы.

Последовавшие за этими первыми открытиями наблюдения квантовых явлений подробно описаны во множестве известных учебников¹, хорошо известна и история становления теории квантовой механики – от Нильса Бо-

¹ Один из «классических» учебников [1].

ра с его квантованными электронными орбитами в атоме водорода и Луи де Бройля с идеей о волновой частице до Эрвина Шредингера и его уравнения. Это уравнение, по сути, также явилось результатом и математической эмпирики, и эвристики. Понятно, что о состоятельности теории можно было судить только после того, как она либо предскажет новый эффект – и он будет обнаружен на опыте, либо (а лучше – и), если она объяснит уже известное явление. С уравнением Шредингера именно так и вышло: автор теории нашел решение, описывающее простейший атом – атом водорода, спектральные характеристики которого были уже неплохо изучены. Оставляя пока за скобками нетривиальную процедуру решения, отметим следующий удивительный факт. Модель атома, соответствующая этому решению, оказалась кардинально отличной от полуклассической модели Бора, но при этом – в случае простейших круговых орбиталей – привела точно к тем же квантовым значениям, что следовали из теории Бора. К слову сказать, за свою теорию, дающую хорошее совпадение с экспериментом, Бор к тому времени уже успел получить Нобелевскую премию. Этот загадочный феномен – разные модели, но одинаковые квантовые числа², – по сути, возникший при рождении современной квантовой механики, можно сказать, символизировал необычность, даже странность этой теории, к общему пониманию сути которой специалисты не пришли и сегодня.

В многочисленных трудах, посвященных истории квантовой физики, – событиям совсем недавним – все перипетии становления квантовой механики, споры о ней и варианты интерпретации изложены тщательно и со вкусом. Притом, конечно, никто не отрицает состоятельности этой замечательной теории и точности ее предсказаний, неоднократно подтвержденной физическими наблюдениями. Автор данной работы также не сомневается в том, что эта теория в основном верна и имеет тому существенные дополнительные подтверждения, часть которых изложена ниже. Тем не менее мы считаем полезным обратить внимание на следующие аспекты квантовой механики, которые, с позиций классической физики представляются экзотическими. Здесь перечислены всего четыре таких проблемных аспекта.

Проблема первая, пожалуй самая обсуждаемая в литературе: что же такое частица-волна? Иными словами, можно ли дать функции состояния иную – не статистическую – интерпретацию, которая удовлетворила бы не только последователей Макса Борна и адептов копенгагенской школы, но и тех, кто с ними не согласен?

Вторая проблема: почему основные объекты квантовой механики – уравнения и функции непременно комплексны, хотя все объекты физического мира наблюдатель считает действительными? В связи с этим отражает ли эта формальная комплексность некую физическую сущность, и если да, то какую?

² Феномен, не объясненный и поныне; впрочем, ниже модель Бора еще будет обсуждаться как вариант решения уравнений квантовой механики.

Проблема третья, существенная. Можно по-разному относиться к известным методам «примирения» классической и квантовой механики, в том числе довольствоваться теоретическим феноменом учащения спектральных уровней на «больших» масштабах и соглашаться с вариантами квазиклассического приближения. Но факт остается фактом: в базовых учебниках по квантовой механике (см., например, цитированный выше фундаментальный труд Д.И. Блохинцева) с некоторым даже смущением отмечается, что уравнение Шредингера при стремлении его характерных параметров к экстремальным значениям не становится уравнением классической механики. Проще говоря, возникают проблемы с принципом соответствия между квантовой и классической теорией, и возникает естественный (хотя и радикальный) вопрос: возможно ли в принципе некоей логической цепочкой связать между собой уравнение Шредингера и уравнение Ньютона, описывающее динамику классической частицы?

И наконец, *проблема четвертая*, вроде не привлекающая особого внимания, но также представляющаяся весьма важной. Если в уравнение динамики Ньютона входит сила, действующая на классическую частицу (градиент потенциала), то в уравнение Шредингера в явном виде входит собственно потенциал силы, действующей на квантовую частицу. Не сложно проверить, что решение уравнения Шредингера существенным образом зависит от постоянной добавки к потенциалу; эта проблема, как правило, не дискутируется в квантовой механике, но от этого она проблемой или вопросом, на который стоило бы найти ответ, быть не перестает.

Недавние исследования (в том числе и автора данной работы) в области математики гиперкомплексных чисел дают шанс, если не решить вышеперечисленные проблемы квантовой механики, то, по крайней мере, задать новые направления понимания этой теории.

2. Гиперкомплексные числа, трехмерное пространство и фрактальная поверхность

Иногда говорят, что математика возникла в человеческом сознании как результат абстракции физического мира. Доля истины в таком представлении, видимо, есть, но лишь доля, ибо целый ряд стройных математических структур никак не связан с тем окружающим человека миром, который, как отмечалось выше, человеческое сознание признает действительным, материально сущим. Среди таких структур – математика комплексных и гиперкомплексных чисел, главная, с точки зрения «здорового смысла», особенность которых заключается в возможности существования мнимых математических объектов. Первой такой структурой была алгебра комплексных чисел, «половину» множества которой составляют мнимые числа, построенные на мнимой единице. Сам термин «мнимые» говорит об отношении к ним людей прошлых веков: мнимые – это такие числа, которые вроде бы и не существ-

вуют, но о которых, пусть предположительно, но все-таки разрешается размышлять – «мнить».

Это сегодня всякий любознательный юноша может без проблем представить себе мнимую единицу – «корень квадратный из минус единицы»: стоит воспроизвести мысленно или написать на листке бумаги квадратную 2×2 -матрицу, на антидиагонали которой стоят единица и минус единица. Впрочем, для этого нужно хотя бы немного знать теорию матриц (за которую, в том числе, спасибо и создателям квантовой механики). Но главное здесь в том, что человек все же в состоянии себе объект представить, по сути, изобразить. А изобразить, то есть создать некий визуальный образ – значит уже почти понять. В этом смысле еще более сложной для восприятия оказалась следующая по размерности (после комплексных чисел) гиперкомплексная числовая структура – кватернионы, алгебра которых базируется на четырех единицах, из которых три – мнимые. Открытые Гамильтоном в 1843 г., кватернионы вначале весьма привлекли умы математиков и физиков, так как выяснилось, что новая алгебра очень «геометрична»: три мнимые единицы «вели» себя математически точно так же, как три направляющих вектора декартовой системы координат. Это обстоятельство привело в восторг Максвелла, который в кватернионном формате записал свои уравнения электродинамики.

Но интерес к кватернионам длился не более полувека, поскольку их алгебра некоммутативна, а это для решения многих задач оказывается излишним усложнением. Поэтому физики (а в начале XX в. они во многом были еще математиками-любителями) предпочли «упростить» алгебру кватернионных чисел, заменив ее на коммутативную по умножению алгебру векторов, повсеместно используемую и поныне. Хэвисайд, один из создателей векторной алгебры (второй – Гиббс), писал: “I think it is practically certain that there is no chance whatever for Quaternions as a practical system of mathematics for the use of physicists. How is it possible, when it is so utterly discordant with physical notions, besides being at variance with common mathematics?” «У кватернионов нет шансов когда-либо быть для физики полезной математической системой. И как им стать таковой, если они абсолютно не соответствуют физическим понятиям и, кроме того, противны обычной математике?» [2].

Во второй половине XX в. интерес к кватернионам и другим гиперкомплексным числовым структурам некоторым образом возродился, но, скорее, как к «снова модному» математическому ретро-языку, на котором – в ином формате – можно записать ранее известные физические формулы, тем самым блеснув эрудицией или, может быть даже, слегка запутав читателя. Но, видимо, немногие догадывались, что сложность математического аппарата, заставившая в свое время физиков идти по более легкой дороге, является отражением глубинных идей, скрытой информации, имеющей прямое отношение к иному пониманию сущности физических теорий.

К началу XXI в. гиперкомплексные математические структуры сложились в следующую иерархию. Теоремой Фробениса доказано существование трех исключительных ассоциативных алгебр с делением: алгебры действительных чисел (одна реальная единица), алгебры комплексных чисел (две единицы: реальная и мнимая), алгебры кватернионов (четыре единицы: одна реальная и три мнимых). Теоремой Гурвица доказано существование последней по размерности некоммутативной и неассоциативной по умножению алгебры октонионов (восемь единиц: одна реальная и семь мнимых). Кроме этого известен ряд «плохих» алгебр с делителями нуля: двумерные алгебры двойных и дуальных чисел, четырехмерная алгебра бикватернионов (с комплексными множителями при кватернионных единицах) и ряд их модификаций.

Но базисной структурой, имеющей прямое отношение к физике, на сегодняшний день логично считать алгебру кватернионов – по следующим причинам. Во-первых, из этой алгебры при надлежащей редукции следуют алгебры комплексных и действительных чисел. Во-вторых, эта алгебра, хотя и некоммутативна по умножению (среди мнимых составляющих), но этот ее «недостаток» имеет простой геометрический смысл: мнимые единицы образуют триаду направляющих векторов ортогональной системы координат, то есть трехмерный аксиальный репер, каждый из векторов которого является векторным произведением двух других. А с таким репером связывается представление о трехмерном физическом пространстве.

Наконец, в-третьих, – и это элемент нового знания последних лет – действительная единица кватернионной алгебры, оказывается, тоже имеет геометрический смысл: она является метрическим тензором некоторого двумерного пространства, размерность каждой линии которого составляет половину размерности любой линии трехмерного пространства, ассоциируемого с аксиальным репером. Иными словами, линии двумерной поверхности имеют дробную размерность (с точки зрения физического мира), такие пространства дробной размерности называют фрактальными. Из дифференциальной геометрии известно, что любая гладкая поверхность (в том числе фрактальная поверхность с метрикой в виде действительной единицы) вполне описывается двумя векторами локального базиса, которые в данном случае (и также с позиций физического пространства) являются спинорами.

И этот, казалось бы, ординарный факт не вызвал бы удивления, если бы неожиданно не выяснилось, что из квадратичных комбинаций этой пары спиноров состоят все три вектора аксиального репера! Это, по сути, означает, что трехмерное пространство (конечно, чисто математическое, длины в нем пока не измеряются в физических единицах) является не первичным объектом природы, а производным, вторичным, поскольку оно имеет неко-

тору ю внутреннюю структуру, представленную ячейками двумерного фрактального пространства³.

Представить себе поверхность дробной размерности человеку физического мира, казалось бы, трудно, если не невозможно; однако это не так, поскольку определение размерности любой линии – условно! Если есть подходящий образ, то человеческое сознание быстро адаптируется. И если образ фрактальной ячейки – обычная (вначале) часть плоскости, то наше воображение тут же услужливо снабжает каждую линию этой поверхности размерностью, равной единице (хотя тогда размерность линии физического мира должна быть равной 2). И такого образа ячейки – как части плоскости – было бы достаточно, но кватернионная математика опять требует усложнения. Дело в том, что аксиальный репер (в трехмерном пространстве) остается таковым, если его внутренняя структура претерпевает некоторые «разрешенные» изменения. В простейшем случае фрактальная ячейка может гармонически (то есть по закону синуса) «перекачивать» свою площадь из области действительных чисел в область мнимых чисел. Но и это, как ни странно, вполне представимо геометрически и, по сути, понятно: такая свобода означает, что фрактальная ячейка в общем случае представляет собой не просто двумерное пространство, а два двумерных непересекающихся пространства, каждое из которых математически является мнимым по отношению ко второму, что никак не влияет на структуру пространства трехмерного, ибо оно – «квадрат» фрактального. При «перекачке» (мерцании) площади ячейки аксиальный репер, состоящий из ее спиноров, вращается вокруг одного из своих векторов – и это весь результат влияния «внутренних агентов».

Здесь читатель вправе задать вопрос: приведенные математические сведения, возможно, небезынтересны; но причем тут квантовая механика и частица-волна? Отвечаем: связь прямая, базирующаяся на гиперкомплексных алгебрах, и описанная выше геометрия приводит не только к визуальным образам квантовой механики, но и к чисто математическому выводу уравнения Шредингера.

3. Математические уравнения квантовой механики и образы квантовых объектов

Дальнейший анализ показывает: если гармонически мерцающую (между реальным и мнимым сектором) фрактальную ячейку еще и конформно растянуть, то ее метрика теряет единичность, аксиальный репер удлиняется и тоже перестает быть единичным, стало быть, и репером. Все алгебры рушатся: такая деформация базисной ячейки для них математически смертельна. Но деформация – один из естественных и плодотворных приемов в теоретической физике; возможно ли найти способ применить его в чистой ма-

³ Можно показать, что внутреннюю структуру имеют не только все кватернионные единицы, но единицы всех перечисленных выше алгебр могут быть построены всего лишь из двух базисных векторов (спинорной диады), образующих фрактальную ячейку.

тематике и проанализировать эффект, избежав при этом ломки алгебр? Такой способ есть, и он очень прост, хотя его можно трактовать как пренебрежение точностью наблюдения.

Суть этого способа в следующем. Пусть характеристики мерцания и растяжения фрактальной ячейки являются функциями координат трехмерного пространства (напомню, не измеряемых в физических единицах длины) и одного свободного параметра. И пусть мы – трехмерные существа, наблюдающие только аксиальный репер, «не замечаем» растяжения ячейки (то есть не видим удлинения векторов репера), считая функции деформации ячейки определенными в малом объеме трехмерного пространства. Математически это означает задание новой функции – единичного интеграла по трехмерному объему, с подинтегральной функцией в виде квадрата множителя конформного растяжения. Тогда, с точки зрения трехмерного наблюдателя, метрика фрактальной ячейки вновь становится скалярной единицей, а векторам аксиального репера возвращается единичность. Все алгебры возвращаются к жизни, и, более того, они оказываются «спасенными навсегда» (с точки зрения свободного параметра), если нормализующий интеграл постоянен по отношению к изменениям этого параметра.

Вся эта процедура математически, действительно, очень проста. Результатом ее оказывается уравнение непрерывности, записанное для квадрата масштабного фактора, и, как в любое такое уравнение, в него входит произвольный вектор «движения» фрактальной ячейки в трехмерном пространстве. Если этот вектор движения определяется как градиент фазы мерцания ячейки (или половины угла поворота аксиального репера), то уравнение непрерывности сводится к математическому уравнению типа уравнения Шредингера. А если трехмерное пространство является физическим, и его наблюдатель выбирает микроскопические стандарты длины (комптоновская длина волны), то полученное уравнение в точности становится уравнением Шредингера!

Это парадоксальный и неожиданный факт: оказывается, уравнение квантовой механики в точном его виде может быть получено не на основе эвристических предположений или математической эмпирики, требующей перебора сотен возможных вариантов, а как результат строгой логики, требующей сохранения фундаментальных математических структур, впрочем, достаточно сложных по содержанию и имеющих дополнительные глубинные деления. При этом в логике рассуждений неизбежно вовлекаются геометрические представления об анализируемых математических объектах, что в свою очередь – уже после вывода уравнения Шредингера – позволяет связать эти геометрические образы с объектами квантовой механики (см. [3]). Что мы и попытаемся сделать, имея также в виду вопросы и проблемы, обозначенные в первом разделе данной работы.

Итак, первый вопрос о том, как в данном подходе может трактоваться функция состояния квантовой частицы. Ответ на этот вопрос содержится в двух пунктах вышеприведенного анализа. *Пункт первый:* нормализующий

интеграл, содержащий в подынтегральной функции квадрат масштабного фактора (множителя растяжения ячейки) есть не что иное как определение массы частицы, сосредоточенной в малой области пространства. При этом сам масштабный фактор представляет собой фрактальную относительную плотность массы – корень квадратный из отношения функции плотности к средней плотности частицы в данном объеме. Эта интерпретация, по сути – вынужденная, она есть следствие перехода во всех формулах от абстрактных математических координат к физическим. *Пункт второй:* геометрическим образом квантовой частицы (проточастицы) является мерцающая ячейка фрактального пространства, «нагруженная» относительной фрактальной массой и распространяющаяся в физическом пространстве. Фрактальный объект наблюдатель увидеть в принципе не может, но может наблюдать его трехмерное воплощение – материальную точку заданной массы. В эту точку стягивается малый объем, в котором распределена масса частицы. Но здесь имеет место отличие от классики: в эту материальную точку «вморожен» аксиальный репер, вообще говоря, вращающийся. Наблюдатель этого, конечно, не видит, однако это вращение существенным образом фиксируется на фрактальном уровне как мерцание ячейки с определенной фазой. Именно эта составляющая «мерцание – вращение» обеспечивает в данном подходе волновой характер квантовой частицы.

Следующая проблема – комплексность объектов квантовой механики. Объяснение могло бы быть простым. Действительно, и функция состояния, и операторы уравнения Шредингера – объекты комплексные. Но это, мол, – чисто математический прием, объединяющий в себе сразу два уравнения – действительную и мнимую части. Процедуру такого разделения, как известно, проделал Бом, получив два независимых уравнения, интерпретации которых он посвятил серию работ (см., например, [4]). Используем ниже этот результат, а пока заметим, что такое объяснение выглядит чересчур уж простым. Дело в том, что в процедуре математического вывода уравнения Шредингера фигурируют два важных обстоятельства. На одно из них мы обращали внимание – на необходимость реального и мнимого секторов фрактальной ячейки. Это заставляет предположить наличие более сложной внутренней структуры трехмерного пространства, то есть возможное существование двух непересекающихся двумерных пространств, составляющих микроскопическую базу физического мира. Второе обстоятельство не было упомянуто, но оно в данном контексте не менее важно. Дело в том, что функцией состояния в более полном уравнении квантовой механики – уравнении Паули (и оно выводится чисто математически) – является не скалярная функция, а двумерный спинор – линия на фрактальной площадке. Этот спинор, так же как скалярная функция, вообще говоря, может иметь комплексные компоненты, то есть «частично находиться» сразу на двух несвязанных поверхностях – и это подтверждает вышеизложенное предположение о более сложной структуре мира.

Что касается третьей проблемы квантовой механики – принципа соответствия с классикой, – то она, как представляется, решается проще всего, и здесь нельзя недооценить заслуг Боме. Действительная часть уравнения Шредингера в приведенной здесь трактовке функции состояния приобретает вид «корня квадратного» из закона сохранения массы частицы; при умножении на масштабный фактор это уравнение в точности становится законом сохранения массы. В мнимой же части уравнения Шредингера, после простого ее преобразования, уравнения для фазы и для масштабного фактора (фрактальной плотности) совершенно разделяются и могут быть приравнены различным функциям, имеющим смысл потенциала внешней силы. И если функция фрактальной плотности изменяется с расстоянием значительно быстрее, чем фаза, то уравнение для распределения плотности описывается однородным уравнением Гельмгольца с произвольным потенциалом.

В свою очередь, уравнение для фазы частицы в физических координатах оказывается в точности уравнением Гамильтона–Якоби аналитической классической механики. При этом фаза мерцания ячейки, зависящая от координат и времени, формально играет роль функции действия классической механики, но при этом автоматически получается, что она должна измеряться в величинах постоянной Планка! Таким образом, выстроенная логическая цепочка позволяет связать не только классические и квантовые соотношения, но и величины, среди которых функция действия считается (или до последнего времени считалась) лишь математической абстракцией. Далее понятно, что требование экстремума фазы приводит к математическому равенству, которое в физических координатах превращается в точное уравнение динамики Ньютона; будучи первым в физике, здесь оно появляется на весьма отдаленном этапе развития «математической» теории механики.

И, наконец, последняя упомянутая в первом разделе проблема чувствительности уравнений Шредингера к изменению потенциала. Сказанное выше сразу дает решение этой проблемы, но начать стоит не с уравнения квантовой механики, а с уравнения Ньютона. Оператор этого уравнения (вторая производная координат по времени), по существу, является не чем иным, как определением правой части – внешней силы, действующей на частицу. Функция силы (при решении прямой задачи) подбирается эмпирически и подставляется в уравнение. При решении обратной задачи, однако, функция силы определяется из уравнения сама. При этом природа силы остается неизвестной, ибо в решениях задач участвует не фундаментально изученное взаимодействие, а лишь его механическая модель. В частности, такая модель может быть потенциальной, тогда из уравнений динамики следует закон сохранения механической энергии.

Схожая ситуация и с уравнением Шредингера. В его математическом выводе функция, аналогичная потенциалу, появляется как определение мнимой части исходного уравнения непрерывности, эта функция произвольна, и так же как в случае с классической динамикой, может представлять собой всего лишь модель какого-то взаимодействия. При делении урав-

нения Шредингера «по Бому» весь потенциал оказывается в мнимой составляющей, часть его (тоже произвольная) «отходит» в уравнение распределения фрактальной плотности, а остаток формирует потенциальную энергию в уравнении Гамильтона–Якоби, а затем – в уравнении динамики Ньютона, уже нечувствительном к аддитивным константам потенциала.

Таким образом, приведенный «математический подход к физике» предполагает следующее. Во-первых, уравнения квантовой механики логически выводятся; во-вторых, они определенно представляют фундаментальный, «нижний» уровень механики; наконец, в-третьих, все соотношения этой теории оказываются весьма простыми, а вовлеченные математические объекты – геометрически наглядными. При этом содержание прежней теории остается в силе, в первую очередь имеются в виду решения уравнений. Впрочем, новый геометризованный взгляд на волновую функцию позволяет искать и находить новые решения. В частности, одно из таких решений удалось связать с моделью атома Бора, ранее считавшейся квазиклассической [5], но это уже другая тема.

4. Заключение: случайность или закономерность?

К изложенному выше можно относиться по-разному. Проще всего считать возможность математического вывода уравнений механики математическим же курьезом. Однако автор склонен к совсем иной точке зрения, подкрепляемой, кстати, дополнительными фактами, которые не будем здесь подробно излагать. Упомянем лишь, что помимо уравнений Шредингера и Паули, несколько иной выбор вектора «движения» фрактальной ячейки в физическом пространстве приводит к уравнениям Клейна–Гордона, а модель вращающейся материальной точки – к новой формулировке теории относительности. В целом вырисовывается мощный теоретический комплекс, включающий в себя практически все ветви теоретической механики и базирующийся на сочетании трех базовых составляющих фундаментальных процессов познания мира. Эти три составляющие суть: алгебра – геометрия – физика. Сложно сказать, какая из крайних частей является исходной, то ли идеальная алгебра (числовая математика) имеет своим отражением вещественный мир, то ли мир материальный построен по законам, выражением которых является математика чисел. Вовсе не исключено, что возможно параллельное существование этих объективных сущностей. Понятно, пожалуй, только одно: эти два полюса мирового бытия связаны «геометрией», наличием не только абстрактных соотношений, но и конкретных форм, а следовательно – возможностью образного представления, без которого, наверное, не возможно познание человеком абсолютной информации о строении мира.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Блохинцев Д.И.* Основы квантовой механики. – 5-е изд. – М.: Наука, 1976.
2. *Heaviside O.* Electromagnetic theory. – L.: The Electrician, Co. – 1912. – Vol. III. – P. 519.
3. *Yefremov A.P.* General Theory of a Particle's Mechanics Arising from a Fractal Surface // Gravitation and Cosmology. – 2015. – Vol. 21. – No. 1. – P. 19–27.
4. *Bohm D.* A Suggested Interpretation of the Quantum Theory in Terms of "Hidden" Variables. I // Phys. Rev. – 1952. – 85. – P. 166–179.
5. *Yefremov A.P.* Bohr-Schrodinger Hydrogen Truce // Quantum matter. – 2014. – Vol. 3. – № 6, December. – P. 510–514.

QUANTUM MECHANICS AS A MATHEMATICAL DESCRIPTION OF FAULTS OF A FRACTAL SPACE

A.P. Yefremov

An idea is discussed of possible fractal decomposition of the physical space geometry with the help of hypercomplex algebras tools leading to pure mathematical deduction of precise equations of quantum and classical mechanics. Simple (and original) pseudo-geometrical models of a series of quantum-mechanical and physical objects then naturally arise, among them those of the wave function, material point, and the action function.

Key words: algebras, quaternions, fractals, spinors, geometry, Quantum mechanics, the theory of the atom.

ПРОБЛЕМА ВЫВОДА КЛАССИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ ИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФИЗИКИ МИКРОМИРА

Ю.С. Владимиров

*Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова,
Институт гравитации и космологии РУДН*

Сформулирована одна из основных проблем современной фундаментальной физики: вывод представлений классического пространства-времени из более элементарных понятий и закономерностей физики микромира, вместо того, чтобы продолжать подкладывать априорно заданное пространство-время под все теоретические построения. Рассмотрены три направления поиска решения этой проблемы: твисторная программа Р. Пенроуза, кватернионная программа А.П. Ефремова и бинарная геометрофизика. Кратко охарактеризованы их исходные положения и полученные результаты.

Ключевые слова: квантовая механика, пространство-время, твисторы Пенроуза, кватернионы, бинарная геометрофизика, теория систем отношений.

Введение

В нашей предыдущей статье «Реляционно-статистическая интерпретация квантовой механики» [1] обращалось внимание на уже четко поставленную в повестку дня современной фундаментальной теоретической физики проблему вывода классических пространственно-временных представлений из понятий и закономерностей физики микромира, вместо того чтобы продолжать подкладывать классическое пространство-время под все теоретические построения: написания лагранжианов, дифференциальных уравнений и т.д. Среди исходных положений физики микромира, в первую очередь, следует иметь в виду понятия и закономерности квантовой теории.

На необходимость решения этой проблемы уже в 1930-х гг. обращал внимание один из создателей квантовой механики Л. де Бройль. В те же 30-е гг. эту проблему поднимал в своих лекциях академик Л.И. Мандельштам. В 1960-х гг. эта проблема ставилась более настойчиво в трудах физиков: Дж.Ф. Чью, Е.Дж. Циммермана, Д. Ван Данцига и ряда других авторов. Об этом писал и наш соотечественник математик П.К. Рашевский в своей широко известной книге «Риманова геометрия и тензорный анализ». Неоднократно об этой проблеме писали философы, как зарубежные, так и отечественные. Среди последних следует назвать М.Д. Ахундова, И.С. Алексева и некоторых других (см. [2]). Однако, как правило, авторы в своих работах

ограничивались указанием на важность решения этой проблемы, отмечали сложности ее решения, но не было ясно, как подступиться к ее решению.

На рубеже XX и XXI столетий эта проблема уже встала во весь рост. О ней писали Р. Пенроуз, М.Б. Менский, Б. Грин, Ю.И. Манин, А.Ю. Севальников и др. Из истории физики достаточно хорошо известно, что от постановки фундаментальной проблемы до ее решения, как правило, проходит немало времени. Необходимо созреть ряду необходимых условий.

1. Комплекс задач, составляющих проблему

Как нам представляется, сегодня мы уже достаточно далеко продвинулись в понимании сути данной проблемы и близки к ее решению.

Стали более понятны трудности, стоящие на пути решения этой проблемы, осознан комплекс составных частей проблемы. Перечислим главные из них.

1. Прежде всего, следует иметь в виду, что, говоря о классическом пространстве-времени, мы имеем дело с расслоенным пространством, состоящим из базы, каковой является координатное пространство, и слоя – касательного пространства скоростей или импульсного пространства. Необходимо теоретически обосновать наличие этих двух составляющих расслоенного пространства.

2. Далее необходимо теоретически обосновать размерность 4 и сигнатуру (+ – – –) координатного пространства-времени. Напомним, что еще Э. Мах в середине XIX в. размышлял над вопросом: почему пространство трехмерно? Уже в XX в. над задачей теоретического обоснования 4-мерности пространства-времени бились А. Эйнштейн, А. Эддингтон и ряд других авторов.

3. В общепринятом понимании слой – пространство скоростей – определяется координатной базой, однако, согласно специальной теории относительности, пространство скоростей описывается геометрией Лобачевского, отличной от геометрии пространства Минковского. В физике имеется много факторов, свидетельствующих о симметриях координат и импульсов: канонические уравнения в классической механике, принцип неопределенностей и симметрии координатного и импульсного представлений в квантовой механике. Чем обусловлены как симметрии, так и несомненные различия?

4. Необходимо теоретически обосновать квадратичность мероопределения как в координатном, так и в импульсном пространствах, то есть почему имеет место теорема Пифагора и ее обобщение в виде квадратичной метрики в общей теории относительности $ds^2 = g_{\alpha\beta} dx^\alpha dx^\beta$? Можно высказать предположение, что решение первой из поставленных задач даст ответ и на данный вопрос.

5. Почему элементарные частицы описываются спинорными волновыми функциями, когда, казалось бы, проще было бы описывать их скалярами или векторами? Как писал Дж. Уилер, для решения этого вопроса в США соби-

ралась отдельная конференция. Намек на возможное решение этого вопроса можно усмотреть в высказывании Ю.И. Манина, который пишет: «Группа Лоренца является странной группой с вещественной точки зрения, но если заменить ее на $SL(2, \mathbb{C})$ – группу комплексных (2×2) -матриц, мы получаем очень естественный объект – группу симметрии простейшего мыслимого пространства состояний квантовой системы. Не значит ли это, что спиновые степени свободы являются более фундаментальными, чем пространственно-временные? В группе $SL(2, \mathbb{C})$ таинственное для нас разделение Мира на пространство и время содержится неявно, и поэтому его существование “объясняется” на основе принципов, не предполагающих такого расщепления заранее» [3].

6. Почему для описания физики микромира используются комплексные числа, тогда как общепринятые геометрии и классическая физика излагаются на основе множества вещественных чисел? Если ставится задача вывода классических представлений из микропонятий, то где, на каком уровне комплексные числа заменяются на вещественные?

7. Чем обусловлен вероятностный характер квантовой теории и как от исходно вероятностной природы микромира перейти к классическому детерминизму?

8. Каким образом геометрические свойства пространства и времени связаны с физическими взаимодействиями? Такая связь несомненно имеется. Напомним, что уже И. Кант связал закон убывания сил обратно пропорционально квадрату расстояния с трехмерностью пространства.

Можно назвать и ряд других важных вопросов, решение которых входит составной частью в решение поставленной проблемы вывода классического пространства-времени из понятий и закономерностей физики микромира.

В современной литературе представлены несколько подходов к решению поставленной проблемы. Здесь остановимся на трех, наиболее разработанных подходах, представленных в твисторной программе Р. Пенроуза, в кватернионной программе А.П. Ефремова и в нашей бинарной геометрофизике.

2. Твисторная программа Р. Пенроуза

Р. Пенроуз, обосновывая назначение своей твисторной программы, пишет: «Если единый подход к квантовой физике и геометрии пространства-времени существует, то тип математического описания, пригодный для одной из них, должен подходить и для другой. Один из главных побудительных мотивов развития теории твисторов состоит в том, что она дает математическое описание физики, которое базируется целиком на комплексной структуре; при этом геометрия четырехмерного пространства-времени и квантовомеханический принцип суперпозиции возникают как тесно связанные аспекты этой комплексной твисторной структуры» [4. С. 14]. Далее

можно найти такие слова: «Есть надежда, что в рамках общей твисторной программы удастся достигнуть более глубокого понимания между квантовой механикой или квантовой теорией поля (неразрывно связанными с теорией функций комплексного переменного) и классической структурой пространства-времени» [4. С. 608].

Напомним, что Р. Пенроуз постулирует в качестве исходных понятий своей теории 2-компонентные спиноры, из пар которых формируется понятие твистора. Поскольку известно, что для спиноров характерна группа преобразований $SL(2, \mathbb{C})$, и из спиноров строятся 4-мерные векторы, интерпретируемые в рамках координатного пространства, то тем самым фактически вводится 4-мерность пространства-времени с известной сигнатурой. Это решает лишь часть названных выше проблем. Остающиеся проблемы приходится решать искусственным образом (см. [5]) примерно так, как это делается в общепринятой теории поля на фоне готового пространства-времени.

В личной беседе мы спросили Пенроуза: правильно ли мы понимаем, что твисторная программа нацелена на построение модели классического пространства-времени и квантовых закономерностей? На это он ответил: «Yes». Тогда был задан второй вопрос: удалось ли на основе твисторной программы реализовать задуманное? На это Пенроуз четко ответил: «No!»

Как нам представляется, игнорирование реляционного подхода составляет один из главных недостатков программы Пенроуза, что приводит к фактическому использованию традиционной теории поля. Тем не менее следует отметить, что Пенроузом признаются идеи макроскопической (статистической) природы пространства-времени. В одной из своих работ он пишет: «В предшествующих работах (они указываются. – Ю.В.) было показано, что можно ввести понятие евклидова пространства, исходя из предела вероятностей взаимодействия большой сети частиц, квазистатически обменивающихся спинами. При таком подходе евклидова структура возникает из комбинаторных правил, которым удовлетворяет полный угловой момент в нерелятивистской квантовой механике» [4. С. 132].

3. Кватернионная программа А.П. Ефремова

Определяя цель и возможности кватернионной программы, А.П. Ефремов пишет: «Автор полагает, что фундаментальная математика кватернионных чисел содержит в себе – и при надлежащем внимании позволяет извлечь – большое число математических моделей и соотношений, которые сегодня считаются независимыми физическими теориями. В этом смысле по духу (но, конечно, не по содержанию) данное исследование весьма близко работам тех авторов (см. работы Ю.И. Кулакова, Ю.С. Владимирова), которые выстраивают системную логику “рождения теорий” на базе фундаментальных соотношений, никак не зависящих от физического эксперимента. Представляется, что именно такая фундаментальная системность предос-

тавит необходимый материал и инструменты, а главное – определит верные направления развития адекватной истине математической формулировки физических явлений в новом веке. Или в новом тысячелетии» [6. С. 16].

А.П. Ефремов выбрал иные, по сравнению с Р. Пенроузом, исходные понятия и принципы, – он решил начать не с комплексных чисел, а с кватернионов. В связи с этим следует напомнить, что развитие математики шло в направлении:

целые положительные числа → множество целых чисел → рациональные числа → множество вещественных чисел → комплексные числа → кватернионы → октавы.

Из истории математики (естествознания) известно, что при открытии каждого последующего вида чисел возникали ожесточенные дискуссии об их смысле и об их отношении к реальному миру. Так, например, было при возникновении проблемы квадратуры круга, при обсуждении смысла комплексных чисел и т. д.

В XX в. выяснилось, что для описания физики микромира необходимо использовать комплексные числа и, если считать закономерности микромира первичными, то необходимо повернуть цепочку обсуждения последовательности исходных чисел в обратном направлении. В программе Р. Пенроуза фактически предложено начинать с комплексных чисел, а в программе А.П. Ефремова предлагается начать с еще более абстрактных чисел, не обладающих свойством коммутативности, – с кватернионов. На этом пути исследований был получен ряд интересных результатов, излагаемых в книге [6] и статьях Ефремова [7].

4. Бинарная геометрофизика

В нашей программе, названной бинарной геометрофизикой, предлагается исходить из абстрактной теории отношений между некими элементами, образующими элементарные частицы. Полагается, что в основе теории лежат именно процессы между взаимодействующими частицами. Это означает, что используется не одно, а два множества элементов, соответствующих исходному и конечному состояниям микросистем. Фактически это соответствует идеологии S-матричного подхода в квантовой теории. Постулируются отношения между элементами противоположных множеств, описываемые комплексными числами, а также наличие некоего закона, связывающего парные отношения между произвольными r элементами одного и r элементами другого множества. Из этих отношений определяются параметры элементов. На основе этих соображений строится содержательная теория бинарных систем комплексных отношений (БСКО), которую предложено положить в основу описания физики микромира.

На этом пути исследований получен ряд интересных результатов, в частности, показано, что простейший вариант БСКО ранга (3,3) приводит к тому, что элементы теории описываются 2-компонентными спинорами. Это

означает, что понятия спиноров не следует постулировать, как это делает Пенроуз, а они получаются как необходимое следствие теории. Из этого факта далее следует известная размерность четыре и сигнатура (+ – – –) используемого пространства-времени. Все это изложено в ряде наших работ (см. [1, 8, 9, 10]).

К полученным ранее результатам добавим следующее обстоятельство. Дело в том, что в теории БСКО элементы каждого из двух множеств характеризуются параметрами, строящимися из отношений к эталонным элементам противоположного множества. Однако при этом возникает двойственность, – взяв произвольный элемент в множестве, мы можем вводить параметры относительно либо элементов в будущем множестве, либо относительно элементов в прошлом множестве. Предлагается связать эту двойственность с тем фактом, что в классическом пространстве мы имеем дело с расслоенным пространством, состоящим из базы и слоя. В качестве базы выступает координатное пространство, тогда как слой описывает пространство скоростей (импульсное пространство). Параметры элементов, характеризующие относительно прошлого, предлагается считать определяющими прообраз координатного пространства, тогда как параметры, задаваемые отношениями к элементам будущего множества, следует трактовать определяющими прообраз пространства скоростей (импульсов).

Предлагается считать эту двойственность обоснованием наличия в классической физике координатного и импульсного пространств, а в квантовой теории – истоком принципа неопределенностей.

Заключение

К упомянутым здесь трем направлениям поиска решений сформулированной проблемы следует добавить еще ряд каналов исследований, в частности, следует назвать работы А.Л. Круглого [11] по причинной теории на основе теории графов.

Особо следует подчеркнуть, что в современной физике исследования проводятся в рамках трех метафизических парадигм: доминирующей ныне теоретико-полевой, в рамках которой строится квантовая теория поля, геометрической, к которой принадлежит общая теория относительности и ряд ее естественных обобщений, и реляционной, к которой следует отнести работы Я.И. Френкеля, Р. Фейнмана, Ф. Хойла, Дж. Нарликара и ряда других авторов. Для получения наиболее полных представлений о физической реальности необходимо уметь смотреть на нее под всеми тремя углами зрения, соответствующими трем названным парадигмам.

Однако для решения сформулированной выше программы вывода классического пространства-времени из квантовых закономерностей и свойств физики микромира необходимо использовать именно реляционную парадигму, так как понятия поля и представления геометрической парадигмы имеют смысл лишь при наличии уже готового пространственно-временного

континуума. Многие трудности возникают из эклектического характера исследований, когда вместе используются понятия и закономерности из разных метафизических парадигм. Необходимо иметь в виду это обстоятельство, но, тем не менее, нужно учитывать результаты, полученные в рамках разных парадигм. Тем более это относится к результатам, полученным в перечисленных выше направлениях исследований, непосредственно нацеленных на решение сформулированной фундаментальной проблемы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Владимиров Ю.С.* Реляционно-статистическая интерпретация квантовой механики // *Метафизика*. – 2015. – № 1 (15). – С. 10–24.
2. *Владимиров Ю.С.* Природа пространства-времени: Антология идей. – М.: ЛЕНАНД, 2015.
3. *Манин Ю.И.* Математика как метафора. – М.: Изд-во МЦНМО, 2008.
4. *Пенроуз Р.* Структура пространства-времени. – М.: Мир, 1972.
5. *Пенроуз Р.* Путь к реальности, или Законы, управляющие Вселенной. – М., Ижевск: Институт компьютерных исследований. НИЦ «регулярная и хаотическая динамика, 2007.
6. *Ефремов А.П.* Кватернионные пространства, системы отсчета и поля. – М.: Изд-во РУДН, 2005.
7. *Ефремов А.П.* Спасение алгебр и разгадка секретов механики // *Метафизика*. – 2013. – № 3 (9).
8. *Владимиров Ю.С.* Основания физики. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008.
9. *Владимиров Ю.С.* Физика дальнего действия. Природа пространства-времени. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012.
10. *Владимиров Ю.С.* Метафизика. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009.
11. *Круглый А.Л.* Идеи, лежащие в основании гипотезы причинности множества в квантовой гравитации // *Метафизика*. – 2014. – № 2 (12). – С. 126–145.

THE PROBLEM OF DERIVING CLASSICAL SPACE-TIME FROM THE LAWS OF MICROSCOPIC PHYSICS

Yu.S. Vladimirov

This article formulates one of the main problems of modern fundamental physics – the problem of deriving the notions of classical space-time from more elementary concepts and laws of the physics of microscopic world instead of continuing to base all theoretical constructs on an a priori preset space-time. Examined are three areas of searches for the solution to this problem: Penrose's twistor program, A.P. Yefremov's quaternionic program, and binary geometrophysics. A brief description is given of their starting points and the results obtained.

Key words: quantum mechanics, space-time, Penrose's twistors, quaternions, binary geometrophysics, relations systems theory.

ИДЕЯ ПРОСТРАНСТВА И ОБРАЗ МИРА

В.Д. Захаров

Всероссийский институт научной и технической информации

Показано, что в рамках общей теории относительности нельзя однозначно сформулировать космологическую модель, которая отвечала бы кантовскому «образу мира» в произвольной системе отсчёта. Причина заключается в парадоксе Зельманова об относительности бесконечности Вселенной.

Ключевые слова: Вселенная, образ мира, кантовский синтез, парадокс Зельманова, пространство, бесконечность, система отсчёта, метафизика.

Даже самый знающий геометр не мог бы определить пространство.

П. Дюгем

В чём сущность пространства? Ю.С. Владимиров со своими сотрудниками [1] ставит вопрос о возможности вывода понятий пространства и времени из некоторых более фундаментальных начал. Большинство физиков за всю историю развития их науки не задавались этим вопросом, рассматривая пространство-время как некую заданную нам «арену», на которой осуществляются физические взаимодействия и с помощью которой их оказывается удобно описывать. Теперь ставится вопрос: откуда взялась эта арена? Игнорировать этот вопрос – это всё равно, что соглашаться с его сверхъестественным разрешением: она дана нам от Бога. Вряд ли физиков устроит такое сверхъестественное разрешение, поэтому на очередь ставится вопрос о физическом объяснении природы пространства.

Однако, чтобы решить вопрос, что такое есть пространство, надо сначала выяснить: а что такое есть то, что мы ищем? Иначе мы рискуем попасть в ловушку знаменитого парадокса Сократа, который высказался так: *если я хочу что-то узнать, то я уже должен знать то, что я хочу узнать*. Ибо, если я этого не знаю, то как я могу узнать искомое? Ведь чтобы узнать, я должен знать то, что я ищу. Применительно к вопросу о пространстве это означает: чтобы узнать природу пространства, мы должны уже знать, что мы понимаем под пространством. В чём сущность пространства? Какими свойствами мы его характеризуем?

Для ответа на вопрос я сначала обратился к первым математическим моделям пространства и времени, а их, как известно, дали древние греки; конкретно, пифагорейская школа. Пифагорейцы создали первую реалистическую модель Вселенной как конструкции, состоящей из чисел – логических атомов, рассматриваемых как неделимые пространственные единицы:

точки-монады. Числа у Пифагора суть причины всего, что они счисляют, в том числе пространства, времени, движения и всех вещей. Пространство создается числами, но открытие несоизмеримых отрезков привело к заключению об их бесконечной делимости. Это породило вопрос: каким образом пространство складывается из бесконечного множества элементов, не имеющих величины? Этот вопрос возник у элеатов как *апория меры*. С другой стороны, апории движения показывали, что если пространство мыслить как континуум (делимую до бесконечности протяжённость), то невозможно мыслить движение в этом пространстве. Онтология пространственного континуума вступала в противоречие с гносеологией: если пространство вместе с наблюдаемыми в нём движениями реально существует, то они не могут быть познаны.

Как представляется, диалектика Платона также не дала разрешения парадоксов, связанных с пространством. Он вынужден признать, что пространство не воспринимаемо через ощущения, но оно не воспринимаемо и с помощью мышления, так что «не находится ни на земле, ни на небесах, будто бы не существует» [2. С. 423]. Таким образом, по Платону, нельзя разумно определить пространство. Как он говорит, сами геометры не могут постигнуть его в понятиях, но они его «видят как бы в грёзах».

Испытав разочарование в греческой мудрости, я вспомнил, что полезные мысли по поводу сущности пространства высказал Иммануил Кант. Он явно ставил своей задачей определить пространство на основе разума, отмежевываясь от всякой иррациональности и мифологий, которыми проникнуто мировоззрение греков.

По-видимому, И. Кант был первым, кто высказал мысль о тесной взаимосвязи между свойствами пространства и характером физических законов (в частности, он усмотрел связь между размерностью трехмерного пространства и обратно-квадратичной зависимостью сил гравитации и электромагнетизма от расстояния). По Канту, само понятие пространства немислимо вне силового воздействия субстанций друг на друга. Взаимосвязь субстанций рождает пространство. «Легко доказать, – пишет Кант, – что не было бы никакого пространства и никакой протяжённости, если бы субстанции не обладали никакой силой действовать вовне. Ибо без этой силы нет никакой связи, без связи – никакого порядка, и, наконец, без порядка нет никакого пространства» [3. С. 69]. Кант написал эти слова в самом начале своей философской карьеры, в 1746 г., в так называемый «докритический период», когда он, как традиционный метафизик, говорит о природе как о субстанциях (потом, в «Критике чистого разума», он будет говорить о природе как о совокупности всего нашего возможного чувственного опыта).

Субстанция же, как самостоятельная сущность, «полностью содержит в себе источник всех своих определений», поэтому «для её существования не необходимо, чтобы она находилась в связи с другими вещами» [3. С. 68]. Если же субстанция не находится ни в какой связи с другими вещами, то она не имеет в нашем мире *никакого места*: ведь пространство невозможно без

порядка, порядок невозможен без связи, связь же никакая невозможна без действия субстанций вовне. Поэтому вещи могут действительно существовать, но, тем не менее, не находиться нигде в мире, не быть частью этого мира. Если имеется много подобных сущностей, не связанных ни с какой вещью мира и, однако, находящихся во взаимных отношениях, то они образуют нечто особое целое – иной мир. Поэтому метафизик Кант говорит об иных мирах как о самой обыкновенной вещи: «В подлинно метафизическом смысле представляется истинным, что может существовать более чем один мир» [3. С. 72]. Таким образом, Канта можно назвать философским провозвестником теории Мультиверса.

Позиция Канта-метафизика достаточно убедительна: о пространстве (в метафизическом смысле) можно говорить только в аспекте воздействия субстанций друг на друга, а это есть то, что можно называть метафизически понимаемой *причинной связью*. Кант особенно подчёркивает, что эта связь может не быть универсальной, *сплошной* для нашего мира, так что какие-то субстанции могут находиться вне причинной связи нашего мира и тем самым могут не иметь места в пространстве нашего мира.

Кантианский синтез. Через 35 лет (1781 г.) в «Критике чистого разума» Кант резко изменит свою позицию. Из метафизика он превращается в номиналиста, которого больше не интересует вопрос, что такое есть истинные вещи – субстанции.

Переворот в мировоззрении Канта произошёл после того, как он вплотную занялся теорией познания. Познаваемы ли субстанции? Кант категорически ответил: нет! До него новоевропейские философы были убеждены, что наш разум познаёт вещи как таковые (Спиноза: «порядок идей тождественен порядку вещей»). Кант разоблачил такое представление, открыв то, что впоследствии получит название *пифагорейский синдром*. «Синдром» разума Кант увидел в том, что он (разум) без всякого основания отождествляет собственный продукт («идеи») и объективное бытие («вещи», существующие, как предполагалось, вне нас). Кант произвёл известный «философский скандал», высказав мысль, что невозможно доказать существование вещей вне нас. Стало быть, существование так называемого «внешнего мира» следует лишь принимать на веру. С осознания этого состоялся Кант так называемого «критического периода».

В этот период Кант продемонстрировал, что классическая новоевропейская философия осталась на руинах. Сама познаваемость мира вдруг оказалась под вопросом. «Миропонимание, – высказался как-то П. Флоренский, – это есть *пространствопонимание*» [4. С. 272]. Если порядку идей в действительности не соответствует какой-либо порядок вещей (субстанций), то, как мы знаем, нет и никакого пространства, которое можно было бы рассматривать как вместительницу вещей. Если же нет пространствопонимания, то нет и миропонимания, нет миропознания, нет того, что принято называть *образом мира*.

Кант сделал всё от него зависящее, чтобы возродить философию из руин – обосновать познаваемость мира, то есть заново создать образ мира, утраченный ещё со времён греческого Космоса. Ведь потеря образа мира – дело нешуточное даже с обычной житейской точки зрения. Не зная, как понимать внешний мир, данный нашему Dasein (внутреннему нашему самосознанию), мы не можем в нём и правильно ориентироваться. Тут уж не до реальности, не до познания истины, тут речь идёт о том, чтобы *выжить* в непонятном мире.

Чтобы вернуть образ мира, надо было возродить и пространство, ведь миропонимание – это пространствопонимание. Только возродить его надо было в каком-то новом качестве, отнюдь не в качестве вместилища вещей. «Когда я говорю о предметах во времени и пространстве, – пишет Кант [5], – то я говорю не о вещах самих по себе, о которых я ничего не знаю, а о вещах в явлении, то есть об опыте как особом виде познания объектов, единственно доступном человеку». Он ужаснулся открывшейся ему бездне неизвестного, окружающего наше разумное Я, и понял, что если наш разум не может упорядочить субстанции, то он может, по крайней мере, упорядочить наш *опыт*, создать в нём «сплошную связь всех явлений в контексте природы». Кант создал философию, в которой на наш опыт был наброшен, по словам Н. Бердяева, «рационалистический намордник». Кант отыскал в нашем разуме особую, так называемую *регулятивную* функцию, вследствие которой он может ограничить наш «внешний опыт» особыми внеопытными (*априорными*) условиями [6].

Из чего складывается наш опыт и как можно его разумно упорядочить? Строго говоря, мы не знаем *природу* нашего внешнего опыта. Наш опыт не обязан подчиняться нашему рассудку, он не уполномочивал его высказываться за себя. В нём, в этом «опыте», может явиться нам что угодно, хоть чёрт с рогами. Последнее как раз и случалось в прежние времена, когда чёрт являлся отнюдь даже не суеверным людям, а образованным представителям эпохи Ренессанса вроде М. Лютера и Б. Челлини, оставивших нам воспоминания о своих свиданиях с нечистой силой.

Наш опыт дан нашему сознанию, но это не означает, что он нами познан: сам по себе он для нас нечто неизвестное, хаос. Однако Кант был уверен, что наш разум способен внести в этот хаос порядок. Порядок означает пространство, пространство же означает познание («миропонимание»), поэтому для Канта «опыт сам есть вид познания, требующий участия рассудка, правила которого я должен предполагать в себе ещё до того, как мне даны предметы, стало быть, а priori» [5. С. 88]. Пространство есть форма познания, состоящая в организации опыта и данная нам, следовательно, до всякого опыта (то же самое относится к времени, суть которого сводится к упорядоченности внутреннего опыта).

Познание, как видим, начинается прямо с опыта, но *происходит* оно по своему существу не из опыта и к одному опыту не сводится. Опыт не может

дать нам принципы познания, разум должен изобрести их из себя. Каковы эти принципы?

Познание состоит из суждений типа «А есть В» (А – субъект, В – предикат). Не всякое суждение является познанием, претендующим на научность. Во-первых, оно должно удовлетворять условию всеобщности и необходимости, во-вторых, оно должно полагать нечто новое, не содержащееся в самом понятии субъекта. В теории познания Канта первое условие удовлетворяется в силу свойства априорности предпосылок опыта. Если выполняется и второе условие, то суждение называется синтетическим. Таким образом, по Канту, познание осуществляется только в форме синтетических суждений а priori.

Возможно ли так определяемое познание? Ответ на этот вопрос Кант получил, наблюдая уже существующие науки: «чистую математику» и «чистое естествознание», сейчас называемое теоретической физикой.

«В естествознании, – комментирует Вл. Соловьёв [6], – если все так называемые законы природы суть нечто большее, чем простое констатирование единичных случаев, чаще или реже повторяющихся, то они обязаны своим значением лежащему в их основе положению причинности, которое устанавливает между явлениями всеобщую и необходимую связь; но основоположение: “все явления имеют свою причину” есть, во-1-х, априорное, независимое от опыта (ибо опыт не может обнимать *всех* явлений), а во-2-х, оно полагает нечто такое, что из данного порядка явлений аналитически выведено быть не может (ибо из того, что некоторые явления происходят в известной временной последовательности, нисколько не вытекает, что одно есть причина другого); следовательно, это основоположение есть *синтетическое суждение* а priori, а через него тот же характер принадлежит и всему чистому естествознанию, которого задача есть установление причинной связи явлений».

В математике Кант без труда обнаружил, что все её положения априорны и, следовательно, являются всеобщими и необходимыми суждениями. Кроме того, все они являются синтетическими суждениями. Последнее легко иллюстрируется аксиомами евклидовой геометрии, если считать эту геометрию абсолютной, то есть единственно возможной.

Мы видим, что синтетический характер математического знания соединяется у Канта с евклидовой геометрией. Почему именно с нею? Можно подумать, это потому, что во времена Канта не было ещё известно других (неевклидовых) геометрий. Причина, однако, лежит глубже: евклидова геометрия – наиболее наглядная, «воззрительная» геометрия. Она наиболее соответствует нашим чувственным *созерцаниям*. По Канту, «всякое мышление должно прямо или косвенно... иметь отношение к созерцаниям, стало быть, у нас – к чувственности, потому что ни один предмет не может быть нам дан иным способом» [5. С. 127]. Отвлекитесь в вашем восприятии предмета от всего, что рассудок мыслит о нём дискурсивно, а также от всего, что при-

надлежит в нём ощущению: остаются образ и протяжённость – то, что Кант называет *чистым созерцанием*, или *интуицией* (*Anschauung*).

С давних времён различаются два рода математических знаний: дискурсивное и интуитивное. Первый вид знания – опосредованный, основанный на доказательстве, использующем логические силлогизмы. Таковы все теоремы математики. Второе знание – непосредственное, в доказательстве не нуждающееся. Оно открывается путём прямого усмотрения разума. Пример такого знания – математические аксиомы. Они берутся не из опыта: опыт не мог бы обусловить их всеобщий и необходимый характер. Стало быть, интуиция в математике априорна. Из этого рационалисты XVII в. Декарт и Лейбниц делали вывод, что математическая интуиция не может опираться на чувственные созерцания и способна производить только суждения, относящиеся к сверхчувственной, метафизической реальности (из этого они и выводили заключение, что их разум познаёт вещи сами по себе). Иными словами, они признавали в математике только *интеллектуальную интуицию* [7], совершенно отрицая возможность математического знания посредством интуиции чувственной. Им и в голову не приходило, что посредством чувств можно созерцать также а priori. Это пришло в голову Канту, который увидел, что всё это их «познание» – иллюзия, ибо «математика ничего не может достигнуть посредством одних лишь понятий» [5]. Математика вообще не метафизика, поскольку её предмет – это есть конструирование понятий с помощью образов чувственных созерцаний. Это конструирование осуществляется рассудком, который только мыслит, ничего не созерцая, тогда как чувственность только созерцает, постигает интуитивно, но ничего не мыслит.

Математика была бы невозможна, если бы не существовало синтеза чувственного созерцания с априорными формами её упорядочения, вырабатываемыми особой функцией разума, называемой *рассудком*. Сам этот синтез возможен, по Канту, вследствие присущего нашему разуму априорного единства самосознания, которое он называл «синтетическим единством апперцепции» [5. С. 191–197]¹. Вследствие этого кантианский синтез приобретает смысл познания предметов – объектов созерцания. Он оказывается возможным потому только, что всё познаваемое в предметах создаётся самим умом по присущим ему правилам и законам. Мы познаём предметы не как вещи сами по себе, а лишь как их явления (феномены). Сами предметы существуют лишь в нашем сознании, причём они обусловлены не чем-то

¹ Объект познания, по Канту, есть то, в чём объединены представления; «всякое же объединение представлений требует единства сознания в синтезе их» [5. С. 195]. Специфика человеческого сознания состоит в том, что это всегда есть самосознание, проявляющееся в памяти. Память, как осознание нашего предшествующего опыта, была названа Лейбницем *апперцепцией*. Кант определил самосознание (апперцепцию) как *единство* осознания индивидуумом самого себя. Оно даёт возможность связать, представить в одном сознании наши многообразные представления, приобретённые нами в течение жизни и сохраняющиеся в нашей памяти. Эту единую картину, возникающую в созерцании, Кант называет синтетическим единством апперцепции.

внешним, а сформированы нами в нашем чистом, называемом трансцендентальным, акте познания. Так, если Ньютон считал, что его «абсолютное пространство» существует вне и независимо от субъекта познания, то Кант отрицает его объективное существование. Для него «абсолютное пространство» Ньютона – лишь идея разума, реализуемая как априорная форма чувственности познающего субъекта. «Это означает, – пишет по этому поводу А. Грязнов [8], – что ньютоновское абсолютное пространство находится, образно выражаясь, в голове человека, который смотрит на окружающий его мир через очки своей априорной формы внешнего чувства» (ньютоновское же абсолютное время, по Канту, представляет собой априорную форму внутреннего чувства и также принадлежит самому субъекту, но не вещам, как они существуют сами по себе). Парадоксальность этих выводов выразил Вл. Соловьёв в стихотворении, в котором присутствует лишь доля шутки:

Во-первых, объявлю вам, друг прелестный,
 Что вот теперь уж более ста лет,
 Как людям образованным известно,
 Что времени с пространством вовсе нет;
 Что это только призрак субъективный,
 Иль, попросту сказать, один обман.
 Сего не зная есть реализм наивный,
 Приличный ныне лишь для обезьян.

Вл. Соловьёв. Из письма

Критика кантианского синтеза. Не следует удивляться, что сразу по выходе «Критики чистого разума» началась атака против кантианского синтеза. Так, И. Гаман утверждал, что Кант лишь искусственно связывает чувственность и рассудок, но в действительности не преодолевает их разобщённости [7. С. 40]. Наиболее основательную критику кантианской гносеологии дал Вл. Соловьёв («Критика отвлечённых начал» [9]), уже не в шутку, а вполне серьёзно. В самом деле, чему служат кантианские синтетические принципы а priori? Ясно, что они служат кантианскому требованию познаваемости мира, хотя понятие «мир» не имеет удовлетворительного определения, а его «познаваемость» сама нуждается в обосновании (это подробно объясняется в [10. С. 18–20]). По этому поводу А.Ф. Лосев [11] заметил, что в своём критицизме Кант не отнёсся критически именно к понятию пространства. Он не задался вопросом, что такое пространство, а навязал ему такую форму интуиции, чтобы она могла производить синтетические суждения а priori.

Сам кантианский трансцендентальный синтез, по Вл. Соловьёву, оказался невозможным в силу кантианского же умозрительного ограничения «возможного опыта». Казалось бы, Соловьёв и Кант исходят из одного и того же главного гносеологического принципа: «...истинное познание, в котором открывается общий смысл и разум вещей» (Вл. Соловьёв), осно-

вано на принципе *всеединства* познаваемого. Этот принцип Кант соблюдает, положив в основу познания синтетическое единство апперцепции. «Но именно такой синтез, – считает Вл. Соловьёв, – и невозможен для критического рационализма, который утверждает оба фактора познания в безусловной отделимости и отвлечённости» [9. С. 281]. Всеединство не даётся опытом, потому что в опыте мы никогда не имеем ни “всего”, ни “единого”; но оно не дается и разумом, формы которого не имеют никакого собственного содержания, а только придают эмпирическому материалу характер всеобщности и необходимости. «Здесь разумность или всеединство... есть только наша мысль, которой может и ничего не соответствовать во внешнем бытии, так как это бытие нам совершенно неизвестно; то же, что нам известно, – мир явлений, – сам по себе не представляет никакого всеединства или разумности» [9. С. 280].

Если Кант, как номиналист, равнодушен к реальности и истине, то Вл. Соловьёв ищет безусловные их основания, которые он, естественно, не находит у Канта. Безусловное основание «истинного познания» Вл. Соловьёв видит в третьем начале, соединяющем два принципиально разъединенных фактора познания – эмпирический и умственный. Это третье начало – религиозное: «...оба эти фактора нашего познания, сами по себе, в своей отвлеченности, совершенно безразличные к истине, получают таким образом своё истинное значение от третьего, религиозного начала» [9. С. 289].

Вл. Соловьёв говорит о религиозном начале истинного познания. Можно ли было из таких начал опровергать Канта, который сознательно устранял Бога из физической картины мира? (Это не означало безрелигиозность Канта. Просто он увёл идею Бога из ведения теоретического разума, отнес её к разуму «практическому», в котором действует иная, «свободная» причинность, та, на которой зиждется человеческая мораль и человеческая свобода). Правда, таким же образом устраняли Бога из картины мира и Декарт, у которого сущность вещей определяется исключительно их протяжённостью, то есть объективно понимаемым пространством, и Лейбниц, провозгласивший идею *деизма* – невмешательства Бога в мир предустановленной им гармонии. Но есть существенная разница между ними и Кантом: отстаиваемая ими интеллектуальная интуиция обосновывается именно существованием Бога. У Декарта его «ясность и отчётливость» понятий обязана Богу, «который не может быть обманщиком». У Лейбница основной тезис его естественной причинности – принцип достаточного основания – обосновывается существованием Бога, Творца предустановленной гармонии. В отличие от них, Кант полностью устраняет идею Бога из своего образа мира. Он ранее П.-С. Лапласа провозгласил, что не нуждается в гипотезе о Боге для построения картины мира.

Более того, в отличие от Декарта и Лейбница, у которых математическая интуиция прилагается лишь к сверхчувственной, метафизически понимаемой реальности, Кант, принимая только интуицию чувственную, устраняет из своего образа мира всякую метафизику. Он провёл демаркационную

линию между математикой и метафизикой, провозгласив сферой приложения математики только образы чувственных созерцаний.

Можно ли порицать Канта за то, что в своём понимании мира он отказывался быть метафизиком и отказывался объяснять мир подобно Ньютону – с привлечением Божьей воли?

Образ мира. Главную заслугу Канта я вижу в том, что он возродил образ мира и указал способ его познания. Почему для этого ему потребовалось устранить метафизику? Через 5 лет после выхода в свет «Критики чистого разума» Кант возвращается к вопросу: «Что и насколько может быть познано рассудком и разумом независимо от всякого опыта?» [5. С. 78]. В своей новой работе «Метафизические начала естествознания» он возвращается к вопросу о метафизике, которую он определяет так: «Чистое познание разумом из одних лишь понятий называется чистой философией, или метафизикой» [12. С. 57]. Он отмечает, что стремление к такому познанию является «неистребимой потребностью человеческого разума», которого не удовлетворяет, а лишь раздражает знание одних лишь эмпирических фактов. Наш разум всегда стремится узнать, не *как* устроен мир, а *почему* он устроен так, а не иначе. Разум, начиная с древних греков, стремился познать «корни вещей», их *архэ*, первоначало, стоящее за обманчивым миром явлений. Кант имеет мужество сказать разуму: «Стоп!» Ничего не получится. Выйдя за пределы чувственных созерцаний, разум лишается своих познавательных средств. За их пределами нет ни времени, ни пространства, ни причинной связи, которые сам же разум установил как средства упорядочения нашего опыта.

Нельзя полагать, что Кант отрицал возможность отвлечённой метафизики, то есть способность чистого разума вообще мыслить вне чувственных созерцаний. Он допускает ноумены – объекты нечувственного созерцания, которое он называет *интеллектуальным созерцанием*, указывая лишь, что оно, «безусловно, лежит вне нашей познавательной способности» [5]. Категории рассудка не распространяются на область ноуменов, которые чистый разум, хотя и может мыслить (в тех же категориях), не может созерцать ни в каком опыте. Абсолютные идеи разума (например, Вселенная в целом или Бог как абсолютно необходимое Существо) – это предметы мыслимые, а не познаваемые, «умопостигаемые», а не являемые, требуемые (разумом), а не данные. Поэтому, когда чистый разум принимает свои идеи за познаваемые предметы, то он преступает за пределы положенного ему права и неизбежно запутывается в противоречиях – «антиномиях трансцендентальных идей». Метафизика – не наука (в смысле методологии науки Канта), и если она строится как наука (а именно так строили свои метафизические системы Декарт и Лейбниц), то её покарают антиномии.

Вот почему задачу научной методологии Кант видит в том, чтобы уберечь «чистое естествознание» от проникновения в него ноуменов. Он как будто предвидит роковое последствие проникновения метафизики в физику, которое приведёт к неизбежной утрате образа мира и его познаваемости.

Это вскоре и произошло с появлением неевклидовых геометрий, а с ними и новых, неевклидовых пространств.

Анри Пуанкаре квалифицировал неевклидовы пространства как новый тип пространств, названных им *геометрическими*, которые он противопоставил *физическому* пространству – пространству нашего опыта. Физическое пространство легко ассоциируется нами с евклидовым, «воззрительным» пространством; его можно также называть *пространством созерцания*. Пространство созерцания мы можем себе представить, буквально ощутить его, ибо элементами («точками») этого пространства являются наши представления, или психические образы. Между тем геометрическое пространство, вследствие свойства непрерывности, требует понятия иррационального числа, а оно, как отмечает Пуанкаре, есть лишь «символ, то есть нечто, совершенно отличное от представления», как эмпирического, так и интуитивного [13. С. 23]. Таким образом, геометрическое пространство есть полное отрицание пространства созерцания: оно есть ноумен, о котором опыт не может дать никакого представления.

Наш образ мира формируется в нас на основе пространства нашего, человеческого опыта, то есть пространства созерцаний. «Самое замечательное и, в известной мере, действительно парадоксальное в пространстве созерцания то, что оно является пространством в сознании, в то время как само сознание со всеми содержаниями непространственно, – писал Н. Гартман в 1950 г. в книге «Философия природы» (цит. по [14. С. 446])... – Это – поразительное приспособление сознания к внешнему миру; иначе мир не мог бы быть представлен как внешний». Итак, в нашем (непространственном) сознании рождаются два не совместимых друг с другом пространства: 1) пространство созерцаний (по Н. Гартману, «представляемое пространство есть пространство созерцаний»), 2) геометрическое пространство, объект *не представляемый*, в созерцаниях не конструируемый. Будучи совершенно чуждой созерцаниям, геометрия вообще не необходима для оформления и организации опыта, ибо для этой цели в нашем сознании возникает ассоциация идей пространства созерцания, а не геометрического пространства.

Геометрия странным образом уходила из области математики, как её понимал Кант. На этом основании Л. Брауэр предложил отнести геометрию к области физики («геометрия – часть физики»). Однако может ли её принять физика как наука? Ведь если последовательно придерживаться кантовского синтеза, следует признать, что геометрическое пространство, находясь вне чувственных созерцаний, вообще не может контролироваться разумом и, следовательно, уходит из познания – из миропонимания. А каково это было принять математикам?

По посмертному изданию переписки Гаусса стало известно, сколь тяжело было ему убедиться, что «необходимость нашей (евклидовой) геометрии не может быть доказана, по крайней мере, человеческим умом для человеческого ума», что «пространство – это реальность, лежащая вне нашего разума, которой мы не можем предписывать свои законы» (цит. по [15. С. 104]).

Гаусс, первый пришедший к идее неевклидовой геометрии, сам же воспринял своё открытие как подлинную трагедию математики.

Мне кажется, тут у Гаусса проявилось непонимание философии Канта. Кант говорит о пространстве созерцания, Гаусс – о геометрическом пространстве. Кант говорит о применении разума только к области чувств, Гаусс – о применении его в области метафизики. В области метафизики действительно возникает вопрос, не имеющий смысла для Канта: какая из геометрий истинна?¹ Для Канта такого вопроса не возникало: для него истинна только геометрия пространства созерцаний, а ему адекватна только евклидова, «воззрительная» геометрия. Только в ней возможно миропознание, ибо только в ней аксиомы геометрии диктуются нам с необходимостью – как синтетические принципы *argiōi*. Откуда же берутся аксиомы неевклидовых геометрий? Этот вопрос ставит А. Пуанкаре и даёт однозначный ответ на него. «Мы должны сначала спросить себя, в чём состоит природа геометрических аксиом. Не являются ли они синтетическими априорными суждениями, как говорил Кант?». Ответ Пуанкаре отрицательный: «Будь это так, они навязывались бы нам с такой силой, что мы не могли бы ни вообразить себе положение противоположного содержания, ни основать на нём теоретическое построение. *Неевклидовых геометрий не могло бы быть*» ([13. С. 40], курсив наш. – В.З.). Это значит: синтетические априорные принципы, через которые осуществляется миропознание, *навязывают* нам только одну геометрию – евклидову. «Нам невозможно представлять себе внешние тела в геометрическом пространстве» (Пуанкаре [13. С. 45]). И даже бессмысленно утверждать, что геометрические объекты суть абстракции от вещей реального мира. От вещей какого «реального мира» абстрагированы, например, образы геометрии Лобачевского, если, по словам самих геометров, многие из теорем этой геометрии представляются нам *с наглядной точки зрения* неправильными, а некоторые – просто чудовищными (П.К. Рашевский [16])?

Пуанкаре также ответил на вопрос: каким же образом в нашем сознании пространство созерцания ассоциируется с геометрическим пространством, а именно с трёхмерным евклидовым пространством E^3 ? Как живые существа мы изобретаем физическое пространство – пространство наших психических образов. Как существа мыслящие мы изобретаем геометрическое пространство – пространство символов, никак не связанное с пространством со-

¹ Вопрос об истинности геометрии для Гаусса не мог быть решён умозрительно, и его оставалось решать лишь с применением внешнего критерия – её соответствием природному миру. И Гаусс, и Лобачевский предложили свои наблюдательные способы проверки геометрии, которые, как известно, не дали положительного результата. Потом Пуанкаре показал, что они и не могли дать результата, потому что геометрия не проверяема физическим экспериментом: «...опыты относятся к телам, а не к пространству» [13. С. 60]. Считая истинной ту геометрию, которая адекватно описывает внешний мир, мы принимаем за истину бессмыслицу, потому что внешний мир может быть описан любой геометрией. В этом состоит суть концепции *конвенционализма* Пуанкаре (подробнее это разъясняется в [10. С. 59–63]).

зерцаний. Однако разум, обладающий абстрактным понятием группы, способен выработать изоморфизм нашего физического пространства с одним из абстрактных геометрических пространств, то есть *изоморфизм образов с символами*.

Наше пространство созерцания определяется опытом движения твёрдых тел и потому ассоциируется нами с геометрическим пространством, определяемым, согласно Эрлангенской программе, группой движений, состоящих из трансляций и поворотов. Теперь ясно, что Кант отстаивал идею единственности геометрии не потому, что в его время ещё не были открыты неевклидовы геометрии. Доживи он до открытия неевклидовых геометрий, он бы их отверг как ненаучные, потому что они не допускают изоморфизма с физическим пространством.

Анри Пуанкаре в главе IV книги «Наука и гипотеза» [13] приводит мысленный пример такого мира, в котором действуют физические законы, приводящие к изменению линейных размеров тел. В таком мире, в котором не существует твёрдых тел, нельзя реализовать евклидову конгруэнцию, и если бы в этом мире обитали разумные существа, они создали бы геометрию, основанную на иной, неевклидовой конгруэнции. Обитатели этого мира были бы совсем не похожи на нас, и их образ мира был бы совсем другим, не человеческим. Мы не имели бы никакого представления об их миропознании; но мы ничего не потеряли бы от этого. Ведь нас интересует наше человеческое миропознание, основанное на нашем, земном опыте. Именно наш опыт – ничто другое – направляет наш разум в выборе геометрии, наиболее приспособленной для нашей ориентации в нашем пространстве созерцаний.

Метафизика в физике: утрата образа мира. XX век стал веком очередной смены физической парадигмы, в результате которой реализовалось то, о чём предупреждал Кант: в физику вошли ноумены в виде геометрических пространств, нарушившие кантианскую демаркационную линию, отделявшую математику от метафизики. Свершилось то, от чего предостерегал Кант: метафизика привела к утрате образа мира. Удобнее всего показать это на пространствах СТО (специальной теории относительности) и ОТО (общей теории относительности). В геометрических пространствах, на которых зиждутся эти теории, нет уже более ни пространства, ни времени: они не инвариантны относительно фундаментальной группы этих теорий. Если же нет пространства, то нет и миропонимания.

Сравним классическую (ньютоновскую) и эйнштейновскую картины мира. Ньютонова картина мира предполагает привилегированную, абсолютно неподвижную систему отсчёта. В этой единой для всего мира системе отсчёта Вселенная имеет единый облик для всех мыслимых наблюдателей (пусть формализованный, механистический, но для всех единый). Все наблюдатели, даже если они движутся, могут мысленно соотнести себя с единой неподвижной системой отсчёта и согласовать свои наблюдения с тем единым *образом мира*, который отвечает этой единой, абсолютной системе.

Иное дело в ОТО, в которой больше нет привилегированной системы: все системы отсчёта равноправны, и каждая из них может быть принята за неподвижную. Тогда для наблюдателя, находящегося в другой системе отсчёта, неподвижное придёт в движение, подвижное станет неподвижным – конкретный облик мира станет совершенно иным. Это значит: единого образа мира более не существует. Избрав образ мира одного из наблюдателей, можно рассматривать его как реального физика, воспринимающего реальную Вселенную. Остальные же физики, воспринимающие Вселенную из других систем отсчёта, станут тогда виртуальными, просто воображаемыми наблюдателями, поскольку их облик мира станет тоже виртуальным.

Можно возразить: суть принципа относительности (как в СТО, так и в ОТО) состоит именно в инвариантности теории относительно выбора системы отсчёта. Однако инвариантные элементы теории, призванные конституировать реальность, не могут явиться и быть пережиты в собственном времени и пространстве какого бы то ни было наблюдателя, ибо *времени и пространства больше нет*, они превратились в призраки. Элементы теории, которыми мы хотели конституировать реальность, – это инвариантные объекты пространства-времени, которые по самой сути недоступны созерцанию.

Если времени и пространства больше нет, то нет и вещей, нет и образа мира – того, что с разных позиций («реализма» или «конструктивизма») ищут до сих пор философы, называющие его «репрезентацией» (см., например, [17; 18]).

Образ мира: аспект космологический. Образ мира формируется человеком на основе опыта, который, однако, не может охватить всего мира. Что такое «мир»? Кант определяет мир как «предмет всего возможного опыта», то есть совокупность всех явлений, данных нам в опыте чувственных созерцаний и связанных универсальной естественной причинностью [5. С. 398, 411]. Г. Гёфдинг, философский наставник Н. Бора, назвал так понимаемый мир ложным понятием. Он заметил, что «понятие это никогда не может быть завершено. Ничто, данное нам в опыте, не является абсолютно законченным; к имеющимся данным опыта постоянно присоединяются новые, требующие для своего определения новых понятий... Мы стремимся все данные нам целостности объединить в одной, высшей; и как бы далеко мы ни продолжали эту работу, перед нами будет всё снова и снова вставать тот же самый вопрос... Таким образом, понятие “мира” есть в сущности ложное понятие» [19. С. 40].

Это может удивить нас сейчас, но не удивило бы Канта. «Вселенная в целом» не дана нам ни в каком опыте: она есть ноумен, относительно которого невозможно определение – возможна лишь антиномия. Тезис антиномии: «Мир имеет начало во времени и ограничен также в пространстве». Антитезис: «Мир не имеет начала во времени и границ в пространстве; он бесконечен и во времени, и в пространстве» [5. С. 404, 405].

На мой взгляд, космологическая антиномия была придумана Кантом именно для того, чтобы показать ложность им же определяемого «мира». Для его «мира» нельзя ставить вопрос о его бытии во времени и пространстве, так как для этого надо было бы определить время и пространство независимо от самого понятия «мир». Если бы это удалось сделать, то не возникла бы космологическая антиномия.

Поясним это. Кант хорошо видел, что его «мир» можно уподобить понятию «четвероугольная окружность». Про неё можно одинаково утверждать, что она кругла и что она не кругла. То и другое будет и истинно, и ложно. Кант ставит вопрос: конечен ли этот его «мир» или бесконечен? И также: имеет ли он начало во времени? При доказательстве антитезиса антиномии о времени он пишет: «Допустим, что мир имеет начало во времени...», – тогда, продолжает он, – «...должно было существовать время, в котором мира не было...» [5. С. 405]. Аналогичное рассуждение проводится относительно существования мира в пространстве. Кант доказывает неразрешимость своей антиномии приведением к абсурду, ибо приходится «принять эти две бессмыслицы – наличие пустого пространства вне мира и пустого времени до мира» [5. С. 409]. Тут Канту можно задать вопрос: а почему пространство и время, существующие без всякого «мира», бессмысленны? Чтобы утверждать это, нужно было бы предварительно дать определения пространства и времени вне зависимости от понятия «мир», то есть от самого «опыта». Однако для Канта это невозможно: у него время и пространство – неотъемлемая принадлежность «мира» как опыта чувственных созерцаний. Это оказалось возможным в ОТО, которая построена на сугубо метафизических принципах и для которой оказалось возможным рассматривать «Вселенную в целом» – уже как ноумен. В ОТО возможно дать не зависящие от опыта определения пространства и времени и корректно поставить вопрос о конечности и бесконечности Вселенной.

Фридмановские модели Вселенной построены на чисто метафизическом пути как решения чисто умозрительно полученных уравнений гравитационного поля, вне какой-либо связи с наблюдениями. Даже сам принцип однородности и изотропии Вселенной формулировался не на основе экстраполяции от наблюдений, а чисто умозрительно, как метафизическая гипотеза.

В этих умозрительных моделях удалось наконец разобраться с тем, что понимается под временем, и на этой основе дать метафизическое определение пространства. Формулы Лоренца теории относительности, включившие в себя универсальную постоянную c , впервые дали возможность свести время к пространству, *геометризовать время*: измерение времени сводилось теперь к измерению пространственных длин. Геометризованное время стало выражением впервые сформулированного принципа физической причинности. Его инвариантная геометрическая формулировка в рамках СТО покончила с понятием тотальной причинности.

Физическая причинность осуществляется с помощью сигналов, распространяющихся по *временноподобным* мировым линиям и ни по каким дру-

гим. Где нет причинно-следственной физической связи, там нет и времени. В областях акаузальности времени как физической величины нет. Это видно уже из частной теории относительности (СТО). Образующие светового конуса – это линии, 4-мерная длина которых равна нулю. Вне границ конуса причинность отсутствует, и время там не существует. Об этом свидетельствует то, что время не существует уже на самой границе – оно там остановилось: собственное время светового кванта равно нулю.

Казалось бы, вне светового конуса время существует, потому что и там существует временноподобная координата t (или $x^0 = ct$). Это, однако, ошибка; в этой области сама эта координата становится мнимой, ибо становится мнимым 4-мерный интервал между двумя мировыми точками с одинаковыми пространственными координатами: $\Delta s^2 = c^2 t^2 < 0$. Мнимость «времени» означает, что оно перестает определять физическую причинность, а значит – утрачивает физический смысл.

Понятие «время» имеет смысл лишь тогда, когда есть вещество, распространяющееся с подсветовой скоростью. Время (геометрическое) возникло только тогда, когда в процессе Большого Взрыва, после стадии инфляции, появились первые элементарные частицы. Этот момент есть точка отсчета времени, для которого никакого «до того» не существует. «До того» не было никакой физической причинности. Вселенная, следовательно, *не могла возникнуть причинным образом*, то есть во времени. Не случайно говорят, что «теория Большого Взрыва не включает в себя взрыв» [20. С. 528]. Нельзя ставить вопрос, где и когда он произошёл, потому что ни времени (геометрического), ни пространства, ни самой системы отсчёта, в которой они определены, в условиях самой задачи не могло существовать.

Итак, о времени жизни Вселенной мы можем говорить лишь как о времени жизни вещества во Вселенной, а для этого надо определить космологическое время независимо от бытия материи во Вселенной. Точно так же вопрос о конечности или бесконечности Вселенной должен решаться на основе метафизического определения пространства, которое не зависело бы от материального её содержания. Итак, надо разрешить два вопроса. Первый: что такое есть время существования Вселенной? Мы, например, говорим, что она возникла 13,4 млрд лет назад, и это утверждение осмысленное, потому что мы соотносим понятие геометрического времени с уже существующей материальной Вселенной. Это время мы измеряем по часам, однако снова возникает сакраментальный вопрос Б. Спинозы: а где висели часы, отмечавшие возникновение материальной Вселенной? Второй вопрос: что такое есть пространство, объём которого мы хотим оценивать? Во фридмановских моделях Вселенная рассматривается как трёхмерный объект, существующий в трёхмерном пространстве, каким-то образом вложенном в 4-мерное пространство ОТО. Удастся ли согласовать это трёхмерное пространство с одномерным временем ОТО?

В ОТО действительно оказалось возможным определить пространство и время независимо от материи. ОТО допускает решения уравнений тяготе-

ния, описывающие Вселенную без материи; существование пустых моделей Вселенной как решений уравнений Эйнштейна было доказано В. де Ситтером в 1918 г. Это, казалось бы, давало надежду ответить на вопрос, по каким часам мы измеряем время существования Вселенной. С другой стороны, выяснилось, что решение этого вопроса проливает свет и на другой вопрос: насколько велика Вселенная в пространстве и может ли она быть бесконечной?

Понятие геометрического времени дало возможность определить, что означает объём (конечный или бесконечный) трёхмерного пространства космологической модели. Выяснилось, что это понятие имеет смысл не во всех системах отсчёта, допустимых в ОТО. Сама система отсчёта (как физический объект, в отличие от системы координат) в ОТО определяется именно как совокупность (конгруэнция) линий времени, или мировых линий, вдоль которых изменяется только временноподобная координата x^0 . Чёткое определение физической системы отсчёта в ОТО было дано А.Л. Зельмановым. Пространство в ОТО определяется не абсолютно, а лишь как пространство данной системы отсчёта, «пространство в данный момент времени», или пространственное сечение ($t = const$) в 4-мерном мире Эйнштейна, а оно в разных системах отсчёта по-разному ориентировано относительно линий времени. Пространство имеет смысл (то есть однозначно определено) лишь в том случае, если оно голономно, а это значит: в любой мировой точке пространственные сечения ортогональны линиям времени. Тогда для всего 4-мерного мира существует однозначно определённое время, так и называемое – мировым временем. В случае фридмановских моделей всегда существует (сопутствующая веществу) система отсчёта, в которой пространство голономно, и можно ставить вопрос о величине его объёма, решаемый вычислением тройного интеграла по пространственным координатам. Казалось бы, сама природа предоставила нам материальную реализацию этой универсальной системы отсчёта: это открытый в астрономических наблюдениях однородный и изотропный космический микроволновой фон.

Парадокс бесконечности. Тем не менее космология Фридмана не даёт однозначного ответа на вопрос о конечности или бесконечности пространства: она допускает как замкнутые модели (при $k = +1$, где k – параметр пространственной кривизны), так и открытые (при $k = 0$ и $k = -1$). Причём конечность и бесконечность пространства рассматриваются как взаимоисключающие возможности. Вопрос о конечности и бесконечности фридмановской Вселенной решается в зависимости от того, превышает или нет средняя плотность материи критическое значение, отвечающее пространственно-плоской Вселенной. В свою очередь, вопрос о средней плотности существенно осложняется ещё не разрешённым вопросом о присутствии в космическом фоне различных форм *скрытой* массы. Разрешение вопроса об общей средней плотности материи во Вселенной позволит выбрать из фридмановских моделей одну определённую, и это, на первый взгляд, позволит узнать, конечна или бесконечна Вселенная.

А.Л. Зельманов заметил, что у этого вопроса есть и другая сторона, не связанная с присутствием материи во Вселенной, но связанная с определением пространства независимо от материи. Система отсчёта в ОТО может быть произвольной, в том числе и никак не связанной с присутствием во Вселенной вещества. Между тем в космологии Фридмана вопрос о конечности и бесконечности пространства решался только по отношению к одной, физически преимущественной системе отсчёта – сопутствующей веществу. Вследствие этого никак не затрагивался вопрос о возможной зависимости конечности или бесконечности пространства от движения системы отсчёта. Между тем в теории относительности инвариантны, то есть независимы от выбора движения системы отсчёта, лишь свойства 4-мерного мира, но не его расщепление на пространство и время. «В таком случае, – спрашивает А.Л. Зельманов, – не может ли зависимость свойств рассматриваемых порознь пространства и времени от движения системы отсчёта простирается так далеко, чтобы затрагивать конечность или бесконечность пространства?» [21. С. 314].

Чтобы получить ответ, надо было рассмотреть вопрос в чистом виде, то есть отрешиться от привилегированных систем отсчёта – избавиться от сопутствия их материи. ОТО допускает такие модели (называемые пустыми), ибо в ней искривленное пространство-время может существовать автономно, без порождающей кривизну материи. Для таких моделей А.Л. Зельманов и получил свой замечательный и парадоксальный результат [22]: бесконечное пространство одной системы отсчёта может оказаться конечным с точки зрения другой системы отсчёта, движущейся относительно неё.

Зависимость рассматриваемых по отдельности пространства и времени от движения системы отсчёта естественным образом порождает и другой вопрос: не простирается ли она столь далеко, чтобы затрагивать конечность и бесконечность времени? И в этом случае вопрос также имеет смысл лишь там, где само понятие времени имеет смысл. Так как Вселенная как целое не могла возникнуть во времени (геометрическом), вопрос можно ставить лишь для отдельных её объектов (подсистем). Для отдельного объекта всегда можно ввести преимущественную, сопутствующую ему систему отсчёта, геометрическое время которой называется собственным временем объекта.

Тут оказалось, что существуют (в геометрическом времени) объекты, для которых время протекания одного и того же процесса в одной системе отсчёта конечно, а в другой – бесконечно. Объект такого рода был теоретически предсказан в работе Оппенгеймера и Снайдера ещё в 1939 г. [23]. Это сфера из идеальной жидкости, неограниченно сжимающаяся (коллапсирующая) под действием собственных гравитационных сил. Неограниченное сжатие приводит к тому, что эта сфера за конечный промежуток собственного времени достигает размеров собственного гравитационного радиуса (r_g) и, переходя далее внутрь сферы этого радиуса («сингулярной сферы Шварцшильда»), сжимается до точечного состояния. Вместе с тем в статической системе отсчёта внешнего наблюдателя одно лишь время приближения этой

сферы к гравитационному радиусу бесконечно. Таким образом, в бесконечное время статической системы отсчёта укладывается лишь часть процесса сжатия сферы. Моменту достижения радиуса $r = r_g$ отвечает время $t = \infty$ внешнего наблюдателя. Никаких логических противоречий в этом нет: это – относительность хода геометрического времени в своём крайнем выражении.

Идея относительности бесконечности рассматриваемых порознь пространства и времени закономерно пришла на смену антиномии Канта, когда методология физики в XX в. решительно отказалась от позитивистского знания и перешла на почву онтологии (метафизики). В отличие от антиномии Канта, отнесённость бесконечности к наблюдателю не означает противоречия для разума в области чисто метафизического мышления. Разум не приходит к противоречию с самим собой, если мир понимать не опытно, а онтологически, или, как теперь можно говорить, метафизически.

В какой парадигме следует искать образ мира? Результат Зельманова означает катастрофическую зависимость конечности или бесконечности Вселенной от собственного движения наблюдателя. Это оставляет неясным вопрос: по каким же часам мы определяем время существования Вселенной? Ведь само это космологическое «время» теперь становилось неопределённым. Какого «наблюдателя» следовало выбрать для определения времени жизни Вселенной? Остаётся ответить: такого выделенного наблюдателя нет, его не допускает ОТО. В ОТО все наблюдатели равноправны, потому что равноправны все системы отсчёта. Сопутствующая веществу система отсчёта не является более выделенной, для произвольного же наблюдателя линии времени могут и не быть всюду ортогональными пространственным сечениям. Следовательно, не существует единого мирового времени – не существует часов, по которым можно измерить время существования Вселенной.

Формализм Зельманова наглядно показал, что отделить время от пространства (рассмотреть их «порознь») в ОТО не удаётся без признания факта зависимости времени жизни Вселенной от наблюдателя. Представляется, что решить вопрос о времени жизни Вселенной можно, только выйдя за рамки ОТО, в которой время и пространство никогда не существуют порознь, но всегда соединены в единое пространство – время V^4 . Это V^4 в ОТО рассматривается догматически: как некоторая изначально заданная нам статическая «арена», на которой осуществляются взаимодействия. Задание такой арены означает принятие «геометрической парадигмы» нашего сознания. Многие физики чувствовали свою жёсткую связанность с геометрической парадигмой и задавались вопросом: должны ли мы ограничивать теорию, заставляя её действовать в уже существующих рамках пространства-времени? Нельзя ли научиться определять пространство и время порознь и независимо друг от друга, а для этой цели вывести их из более общей концепции, выходящей за рамки геометрической парадигмы?

Возможным ответом на вопрос является развиваемая Ю.С. Владимировым и его учениками (см., например, [1]) реляционная парадигма, заменяю-

шая метафизику субстанций на метафизику отношений. В ней физическая причинность теории Эйнштейна уступила место обобщённому принципу Маха – принципу зависимости любых состояний в мире от состояния всей Вселенной. Характер такой «бинарной системы комплексных отношений» (БСКО) – надвременной и надпространственной, что даёт надежду вывести порознь и время, и пространство. Из чего?

Согласно этой концепции, БСКО ранга (3,3) позволяет построить *предгеометрию* как прообраз геометрических пространств ОТО. Предгеометрия строится статистическим методом, так что пространство возникает как результат статистического наложения многих микрособытий.

С другой стороны, прообразом классического времени являются отношения между двумя множествами микрособытий, благодаря чему время предстаёт как процесс рождения и развития мира (в отличие от классических представлений, в которых пространство-время рассматривается по существу не в развитии, а в статике). Пространство и время определяются порознь, и это даёт надежду на восстановление образа мира.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Владимиров Ю.С.* Физика дальнего действия (природа пространства – времени). – М.: URSS, 2012.
2. *Платон.* Тимей // Соч.: в 3 т. – Т. 3 (1). – М.: Мысль, 1971.
3. *Кант И.* Мысли об истинной оценке живых сил // Соч.: в 6 т. – Т. 1. – М.: Мысль, 1963.
4. *Флоренский П.А.* Значение пространственности // Флоренский П.А. История и философия искусства. – М.: Мысль, 2000.
5. *Кант И.* Критика чистого разума // Соч.: в 6 т. – Т. 3. – М.: Мысль, 1964.
6. *Соловьёв В.С.* Кант // Философский словарь Вл. Соловьёва. – Ростов-на-Дону: Феникс, 1997.
7. *Асмус В.Ф.* Проблема интуиции в философии и математике. – М.: URSS, 2004.
8. *Грязнов А.Ю.* Абсолютное пространство как идея чистого разума // Вопросы философии. – 2004. – № 2.
9. *Соловьёв В.С.* Критика отвлечённых начал // Соч.: в 10 т. – Т. 2. – СПб, 1911.
10. *Захаров В.Д.* Физика как философия природы. – М.: URSS, 2010.
11. *Лосев А.Ф.* Диалектические основы математики // Лосев А.Ф. Хаос и структура. – М.: Мысль, 1997.
12. *Кант И.* Метафизические начала естествознания // Соч.: в 6 т. – Т. 6. – М.: Мысль, 1997.
13. *Пуанкаре А.* Наука и гипотеза // Пуанкаре А. О науке. – М.: Наука, 1983.
14. *Топоров В.М.* Об индивидуальных образах пространства // Миф. Ритуал. Символ. Образ. – М.: Прогресс – Культура, 1995.
15. *Клайн М.* Математика. Утрата определённости. – М.: Мир, 1984.
16. *Рашиевский П.К.* Вступительная статья // Гильберт Д. Основания геометрии. – М.-Л.: Гостехиздат, 1948.
17. *Зандкюллер Х.Й.* Репрезентация, или Как реальность может быть понята философски // Вопросы философии. – 2002. – № 9.
18. *Баксанский О.Е., Кучер Е.Н.* Современный когнитивный подход к категории «образ мира» (методологический аспект) // Вопросы философии. – 2002. – № 8.

19. *Гёфдинг Г.* Философия религии. – СПб.: Общественная Польза, 1912; 2-е изд. – М.: Изд. ЛКИ/URSS, 2007.
20. *Грин Б.* Ткань Космоса. Пространство, время и текстура реальности. – М.: URSS, 2009.
21. *Зельманов А.Л.* Многообразие материального мира и проблема бесконечности Вселенной // Бесконечность и Вселенная. – М., 1969.
22. *Зельманов А.Л.* К постановке вопроса о бесконечности пространства в общей теории относительности // Докл. АН СССР. – 1959. – Т. 124. – № 5.
23. *Oppenheimer J., Snyder H.* Phys. Rev. – V. 56. – 1939.

THE IDEA OF SPACE AND THE IMAGE OF THE WORLD

V.D. Zakharov

This article shows that, within the framework of the general relativity theory, it is impossible unambiguously to formulate a cosmological model that would be in line with the Kantian image of the world in an arbitrary frame of reference. The reason behind this is the Zelmanov paradox about the relativity of the infinity of the Universe.

Key words: Universe, image of the world, Kantian synthesis, Zelmanov paradox, space, infinity, frame of reference, metaphysics.

АНАЛИЗ ИНТЕРПРЕТАЦИЙ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА И ОТКАЗ ОТ НАИВНОГО РЕАЛИЗМА

А.А. Гриб

Российский государственный университет имени А.И. Герцена

Обсуждены основные интерпретации квантовой механики: неоклассическая, статистическая, многомировая, копенгагенская и некоторые другие. Указаны их недостатки. Произведен анализ квантовой реальности и проблемы измеримости в квантовой теории.

Ключевые слова: интерпретации квантовой механики, квантовая реальность, декогеренция, операторы, наблюдаемые, психофизическая проблема.

Введение

Квантовая физика и открытия, с ней связанные, в XXI в. прочно входят в быт человечества. Дары нового мира, микромира – от атомных электростанций и атомной бомбы до лазера, сверхпроводимости и сверхтекучести – намного превосходят дары Нового Света, привезенные Колумбом в Европу в конце XV в.

В то же время подобно тому, как Колумб считал, что он открыл Индию, а не Новый Свет, подобное же впечатление возникает при чтении учебников (особенно отечественных) как по общей физике, так и зачастую по квантовой физике, когда речь идет об интерпретации реальности, описываемой квантовой теорией. Авторы этих учебников используют классические представления, взятые из механики Ньютона или электродинамики Максвелла, для «объяснения» квантовых явлений, не понимая, что эти представления противоречат математике квантовой физики, расчеты по которой столь блестяще подтверждаются наблюдениями. Все это было простительно в 20–30-х и даже 50-х гг. XX в., когда создатели новой науки Н. Бор, В. Гейзенберг, А. Эйнштейн, В.А. Фок и др. не имели ничего другого кроме классической физики для ее осмысления.

Однако сегодня математический аппарат квантовой физики и аксиоматика этой науки настолько развиты, что необходимость в ложных классических опорах отпала.

То, что открыто, – не «Индия», а «Новый Свет» со своими особенностями, отсутствующими в «Индии» (классической физике).

Так, например, в ряде учебников для «объяснения» соотношений неопределенностей Гейзенберга используется так называемый «гейзенберговский микроскоп» [1], использовавшийся В. Гейзенбергом на заре квантовой теории.

Квантовый объект понимается как обычная частица, характеризующаяся положением и импульсом, но обращается внимание на то, что при определении ее координаты мы должны ее освещать светом, передающим ей импульс (то есть толкающим ее). Чем меньше длина волны света, тем точнее измерение координаты, но зато тем больше частота света, а значит, тем больше изменение импульса, вносимое измерением. Так, авторы [2] (см. нашу критику в [3]), в отличие от самого Гейзенберга, отказавшегося при толковании соотношений Гейзенберга от классического их толкования, наивно полагают, что координата и импульс одновременно существуют у квантового объекта, и лишь наше измерение вносит соответствующее изменение, мешающее измерить их точно.

Но тогда А. Эйнштейн в своей знаменитой статье с Подольским и Розеном [4] совершенно справедливо заметил, что квантовая механика с ее утверждением о несуществовании волновой функции, собственной для коммутирующих операторов координаты и импульса, а значит, и несуществовании одновременно координаты и импульса – неполна и ее надо расширить. Таким расширением явилась теория скрытых параметров, предлагающая другой математический аппарат, чем обычная квантовая физика, теория де Бройля – Бома [5]. У частиц есть одновременно координата, импульс и траектория, но эта траектория скрыта от наблюдателя.

Недостатками этой теории, делающей ее неконкурентоспособной со стандартной квантовой физикой, являются следующие:

1. Невозможность релятивистского описания бозе-частиц [6].
2. Нарушение лоренц-инвариантности – существование сверхсветовых сигналов.

Другим вариантом теории скрытых параметров явилась восходящая к Эйнштейну теория статистических ансамблей Блохинцева – Баллентайна [7]. Согласно этой теории волновая функция характеризует не состояние одного квантового объекта, а ансамбль измерений над множеством одинаковых частиц при одинаковых условиях приготовления и измерения. При этом обращается внимание на то, что согласно статистической интерпретации волновой функции волновая функция позволяет предсказать частоты тех или иных событий, но для наблюдения частот необходимо иметь много частиц и много (бесконечно много) испытаний с ними в одинаковых условиях (статистическая интерпретация вероятности Мизеса).

Возражениями против этой интерпретации являются:

1. Существование неразрушающих измерений, когда после однократного измерения частица подвергается последующему измерению, затем через некоторое время еще одному и т.д. Сегодня в отличие от первой половины прошлого века такие измерения проводятся и они находятся в прекрасном соответствии со стандартной теорией, согласно которой состояние одной частицы (а не ансамбля) описывается волновой функцией, получившейся в результате редукции волнового пакета при предыдущем измерении.

2. Для объяснения нарушений неравенств Белла статистическая интерпретация требует введения отрицательных значений вероятности, что вряд ли допустимо [8].

Существуют другие интерпретации, отличающиеся от стандартной копенгагенской, сохраняющие значительную часть математического аппарата, хотя тоже ведущие к отличиям от стандартной теории.

Это многомировая интерпретация Эверетта [9] и многоисторическая интерпретация Гелл – Манна, Хартля [10].

Возражениями против многомировой интерпретации являются:

1. При одинаковом существовании различных миров неестественно выглядит формула Борна, приводящая к разным частотам для разных миров.

2. Кроме расщепления миров в силу обратимости уравнения Шредингера должны быть процессы слияния миров, которые не наблюдаются.

Многоисторическая интерпретация [10], являющаяся попыткой аксиоматизации фейнмановской формулировки квантовой физики, вводит новое понятие вероятности истории для так называемых согласованных историй и является, пожалуй, более радикальным отказом от классических представлений, но она имеет свои, не до конца решенные проблемы. Это, во-первых, обоснование самого понятия вероятности истории и соответствия с вероятностью события. Во-вторых, некоторые отличия от предсказаний стандартной квантовой физики, отмеченные Доукером и Диоси [11; 12].

В-третьих, контринтуитивным свойством (хотя и приемлемым для некоторых политиков, но не физиков) в этой интерпретации является существование многих прошлых при одном настоящем.

Тем самым единственной теорией, полностью согласующейся с наблюдениями, является копенгагенская интерпретация квантовой теории.

Однако в этом случае возникает вопрос: Какую же реальность описывает эта интерпретация?

1. Квантовая реальность, когда на нее не смотрят

А. Чисто инструменталистский вариант этой интерпретации предполагает, что единственной реальностью являются наши эксперименты, результаты которых предсказываются квантовой теорией, которую нужно принять как метод расчета, не задаваясь вопросом о том, какова реальность, которая описывается этой теорией вне наших измерений?

В. Существует особая реальность, не похожая на ту, которая нас окружает и доступна для наших органов чувств, квантовая реальность, свойства которой отличаются гораздо больше от привычных нам физическим свойствам, чем поверхность Луны от поверхности Земли. Эта реальность недоступна нашим органам чувств – зрению, слуху, осязанию, но доступна нашему математическому уму, играющему роль некоторого «математического зрения».

Осязаемый нами классический мир вторичен по отношению к квантовому в том смысле, что квантовая физика переходит в классическую, в некотором приближении, когда можно считать постоянную Планка нулем. Квантовая физика, наоборот, из классической не получается.

Все это созвучно философии Платона, суть которой прекрасно изложил Владимир Соловьев в стихах:

Милый друг! Иль ты не видишь,
Что все видимое нами – только отблеск,
Только тени от незримого очами.
Милый друг! Иль ты не слышишь,
Что житейский шум трескучий
Только отклик отдаленный
Торжествующих созвучий!

Итак, истинная реальность – это не та, которую мы воспринимаем с помощью наших органов чувств, а иная.

Подобное утверждение означает отказ от наивного реализма, отождествляющего истинную реальность с непосредственно воспринимаемой нами с помощью органов чувств (данной нам в ощущениях).

Так какова же эта квантовая реальность?

1. Свойства квантовых объектов, существующих вне наблюдения, описываются не числами (не только числами), но операторами, более точно самосопряженными операторами, собственные числа которых вещественны.

Тем самым мы отказываемся от утверждения, приписываемого Пифагору о том, что мир может быть понят на языке чисел. Мир классической физики действительно можно понять на языке чисел, но квантовый мир не таков.

Два оператора A и B не коммутируют, если $AB - BA$ не равно нулю, и коммутируют, если эта разность нуль.

Некоторые из этих свойств имеют аналоги в классическом мире, некоторые – нет.

Квантовый объект есть совокупность его наблюдаемых свойств, описываемых операторами.

В отличие от числа оператор описывает некоторое действие. Легко заметить, что вполне обыденные действия обладают свойством некоммутативности и зависят от порядка действий. Например, разный результат полу-

чится, если сначала я одену рубашку, а потом пиджак или, наоборот, сначала пиджак, а потом рубашку.

Так каковы же эти действия (акты), определяющие квантовый объект?

В физике элементарных частиц частица определяется как неприводимое унитарное представление группы Пуанкаре – группы движений пустого пространства – времени Минковского. Эти операции суть – перемещения по трем осям в пространстве, перемещение во времени, три поворота в трехмерном пространстве и три лоренцевых поворота в трех плоскостях, образованных временем и каждой из пространственных осей.

Перемещение во времени в представлении группы Пуанкаре описывается с помощью оператора энергии (гамильтониана), перемещение в пространстве оператором импульса, вращение – оператором момента количества движения.

Разные представления с разным видом этих операторов различают частицы по массе и спину (согласно классификации Вигнера [13–15]).

Но в пространстве-времени можно еще делать некоторые операции. Например, можно заменить левое на правое, и этой операции соответствует новое свойство, отсутствующее в классическом мире, – четность. Пи мезон обладает отрицательной четностью, бозон Хиггса – положительной.

Операторы, генерирующие преобразования пространства-времени, не коммутируют друг с другом. В частности, некоммутативность операций сдвига в пространстве и лоренцева вращения, как справедливо заметил Оге Бор в [13], ведет в нерелятивистском приближении к некоммутативности операторов импульса и координаты (сдвига в пространстве импульсов как перехода к другой инерциальной системе координат), что ведет к соотношениям неопределенностей Гейзенберга и квантовой механике.

Кстати, в ньютоновском пространстве это не так!

Следовательно, квантовая механика есть следствие специальной теории относительности. Это имеет отражение в том, что если в фейнмановском интеграле перейти к «евклидову» времени, то мы получаем классический случайный процесс – неквантовый.

Квантовые частицы, по словам Оге Бора, – это симметрии пустого пространства-времени. Более точно надо сказать – совокупность преобразований симметрии пустого пространства-времени [14]. Здесь мы близки к идее Эйнштейна, что все то, что мы называем полями или частицами, – это свойства пространства-времени. Но при таком понимании, почему мы вообще употребляем слово «частицы»?

Если элементарная частица – это совокупность актов, то при этом не предполагается никакой субстанциальности, никакого носителя или производителя этих актов. Подобно философии экзистенциализма акт первичен, факт вторичен. Название «частица» – чисто историческое. Существует особая область квазиклассической квантовой физики, когда можно пренебречь постоянной Планка и исчезает некоммутативность, а значит, вместо операторов можно пользоваться числами. Появляется понятие траектории пред-

положительно точечного объекта с одновременно существующими численными значениями координаты и импульса, а также массы и заряда, что и есть классическая частица. Электроны в токе, вырабатываемом на электростанции, попадающие по проводам в нашу комнату, описываются квазиклассически, хотя с кварками ситуация иная, так как они не наблюдаются как свободные «частицы», движущиеся по классическим траекториям.

Итак, при приближенном, грубом рассмотрении, подобно индийской майе как великой иллюзии, появляется классический мир частиц не как актов, но как субстанций. В связи с этой ситуацией уместно обратить внимание на упоминаемое Ф. Зелинским и Я.Э. Голосовкером [16] различие между античными религиями греков и римлян. Греки были субстанциалистами и передали эту традицию современной физике (например, в теории струн). Это выражалось не только в их поисках фундаментальной субстанции, но и в их представлениях о богах как имеющих отношение к истинной реальности. Например, богиню Афродиту или Аполлона можно было встретить в телесном виде на дороге, представлять в виде статуй и т.п.

Но богиню Венеру или Марса на дороге встретить нельзя. Боги – это название актов. Акт войны выражался в боге Марсе, и потому перед отправлением на войну римлянину надо было совершить акт жертвоприношения богу Марсу для победы в войне. Точка зрения на богов как на выражение фундаментальных актов подробно изложена в работе Я.Э. Голосовкера [16]. Так что элементарные частицы похожи на римских богов, хотя, конечно, это не больше, чем аналогия. Набор актов одинаков для разных элементарных частиц, но представлены они по-разному. Кроме перечисленных свойств квантовые объекты характеризуются различными зарядами – электрическим, барионным, лептонным, странностью, очарованием, красотой, высотой. Их существование связано уже не с пространством-временем Минковского, но с калибровочным преобразованием в расслоенном пространстве. Оператор заряда тоже связан с некоторым действием движения, но в некотором другом внутреннем или калибровочном измерении.

2. Что такое квантовая реальность, когда мы на нее смотрим?

Человек – существо макроскопическое, возникшее в результате биологической эволюции в макроскопическом мире планеты Земля. Роль квантовых процессов, за исключением мутаций в молекулярной биологии, не очень ясна. Органы чувств также макроскопичны и приспособлены для восприятия мира, описываемого классической физикой. Квантовая реальность воспринимается с помощью классических приборов, представляющих собой продолжение наших органов чувств. Наше сознание осознает данные органов чувств с помощью булевой логики, использующей понятия пространства, времени и причинности.

Тем самым с помощью классических приборов квантовая реальность, описываемая операторами, проецируется на классическую реальность, опи-

сываемую числами и законами классической физики. Как же это происходит?

Важную роль при этом играет понятие волновой функции. Постулатом квантовой физики является то, что состояние квантового объекта описывается волновой функцией, являющейся вектором, вообще говоря, в бесконечномерном гильбертовом пространстве. В сепарабельном бесконечномерном гильбертовом пространстве можно найти систему из бесконечного (но счетного) числа взаимно перпендикулярных (ортогональных в смысле скалярного произведения в этом пространстве) функций единичной «длины» (нормы функции). Эта система – базис в гильбертовом пространстве – играет роль системы координат в нем.

Операторы, описывающие свойства квантового объекта, являются самосопряженными операторами в этом пространстве. При их действии одна функция, принадлежащая пространству, преобразуется в другую. Важную роль играют собственные функции операторов. Оператор, действуя на такую функцию, умножает ее на число. Именно это число сопоставляется показанию прибора. Таких собственных чисел у оператора свойства, наблюдаемого с помощью прибора, много (вообще говоря, бесконечно много), и все они соответствуют разным показаниям прибора. Собственные функции оператора образуют базис-систему координат.

Итак, операторы становятся числами. Каждому оператору соответствует множество его собственных чисел. Что же такое волновая функция, как она определяется и каков ее смысл? Различают приготовление и измерение волновой функции. Экспериментатор включает некоторый прибор, например электронную пушку, из которой вылетают электроны с определенным импульсом. Если он считает, что этот импульс известен, то состояние электрона описывается волной Де Бройля с данным импульсом.

Другим приготовляющим экспериментом может быть эксперимент Штерна–Герлаха с ионами серебра, когда приготовлено состояние электрона с определенной проекцией спина. Волновая функция предполагает определенную информацию о приготовляющем опыте. Если над электроном с известной волновой функцией в опыте Штерна–Герлаха произвести измерение той же проекции спина, то с вероятностью единица получится тот же результат. Тем самым, относительно того же измерения, что было при приготовлении, мы имеем тот же результат и никакой случайности нет.

Далее волновая функция, известная, если известна процедура приготовления, при отсутствии измерений меняется во времени согласно уравнению Шредингера:

$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = \hat{H} \Psi . \quad (1)$$

Если затем производится измерение некоторого свойства A , описываемого оператором A , то «относительно» этого измерения – системы координат в пространстве Гильберта, образованной базисом его собственных функций, волновая функция «превращается» в смесь множества волновых

функций – собственных функций оператора A с весами, определяемыми формулой Борна

$$w_n = |(u_n, \Psi)|^2, \quad (2)$$

где

$$\Psi = \sum_n c_n u_n, \quad (3)$$

$$\hat{A}u_n = \lambda_n u_n. \quad (4)$$

Если наблюдатель не «посмотрел» на показание прибора, то он далее описывает квантовый объект уже не волновой функцией, но смесью, которой сопоставляется матрица плотности.

Если же наблюдатель «посмотрел» на показание прибора, то он, интерпретируя веса в смеси как вероятности в классическом колмогоровском смысле, регистрирует какую-то одну собственную функцию, соответствующую показанию его прибора. Эта акция «регистрации», при которой потенциальная возможность, описываемая смесью, становится действительностью, аналогична тому, что происходит в любом классическом вероятностном процессе, когда возможное событие становится конкретным событием при его наблюдении.

Тем самым главной особенностью квантовой теории измерения является превращение чистого состояния в смесь при измерении. Это превращение не описывается уравнением Шредингера, является неунитарным и нелинейным и называется редукцией волнового пакета или проекционным постулатом фон Неймана.

Еще раз заметим, что если измеряющий прибор измеряет свойство, описываемое оператором, для которого волновая функция в момент измерения является собственной, то никакой редукции не происходит и результат предсказывается однозначно.

Волновая функция определяет «амплитуду вероятности» наблюдения того или иного свойства, сама же вероятность, определяемая кроме волновой функции фиксированной «системой координат в гильбертовом пространстве», определяется смесью.

Эта ситуация, на наш взгляд, очень удачно описывается термином, предложенным В.А. Фоком, «относительностью к средствам измерения» [16]. Используется аналогия с понятиями определенной длины и длительности в теории относительности. В отличие от ньютоновской физики длина тела не есть атрибут этого тела, не зависящий от измерения, но зависит от системы отсчета и в разных системах отсчета – разная.

Тем самым согласно Яуху [17] она характеризует «отношение» между разными телами, измеряемым и измеряющим, определяющим систему отсчета. Система отсчета в теории относительности – это набор линеек и часов. Разные инерциальные системы отсчета различаются своей скоростью.

Лоренцево сокращение длины не есть физическое сжатие за счет каких-то сил, но является «несиловым» и выражает указанную относительность.

В квантовой физике система отсчета есть система отсчета в гильбертовом пространстве и характеризует отношение прибора, задающего эту систему и соответствующий набор собственных чисел, к квантовому объекту, описываемому уже не числами, но операторами. Прибор является классическим в том смысле, что он описывается только коммутирующими операторами, имеющими общую систему собственных функций. Макроскопический прибор, подчиняющийся законам классической физики, удовлетворяет этим условиям.

Однако он может быть и немакроскопическим. Например, в опыте Штерна – Герлаха по измерению спина электрона прибором является ион серебра. Главное, что наблюдатель использует прибор для получения информации о квантовом объекте, используя лишь некоторые коммутирующие наблюдаемые прибора.

В отличие от теории относительности, где тела, образующие систему отсчета, и измеряемые тела – суть тела, принадлежащие одной классической реальности, описываемой классической ньютоновской или релятивистской физикой, в квантовой физике – это разные реальности: квантовая – характеризуется некоммутирующими операторами, приборы – только коммутирующими операторами и числами.

В чем причина появления амплитуды вероятности – волновой функции, а не обычной колмогоровской вероятности (вероятностной функции распределения типа распределения Гиббса и т.п.)?

Причина, как это впервые было понято Биркгофом и фон Нейманом [18] в иной природе случайности и в нарушении свойства дистрибутивности, если пространство событий не удовлетворяет аксиомам теории числовых множеств с обычными операциями объединения и пересечения.

Если случайными являются не числа, но операторы (или матрицы), то ввиду нарушения дистрибутивности такая случайность описывается уже не колмогоровской вероятностью, а амплитудой вероятности – волновой функцией.

Волновая функция встречается не обязательно при описании микромира, но и в макромире – в теории автоматов и в теории игр. Автором в его работах с Р.Р. Запатриным [19; 20] приведены такие примеры. Рассмотрим простейший из них. Алиса и Боб играют в игру. Имеется квадратной формы коробка, в один из углов которой Алиса прячет шарик. Задачей Боба является угадать, в какой угол она его спрятала? При этом правило игры таково, что если Боб говорит, что шарик в углу 1 и Алиса отвечает «да», это еще не значит, что он там был сначала. Алиса может быстро переложить шарик из одного угла в другой, двигая его по одной (но не по двум!) сторонам квадрата.

Поэтому ответ «да» возможен как в случае 1, так и в случае 2 и в случае 4, но не в случае 3!

То же относится к каждой вершине квадрата. Зная эти особенности поведения Алисы, Боб, предполагая, что шарик находится в 1, задает вопрос: «Шарик в 3?» и, услышав ожидаемое: «Нет», устанавливает истинное положение дел. Для Боба значимыми являются лишь отрицательные ответы.

Логика этой игры описывается следующей диаграммой Хассе, совпадающей с «квантовой логикой» частицы со спином одна вторая, у которой измеряются значения спина для двух некоммутирующих проекций, например проекций на оси X и Y (рис. 1).

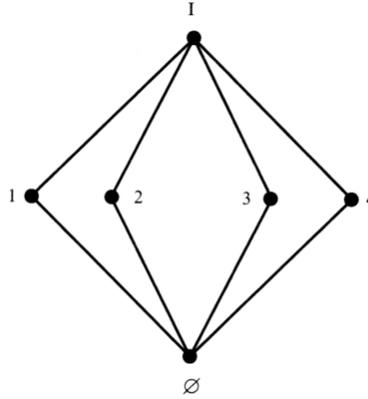


Рис. 1. Диаграмма Хассе

Точка \emptyset обозначает «всегда ложно», точка I обозначает «всегда истинно».

Точки 1, 2, 3, 4, называемые логическими атомами, означают:

$1 - S_x = 1/2, 3 - S_x = -1/2, 2 - S_y = 1/2, 4 - S_y = -1/2$. Линии, пересекающиеся внизу, обозначают конъюнкцию, наверху – дизъюнкцию. Линия, идущая вверх, означает «следует»

Здесь кружочки 1, 2, 3, 4 соответствуют углам квадрата. Логической конъюнкции «и» сопоставляются линии, идущие вниз из кружочков, дизъюнкции «или» сопоставляются линии, идущие вверх. В самом низу стоит всегда ложное свойство, обозначаемое нулем, в самом верху большая единица, что означает «всегда истинно».

Диаграмме Хассе сопоставляется математический объект, называемый «решетка». В данном случае – это ортомодулярная недистрибутивная решетка (точные математические определения см. в [21]).

Нарушение дистрибутивности связано с особой формой дизъюнкции и ее соотношения с конъюнкцией

$$1 \wedge 2 = 2 \wedge 3 = 3 \wedge 4 = 2 \wedge 4 = \emptyset, \quad (5)$$

$$1 \vee 2 = 2 \vee 3 = 3 \vee 4 = 1 \vee 4 = I. \quad (6)$$

Действительно

$$1 \wedge (2 \vee 3) = 1 \wedge I = 1 \neq (1 \wedge 2) \vee (1 \wedge 3) = \emptyset \vee \emptyset = \emptyset. \quad (7)$$

Недистрибутивность ведет к невозможности определения для этой игры колмогоровской вероятности. В самом деле, если мы думаем, что вероятность каждого события нахождения шарика в определенном углу есть одна

четвертая, то для вероятности двух несовместных событий 1 или 3 мы получаем не одну вторую, но единицу!

Случайность в данном случае описывается амплитудой вероятности или волновой функцией спина. Каждой вершине – кружочкам 1, 2, 3, 4 можно сопоставить операторы проекций спина. 1 – проекция на ось X , равна половине, 3 – проекция на ось X , равна минус половине, 2 – проекция на ось Y , равна половине, 4 – проекция на ось Y , равна минус половине.

Различные волновые функции определяют различные вероятности по формуле Борна для пар коммутирующих ортогональных операторов 1, 3 и 2, 4.

Итак, одна и та же картинка (диаграмма Хассе) описывает как макроскопическую игру, так и микроскопическую «частицу» со спином одна вторая. Более подробно с примерами макроскопических автоматов и макроскопических квантовых игр, описываемых тем же математическим аппаратом, что и квантовая физика спина, можно ознакомиться в нашей книге [21]. Развитие аксиоматики квантовой физики подтвердило интуицию фон Неймана, что причиной появления вместо вероятности «амплитуды вероятности» – волновой функции является недистрибутивность свойств квантовых объектов. Именно эта недистрибутивность ведет к операторам и гильбертову пространству. Недистрибутивные или небулевы решетки квантовых объектов называются «квантовыми логиками».

Другим примером недистрибутивных решеток являются решетки топологий, так что случайность топологии тоже не описывается обычной колмогоровской вероятностью [22].

Итак, волновая функция в квантовой физике – это не волна физической материи, но амплитуда вероятности. Поэтому, когда мы в некоторых учебниках встречаем фразу о том, что частица, не имеющая траектории, движется как волновой пакет, то это аналогично утверждению, что корабль, с некоторой вероятностью направляющийся в разные порты, превращается в эту вероятность...

Играет ли волновая функция роль записной книжки, что она описывает? Волновая функция описывает нашу информацию о квантовом объекте, позволяющую сделать предсказания о наблюдаемых свойствах квантового объекта на языке чисел. Она характеризует и наше знание, и сам объект. Ну, а как же корпускулярно-волновой дуализм? Известное явление дифракции и интерференции электронов указывает на волновые свойства электронов.

Рассмотрим известный двухщелевой эксперимент. Электроны, приготовленные в одном и том же состоянии с известной волновой функцией, проходят через экран с двумя щелями и затем регистрируются по осцилляциям на втором экране. Волновая функция может быть представлена как суперпозиция двух волновых функций, распространяющихся через первую и вторую щель. Опыт повторяется неограниченно большое число раз. Далее наблюдаются частоты попадания электронов в различные точки экрана 2. Знание волновой функции позволяет предсказать эти частоты. В отличие от

опыта, когда электроны заменены пулями и частоты распределяются напротив двух щелей, в опыте с электронами наблюдаются максимумы посередине между щелями, что аналогично световым волнам.

Корпускулярно-волновой дуализм надо объяснять на языке квантовой теории поля. Электрон не наблюдается как волна в двухщелевом эксперименте. Но волновая функция, как функция пространственных координат и времени, подчиняется волновому уравнению Шредингера, а в релятивистском случае уравнению Клейна–Фока или уравнению Дирака. Почему это так?

Дело в том, что квантовый объект имеет еще одну важную наблюдаемую кроме генераторов группы Пуанкаре – это локальное квантовое поле. Для электрона это электрон-позитронное поле, для фотона – электромагнитное поле, для нуклона – нуклон-антинуклонное поле и т.д. Это поле подчиняется волновому уравнению и в принципе может быть измерено (см., например, известные работы Бора и Розенфельда о возможности измерения квантованного электромагнитного поля).

Волновая функция отдельной частицы в фоковской конструкции квантования получается действием фоковского оператора рождения на особую волновую функцию, не зависящую от координат, – вакуумную функцию. Естественно, что волновая функция одной частицы удовлетворяет тем же волновым уравнениям, что и поле квантового объекта, проявлением которого является эта частица.

Операторы рождения и уничтожения, в зависимости от полной системы функций, могут рождать частицу либо с определенным импульсом, либо с определенным моментом количества движения, либо волновую функцию, зависящую от координаты.

Квантовый объект содержит, как мы сказали, локальное квантованное поле. Если это поле комплексное, то наблюдаемыми являются его вещественная и мнимая части и различные билинейные комбинации, имеющие смысл плотности заряда, плотности тока.

Оператор локального квантованного поля не коммутирует с оператором числа частиц.

Какую операцию делает оператор (вернее его положительно частотная часть)? Действуя на одночастичную волновую функцию, он порождает двухчастичную волновую функцию, действуя на двухчастичную – трехчастичную и т.д. Оге Бор видит в этом объяснение принципа тождественности частиц как выражение одинаковой операции, которая многократно применяется к волновой функции. В гейзенберговском представлении квантованное поле удовлетворяет волновому уравнению, поэтому и волновая функция, получающаяся действием оператора квантованного поля на вакуум, также удовлетворяет тому же уравнению. Именно это и есть корпускулярно-волновой дуализм. Математический конструкт – волновая функция как амплитуда вероятности, подчиняется тем же уравнениям, что и физическое поле, отражаясь от преград, проходя через щели и т.п.

Итак квантовый объект – это не только симметрия пустого пространства-времени, выражаемого в генераторах группы Пуанкаре, но еще и квантованное поле в этом пространстве-времени, что уже не имеет геометрического смысла. Частоты событий, предсказываемые на основе волновой функции, и их распределение непосредственно связаны с такой характеристикой электронно-позитронного поля, как плотность заряда, и не случайно, что, именно наблюдая частоты, мы обнаруживаем интерференционную картину, характерную для полей.

Что можно сказать о наблюдаемости самой волновой функции? Операция приготовления определяет волновую функцию как собственную функцию оператора, сопоставляемого прибору. Ну а если операция приготовления неизвестна, но известно, что каждый раз используется одна и та же операция, хотя и неизвестно какая? Как экспериментально восстановить волновую функцию? Эта задача называется задачей Паули. Квадрат модуля волновой функции, зависящей от координат, можно найти по распределению частот попадания частиц в те или иные точки, фазу, зависящую от координат, по измерению плотности тока вероятности с помощью опытов по рассеянию частицы на потенциале.

Возвращаясь к философским проблемам, остановимся на проблеме индетерминизма в квантовой физике. Знание волновой функции в случае измерения оператора, для которого эта волновая функция не является собственной, позволяет найти новую волновую функцию, собственную для оператора измеряемой величины, и ее собственное число как показание прибора, лишь с некоторой вероятностью. Если мы зададим вопрос: «Почему реализовалась именно эта собственная функция, а не другая?» – то ответа на этот вопрос не существует. Например, в случае измерения координаты квантового объекта при известной волновой функции не существует причины предпочтения именно этой наблюдаемой координаты перед любой другой, разрешенной данной волновой функцией.

Как сказал об этой ситуации фон Нейман: «Природа в своем поведении не всегда следует закону достаточного основания» [24]. Непредсказуемость отдельного события для квантового объекта называется индетерминизмом. Одним из примеров индетерминизма является распад атомных ядер. Пусть имеется пять атомных ядер радиоактивного изотопа с известной волновой функцией и известным временем полураспада. В течение этого времени три ядра распались, а два – нет. Физик XIX в. мог бы сказать, что есть какая-то «причина», по которой они распались, а другие нет. Квантовая же физика говорит, что причины предпочтения именно этих ядер, а не других – нет. Распад происходит «спонтанно».

Здесь важным словом является «предпочтение». Причиной попадания частицы на экран была волновая функция, приготовленная в прошлом. Частоты попадания частицы при многократном повторении опыта предсказываются точно, а вот отдельные события – нет. Советскими философами и некоторыми физиками-коллаборационистами поневоле был придуман новый

термин – расширенный (или более общий) детерминизм, предполагающий отказ от лапласовского детерминизма. Эта туманная фраза позволяла не употреблять неудобный для марксизма-ленинизма термин – индетерминизм.

Как мы уже пояснили выше, имеется детерминизм (причинность как лапласовский детерминизм) для частот и отсутствие причины (индетерминизм) для предпочтения одного индивидуального события перед другим. Именно в связи с индетерминизмом Эйнштейн не принимал квантовую физику, говоря, что «не верит в то, что Бог играет в кости», а Эддингтон и в какое-то время Дирак и Комптон стали говорить о «свободе воли электрона».

Действительно, отсутствие причины для предпочтения одного события перед другим очень похоже на свободу выбора, на которой основана вся юриспруденция, предполагающая, что человек может совершить или не совершить преступление. Тем не менее у нас нет оснований для того, чтобы говорить о «воле» электрона. Воля предполагает стремления и мотивы, и выбор между ними. Более того, ничем немотивированное поведение человека является скорее признаком патологии. Поэтому более соответствует ситуации квантового индетерминизма термин «объективная случайность». Это атомное ядро распадается раньше «того ядра» при одной и той же волновой функции «просто так»!

Объективная вероятность в квантовой физике отличается от вероятности в классической статистической физике, описываемой колмогоровской мерой. Вероятность в классической физике есть следствие нашего незнания, и в этом смысле является субъективной. Она совместна с всеобщей причинностью. В мире все имеет причину. Это наше незнание некоторых причин ведет к вероятностному предсказанию. Тем самым вероятность связана с нами как наблюдателями и не есть свойство природы. Здесь, однако, возникает следующий вопрос. Волновая функция, если не проводятся измерения, удовлетворяет детерминистскому уравнению Шредингера, и лишь при измерении наблюдателем происходит редукция волнового пакета, так что относительно наблюдателя возникает индетерминизм. Не может ли оказаться так, что вероятность и «свобода воли электрона» есть следствие свободы воли наблюдателя?

Для ответа на этот вопрос необходимо более подробно остановиться на роли наблюдателя в квантовой физике. Что стоит за разделением физического мира на квантовые объекты и приборы? Разве прибор не состоит из тех же атомов, молекул, описываемых квантовой теорией, а значит, уравнением Шредингера? Одним из ответов является, следуя фон Нейману [23], роль сознания наблюдателя, получающего информацию о квантовом объекте. Важную роль играет принцип перенесения границы прибор-объект, являющейся границей объект-субъект познания. Прибор можно рассматривать как квантовую систему, удовлетворяющую уравнению Шредингера, взаимодействующую с помощью определенного физического взаимодействия, описываемого «гамильтонианом измерения». Но далее необходимо ввести супер-

прибор, с помощью которого мы наблюдаем за составной системой. Этим суперприбором могут быть наши глаза. Однако глаза тоже состоят из атомов, поэтому границу можно перенести далее до сознания наблюдателя или «абстрактного я наблюдателя» как субъекта познания. Вот это «я» наблюдателя не описывается уравнением Шредингера и в конечном счете именно «я» ответствен за редукцию волнового пакета. Перенесение границы возможно и в обратную сторону.

В субъект познания, описываемый булевой логикой и следующей из нее классической физикой, можно включить сначала глаза, затем прибор со стрелками, производящий измерение в момент наблюдения, затем тот же прибор в любой более ранний момент, лишь бы информация о квантовом объекте, имея в виду только коммутирующие операторы, передавалась с помощью детерминистских законов классической механики, не знающих в силу детерминизма разницы между настоящим, прошлым и будущим.

Именно поэтому, из ограничения, согласно которому прибор – это квантовая система, у которой измеряются только некоторые коммутирующие операторы, наблюдаемые в конечном счете наблюдателем, возникает различие между объектами наблюдения и приборами. Является ли это «я» наблюдателя единственным, как, например, в философии Шопенгауера [24], где говорится, что понятие числа неприменимо к субъекту познания, по отношению к которому все внешнее есть объект или множество объектов, к которым принадлежат и люди вне «меня»? Конечно, это единственное Я не может отождествляться со мною как объектом, имеющим то или иное имя – Андрей, Мария и т.п.

Абсолютное Я одно для всех и аналогично индийскому понятию Атмана как божественного субъекта (см. по этому поводу рассуждения Шредингера в [25]), или можно говорить о различных «я», обладающих одним и тем же типом сознания?

Во втором случае возникает известный парадокс «вигнеровского друга». Если редукция волнового пакета производится сознанием, то почему различные сознания видят один и тот же результат? При ответе на этот вопрос обычно обращают внимание на то, что имеет значение время наблюдения и порядок во времени. Если «первый» наблюдатель произвел редукцию к некоторому собственному состоянию оператора, то второй, третий и т. д. наблюдатели, измеряющие ту же величину, обязательно (для измерений первого рода) увидят то же самое.

Некоторой аналогией этой «объективации» является одинаковость показаний измеренной длины в одинаковых инерциальных системах отсчета, движущихся с одной скоростью. Здесь, однако, мы можем вернуться к вопросу о том, не является ли «свобода воли» электрона нашей свободой воли как наблюдателей? Утверждение, что это наша свобода, по сути, предполагается в некоторых вариантах эвереттовской интерпретации [26].

Если все возможности в суперпозиции одинаково существуют, то различие между ними обусловлено выбором наблюдателя, «заинтересованно-

го» в одних мирах и «не заинтересованного» в других. Подобная точка зрения выражена также у М.Б. Менского в [27]. Однако эта «магическая» точка зрения влияния выбора сознания на электрон вряд ли согласуется с борновской формулой для вероятности, не имеющей никакого отношения к нашей заинтересованности, выражаемой какой бы то ни было платежной матрицей.

Поэтому разумнее говорить, что «объективная случайность» в поведении квантового объекта в присутствии наблюдателя и его прибора есть свойство самого этого превращения квантовой реальности «самой по себе» в «наблюдаемую» квантовую реальность и также не зависит от воли или желания наблюдателя, как и приобретение определенной длины объектом относительно фиксированной системы отсчета в теории относительности.

Волновая функция выражает «отношение» между прибором и объектом. Если берутся разные приборы, измеряющие разные некоммутирующие операторы, то это аналогично разным инерциальным системам в теории относительности и здесь роль выбора наблюдателя очевидна. Однако выбор из смеси состояний одного регистрируемого состояния определяется объективным отношением – новой волновой функцией, не зависящей от воли наблюдателя, возникающей «просто так».

В семидесятые и восьмидесятые годы прошлого века в СССР и США ставились опыты по проверке возможного влияния наблюдателя – сенситива на распады радиоактивных элементов. Автор был свидетелем одного из таких опытов. Однако никакого убедительного результата не было обнаружено.

Итак, случайность возникает в присутствии прибора и наблюдателя и является способом «превращения» оператора – акта в собственное число – факт наблюдения. Но может быть, все-таки эта случайность обусловлена каким-то «незнанием» наблюдателя, как и в классической физике?

Мы уже приводили пример макроскопической ситуации – игры Алисы и Боба, в которой случайность тоже описывается волновой функцией. Однако если бы Боб имел информацию (подглядывал?) о движениях Алисы, то случайность бы исчезла. В частности, решетка, описываемая нашей диаграммой Хассе, может быть вложена в дистрибутивную булеву решетку, если добавить еще одну строку впереди «всегда истинно», содержащую элементы, описывающие дизъюнкции для пар из логических атомов 1, 2, 3, 4.

Итак, возможность наблюдения обычных дизъюнкций для пар, отличающихся от «всегда истинно», превращает решетку в булеву, для которой справедливы колмогоровские аксиомы вероятности. Является ли это решением нашей проблемы отличия волновой функции от колмогоровской вероятности в квантовой физике? Нет, не является! Дело в том, что в связи с теоремой Глисона и примера Кошена–Шпекера [21; 34] можно привести примеры квантовых объектов и недистрибутивных решеток, их описывающих, не вкладываемых, в отличие от простейшей решетки, рассмотренной нами, в какую-либо дистрибутивную решетку. Таким примером является система со спином единица, у которой измеряются проекции спина на 33 направления

(11 взаимно перпендикулярных троек). Для такой системы невозможно существование «функции истинности» для атомов ее решетки. Например, если мы припишем значение 1 какому-то одному направлению и нули двум ортогональным к нему, то окажется, что не существует непротиворечивой расстановки единиц и нулей для такой системы. Это означает, что при измерении какой-то из троек «возникает» функция истинности для этой тройки – булевой подрешетки небулевой общей решетки.

Итак, сегодня мы имеем некоторое развитие идеи фон Неймана о роли сознания в квантовой физике. Логика человеческого сознания, будучи булевой и моделируемой дистрибутивной решеткой, не изоморфна недистрибутивной небулевой логике квантового мира. Поэтому при попытке «понять» квантовый мир сознание вынуждено выделить из него булеву подструктуру, определить на ней функцию истинности и колмогоровскую вероятность. Важную роль при таком отображении играет время, позволяющее в разные моменты отображать разные булевы подструктуры общей небулевой решетки. Это есть отражение того факта, что некоммутирующие операторы и свойства, им соответствующие, можно измерять в разные, но не один, моменты времени.

Можно сказать, что наблюдатель как бы специально придумывает время и движение в нем, для того чтобы получать информацию о небулевом мире (см. [28]). Другим аспектом этой ситуации является популярная сегодня q -интерпретация, в которой придается значение различию между классической информацией нашего сознания, записываемой в терминах битов (истинно – ложно), и квантовой информацией, записываемой в кубитах – суперпозициях истинного и ложного. Вводя параметр времени, наблюдатель как бы копирует недистрибутивную решетку, так что появляется много квантовых объектов, у которых можно измерять характеристики, описываемые некоммутирующими операторами (некоммутирующими для одного объекта, но коммутирующими для разных при введении правила суперотбора по времени в гильбертовом пространстве).

Для квантовых полей такую же роль играет пространство, когда какие-либо некоммутирующие операторы, например локальное поле и сопряженный импульс, коммутируют для пространственно подобных интервалов в пространстве-времени.

Можно ли сказать, что квантовые объекты, если их не наблюдают, существуют в пространстве-времени? Ответ скорее обратный. Пространство-время существует потому, что квантовый объект – это совокупность свойств-актов, операторы которых являются генераторами представления группы Пуанкаре. Квантовый объект характеризуется оператором координаты, но не координатой как точкой в пространстве-времени! Иногда это обстоятельство выражают словами о том, что существует «объективная неопределенность» координаты, переходящая в определенность при измерении, когда «возникает» точка или интервал в пространстве Минковского.

Так что пространство-время с его событиями и мировыми линиями возникает при измерении при наблюдении квантового мира наблюдателем с булевой логикой. Все это очень важно при попытках квантования гравитации в общей теории относительности и здесь наши симпатии на стороне направления, которое называется квантовой геометрией, где геометрия вторична по отношению к некоторой алгебраической системе.

Несуществование свойств квантового объекта до измерения хорошо иллюстрируется простейшим вариантом неравенств Белла и их нарушением [21].

Предположим, следуя Эйнштейну, Подольскому, Розену [4], что некоторые свойства A , B , C квантового объекта со значениями $+1$ и -1 , описываемые в квантовой теории некоммутирующими операторами, «существуют» такими же, когда «на них не смотрят». Тогда рассмотрим ансамбль таких объектов и обозначим $N(ABC)$ – число объектов с предполагаемыми свойствами. Тогда из простых соотношений:

$$N(A^+B^-) = N(A^+B^-C^+) + N(A^+B^-C^-), \quad (8)$$

$$N(B^-C^+) = N(A^+B^-C^+) + N(A^-B^-C^+), \quad (9)$$

$$N(A^+C^-) = N(A^+B^+C^-) + N(A^+B^-C^-) \quad (10)$$

получаем

$$N(A^+B^-) \leq N(B^-C^+) + N(A^+C^-), \quad (11)$$

это и есть неравенство Белла.

Чтобы экспериментально проверить эти неравенства, надо, следуя ЭПР, рассмотреть пары частиц, например такие, что если у одной частицы значение A , B , C есть плюс один, то у другой оно равно минус один. Это важно потому, что может быть, несмотря на то, что свойства, описываемые числами, и существуют одновременно, мы не можем у одной частицы измерить дополнительные свойства из-за несуществования соответствующих приборов, вносящих (в духе гейзенберговского микроскопа) неустранимые возмущения. Однако для пары невзаимодействующих частиц можно у одной частицы измерять одну характеристику, а у другой – другую.

Эксперименты [29] обнаружили нарушение неравенств Белла, согласующееся с предсказанием квантовой теории, что означает, что свойства, описываемые числами, возникают при измерении!

Поэтому соотношения неопределенностей Гейзенберга, в отличие от «раннего» Гейзенберга, надо интерпретировать на языке дисперсий. Рассматривается ансамбль опытов, в которых квантовый объект приготавливается в состоянии с одной и той же волновой функцией. Для разных опытов, в которых производятся измерения координаты либо импульса, согласно борновской формуле, возникают определенные значения либо координаты, либо импульса, определяются дисперсии. Эти дисперсии удовлетворяют со-

отношениям неопределенностей Гейзенберга. Конечно, эта интерпретация сегодня является общепринятой.

Сделаем еще одно замечание о приборах как макроскопических системах. Имеется важное свойство декогеренции для квантовых систем, состоящих из большого числа частиц. У таких систем существуют коммутирующие операторы, называемые квазиклассическими. Поскольку операторы коммутируют, у них есть общий базис собственных функций. Макроскопическое тело как квантовый объект характеризуется волновыми функциями, которые плохо локализованы и пересекаются с волновыми функциями «окружения». В частности, можно говорить о перепутанных состояниях этой системы и окружения. Любопытно, что макрообъект, например стол и т.п., будучи изолированным как классический объект среди других классических объектов Вселенной, подчиняющихся классической физике, совсем не изолирован от других макроскопических квантовых объектов. Если, однако, произвести усреднение по окружению интересующего нас объекта, тем самым выделяя его как нечто отдельное, то, измеряя только коммутирующие квазиклассические операторы, обнаруживается, что интерференционные члены в этом базисе убывают по экспоненте, в показателе которой стоит число частиц окружения. Конечно, они не исчезают полностью, но для их наблюдения необходимо чрезвычайно малое время. Если принять постулат, что наблюдатель всегда измеряет квазиклассические наблюдаемые, то понятно, почему мы не наблюдаем квантовые интерференции макроскопических тел и пользуемся для их описания классической физикой.

Существует однако важная теорема Хеппа [30], говорящая о том, что для любой квантовой системы из сколь угодно большого, но конечного числа частиц всегда найдется оператор наблюдаемой, не коммутирующей с квазиклассическими операторами, так что измерение этой наблюдаемой покажет интерференцию.

Однако человеческий наблюдатель с его органами чувств не способен измерять такую наблюдаемую. Некоторые физики, в частности М.Б. Менский [27], высказывают интересную гипотезу о связи этого свойства, возможно, не только человека, но и всего живого с биологической эволюцией. Живое существо, не задающее (не наблюдающее) «опасных» вопросов природе – квантовому миру благодаря классической физике и классическому миру, возникающему при измерении только квазиклассических наблюдаемых, оказывается согласно детерминизму классической физики способным предсказывать будущее. Тем самым оно более приспособлено к окружению, чем существующее в квантовой непредсказуемости существо, измеряющее все операторы, характеризующие макротела. Биологическая эволюция тогда происходит не только за счет приспособления живого существа к окружению, но и окружения к живому существу.

Заканчивая обсуждение свойств квантового мира «для нас», приведем два примера «отрицательных «экспериментов», наглядно демонстрирующих редукцию волнового пакета и относительность к средствам наблюдения.

Опишем отрицательный эксперимент Реннингера [31]. Пусть имеются две концентрические сферы, одна в другой, с общим центром, внутренние поверхности которых покрыты сцинтиллирующим веществом, так что при попадании на них электрона возникает вспышка. В центре сфер находится источник бета-электронов с определенным импульсом.

Предположим, что во внутренней сфере имеется дыра. Далее наблюдается следующая картина. Бета-электрон вылетел из источника, но никакой вспышки на внутренней сфере нет, зато есть вспышка на внешней сфере. Значит, по мнению наблюдателя, электрон попал в дыру. Считая внутреннюю сферу прибором, мы скажем, что относительно этого прибора волновая функция электрона с определенным импульсом превратилась в смесь волновых функций, локализованных в дыре и на внутренней поверхности вне дыры. Но тогда соотношения неопределенности Гейзенберга, подскажут нам, что импульс частицы (волнового пакета), прошедшей через дыру, не равен исходному импульсу.

Итак, отсутствие наблюдения частицы как вспышки ведет к изменению ее импульса. Разумеется, если убрать внутреннюю сферу и зарегистрировать вспышку только на одной сфере без дыры, то несохранения импульса не будет. В этом опыте наглядно показано, что относительность к средствам измерения может проявлять себя без всякого физического взаимодействия с передачей энергии и импульса.

Другим примером является пример Элитзура, Вайдмана [32]. В метрополитене имеются два параллельных тоннеля, выходящих из одной станции и приходящих в одну конечную станцию. Полиция получила информацию о том, что на одной из промежуточных станций в одном из тоннелей террористы заложили бомбу. Бомба взрывается, если на нее попадет фотон. Можно ли узнать с помощью квантовой физики, действительно ли имеется бомба, не взрывая ее? Да, можно! Пусть тоннели подобраны так, что волновой пакет фотона при прохождении через них испытывает деструктивную интерференцию при наблюдении на конечной станции. Тогда наличие бомбы, согласно квантовой теории, ведет к возможности определения, по какому тоннелю идет фотон, а это ведет к отсутствию интерференции. Следовательно, наблюдение фотона на конечной станции без взрыва бомбы означает ее наличие!

3. Психофизическая проблема

Сознание, согласно предложенной картине, играет важную роль в превращении квантового мира «вне нас» в квантовый мир «для нас». Оно не просто фиксирует мир вне нас, как это происходит в классической физике, но и частично создает воспринимаемую им же реальность. Все это означает крушение наивного реализма – точки зрения, что мир, воспринимаемый нами, совпадает с миром без нас.

Но что такое сознание в этой картине? Прежде всего это реальность, обладающая по крайней мере двумя свойствами:

А) оно не описывается уравнением Шредингера и ответственно за редукцию волнового пакета;

Б) оно определяет функцию истинности для свойств квантового объекта как различие между истинным и ложным.

К этим свойствам мы можем добавить то, что эта реальность, будучи психической, не описывается физическими переменными, такими как энергия, импульс, температура и т.п., но описывается в своих психологических переменных, таких как понимание – непонимание, радость – боль и т.д.

Свойство *Б* и его роль в квантовой физике заставляет вспомнить об интересной беседе между Рабиндранатом Тагором и Эйнштейном [33].

Приведем некоторые выдержки из этого разговора о природе реальности:

«Эйнштейн: Если бы людей вдруг бы не стало, то Аполлон Бельведерский перестал бы быть прекрасным?»

Тагор: Да!

Эйнштейн: Я согласен с подобной концепцией прекрасного, но не могу согласиться с концепцией истины.

Тагор: Почему? Ведь истина познается человеком».

И далее читаем.

«Тагор: Природа той истины, о которой мы говорим, носит внешний характер, то есть она представляет собой то, что представляется истинным человеческому разуму, и потому эта истина – человеческая. Ее можно назвать Майей или иллюзией».

И далее:

«Эйнштейн: Зависит ли истина от нашего сознания? В этом состоит проблема».

Как мы уже говорили, сознание в квантовой теории определяет функцию истинности на булевой подрешетке небулевой квантовой логики, функцию, отличающую истинное от ложного, и это совпадает с тем, что говорит Эйнштейну Тагор. Однако, как мы говорили по поводу борновской формулы, определение того, что истинно, не зависит от нашей воли.

Мы осознаем истинным то, что не обязательно «хотим». Без наблюдателя функция истинности не определена, имеется «объективная неопределенность». Такова нетривиальность ситуации. Впрочем, здесь есть близость с красотой Аполлона Бельведерского.

Красота не существует без сознания, но то, что одна статуя красива, а другая нет определяется свойствами статуи...

Необходимость учета существования сознания в квантовой физике, отличающая ее от классической физики, позволяет думать, что квантовая физика может помочь решить психофизическую проблему.

Это проблема связи сознания и тела или психического и физического. Она имеет две стороны. Влияние физического на психическое довольно ус-

пешно изучается нейрофизиологией. Обратное же влияние психического на физическое остается полностью непонятым. Каким образом то, что описывается в чисто психологических терминах, например мое желание, приводит к физическим последствиям в моем теле, например движению руки? Как нематериальное сознание воздействует на физические процессы?

Прежде всего отметим, что квантовый мир «для нас» уже определен относительно сознания, а значит, такие объекты, как мозг, наше тело и т.д., существуют как классические макрообъекты только относительно нашего сознания.

Если нейрофизиологи склонны к мысли, что сознание есть функция мозга, то нельзя ли сказать, что в некотором смысле и наоборот, мозг – это функция сознания?

Похоже, что взаимоотношения между мозгом и сознанием отличны от взаимоотношений между зарядом и электромагнитным полем. Электромагнитное поле, будучи реальностью, отличной от заряда, может порождаться зарядом, но не наоборот. Свойства заряда не зависят от электромагнитного поля и не определяются им.

Отрицательный эксперимент Реннингера наводит на мысль, что если сознание непосредственно имеет информацию о мозге, с которым оно связано, то, задавая вопросы этому мозгу, ощущая это как акты внимания, оно может менять волновую функцию частиц мозга без физической передачи импульса от материальной частицы к сознанию, не описываемому импульсом. Для этого нужно, чтобы эти акты внимания соответствовали некоммутирующим операторам. Отсутствие физической природы сознания при наличии у него способности получать информацию прежде всего о состоянии собственного тела позволяет говорить о том, что к «прибору – сознанию» неприменимо понятие декогеренции.

Это значит, что сознание способно измерять некоммутирующие (дополнительные) операторы для макротел, каковыми являются нейроны, клетки нашего тела. Внешние же по отношению к телу объекты рассматриваются как сугубо классические объекты, определенные по отношению к измерению квазиклассических наблюдаемых.

Итак, шредингеровские коты существуют в нашем теле. Отметим, однако, что при внешнем наблюдении нейрохирургом мозга явление декогеренции не позволит ему обнаружить какие бы то ни было квантовые явления в мозге. Только для сознания, непосредственно связанного с мозгом (без опосредующих приборов) возможно квантовое управление. Эту ситуацию мы назвали в [15] квантовой конспирацией. Она является отражением известного факта, что нейрохирург со своим скальпелем никогда не обнаружит в вашем мозгу сознания и увидит лишь физические и химические процессы, описываемые классической физикой.

Вы же, наоборот, не видите никаких физических и химических процессов в вашем мозгу, но для вас очевидно существование сознания, так что вы вместе с Декартом можете сказать: «Я мыслю, значит, я существую».

По-видимому, в связи с квантовой конспирацией можно говорить не только о мозге, но и о теле как «моем» теле, воспринимаемом субъективно. Непосредственное осознание сознанием свойств тела, с которым оно связано, позволяет квантово управлять этим телом. Однако при наблюдении внешним наблюдателем это управление наблюдать невозможно в силу все той же декогеренции. Различие квантовой и классической реальности оказывается связанным с различием субъективной и объективной реальностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гейзенберг*. Принцип неопределенностей. Наука. Величайшие теории. Де Агостини. – М., 2015.
2. *Детлаф А.А., Яворский Б.М.* Курс физики. – М.: Академия, 2007.
3. *Гриб А.А., Петрова Д.В.* Об изложении принципов квантовой механики в курсе общей физики // Известия Высших Учебных Заведений. Физика. – 2010. – № 8. – С. 32.
4. *Einstein A., Podolski B., Rosen N.* Can quantum mechanical description of physical reality be considered complete? // *Phys. Rev.* 47. – 1935. – P. 777.
5. *Broglie L. de.* Non-Linear Wave Mechanics. A Causal Interpretation.
6. Elsevier Publ. – Amsterdam, 1960.
7. *Ballentine L.A.* The statistical interpretation of quantum mechanics // *Rev. Mod. Phys.* – 1970. – 42 (4). – P. 358.
8. *Gillespie D.* Untenability of simple ensemble interpretations of quantum measurement probabilities // *Am. J. Phys.* – 1986. – 54 (10), 889.
9. *Everett H.* (I I I) Relative state formulation of quantum mechanics // *Rev. Mod. Phys.* – 1957. – 29(3). – P. 454–462.
10. *Gell-Mann M., Hartle J.B.* Classical equations for quantum systems // *Phys. Rev. D.* –1993. – 47(8). – P. 3345–3382.
11. *Dowker F., Kent A.* Properties of consistent histories // *Phys Rev. Lett.* – 1995. – 75 (17). – 3038.
12. *Diosi L.* Models for universal reduction of macroscopic quantum fluctuations // *Phys. Rev. A.* – 1989. – 40 (3). – 1165.
13. *Bohr A., Ulfbeck O.* Primary manifestation of symmetry origin of quantal indeterminacy // *Rev. Mod. Phys.* – 1995. – 67(1). – P. 2–33.
14. *Гриб А.А.* К вопросу об интерпретации квантовой физики. // УФН. – 2013. –Т. 183. – № 12. – 1337.
15. *Новожилов Ю.В.* Элементарные частицы. – М.: Наука, 1974.
16. *Голосовкер Я.Э.* Логика античного мифа. – М., 1987.
17. *Фок В.А.* Квантовая физика и строение материи. – М.: Либроком, 2010.
18. *Birkhoff G., von Neumann J.* The logic of quantum mechanics // *Ann. Math.* – 1936. – 37. – P. 823–843.
19. *Grib A.A.* Quantum logical interpretation of quantum mechanics -the role of time // *Int. J. of Theor. Phys.* – 1993. – 32(12). – P. 2389–2400
20. *Grib A.A., Zapatrin R.R.* Quantum logical description of two particle systems // *Int. J. of Theor. Phys.* – 1991. – 30(7). – P. 949–959.
21. *Grib A.A., Rodrigues W.A. r.* Nonlocality in Quantum Physics // *Kluwer Acad. – Plenum, 1999.*
22. *Grib A.A., Zapatrin R.R.* Topology lattices as quantum logics // *Int. J. Theor Phys.* – 1992. – 31(7). – P. 1093–1101.
23. *Фон Нейман.* Математические основания квантовой механики. – М.: Наука, 1964.

24. Шопенгауер А. Мир как воля и представление. – М.: Просвещение, 1990.
25. Шредингер Э. Что такое жизнь с точки зрения физики? – М.: ИЛ., 1947.
26. Many worlds? Everett quantum theory and reality. – Oxford University Press, 2010.
27. Менский М.Б. Концепция сознания в контексте квантовой механики // УФН. – 2005. – 175. – С. 413–435.
28. Grib A.A. // Int. J. of Theor. Phys. – 1993. – 32 (12). – 2389.
29. Aspect A., Grangier P., Roger O. Experimental tests of realistic local theories via Bell theorem // Phys. Rev. Lett. – 1981. – 47(7). – P. 460–463.
30. Hepp K. Quantum theory of measurement and macroscopic observables // Helv. Phys. Acta. – 1972. – 45(2). – P. 237–248.
31. Renninger M. Messungen ohne störung des mes objects // Zeit. Phys. – 1960. – 158. – P. 414–421.
32. Elitzur A.C., Vaidman L. Quantum mechanical interaction -free measurements // Found. Phys. – 1993. – 23(7). – P. 987–997.
33. Эйнштейн А. Природа реальности. Беседа с Рабиндранатом Тагором // Собр. соч. – Т. 4. – М.: Наука, 1967. – С. 130.
34. Casinello A., Gallego A. The quantum mechanical picture of the world // Am. J. of Phys. – 2005. – 73(3). – P. 273–281.

QUANTUM PHYSICS AND THE ABANDONMENT OF NAIVE REALISM

A.A. Grib

Discussed are the main interpretations of quantum mechanics – its neoclassical, statistical and multiworld interpretations its Copenhagen interpretation, and some other interpretations. Their shortcomings are pointed out. An analysis is given of quantum reality and the problem of measurability in the quantum theory. The difference between the quantum reality as it is and the reality observed by human observers is interpreted as breaking of the naive realism.

Key words: hidden variable theory, statistical and multiworld interpretation, Copenhagen interpretation and some other theories.

ПРОЗРАЧНЫЕ ПАРУСА, ИЛИ ПОПЫТКА ПОНЯТЬ КВАНТОВУЮ МЕХАНИКУ

А.В. Коганов

*Научно-исследовательский институт системных исследований
Российской академии наук (НИИСИ РАН)*

В работе делается попытка семантически согласовать новые данные квантовой механики по запутанным частицам с принципом причинности современной физики. Математический аппарат такого согласования ранее был предложен автором в [1–3]. Основой устранения противоречий с теорией относительности стало понятие индивидуального состояния квантовой частицы, дополняющего ансамблевое состояние. Эта разработка потребовала обращения к самым основам квантовой механики на уровне математической модели. В данной статье рассматривается содержательная интерпретация такого расширения квантовой теории и его связь с другими разделами математики, моделирующими причинность во времени, теорией автоматов и алгоритмов.

Ключевые слова: Квантовая механика, теория относительности, принцип причинности, запутанные частицы.

В квантовой механике мы наблюдаем и моделируем очень сложное и быстрое движение частиц, но не видим и не понимаем причин этого движения. Так, наблюдая в море яхту с прозрачным парусом, мы только пытаемся угадать, что ее движет – мотор, или течение, или весла, и меньше всего шансов угадать, что там есть ветрило.

Введение

В XVII в. произошло событие, которое изменило само понятие науки. Благодаря фантастическому прорыву в области астрономии и кинематики, связанному с именами Коперника, Галилея, Декарта, Кеплера, Исаака Ньютона удалось описать все известные на то время физические явления единой системой постулатов и уравнений. Я хочу подчеркнуть именно это обстоятельство, а не сами законы Ньютона. Единая система небольшого числа постулатов оказалась достаточной, чтобы математически непротиворечиво описать огромный набор накопившихся научных наблюдений. Более того, из тех же постулатов следовали предсказания новых явлений и изобретений. С этого момента наука перестала быть складом фактов и гипотез, а превратилась в единую систему мышления в вопросах естествознания.

И хотя такое положение вещей продлилось недолго, само представление о том, какой должна быть точная и естественная наука, с тех пор не менялось. Менее чем через сто лет появились новые области физики, были открыты электричество, гидродинамика, термодинамика, развита оптика. Но идея описать мир единой системой постулатов не покидала и не покидает ученых. И что удивительно, этот умозрительный путь оказался очень плодотворным, хотя полного единства теории достичь не удалось. Более того, новые факты, которые требовали развития специальных разделов науки, появлялись все чаще. Но такое теоретическое «многобожие» уже рассматривалось как временное несовершенство, а не истина в последней инстанции.

По сути, получить единую теорию можно было бы, просто сложив в одну корзину законы всех частных областей науки. Но тут возникает принципиальный запрет: нельзя объединять в единую систему постулаты, если они вместе порождают логические и математические противоречия. К сожалению, именно так и обстоит сегодня дело с основами частных областей знания. Они плохо совместимы. Кроме противоречий есть и другие нежелательные эффекты, которые в математике называются переопределенностью. Это когда одно явление имеет несколько различных моделей, и нет доказательства их эквивалентности или совместимости. Например, так обстоит дело с кинетической моделью и моделью непрерывной среды в термодинамике.

В этом смысле до недавнего времени взаимоотношения теории относительности и квантовой механики были достаточно благополучны. Применяя биологическую терминологию, они относились к разным ареалам распространения, паслись на разных лужайках. Основным объектом квантовой механики – волновая функция – хотя и имел вполне макроскопические размеры в пространстве, но не переносил энергию. Поэтому к странностям распространения и преобразования волновой функции релятивизм относился снисходительно. Ей прощалось бесконечно быстрое распространение в пространстве, которое было вызвано использованием простейшего уравнения диффузии для описания массивных частиц. Прощался и бесконечно быстрый коллапс при измерении или взаимодействии частиц, который был вызван, среди прочего, полным отсутствием упоминания в теории того времени, которое требуется для измерения. С точки зрения теории относительности речь шла об объекте чисто информационном, не имеющем мировой линии в пространстве-времени. Что же касалось получения из волновой функции той информации, которую она несла, то появление частицы в зоне недопустимо далекой от источника с точки зрения предельной скорости света объяснялось заклинанием о том, что это шум и флуктуация. Иными словами, все противоречия теорий списывались на теоретически неустранимую погрешность квантового эксперимента. С другой стороны, квантовая теория не признавала объекты теории относительности зоной своей ответственности. Для этого использовались заклинания о том, что эти объекты макроскопические и детерминированные. Для убедительности было принято вычислять

длину волны какой-нибудь планеты. Она оказывалась меньше планковской длины, что выводило эту планету из квантовой теории. Автор приносит извинения за несколько иронический тон этого абзаца. В определенной мере это и самоирония. Дело в том, что дальнейшие события показали недопустимость такого заметания мусора под ковер. И об этом были предупреждения с первых лет существования обеих теорий.

Самым каверзным оказался вопрос о том, в каком смысле сохраняются энергия, импульс и момент вращения в квантовой механике. Сразу определялись две точки зрения. По одной версии они строго стационарны во всех взаимодействиях и движениях квантовых частиц. По другой версии эти величины сохраняются только в среднестатистическом смысле при большом числе независимых измерений в многократном эксперименте с неизменной волновой функцией, которая описывает статистические свойства частиц. Самое загадочное состояло в том, что разные разделы квантовой механики использовали разный ответ на этот вопрос. В ядерной физике законы сохранения считались строго детерминированными. На этой основе даже были предсказаны открытия некоторых частиц. Но в квантовой кинематике и динамике, а также в теории квантового вакуума категорически использовался принцип неопределенности законов сохранения. И никаких споров не было. По факту, квантовая теория распалась на две плохо совместимые науки. Для разных задач использовались разные аксиомы.

На опасность такого разночтения указывали еще в 1935 г. Эйнштейн, Подольский и Розен [4; 5]. Схема их опыта известна как ЭПР-парадокс. Идею эксперимента, с точки зрения обсуждаемой нами проблемы, можно изложить так. Если предположить, что импульс детерминированно сохраняется, то после рождения пары одинаковых частиц с известным суммарным импульсом можно, спустя некоторое время, измерить координату одной частицы, а положение ее партнера детерминированно вычислить (поскольку, зная время и пройденный путь, можно точно определить вектор импульса первой частицы и по закону сохранения восстановить смещение партнера). Это нарушает модель случайной генерации параметра квантовой частицы при измерении.

В разные периоды развития квантовой науки предлагались разные объяснения этого парадокса. Долгое время считалось, что ошибка ЭПР заключается именно в предположении о существовании реального импульса частицы до измерения. Предлагалась модель, где в каждом опыте (с одной парой частиц) измерения на партнерах дают, вообще говоря, разные результаты, но при статистическом усреднении этих измерений выполняются законы сохранения. Именно в такой трактовке автор вынужден признать и свою вину.

Однако в конце XX в. удалось реализовать измерения на запутанных парах фотонов. Это делалось в рамках программы проверки неравенств Белла [7; 8]. Использование запутанных пар упрощало эту проверку, хотя, строго говоря, можно было реализовать эксперимент и на отдельных частицах.

Но побочным результатом явилось подтверждение гипотезы ЭПР о детерминированной связи поляризации запутанных фотонов. В начале XXI в. удалось с помощью запутанных пар фотонов приводить удаленные атомы в одинаковые или дополнительные состояния. И тогда возникла настоящая проблема согласования формализма квантовой механики с релятивистской физикой. Независимо от расстояния между атомами они мгновенно переходили в соответственные состояния под воздействием случайных параметров удаленных фотонов.

Ниже мы подробно рассмотрим возникающие противоречия и математические средства преодоления подобных трудностей. Оказывается, некоторая конструкция, дополняющая классическую квантовую механику, совершенно однозначно вытекает из полученных экспериментальных данных. Изложение будет вестись на содержательном уровне без привлечения математического формализма. Математический аппарат строго изложен в [1–3].

1. Как устроена модель измерений в квантовой механике

В научной, и особенно в научно-популярной литературе, часто можно прочесть, что изучение микромира элементарных частиц взяла на себя квантовая механика, а макромир изучает теория относительности. Но анализ математического аппарата квантовой механики не позволяет обосновать это утверждение. Фактически квантовая механика изучает реакцию макроскопических приборов на поля, энергия которых распределена в пространстве. Даже сами частицы появляются далеко не во всех измерениях. Более того, проявление квантов обычно идет не по всем параметрам, а только по тем, где оператор измерения имеет дискретный спектр или собственные функции оператора имеют локализованные носители в пространстве. На первое обстоятельство имеется прямое указание в «синоптическом» учебнике [9]. В квантово-механической модели имеется только ансамблевое состояние потока частиц (волновая функция) и операторы измерения. Второе утверждение автор оставляет на своей совести. Рассмотрим, как возникло понятие кванта. Вначале было обнаружено, что атомы испускают электромагнитные волны дискретными порциями. Позже было обнаружено, что вещество поглощает эту волну такими же порциями. Затем в слабых потоках частиц обнаружилась локализация взаимодействия поля с поглощающим экраном. Наконец была обнаружена локализованная траектория или пучок таких траекторий при взаимодействии поля с полупрозрачной диссипативной средой в фотоэмульсии и в камере с насыщенным паром. После этих открытий, некоторые из которых были отмечены высокими научными премиями, вера в существование квантов стала всеобщей и нерушимой. Скорее всего, частицы действительно являются «элементом реальности» (термин Нильса Бора). Но в аппарате квантовой механики эти частицы никак не участвуют. Модель измерения «навязывает» указанные свойства непрерывным полям.

Напомним общую схему моделирования измерения в квантовой механике. Моделью измерительного прибора является линейный оператор в пространстве волновых функций (пространство Гильберта), причем оператор должен иметь полный базис собственных функций с действительными собственными значениями (Эрмитов оператор). Процесс измерения поля состоит из четырех этапов. Вначале волновую функцию (исходное состояние поля) раскладывают по собственному базису оператора. Потом через коэффициенты разложения вычисляется распределение вероятностей на собственных функциях. Затем рассматривается реализация случайной величины, принимающей значения из множества собственных функций и имеющей полученное ранее распределение. Получается одна из собственных функций оператора измерения, что интерпретируется как результирующее состояние поля после измерения («чистое состояние»). Наконец, числовым результатом измерения считается собственное значение этого чистого состояния в данном операторе.

В этой схеме уже заложено как само квантование, так и его условность, зависимость от оператора измерения. Например, оператор измерения координаты в качестве собственного базиса имеет внешний обобщенный базис пространства Гильберта, состоящий из обобщенных дельта-функций (функционалов, сопоставляющих каждой функции из области определения некоторое число). Каждый такой функционал определен как интегрирование волновой функции по мере, сосредоточенной в одной точке пространства. Иными словами, этот функционал выдает значение волновой функции в одной точке. Собственное значение такого элемента базиса определено как значение измеряемой координаты в указанной точке. Очевидно, что если мы применим описанную выше модель измерения к такому оператору по трем координатам, то поле получит точечное положение в пространстве в результате измерения. Тот же механизм, примененный к полю на некотором отрезке времени, породит локализованную траекторию в диссипативной среде. Даже непрерывность этой траектории уже заложена в модель измерения, поскольку после каждого измерения координаты поле начинает распространяться из одной точки и следующая дельта-функция будет вынужденно выбрана неподалеку. Сам процесс измерения порождает локализацию «кванта» в пространстве.

Аналогично, поле вынуждено показывать дискретные уровни энергии, если оператор, сопоставленный гамильтониану, применяется в потенциальной яме, где он имеет дискретный спектр. Но поле, свободное от потенциала, который ограничивает его в пространстве, никаких дискретных свойств не обнаруживает. В частности, квантование света, с точки зрения квантовой модели, обусловлено той потенциальной ямой, в которой находится излучающий или поглощающий волну электрон, находящийся в составе атома. Интересно, что, когда мы измеряем энергию, мы не измеряем координату кванта и можем только локализовать квант орбитой электрона. Это важная особенность квантовой модели мира. Разные квантовые свойства проявля-

ются не вместе, а альтернативно, в зависимости от того, как мы измеряем поле. И не обязательно проявляются.

2. Почему говорят о квантовых частицах как о реальности?

Мы установили, что квантовые свойства полей, по крайней мере – в теории, нельзя считать реальными свойствами поля, поскольку они обусловлены способами измерения поля. Однако уверенность в существовании материальных квантовых частиц составляет основу современной физики на уровне интерпретации теории. Дело в том, что кроме квантования в смысле квантовой механики известны особые характеристики полей, которые определяют их взаимодействия с внешними потенциалами и друг с другом. Эти характеристики не меняются во время распространения поля и его макроскопического измерения. Во время взаимодействия полей они изменяются по специальным законам, чаще всего (но не всегда) так, чтобы сохранялась их сумма по исходным и результирующим полям. Большинство таких характеристик получили название зарядов. Это электрический заряд, гравитационный заряд (масса), и большое разнообразие зарядов, которые проявляются в ядерных реакциях. Надо заметить, что такие константы, как скорость света и постоянная Планка, тоже фактически являются зарядами безмассовых полей. Но по отношению к ним этот термин не принято употреблять.

Именно эти заряды (далее я не буду оговаривать принятую терминологию) определяют классификацию полей. Волновая функция сама по себе не несет о них информации. Эта информация заложена в дополнительные уравнения пространственных потенциалов и в эмпирические схемы ядерных реакций. Характерным свойством таких зарядов, установленным опытным путем, является кратность некоторому минимальному значению у любого поля. Если для электрического и гравитационного заряда это хорошо известно, то для некоторых других зарядов требуется пояснение. Например, величина действия, которое может произвести электромагнитное поле, кратна постоянной Планка независимо от других характеристик этого поля. Скорость света вообще может принимать только одно значение.

Когда физики говорят о квантовой природе полей, они фактически отмечают эту кратность зарядов. А минимальное значение заряда (квантовое число) приписывается одному кванту.

Интересно отметить, что в макроскопических процессах такой кратности не обнаруживается. Массы тел образуют непрерывные спектры, а параметр, аналогичный постоянной Планка, постоянная Больцмана, не задает дискретного спектра энтропии в термодинамике. По сути, это связано с одним важным для физики обстоятельством: погрешность измерения в реальных приборах зависит от диапазона измерения. В макроскопических измерениях диапазоны велики, и погрешности поглощают дискретность измеренных значений.

Другой интересный вопрос – это адекватность операторного квантования поля квантованию в смысле зарядов. Общего ответа на этот вопрос сегодня нет, поскольку процесс возникновения зарядов совершенно не моделируется современной теорией. Но кое-что можно прояснить, если сопоставить математическим операторам измерения их физические прототипы в реальных экспериментах. Рассмотрим оператор локализации частицы. Ему в реальных опытах обычно соответствует экран, который поглощает поле и выдает некоторый сигнал в тех местах, которые поглотили энергию поля. Например, это может быть свечение люминофора или изменение оптической плотности среды. В экспериментах было обнаружено, что при малой интенсивности поля экран за время распространения поля от источника до экрана реагирует в одной точке. Но если повышать интенсивность излучения, то экран реагирует в нескольких точках, а при высокой интенсивности реагирует уже непрерывная область экрана. С точки зрения математической модели, описанной в предыдущем разделе, реагировать должна всегда только одна точка (дельта-функция). Отсюда следует, что математическая модель адекватна только для достаточно слабого излучения. Для описания более сильных полей надо использовать волновую функцию нескольких частиц. Тогда дельта-функция будет выделять одну точку не в физическом, а в конфигурационном пространстве этих частиц и опишет несколько точек физического пространства. А для макроскопических мощностей излучения квантовая модель совсем не адекватна эксперименту, что уже отмечалось выше, в связи с погрешностями реальных измерений. Это наблюдение подтверждает наш вывод о том, что квантование поля логически связано не с измерением волновой функции, а с квантовыми числами.

В предыдущем рассуждении остался неясным важный вопрос: какое количество частиц надо рассматривать для правильного моделирования измерения? Опытным путем было установлено, что при одинаковых интенсивностях потока в разных замерах регистрируется разное число частиц. Это связано с разными энергетическими состояниями квантов в потоке. Чем больше частиц находится на низких уровнях энергии, тем больше частиц требуется для поддержания мощности излучения. Для моделирования этого процесса используется метод вторичного квантования с операторами появления и исчезновения частицы из ансамбля с данным состоянием (это не обязательно уровень энергии). Операторы появления и исчезновения не коммутируют, и поэтому результирующее состояние всего ансамбля зависит от случайной последовательности применения этих операторов. Не останавливаясь на способе построения этого случайного процесса, можно сделать важный вывод. Никакое конфигурационное пространство для волновой функции не дает адекватной модели измерения, поскольку оно предполагает фиксированное число квантов. Приходится рассматривать вероятностную смесь измерений с разными числами квантов в излучении. В принятой терминологии говорят о методе вторичного квантования. Но фактически речь идет о новом постулате или о новой модели измерения, заменяющей модель измерения

одного кванта. В практических расчетах часто используют упрощенную модель, где число квантов рассчитывается как отношение мощности излучения к средней мощности потока из одного кванта.

К счастью, для рассматриваемого нами парадокса ЭПР число квантов фиксировано, поскольку процесс рождения запутанных частиц контролируется экспериментальной установкой. В простейших опытах рассматриваются два запутанных кванта.

3. Что означает термин «состояние» в математике

Для перехода к анализу парадокса ЭПР нам потребуются сведения из формально далекой от физики математической теории автоматов. Эта теория изучает процессы, удовлетворяющие обобщенному принципу причинности. А именно, *значение процесса в каждый момент времени его развития должно полностью определяться его начальным состоянием и теми воздействиями, которые процесс мог получить извне за время своего развития из начального состояния.*

Разумеется, эта мысль выражена в математической теории более строгими терминами. Но для наших целей важен смысл требования. Процессу запрещено проявлять активность, вызванную информацией, не учтенной в модели. Сразу оговорим, что разрешается случайная генерация значения процесса, если распределение случайной величины определяется теми же параметрами. Такие конструкции в математике называются формальными автоматами (детерминированными или случайными). Любой процесс, который имеет модель в теоретической физике, может быть описан как формальный автомат при правильном описании источников воздействий на процесс.

Невозможность описания процесса в форме автомата означает либо отсутствие данных об источнике воздействий на него, либо противоречие необходимой конфигурации источников воздействия дополнительным условиям, возникающим из требования совместимости с другими моделями.

Понятие начального состояния процесса в данном определении автомата уникально: оно выделяет стартовый момент времени. Но если потребовать, чтобы процесс можно было описать, начиная с любого момента времени после старта, то значение процесса в каждый момент времени надо расширить, добавив ту информацию о предыдущей жизни процесса, которая может повлиять на дальнейший ход процесса. Вот это расширенное значение процесса называется состоянием процесса в данный момент времени. В теоретической физике множество состояний процесса обычно называют фазовым пространством процесса, а конкретное состояние называют фазой или просто текущим состоянием.

Нужно отметить, что предложенная интерпретация состояния задает минимально возможную информацию, которая должна содержаться в состоянии, чтобы оно удовлетворяло принципу причинности. Однако возмож-

ны модели, в которых состояние содержит более детальную информацию, избыточную по отношению к данному процессу, но полезную для каких-то иных целей. Какую бы автоматную модель процесса мы не рассматривали, состояние процесса будет содержать параметры, по которым можно однозначно вычислить состояние минимальной автоматной модели.

Для наших целей важно разобраться с конфигурацией источников воздействий, когда речь идет о распространении полей в пространстве-времени. В этом случае требуется совместимость с моделью распространения сигналов в теории относительности. Для простоты ограничимся специальной теорией (СТО). Ограничимся также безмассовыми полями, поскольку согласование уравнения Шредингера со СТО требует специального рассмотрения. Нас будут интересовать моменты времени, когда происходит измерение поля в макроскопическом приборе. Макроскопические объекты должны подчиняться СТО независимо от поведения квантовых объектов в области взаимодействия с ними. Это означает, что состояние прибора должно определяться в каждый момент времени только влиянием на него из светового конуса в прошлое, включая внутренность (конус причинности). В частности, если измерения на двух приборах производятся в точках пространства-времени, у которых конусы причинности не вложены один в другой, то результат измерения на одном приборе не может повлиять на результат измерения на другом приборе. Если процесс описан так, что требуется передача информации, нарушающая это требование, то он не может быть описан как автомат, корректный с точки зрения релятивизма.

4. Релятивистский и квантовый парадоксы ЭПР

Схема простейшего эксперимента по проверке парадокса ЭПР выглядит так. Имеется слабый источник света, выдающий фотоны по одному. Луч пересекает прибор, который разделяет фотон без диссипации на два фотона с половинной энергией. Далее идут два луча, расходясь в пространстве на произвольно большое расстояние. В конце пути каждый луч попадает в прибор, который измеряет некоторую характеристику фотона. Например – поляризацию. Поскольку рожденные фотоны были коррелированы при рождении, поляризация у них оказывается одинаковая. Если измеряется другая характеристика, скажем энергия, то и энергия у них оказывается одинаковая. Если измеряется импульс в направлении, ортогональном исходному лучу, то импульсы фотонов оказываются взаимно дополнительными и в сумме дают ноль, как у исходной частицы. Иными словами, детерминированно выполняются все законы сохранения. С одной стороны, это совершенно нормально с точки зрения классической механики. Но с другой стороны, это оказывается несовместимым как с законами квантовой механики, так и с законами релятивизма.

Поскольку квантовый процесс измерения дает случайный результат, а приборы находятся в произвольном пространственно-временном положении

относительно друг друга, то релятивизм исключает передачу информации между приборами, но тогда совпадение результатов измерений может быть только случайным. А поскольку это совпадение наблюдается детерминированно во всех актах измерения, то вероятность такой последовательности совпадений равна нулю (или сколь угодно мала).

Отметим, также, что это не тот парадокс, о котором говорили его авторы. Их больше занимал вопрос о возможности обойти принцип неопределенности Гейзенберга, проводя пару несовместимых измерений на разных, но запутанных частицах. Тут они были совершенно правы – принцип неопределенности относится только к одновременным измерениям на одной частице. Но указанный выше парадокс делает невозможным моделирование процесса измерения на запутанной паре в форме случайного автомата. А это означает отказ от принципа причинности.

В этом месте необходим диспут с большим числом специалистов, предложивших варианты разрешения парадокса. Наиболее часто предлагаются сложные схемы сверхбыстрой связи между запутанными частицами в обход ограничений теории относительности. Например, предполагается микроскопическая кротовая нора между такими частицами, в которой расстояние между ними меньше, чем в основном пространстве. Или предполагается, что пара при измерении вообще переходит в параллельное пространство, где все нужным образом детерминированно обустроено (эту схему связывают с именем Хью Эверетта, который предложил «многомирие» для объяснения случайности в квантовой механике). Другой способ объяснения связан с построением на конфигурационном пространстве для двух частиц «двухфотонной» волновой функции, которая разрешает только детерминированную связь между измеряемыми параметрами, хотя каждая из компонент имеет случайное поведение (детерминированы только условные вероятности) [10].

Что касается идей модификации геометрии физического пространства, то они логически корректны, однако вызывает сомнение целесообразность изменения геометрии под каждую новую задачу. Тут возникает сильное чувство подгонки модели под готовый ответ без достаточных оснований.

Но практически общепринятое сегодня объяснение через подбор двухфотонной волновой функции не выдерживает серьезной критики. Дело в том, что в этой модели одна волновая функция измеряется сразу двумя приборами. С точки зрения модели квантового измерения это означает, что два прибора образуют один макроскопический прибор, реализующий общий эрмитов оператор. Но такой прибор не может сработать быстрее, чем требуется световой волне, чтобы пройти путь между составляющими частями. Иными словами, для объяснения парадокса приходится предполагать, что измерение запутанных частиц занимает достаточно много времени, чтобы конус причинности одного прибора охватил другой прибор в момент начала измерения. Например, если запутанные фотоны измеряются в разных галактиках, то приборы задержат выдачу результата измерения на миллионы лет

после поглощения фотонов. Объяснение такого поведения обычных приборов является задачей более трудной, чем исходный парадокс.

5. Куда делось пространство случайных событий?

Процесс измерения в квантовой механике с точки зрения математической модели является случайной величиной. Строгое математическое описание такого объекта требует введения пространства случайных событий. В квантовой теории этот конструкт модели практически отсутствует. Попробуем восстановить его по остальным компонентам теории. Прежде всего, случайная величина появляется только в период измерения волновой функции. И распределение вероятности на результатах измерения формируется только под воздействием прибора, точнее, его эрмитова оператора. Видимо, к этому периоду следует отнести и формирование пространства случайных событий.

Напомним, что пространство случайных событий – это некоторое множество, на котором задана система подмножеств, замкнутая относительно конечных и счетных сумм и пересечений (сигма-алгебра), и на этой системе подмножеств задана нормированная к 1 неотрицательная мера. Подмножества из сигма-алгебры называют случайными событиями, а их меру – вероятностями событий. Для нас важно, что случайная величина задается как детерминированная функция на этом пространстве. Вероятность попадания значения случайной величины в заданный интервал значений равна мере множества, на котором эта функция принимает значения из этого интервала.

Заметим, что идея Х. Эверетта о переходе квантовой частицы из одного параллельного мира в другой, по сути, была скрытой попыткой ввести пространство случайных событий в квантовую механику. В каждом из миров частица имеет детерминированное поведение, но пребывание в том или ином мире случайно. Он считал, что процесс измерения переводит частицу из одного мира в другой. Тем не менее эта схема не годится для объяснения парадокса ЭПР, поскольку она требует перевода в один мир двух частиц, как только измеряется одна из них, независимо от расстояния между частицами в этот момент. Опять возникает несоответствие со СТО.

Формально построить пространство случайных событий для измерения волновой функции можно, используя глубокую идею А. Н. Колмогорова о возможности формировать события прямо из значений случайной величины, если известна статистика этих значений. Такая статистика строится с помощью разложения волновой функции по собственному базису оператора измерения. В случае дискретного спектра оператора вероятность выбора данной собственной функции равна квадрату модуля соответствующего коэффициента разложения. Множество значений случайной величины совпадает с множеством собственных функций. Результат измерения получается детерминированным отображением каждого такого значения в соответствующее ему собственное число оператора.

При каждом измерении формируется новое пространство случайных событий. Между измерениями идет детерминированный процесс эволюции волновой функции. Именно такая смена пространства случайных событий порождает кажущиеся противоречия между классической теорией вероятности и квантовой статистикой. В теории вероятности обычно рассматриваются случайные величины на одном пространстве случайных событий. Но реального логического противоречия между этими моделями нет.

6. Инверсия активности

В обычной интерпретации квантовой механики предполагается, что источником вероятностной неоднозначности измерения является сам прибор, действующий на частицу так сильно, что она меняет свое ансамблевое состояние. В этой модели невозможно разрешить парадокс ЭПР без нарушения релятивистских областей влияния событий. Схема парадокса ЭПР показана на рис. 1. Для преодоления этой трудности надо построить модель такого процесса, в котором каждый измерительный прибор получит из своего конуса причинности команду на формирование нужного чистого состояния, которое получит при измерении попавшая в него частица. Это и будет тот минимальный автомат, который без противоречий объясняет парадокс ЭПР. При этом для разных частиц прибор должен получать разные «инструкции». Это необходимо для получения невырожденной статистики результатов измерения.

Возникает вопрос: какое поле может передать такую информацию? Эта информация появляется впервые в зоне рождения запутанной пары частиц. Более того, нет другой области пространства-времени, где эту информацию можно получить без дополнительных измерений родившихся частиц. Таким образом, оба прибора должны получить сигнал из точки рождения пары не позднее, чем начнется измерение. Конечно, можно предположить наличие какого-то специального поля, которое связывает событие рождения пары со всеми событиями в световом конусе будущего этой точки. Но проще предположить, что сама частица несет на себе эту информацию. Эту информацию мы и назовем индивидуальным состоянием частицы. Прежде чем исследовать, что именно несет индивидуальное состояние, заметим, что в такой модели инициатива в процессе измерения переходит к самой частице. Измерительный прибор только предоставляет набор своих чистых состояний и соответствующих собственных значений, а частица осуществляет выбор одного из них.

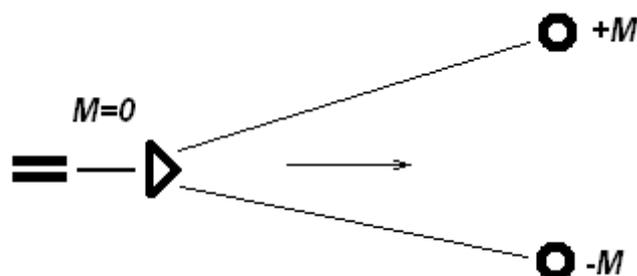


Рис. 1. Схема парадокса ЭПР

Две запутанные частицы измеряются двумя удаленными приборами. Измеряется характеристика M , которая в классическом измерении должна сохранить свое значение после рождения частиц в сумме по двум частицам. Оказывается, что и в квантовом измерении эта характеристика сохраняется детерминированно

Схема переноса индивидуального состояния в эксперименте ЭПР показана на рис. 2. Наглядно, такой процесс измерения можно представить как посещение покупателем (частицей) магазина (прибор), где предлагается товар (чистые состояния). Покупатель (частица) точно знает, за каким товаром пришел (информация из индивидуального состояния), и покупает то, что ему нужно.

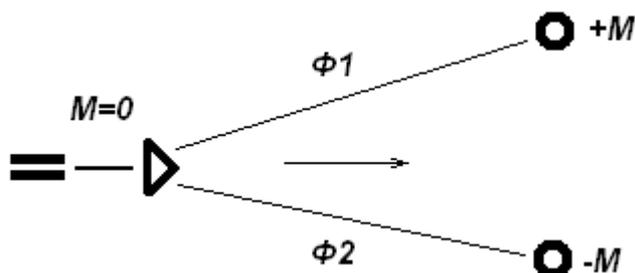


Рис. 2. Решение парадокса ЭПР после введения в теорию индивидуальных состояний частиц

Каждая частица получает при рождении информацию, какую собственную функцию надо выбрать у оператора измерения. И собственные значения этих функций удовлетворяют условию сохранения параметра измеряемого M

Теперь противоречие со СТО исчезает. Каждый макроскопический прибор получает управляющий сигнал из своего конуса причинности, и, следовательно, моделируется как автомат. Однако надо еще получить автоматную модель самой частицы, которая теперь не только движется, но и переносит информацию. Схемы такого вида рассматривались давно в предположении, что частица несет на себе значение измеряемого параметра. Она известна под названием модели скрытых параметров. Такая модель, конечно, автоматная, поскольку информация зафиксирована и не меняется ни при каких

воздействиях, до момента измерения. Но имеется много экспериментов, которые показывают, что такая модель не адекватна квантовой механике. Наиболее распространены эксперименты по проверке вероятностных неравенств Белла, в которых измеряется поляризация фотона при разной ориентации фильтра поляризации [8]. Основная цель проверки – выяснить, как зависит интенсивность проходящего через фильтр потока от угла поворота фильтра по отношению к поляризации исходного фотона. Если верна гипотеза скрытых параметров, то зависимость от угла определяется как косинус. Но если верна модель формирования значения в момент измерения, то зависимость должна быть квадратом косинуса. Именно последняя зависимость и подтверждается многими вариантами этого эксперимента. Но есть и более простое рассуждение, которое показывает невозможность заменить измерение скрытым параметром. Рассмотрим измерение координаты частицы через некоторое время после ее излучения. Ясно, что чем больше пройдет времени до измерения, тем больше будет дисперсия результатов измерения. Следовательно, статистика результатов зависит от условий измерения и результат не может быть записан как константа. Более строго это рассуждение известно как теорема фон Неймана о невозможности скрытых параметров координаты.

Для правильного описания индивидуального состояния частицы нужно ввести более гибкую конструкцию. Заметим, что изменение условий измерения фактически означает изменение оператора измерения. Например, операторы измерения пространственной координаты, примененные к частице в разное время после ее излучения, будут определены на разных пространствах функций, поскольку координата времени явно входит в набор аргументов волновой функции. Поворот фильтра тоже меняет прибор с точки зрения его теоретического описания. У соответствующего оператора измерения произойдет поворот собственных функций в пространстве Гильберта. Поэтому выйти из ловушки скрытых параметров довольно просто. Надо задать индивидуальное состояние частицы как отображение каждого из допустимых операторов измерения в одну из собственных функций этого оператора.

На языке математики это звучит так: *Индивидуальное состояние квантовой частицы – это отображение, действующее на пространстве операторов Эрмита, область определения которых совпадает с одним из пространств Гильберта, допустимых в квантово-механическом описании данной частицы, причем образом каждого оператора является одна из его собственных функций.* Сложно, но строго.

Поскольку таких отображений достаточно много (если нет ограничений, то больше чем континуум, а если есть ограничения, то континуум), то проблем с созданием ансамблей частиц с разными индивидуальными состояниями нет. Это позволяет доказать теорему о том, что любая квантовая статистика на фиксированном числе потоков одноквантовой интенсивности может быть реализована как статистика действия на приборы последовательности индивидуальных состояний измеряемых частиц. Проще говоря,

если известно, сколько частиц мы одновременно измеряем, то, как бы они ни были запутаны, статистику результатов измерений можно объяснить подходящими потоками индивидуальных состояний частиц. И при этом модели приборов и частиц будут автоматными релятивистскими. Инверсия активности прибора и частицы себя оправдала.

В частности, можно моделировать все эксперименты по неравенствам Белла, по измерению координаты или спина запутанных частиц и многое другое. Неадекватность, которая наблюдалась при введении в модель скрытых параметров, подавлена тем, что для каждого измерительного прибора теперь создается своя последовательность выборов чистых состояний.

7. Как интерпретировать индивидуальное состояние квантов

На первый взгляд, предложенная форма индивидуального состояния очень сложна. Однако сложность реально зависит от того, как мы задаем отображение. Напомню, что скрытые параметры – это простой частный случай индивидуального состояния (к сожалению, недостаточный). Можно заметить, что макроскопические тела, которые мы измеряем простейшими инструментами, обладают индивидуальным состоянием в указанном выше смысле. Имеется многократно повторенная в популярной литературе ошибка, что параметры макроскопических тел якобы не зависят от измерительных приборов, а определяются только типом характеристики тела: масса, диаметр, объем и т. п. Но практика измерения говорит об обратном. Если при измерении длины тела штангенциркулем испытатель слишком сильно сдавит губки прибора, то за счет деформации тела будет получен заниженный результат. Более того, при высокой точности измерения нужно строго оговорить усилие в инструкции. Если мы измеряем размер кубика вслепую, не зная его ориентации, то полученное значение длины будет зависеть от трех углов поворота кубика относительно штангенциркуля. При этом сами эти углы имеют определенное значение в некоторой системе осей координат, но нам они неизвестны, и, проводя разные замеры, мы будем получать разные результаты, считая кубики неразличимыми. Заметим, что эти результаты будут разными для разных штангенциркулей, в зависимости от расположения их в зоне измерения. Кубик имеет и вес, зависящий от ускорения силы тяжести в зоне установки пружинных весов. А для гиревых весов эта зависимость очень слабая. Такая зависимость результата измерения от прибора относится и к другим макроскопическим параметрам кубика. При этом в кубике нет никакой таблицы, сопоставляющей результат измерения каждому прибору. Она была бы огромного размера. Но он умеет реагировать на каждый прибор просто в силу своей внутренней структуры. Именно так и надо представлять себе индивидуальное состояние квантовой частицы – это невидимая нам внутренняя структура. Автор считает, что уже поставленных экспериментов достаточно, чтобы утверждать наличие такой структуры, но пока нет средств ее увидеть на уровне квантов.

Главная причина скрытости индивидуального состояния связана с особенностью квантовых измерений. Каждое измерение необратимо меняет не только ансамблевое состояние частицы, но также ее индивидуальное состояние. Поэтому мы можем обнаружить только одну компоненту индивидуального состояния, которая соответствует примененному прибору, и навсегда теряем значения остальных компонент. Это основное отличие квантовых частиц от макроскопических объектов. Для кубика можно провести много измерений, практически не меняя его параметры, и даже повторить одно измерение много раз. Ничего подобного нельзя сделать с электроном или фотоном. Фактически это и есть водораздел между макрообъектами и квантами.

Еще интереснее обстоит дело с виртуальными частицами, присутствие которых также удалось установить в опытах с неинерционными системами отсчета. Это частицы тех же видов, что и кванты полей, но время их жизни меньше, чем необходимо для измерения какой-либо их характеристики. Сами виртуальные поля в этих опытах выступают как макроскопические объекты и допускают устойчивые измерения «коллективных характеристик» виртуального ансамбля. Это третий вид существования материальных или несущих энергию частиц, у которых нельзя измерить ни одной компоненты индивидуального состояния. Но зато можно говорить об индивидуальном состоянии их коллектива со случайным числом виртуальных квантов.

Можно заметить, что индивидуальное состояние ведет себя как заряд частицы. Оно не меняется в процессе квантового распространения и при взаимодействиях без диссипации. Например, экспериментально доказано, что при передаче фотонов по оптоволоконному кабелю запутанность частиц не исчезает. А в таком распространении фотон многократно поглощается и испускается атомами среды, но не меняет своего тензора энергии-импульса. Фактически любой из обычных зарядов входит в индивидуальное состояние, поскольку есть измерения, на результат которых он влияет. Можно сказать, что индивидуальное состояние – это «заряд зарядов» в том же смысле, как в библии есть «песня песен». Любой, даже еще не открытый заряд, входит в индивидуальное состояние как параметр. Можно ли свести индивидуальное состояние к системе зарядов и потенциалов, покажет время.

Но некоторые из зарядов влияют не только на взаимодействие частицы с измерительными приборами, но и на их взаимодействие с другими частицами в ядерных реакциях. Такие реакции сами по себе не являются измерениями, поскольку оба объекта квантовые. Макроскопические приборы в этих процессах выступают как внешние наблюдатели за исходными и результирующими полями. Теория ядерных реакций сегодня имеет комбинаторную форму: разрешены все превращения, которые не запрещены законами сохранения зарядов. Этот вид описаний не относится непосредственно к теории квантовой механики. Но, возможно, в будущем можно будет включить и эти взаимодействия в сферу ответственности индивидуальных состояний частиц. На это указывает вероятностный характер ядерных превра-

щений. Индивидуальные состояния могут в этом случае сыграть роль пространства случайных событий, как в статистике обычных квантовых измерений. Пока для оценки этих вероятностей используются условно введенные радиусы взаимодействия частиц, размеры которых подбираются из опыта. Эти радиусы ведут себя как заряды частиц данного вида. Тут тоже есть четкие ассоциации с понятием индивидуального состояния.

8. Почему состояние ансамбля частиц – волна?

Наша попытка содержательной интерпретации аппарата квантовой механики была бы неполной, если бы мы не обсудили ансамблевые состояния частиц. Статистика любого квантового измерения зависит именно от этого состояния. Оно описывается как функция в пространстве Гильберта. Квадрат модуля ее значения задает вероятность появления частицы в данной точке (или плотность вероятности). Это не аксиома, а следствие определения оператора измерения координаты. Само значение состояния в точке называется амплитудой вероятности. Для измерения волновой функции надо провести много измерений координаты с неизменным ансамблевым состоянием. Статистика позволит определить статистическую плотность вероятности в точке. А интерференция позволит определить фазу волновой функции относительно точки излучения. Неизменность волновой функции не есть закон природы, а только требование к чистоте эксперимента. Иногда такое свойство называют «квантовым ластиком», намекая на то, что экспериментальная установка должна стереть влияние предыдущих измерений.

В нашей интерпретации статистика измерений порождается последовательностью индивидуальных состояний излученных частиц. Это означает, что распределение индивидуальных состояний по частицам в процессе многократного эксперимента зависит от состояния ансамбля. Легко записать формальное условие этой связи [1–3]. Интересно, что из него можно чисто логически вывести возможность одновременного измерения одной частицы несколькими операторами, коммутирующими попарно [1]. В обычном изложении квантовой теории это постулат. Но вопрос о том, как именно частицы обретают индивидуальные состояния при установленном стационарном состоянии ансамбля, сегодня остается за кадром. Нет никаких данных о физическом формировании ансамбля частиц до их излучения в опыте.

А вот вопрос, почему состояние ансамбля имеет форму волны (отсюда и название «волновая функция»), оказался неожиданно разрешимым. Точнее, это следует из естественного требования, чтобы все параметры, которые входят в уравнения распространения функции ансамблевого состояния в пространстве-времени, были бы измеримы в смысле квантовой механики. Дело в том, что главным оператором, из которого формируются дифференциальные уравнения, является оператор производной по направлению (если направление совпадает с осью системы координат, то это частная производная). На классе функций с нулевыми граничными условиями на бесконечно-

сти этот оператор сам по себе не является эрмитовым, но он становится таким при умножении на мнимую единицу. В таком «мнимом» виде производная становится оператором измерения. Поэтому дифференциальные уравнения, построенные на основе такой мнимой производной, будут удовлетворять принципу измеримости результатов промежуточных вычислений. Случайное распространение массивных частиц естественно описывать уравнением диффузии (для этого есть серьезные основания в теории случайных блужданий). Распространение безмассовых частиц описывается волновым уравнением. При записи этих уравнений через мнимые производные мы получим соответственно уравнение Шредингера и волновое уравнение (оно инвариантно относительно такой замены). Оба эти уравнения имеют волновые решения. Связь колебательного движения квантовых частиц с принципом квантовой измеримости выглядит неожиданно. Автор позволит себе следующую интерпретацию этого факта. Те движения квантов, которые наши приборы могут зарегистрировать, обязаны быть волновыми. Другие движения мы не можем обнаружить. Возможно, они тоже существуют в некотором философском смысле. И еще интересно, что для измерения мнимых производных тоже нужны индивидуальные состояния частиц.

Заключение

Целью этой статьи было устранение некоторых противоречий и неясностей, которые возникли в трактовке современной квантовой теории совместно с другими разделами физики. Задача использования только содержательных рассуждений без математического формализма также стояла перед автором. Надеюсь, мне удалось достаточно убедительно показать, что в квантовую механику необходимо ввести индивидуальное состояние частиц как дополнение к ансамблевому состоянию. Это не меняет вычислительной стороны квантовой теории, но позволяет избежать противоречий с принципом причинности без изменения макроскопических представлений современной физики. Возможно, в дальнейшем для индивидуальных состояний удастся получить дополнительные уравнения, расширяющие возможности теории. Это будет иметь смысл, если новые выводы теории допустят экспериментальную проверку. Пока же результатом является только устранение противоречий внутри квантовой механики и с теорией относительности.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), проект № 13-01-00190а.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Koganov A.V.* Formalism for the Individual State of a Quantum Particle Compatible with the Bell Inequalities, and a Dissipative Environment Conjecture // *Russian Journal of Mathematical Physics*. – 2014. – Vol. 21. – No. 2. – P. 219–225.
2. *Koganov A.V.* The Formalism of quantum particle Individual State which is compatible with Bell inequalities // *Physical Interpretations of Relativity Theory. Proceedings of International*

- Scientific Meeting PIRT-2013, Moscow, 1–4 July 2013, BMSTU, Moscow, 2013. – S. 150–157. (ISSN 2309-7604)
3. Коганов А. В. Оператор индивидуального состояния квантовой частицы согласует эффект ЭПР и теорию относительности // Симметрии: теоретический и методический аспекты: сборник трудов 4-го Международного симпозиума. – Астрахань, 2012. – С. 51–56 (ISBN 978-5-8087-0315-5)
 4. Эйнштейн А., Подольский Б., Розен Н. Можно ли считать, что квантово-механическое описание физической реальности является полным? (рус.) // УФН. – 1934. – Т. 16. – В. 4. – С. 440.
 5. Einstein A, Podolsky B, Rosen N. (1935). «Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?» // Phys. Rev. 47 (10): 777–780. DOI:10. 1103 / Phys Rev. 47. 777.
 6. Эйнштейн А., Подольский Б., Фок В.А., Бор Н., Розен Н. Можно ли считать, что квантово-механическое описание физической реальности является полным? // УФН. – 1935. – Т. XVI. – Вып. 4. – С. 436–457.
 7. Bell J.S. On the Einstein Podolsky Rosen paradox // Physics. – 1964. – V. 1. – P. 195.
 8. Гриб А.А. Неравенства Белла и экспериментальная проверка квантовых корреляций на макроскопических расстояниях // УФН. – 1984. – Т. 142. – Вып. 4. – С. 619–634.
 9. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика (нерелятивистская теория). – Изд. 6-е, испр. – М.: Физматлит, 2004. – 800 с. – (Теоретическая физика. Т. III).
 10. Мандель Л., Вольф Э. Оптическая когерентность и квантовая оптика. – М.: Физматлит, 2000.

TRANSPARENT SAILS OR, AN ATTEMPT TO UNDERSTAND QUANTUM MECHANICS

A.V. Koganov

In this article, an attempt is made semantically to reconcile new data of quantum mechanics on entangled particles with the causality principle of modern physics. The mathematical apparatus for such reconciliation has previously been proposed by the author in [1-3]. It was the concept of individual state of a quantum particle complementing its ensemble state that provided the basis for the elimination of contradictions. This development called for turning to the very fundamentals of quantum mechanics at the level of a mathematical model. This article examines the substantive interpretation of such an expansion of quantum theory and its relation to other branches of mathematics modeling causality over time and the theory of automata and algorithms.

Key words: quantum mechanics, relativity theory, causality principle, entangled particles.

МНОГОГРАННОСТЬ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ

М.Л. Фильченков, Ю.П. Лаптев

*Институт гравитации и космологии
Российского университета дружбы народов*

Рассмотрено современное состояние квантовой теории и основные этапы её создания. Проанализированы интерпретации и формулировки квантовой механики, мысленный эксперимент Эйнштейна–Подольского–Розена, неравенства Белла, запутанные состояния, скрытые параметры, квантовая нелокальность и квантовая телепортация.

Ключевые слова: квантовая теория, квантовая механика, квантовая теория поля, интерпретации, формулировки, ЭПР, неравенства Белла, запутанные состояния, скрытые параметры, квантовая нелокальность, квантовая телепортация.

Введение

Начало квантовой теории положила работа М. Планка [1], согласно которой чёрное излучение испускается и поглощается дискретно, то есть порциями – квантами. А. Эйнштейн отождествил кванты света [2] с частицами, которые позднее стали называть фотонами. Следующим шагом явилась модель водородоподобного атома, предложенная Н Бором [3] на основе планетарной модели Э. Резерфорда. Она позволила объяснить формулу И. Ридберга для частот излучения атома водорода. Завершением старой квантовой теории стал корпускулярно-волновой дуализм Л. Де Бройля [4].

Математический аппарат квантовой механики был создан в 1925–1928 гг. трудами В. Гейзенберга, Э. Шрёдингера, П.А.М. Дирака, В. Паули, М. Борна, которым, так же как Н. Бору и А. Эйнштейну, были присуждены нобелевские премии, и окончательно сформулирован И. фон Нейманом в 1933 г. [5].

На базе релятивистской квантовой механики, завершённой Дираком [6], был построен формализм квантовой теории поля. Квантовая электродинамика, описывающая электромагнитное взаимодействие между заряженными частицами, была завершена в 1950-х гг.

Дальнейшее развитие квантовой теории поля, связанное с физикой элементарных частиц и высоких энергий, привело к созданию в 1980-х гг. Стандартной модели элементарных частиц, основанной на теории векторных калибровочных полей. Электромагнитное взаимодействие описывается с помощью абелевых калибровочных полей, а сильное и слабое взаимодействия – с помощью неабелевых калибровочных полей Янга–Миллса. Сильное взаимодействие рассматривается в рамках квантовой хромодинамики, а электрослабое – в рамках теории Вейнберга–Салама.

Объединение электрослабых и сильных взаимодействий привело к теории Великого объединения, а затем к идее глобальной суперсимметрии, позволяющей устранить расходимости за счёт компенсации вкладов калибровочных полей и полей материи. Гравитационное взаимодействие включалось в рамки моделей супергравитации, являющихся низкоэнергетическим пределом теорий суперструн, претендующей на описание всех элементарных частиц и взаимодействий.

После того как аппарат нерелятивистской квантовой механика был построен [5], продолжались дискуссии, касающиеся её интерпретаций и формулировок, которые привели сначала к обсуждению мысленного эксперимента Эйнштейна–Подольского–Розена [7], доказательству нарушения неравенств Белла [8; 9; 10; 11], интерпретируемому как отсутствие скрытых параметров, а затем к выводу о квантовой нелокальности [12; 13] и возможности квантовой телепортации [14; 15; 16].

Интерпретации и формулировки квантовой механики

Мы не ставим перед собой цель рассмотреть все существующие интерпретации и формулировки квантовой механики. Остановимся лишь на трёх интерпретациях [17; 18; 19] – копенгагенской, статистической и многомировой и на трёх формулировках [20; 5; 21] – матричной механике, волновой механике и на формализме интегралов по путям.

Все интерпретации, указанные выше, основаны на вероятностной интерпретации волновой функции и предположении, что описание микромира возможно только в терминах макроскопических величин. Различие между ними состоит в интерпретации измерений физических величин квантовых объектов [22]. Копенгагенская интерпретация под макроскопическим описанием микромира предполагает наличие прибора и наблюдателя с часами, то есть, по существу, наличие системы отсчёта для измерения физических величин микрообъектов.

Согласно копенгагенской и многомировой интерпретациям волновая функция полностью определяет состояние единичного микрообъекта, которому приписываются статистические свойства. В статистической интерпретации волновая функция описывает квантовый ансамбль одинаково приготовленных микрообъектов [23; 24]. Различие между копенгагенской и статистической интерпретациями проявляется также в объяснении двухщелевого эксперимента по дифракции поочерёдно летящих электронов [25]. Копенгагенская интерпретация этого эксперимента состоит в том, что один электрон, описываемый дебройлевской волной, проходит сразу через две щели, интерферируя сам с собой [26; 27]. Его статистическая интерпретация сводится к образованию дифракционной картины по мере накопления электронов. Таким образом копенгагенская и статистическая интерпретации неразличимы на опыте [28].

Согласно копенгагенской и статистической интерпретациям при измерении происходит редукция волнового пакета. До измерения волновая функция описывается нестационарным уравнением Шрёдингера (детерминированная U-процедура для временной эволюции), а при измерении (вероятностная R-процедура для случайных величин, квантовых скачков) – уравнением на собственные функции и собственные значения оператора измеряемой величины, вероятность регистрации которых определяется коэффициентами в суперпозиции собственных функций этого оператора [26; 29].

В качестве парадокса, к которому приводит принцип суперпозиции состояний, часто используется мысленный эксперимент с «котом Шрёдингера» [30], согласно которому в закрытом ящике имеет место суперпозиция живого и мёртвого кота (кот может быть отравлен в результате случайного процесса). Только после открытия ящика можно определить, жив кот или мёртв. Разрешение парадокса состоит в том, что принцип суперпозиции не применим к макрообъектам или субъектам, к которым относится кот.

В многомировой интерпретации [31; 32] всегда справедлив принцип суперпозиции, то есть при измерении происходит ветвление волновой функции. Возможные результаты измерений соответствуют отдельным мирам, составляющим мультверс. Волновая функция всегда описывается уравнением Шрёдингера. Многомировая интерпретация применима к квантовой космологии, где трудно ввести понятие классического наблюдателя [18].

Различие между формулировками квантовой механики состоит в том, что в матричной механике, разработанной В. Гейзенбергом, М. Борном и П. Йорданом [33; 34; 35], основой является матричное представление операторов физических величин, а в волновой механике Э. Шрёдингера – волновая функция [36; 37; 38; 39; 40].

В формализме интегралов по путям, предложенном Р. Фейнманом [41; 21; 22], вычисляется вероятность перехода, исходя из классических путей между начальным и конечным состояниями. Путям сопоставляются амплитуды перехода, которые суммируются. Квадрат модуля интеграла по путям даёт искомую вероятность перехода. Фейнмановский интеграл по путям (континуальный или функциональный интеграл) широко используется в квантовой теории поля.

Мысленный эксперимент Эйнштейна–Подольского–Розена

Критике копенгагенской интерпретации квантовой механики посвящена известная статья А. Эйнштейна, Б. Подольского и Н. Розена [7], в которой предлагается мысленный эксперимент, подвергающий сомнению соотношение неопределённостей.

Суть этого эксперимента сводится к тому, что предлагается способ определить одновременно координату и импульс частицы, образовавшейся в результате распада (на две частицы) покоящейся квантовой системы. Сначала измеряется импульс первой частицы p_1 , затем измеряется координата

второй частицы x_2 . Поскольку импульс второй частицы известен из закона сохранения импульса и равен $p_2 = -p_1$, то делается вывод о том, что можно одновременно определить координату и импульс второй частицы, что противоречит соотношению неопределённостей.

По мнению авторов статьи, отсюда следует, что квантовая механика, не допускающая нарушения соотношения неопределённостей, не даёт полного описания физической реальности, критерием которой является возможность достоверного предсказания значения физической величины.

В ответ Н. Бор опубликовал статью [42], в которой он разъясняет, что критерий физической реальности, предложенный в [7], не имеет отношения к одновременному измерению координаты и импульса, поскольку измеряются не величины x_2 и p_2 , относящиеся к одной и той же частице, а величины p_1 и x_2 , относящиеся к разным частицам, а величина p_2 вычисляется, а не измеряется.

Частицы, на которые распадается квантовая система, обладают единой волновой функцией, даже если между ними нет взаимодействия. В этом проявляется нелокальность квантовой механики [12; 13]. Координата и импульс одной и той же частицы не могут быть одновременно измерены, то есть $[q_i, \hat{p}_i] \neq 0$, поскольку для этого требуются экспериментальные установки, взаимно исключающие друг друга. Однако коммутатор $[q_1 - q_2, \hat{p}_1 + \hat{p}_2] = 0$, даже если $p_1 + p_2 \neq 0$. Поэтому разность координат и сумма импульсов частиц, образовавшихся в результате распада единой квантовой системы, могут быть одновременно измерены [19].

Неравенства Белла. Скрытые параметры

Нелокальность демонстрируется на примере квантовой системы, состоящей из двух частиц, которые находятся в запутанном состоянии [43], то есть описываемом единой волновой функцией, симметричной для бозонов и антисимметричной для фермионов.

Для полного (а фактически классического) описания физической реальности пытались ввести т. н. скрытые параметры, с помощью которых объяснялось бы взаимодействие между частицами, находящимися в запутанном состоянии. Попытки введения локальных скрытых параметров оказались безуспешными [5, 44, 23], что было доказано как теоретически, так и экспериментально. Опровержением гипотезы о скрытых параметрах явилось нарушение неравенств Дж. Белла [8].

Для того чтобы ввести неравенства Белла, не предполагающие априори справедливость квантовой механики, рассмотрим квантовую систему, характеризующуюся одновременно существующими величинами A, B, C , принимающими значения ± 1 , которым соответствуют, вообще говоря, некоммутирующие операторы. Тогда для N таких систем выполняются соотношения [11, 29]:

$$\begin{aligned} N(A^+B^-) &= N(A^+B^-C^+) + N(A^+B^-C^-), \\ N(B^-C^+) &= N(A^+B^-C^+) + N(A^-B^-C^+), \\ N(A^+C^-) &= N(A^+B^+C^-) + N(A^+B^-C^-), \end{aligned}$$

из которых следует неравенство Белла

$$N(A^+B^-) \leq N(B^-C^+) + N(A^+C^-).$$

В квантовой теории неравенства Белла должны нарушаться, поскольку они противоречат соотношениям неопределённостей. Это нарушение и было обнаружено экспериментально [9; 10], что подтвердило справедливость квантовой механики и исключило возможность введения локальных скрытых параметров.

Квантовая телепортация

Оказалось, что запутанные состояния можно использовать для передачи на расстояние неизвестного квантового состояния, используя классический канал связи. Этот процесс принято называть квантовой телепортацией [14; 15; 16]. Квантовое состояние разрушается в точке отправления и восстанавливается в точке приёма.

Протокол квантовой телепортации фотона схематически может быть описан следующим образом. Пусть имеется отправитель фотона (Алиса), его получатель (Боб), ЭПР – пара, то есть два фотона в запутанном состоянии со спинами $s = \pm 1$, и классический канал связи между Алисой и Бобом. Один фотон из ЭПР-пары со спином $s = +1$ летит к Алисе, другой со спином $s = -1$ – к Бобу.

Кроме того, к Алисе летит третий фотон с неизвестным спином s_0 . Алиса производит измерение суммы спинов двух фотонов $s_0 + 1$ и передаёт Бобу по классическому каналу связи результат своего измерения.

После получения сообщения от Алисы Боб совершает такое преобразование над своим фотоном из ЭПР-пары со спином $s = -1$, в результате которого он восстанавливает исходное состояние фотона с неизвестным Алисе спином s_0 , являющимся суммой спина $s_0 + 1$, полученного от Алисы по классическому каналу связи, и спина $s = -1$ фотона из ЭПР-пары.

Таким образом, фотон с неизвестным квантовым состоянием передаётся от Алисы к Бобу в результате измерений, проводимых Алисой и Бобом, с использованием ЭПР-пары и классического канала связи.

Заключение

Многогранность квантовой теории проявляется в том, что она допускает различные интерпретации и формулировки, в отличие, например, от общей теории относительности, которая не существует вне геометрической трактовки гравитации. Кроме того, квантовая теория содержит дуалистические понятия, такие как «частица – волна» в квантовой механике и «частица – по-

ле» в квантовой теории поля, которые позволяют сопоставить физическим величинам операторы, а для систем с переменным числом частиц ввести операторы рождения и уничтожения. Важной особенностью квантовой механики является описание процесса измерения физических величин с помощью недетерминированной R-процедуры, в отличие от детерминированной U-процедуры для волновой функции, удовлетворяющей принципу суперпозиции до и после измерения. Наконец, современное понимание квантовой механики базируется на интерпретации мысленного эксперимента Эйнштейна-Подольского-Розена и неравенств Дж. Белла в рамках квантовой нелокальности.

Более того, оказалась возможной и была осуществлена экспериментально квантовая телепортация фотона с неизвестным квантовым состоянием, которая сводится к передаче результатов измерений, проведённых одним наблюдателем, к другому с использованием ЭПР-пары и классического канала связи между ними.

Несмотря на, казалось, столь противоречивый и разнородный инструментарий, квантовая теория остаётся одной из фундаментальных теорий, наиболее полно подтверждённых экспериментально, исключая некоторые новейшие разделы квантовой теории поля.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Planck M.* Über das Gesetz der Energieverteilung im Normalspektrum // *Ann. d. Phys.* – 1900. – Bd. 1. – S. 99.
2. *Einstein A.* Über einen Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt // *Ann. d. Phys.* – 1905. – Bd. 17. – S. 132–143.
3. *Bohr N.* On the constitution of atoms and molecules // *Phil. Mag.* – 1913. – Vol. 26. – P. 1–24.
4. *Broglie L. de.* On ondeset quanta // *Compt. Rend.* – 1923. – Vol. 177. – P. 507.
5. *Нейман И. фон.* Математические основы квантовой механики / пер. с нем., под ред. Н.Н. Боголюбова. – М.: Наука, 1964. – С. 368.
6. *Дирак П.* Принципы квантовой механики / пер. с англ., под ред. В.А. Фока. – М.: Наука, 1979. – с. 480.
7. *Einstein A., Podolsky B., Rosen N.* Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete? // *Phys. Rev.* – 1935. – Vol. 47. – P. 777–780.
8. *Bell J.S.* On the Einstein–Podolsky–Rosen Paradox // *Physics.* – 1964. – Vol. 1. – P. 195–200.
9. *Aspect A., Grandier P. and Roger G.* Experimental realization of Einstein–Podolsky–Rosen–Bohm Gedanken experiment: A new violation of Bell's inequalities // *Phys. Rev. Lett.* – 1082. – Vol. 49. – P. 91–94.
10. *Aspect A., Dalibard J. and Roger G.* Experimental test of Bell's inequalities using time-varying analyzers // *Phys. Rev. Lett.* – 1982. – Vol. 49. – P. 1804–1807.
11. *Гриб А. А.* Неравенства Белла и экспериментальная проверка квантовых корреляций на макроскопических расстояниях // *УФН.* – 1984. – Т. 142. – С. 619–634.
12. *Спасский Б. И., Московский А.В.* О нелокальности в квантовой физике // *УФН.* – 1984. – Т. 142. – С. 599–617.
13. *Grib A.A., Rodrigues W.A.Jr.* Nonlocality in Quantum Physics. – N.Y.: Kluwer–Plenum, 1999. – P. 226.
14. *Bennett C.H., et al.* Teleportating an unknown quantum state via classical and Einstein–Podolsky–Rosen channels // *Phys. Rev. Lett.* – 1993. – Vol. 70. – P. 1895.

15. Белокуров В.В., Тимофеевская О.Д., Хрусталёв О.Ф. Квантовая телепортация – обычное чудо. – Ижевск: РХД, 2000. – С. 256.
16. Бауместер Д., Экерт А., Цайлингер А. Физика квантовой информации. Квантовая криптография. Квантовая телепортация. Квантовые вычисления / пер. с англ. – М.: Постмаркет, 2002. – С. 376.
17. Марков М. А. О трёх интерпретациях квантовой механики. – М.: Наука, ФМ, 1991. – С. 112.
18. Барвинский А. О., Каменщик А. Ю., Пономарёв В. Н. Фундаментальные проблемы интерпретации квантовой механики. Современный подход. – М.: МГПИ, 1988. – С. 115.
19. Бройль Л. де. Соотношения неопределённостей Гейзенберга и вероятностная интерпретация квантовой механики / пер. с франц. – М.: Мир, 1986. – С. 344.
20. Гейзенберг В. Физические принципы квантовой теории / пер. с нем. – М.: РХД, 2002. – С. 148.
21. Фейнман Р., Хибс А. Квантовая механика и интегралы по траекториям / пер. с англ. – М.: Мир, 1968. – С. 382
22. Менский М. Б. Квантовые измерения и декогеренция. – М.: Физматлит, 2001. – С. 232.
23. Блохинцев Д. И. Основы квантовой механики. – М.: ФМ, 1966. – С. 160.
24. Блохинцев Д. И. Квантовая механика: Лекции по избранным вопросам. – М.: Атомиздат, 1981. – С. 96.
25. Биберман Л., Сушкин Н., Фабрикант В. Дифракция поочередно летящих электронов // ДАН СССР. – 1949. – Т. 66. – С. 185.
26. Пенроуз Р. Новый ум короля: О компьютерах, мышлении и законах физики / Пер. с англ., под ред. В. О. Малышенко. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – С. 384.
27. Менский М. Б. Человек и квантовый мир. – Фрязино: Век2, 2007. – С. 320.
28. Рыбаков Ю. П., Терлецкий Я. П. Квантовая механика. – М.: Изд-во УДН, 1991. – С. 206.
29. Гриб А. А. Концепции современного естествознания. Физика. – СПб.: Изд. СПбГУЭФ, 2000. – С. 152.
30. Schrödinger E. Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik // Naturwissenschaften. – 1935. – Bd. 23. – S. 807–812, 823–832, 844–849.
31. Everett H. Relative State Formulation of Quantum Mechanics // Rev. Mod. Phys. – 1957. – Vol. 29. – P. 454–462.
32. Wheeler J. A. Assessment of Everett's Relative State Formulation of Quantum Mechanics // Rev. Mod. Phys. – 1957. – Vol. 29. – P. 463–465.
33. Heisenberg W. Über quantentheoretische Umdeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen // Z. Phys. – 1925. – Bd. 33. – S. 879–893.
34. Born M. and Jordan P. Zur Quantenmechanik // Z. Phys. – 1925. – Bd. 34. – S. 858–888.
35. Грин Х. Матричная квантовая механика / пер. с англ., под. ред. А.Ф. Соколова. – Н: НФМИ, 2000. – С. 160.
36. Schrödinger E. Quantisierung des Eigenwert problem. I // Ann. Phys. – 1926. – Bd. 79. – S. 361–376.
37. Schrödinger E. Quantisierung des Eigenwert problem. II // Ann. Phys. – 1926. – Bd. 79. – S. 489–527.
38. Schrödinger E. Über das Verhältnis der Heisenberg–Born–Jordanischen Quantenmechanik zu der meinem // Ann. Phys. – 1926. Bd. 79. – S. 734–756.
39. Schrödinger E. Quantisierung des Eigenwert problem. IV // Ann. Phys. – 1926. Bd. 81. – S. 109–139.
40. Feynman R.P. Space-Time Approach to Non-Relativistic Quantum Mechanics // Rev. Mod. Phys. – 1948. – Vol. 20. – P. 367–387.

41. *Bohr N.* Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete? // *Phys. Rev.* – 1935. – Vol. 48. – P. 696–702.
42. *Schrödinger E.* Discussion of Probability Relations between Separated Systems // *Proc. Cambridge Philosoph. Soc.* – 1935. – Vol. 31. – P. 555.
43. *Ахиезер А.И., Половин Р.В.* Почему невозможно ввести в квантовую механику скрытые параметры // *УФН.* – 1972. – Т. 107. – С. 463 – 487.

MANYSIDEDNESS OF QUANTUM THEORY

M.L. Fil'chenkov, Yu.P. Laptev

The current state of art in quantum theory and the main stages of its creation have been considered. Interpretations and formulations of quantum mechanics, thought EPR experiment, Bell's inequalities, entanglement, hidden variables, quantum non-locality and quantum teleportation have been analyzed.

Key words: quantum theory, quantum mechanics, quantum field theory, interpretations, formulations, EPR, Bell's inequalities, entanglement, hidden variables, quantum non-locality, quantum teleportation.

О СПЕЦИФИКЕ КВАНТОВО-РЕЛЯТИВИСТСКОГО ОПИСАНИЯ ДВИЖЕНИЯ МИКРООБЪЕКТОВ

Л.Г. Антипенко

Институт философии РАН

Даётся полное решение квантово-релятивистского уравнения Дирака. При этом используется метод решения, предложенный Р. Пенроузом (элементы алгебры Клиффорда). Тем самым открываются две новые внутренние степени свободы электрона: правая и левая спиральности. Они описываются двумя спинорами. Одному спинору соответствует вещественное время и вещественная протяжённость. Другому – мнимое время и мнимая протяжённость. Мнимые величины не имеют единиц измерения. Они символизируют мгновенные процессы.

Ключевые слова: внутренние степени свободы электрона: спин, правая спиральность, левая спиральность.

Квантово-релятивистское описание движения микрообъектов обычно представляют на примере описания свободного движения электрона. Оно даётся в виде результатов решения квантово-релятивистского уравнения Дирака. Однако такие результаты являются адекватными лишь в том случае, если они отвечают *полному*, двуспинорному решению дираковского уравнения. Задача данной статьи состоит как раз в том, чтобы показать, каким способом достигается полное решение.

Для этого нам придётся вникнуть в некоторые особенности релятивистского движения физических объектов безотносительно к квантовой физике. В книге А.П. Котельникова «Принцип относительности и Геометрия Лобачевского» [1. С. 37–66] подробно разъясняется соотношение не-евклидовой геометрии Лобачевского и теории относительности вместе с миром Минковского. Резюмируя приводимые в ней разъяснения, Котельников указывает, что механика евклидова пространства трёх измерений может рассматриваться (в геометрическом плане) как геометрия мира (x, y, z, t) , так что для классической механики мы имеем мир Ньютона N_4 , тогда как для механики Эйнштейна – мир Минковского M_4 . Поскольку геометрией Лобачевского определяются метрические свойства мира Минковского, пишет он далее, а эти свойства выражают законы принципа относительности, то можно сказать, что *геометрия пространства Лобачевского трёх измерений определяет законы механики Эйнштейна* аналогично тому, как геометрия Евклидова пространства трёх измерений определяет законы механики Ньютона [1. С. 65–66].

Напоминаю я об этом по той простой причине, что законы геометрии Лобачевского обязывают нас считаться с мнимой единицей и вообще с ком-

плексными числами, когда приходится иметь дело с такими понятиями, как мнимая протяжённость и мнимое время (мнимый параметр времени). Часто всё это упускают из виду, особенно когда в теории относительности оперируют понятием псевдоевклидова пространства, рассматриваемого как простое обобщение пространства трёх измерений (x, y, z) на пространство четырёх измерений (x, y, z, t) . (От того, что, скажем, величина времени входит в выражение квадрата пространственно-временного интервала ds^2 с мнимой единицей, суть дела не меняется).

А теперь об этой самой сути дела. Динамический характер релятивистского движения материальной частицы описывается двумя уравнениями, выражающими собой два инварианта в системе связанных между собой состояний инерциального движения:

$$ds^2 = c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2, \quad (1)$$

$$E^2 - p^2 c^2 = m^2 c^4. \quad (2)$$

Второе уравнение представляет собой квадрат четырёхмерного вектора импульса-энергии. В нём же отражается релятивистский вариант закона сохранения энергии и импульса. Баланс уравнения (2) не нарушится, если в члены его, стоящие справа и слева, мы подставим вместо величины m величину $-m$ или мнимую массу im . Однако мнимая единица может проявить себя нетривиальным образом, когда скорость движения частицы превысит (в инерциальной системе отсчёта) скорость распространения света. Можно было бы отбросить этот случай как не имеющий физического смысла, ссылаясь на эйнштейновский принцип запрета, согласно которому не существует таких физических процессов, в которых обнаруживались бы движения, превышающие скорость распространения света в вакууме. Однако этого сделать нельзя, поскольку, как указывает Котельников, метрические свойства мира Минковского определяются не иначе, как геометрией Лобачевского.

В чём же состоит особенность метрики в геометрии Лобачевского? Геодезическая линия – прямая Лобачевского – имеет две бесконечно удалённые точки, что отличает её от евклидовой прямой, имеющей одну бесконечно удалённую точку. По другую сторону каждой из этих двух вещественных точек располагается мнимый отрезок прямой. Не считаться с этим геометрическим фактом никак нельзя, хотя признание его наталкивается на трудности, имеющие, скорее всего, чисто психологический характер. Ведь даже Феликс Клейн допускал колебания в этом вопросе, когда писал: «Гиперболическая геометрия (геометрия Лобачевского. – Л.А.) наделяет прямую двумя бесконечно удалёнными точками. О том, существует ли по ту сторону обеих бесконечно удалённых точек ещё один участок прямой, дополняющий до замкнутой линии участок, лежащий в конечной области, сказать ничего нельзя, так как наши движения никогда не доводят нас до бесконечно удалённых точек, не говоря уже о том, чтобы вывести за их пределы. Во всяком случае можно присоединить такой участок как мысленную, идеальную часть прямой линии» [2. С. 268–269].

Отметим сразу же, что если Клейн ограничивал возможности «наших движений» как движений, ограниченных эмпирическими ассоциациями, то Лобачевский *a priori* никаких ограничений на них не налагал. Он просто констатировал: «В природе мы познаём собственно только движение, без которого чувственные впечатления невозможны. Итак, все прочие понятия, например, Геометрические, произведены нашим умом искусственно, будучи взяты в свойствах движения; а потому пространство, само собой, отдельно, для нас не существует» [3. С. 158–159]. Тот геометрический факт, что из свойств движения проистекает наличие мнимой протяжённости и мнимого времени свидетельствует, в свою очередь, о том, что наряду с наблюдаемым движением существует *скрытое* движение. И если при аналитическом описании движения (описании, которое имеет в виду Клейн) не допускается переход от одной его формы к другой, то в физике квантов (квантовые скачки) данный запрет устраняется.

Этих беглых замечаний, пожалуй, будет достаточно, чтобы воспроизвести уже квантово-релятивистский способ описания движения. Но мы добьёмся в этом вопросе большей ясности, если ещё обратим внимание на некоторые топологические характеристики пространства. Поводом к их рассмотрению послужила статья П.А. Флоренского «Скважность», помещённая им в Технической энциклопедии [4]. С подробным анализом статьи и соответствующими выводами из неё читатель может познакомиться во второй части книги «Павел Флоренский. Штрихи творческой жизни» [5]. Кратко же суть дела выглядит следующим образом.

Скважность, записано в Технической энциклопедии, есть общее свойство твёрдых тел, выражающееся в существенном (не сводящемся к ошибкам измерения) неравенстве значений занимаемого ими объёма, если последний измеряется разными способами. «Под объёмом физического тела разумеют область непроницаемости, обусловленной присутствием этого тела; понятие об объёме без признака непроницаемости в отношении физического тела не может быть построено. Но признак непроницаемости соотносит понятие объёма с понятием о том конкретном факте, приёме, посредством которого устанавливаются границы области, непроницаемой для данного испытания. Прежде чем будет дано доказательство противного, в каждом частном случае нет оснований утверждать тождественность этих границ при разных приёмах испытания, то есть с помощью энергии в разных её видах» [4. С. 73].

Скважностью называется, таким образом, такая совокупность изъянов физического тела, которая выпадает из его сплошности. Свойства физического тела, указывает Флоренский, зависят не только от количественной пропорции того и другого, но и от объёма и формы отдельных скважин, от их топологических характеристик. Скважность, читаем мы далее, принадлежит к числу наиболее глубоких характеристик физического тела, определяющих его свойства не только в количественном, но и в качественном отношении. При этом важное значение имеет здесь топологическое строение

скважин и соотношение между собой геометрических размеров скважин и целого тела. «Геометрией скважин объясняются в весьма большом числе случаев физико-химические явления в физических телах, причём качественный характер этих явлений обусловлен топологией тех изъянов сплошности физического тела, которые в совокупности составляют его скважность, а количественный – их метрикой. В соответствии с указанными обстоятельствами, основания классификации скважин должны быть проводимы по топологическому характеру скважин, по их форме, по величине и числу» [4. С. 75].

У автора данной статьи возникла мысль перенести понятие скважности физического тела на структуру пространства. Был поставлен вопрос: имеются ли в пространстве аналоги скважин в твёрдых телах, и если имеются, тогда что же они собой представляют? Как известно, пространственная протяжённость теоретически отождествляется с континуумом, состоящим из несчётного множества точек, идентифицируемых с рациональными и иррациональными числами. Мощност континуума всегда такова, что её можно оценить любым из алефов на шкале конечных и трансфинитных чисел, лишь бы оставались промежутки (*hiatus*) между точками. Вот эти самые хиатусы и было решено представить как *скважины* в пространстве. Но чем оправдывается введение данного термина по отношению к пространству? – Тем, что слово *скважина* по смыслу своему передаёт идею не просто наличия дырок в пространстве, а именно скважин, из которых нечто извлекается или протекает. Забегая несколько вперёд, скажем, что таким агентом, проявляющимся на поверхности пространства и воздействующим на расположенные в нём (микро)объекты, служит физический вакуум. В контексте теории квантованных полей двойственный характер структуры, присущей компаунду *пространство + физический вакуум*, рассматривается под углом зрения наличия отношения дополнительности (в смысле идеи дополнительности Н. Бора) между его частями, о чём ещё будет сказано ниже.

Более строгий (в математическом плане) вывод о взаимоотношении двух частей указанного выше компаунда требует привлечения понятия топологического пространства. При рассмотрении одномерного (одномерного: для наглядности) топологического пространства выявляется тот факт, что существует два вида топологических пространств: отделимых (по Хаусдорфу) и неотделимых [6. С. 82–83]. Отделимое пространство, обладающее свойством подразделения на части, есть пространство обычной протяжённости. Неотделимое топологическое пространство не метризуется; его мы вправе ассоциировать с физическим вакуумом.

Теперь можно уже непосредственно приступить к анализу двуспинорного решения уравнения Дирака и его интерпретации. Предстоит объяснить, почему односпинорное решение уравнения Дирака, представленное самим Дираком, является неполным; почему его необходимо дополнить вторым спинором.

Напоминаем о том, что операторы физических величин в решениях уравнения Дирака сочетаются с четырёхмерными матрицами. Эти матрицы

позволяют учесть тот факт, что электрон обладает спином, а спин при движении электрона имеет две проекции на два направления, одно из которых совпадает с импульсом частицы, другое – противоположно импульсу. Именно так определяется состояние движения электрона, называемое спинором. При этом для выражения спинора достаточно двухмерных матриц, которые получили название матриц Паули. Однако возникает вопрос, как быть с четырёхмерными матрицами. Что они описывают? Каков их физический смысл? С самого начала было ясно, что четырёхмерные матрицы приводят к наличию двух спиноров. Сам Дирак попытался интерпретировать второй спинор как средство для описания движения античастицы электрона, то есть позитрона. Однако впоследствии выяснилось, что такая интерпретация является ошибочной. Р. Пенроуз по этому поводу заявил, что хотя число степеней свободы позитрона тоже скрывается в решениях уравнения Дирака, однако было бы ошибочно считать, что две компоненты уравнения Дирака, составляющие спинор, относятся к электрону, а две другие (то есть второй спинор) – к позитрону [7. С. 526].

Таким образом, встаёт задача выяснить, что же описывается вторым спинором. Большинство физиков, как правило, не утруждают себя её решением. Они просто именуют два наличных состояния движения электрона спиральностями – правой и левой, – и не проводят различия между ними. Однако, по нашему мнению, за различием спиральностей скрываются существенно разные состояния движения электрона (как и любого другого фермиона). Назовём, как это делает Пенроуз, один вариант решения общего уравнения «дираковским», второй – «антидираковским». В первом варианте оператор, совпадающий со своим собственным значением и представленный в виде произведения массы частицы, скорости света и мнимой единицы, подаётся со знаком плюс, во втором варианте – со знаком минус. Эти знаки меняют статус оператора времени. В одном случае соответствующая ему величина времени имеет вещественное значение, в другом – мнимое.

Поясним, что скрывается за этим физико-математическим фактом.

Полное решение уравнения Дирака достигается посредством рассмотрения взаимосвязи двух уравнений:

уравнения Шредингера

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = H\psi \quad (3)$$

и уравнения релятивистской механики

$$E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4. \quad (4)$$

Уравнение Шредингера преобразуется в релятивистское уравнение таким образом, что оператор Гамильтона H соотносится с величиной энергии, выражаемой посредством уравнения (2). Как показал Пенроуз, получается более наглядный способ записи для полного решения уравнения, составленного Дираком, если ввести в рассмотрение элементы алгебры Клиффорда (играющие, примерно, ту же роль, что и матрицы у Дирака). Опуская неко-

торые детали этой математической процедуры, мы просто отметим, что, согласно методу Пенроуза, в операторы соответствующих величин превращаются не только слагаемые, стоящие в правой части уравнения (2), но и производная по времени $\partial/\partial t$ от волновой функции, которая ставится в один алгебраический ряд с другими операторами. В результате вместо канонического уравнения Дирака устанавливается уравнение

$$(\partial^2 + M^2)\psi = 0, \quad (5)$$

в котором символом ∂ обозначается сумма четырёх операторов (операторы трёх составляющих импульса плюс оператор, равный производной по времени (величина c принимается равной единице, $M = m/\hbar$)). Подход к его решению состоит в том, что сумма, стоящая в скобках равенства (5), разлагается на два множителя

$$[(\partial + iM)(\partial - iM)]\psi = 0.$$

В таком случае уравнение

$$(\partial + iM)\psi = 0 \quad (6)$$

представляет собой сокращённую запись уравнения Дирака. Его решение даёт двухкомпонентную величину ψ_A , которую можно символически записать в виде

$$\psi_A = \psi_A(\psi_1, \psi_2).$$

Вот эта двухкомпонентная величина ψ_A называется спинором, поскольку её компонентами отображаются противоположные проекции спина электрона на направление движения. Так выглядит решение, полученное самим Дираком с использованием двухмерных матриц Паули. Понятно, что когда выполняется уравнение (6), должно выполняться также и уравнение (5). То же самое можно сказать и об уравнении

$$(\partial - iM)\psi = 0, \quad (7)$$

которое Пенроуз называет «антидираковским». При его решении приходится учитывать то обстоятельство, что первое его слагаемое остаётся неизменным, равным такому же слагаемому в (6), но меняется знак второго слагаемого. Такая замена приводит к тому, что имеет место преобразование $\psi \rightarrow \bar{\psi}$ (операция комплексного сопряжения), и оператор времени меняет свой статус. К первому дираковскому спинору добавляется второй спинор, который Дирак и пытался отнести к ведомству позитрона.

Пенроуз, получивший данный результат, остановился перед задачей его интерпретации. Он обозначил соответствующие двум спинорам состояния движения частицы терминами «зиг» и «заг» [7. С. 532], а затем пытался объяснить, как получается, что скорость движения электрона предстаёт в решении как скорость, равная скорости распространения света. Его аргументация по этому вопросу представляет интерес в том плане, что она почти вплотную подводит к правильной интерпретации спиноров.

Спинор, пишет Пенроуз, можно рассматривать как объект, на который элементы алгебры Клиффорда действуют как операторы. «В уравнении Дирака элементы Клиффорда действуют на волновую функцию ψ . Тогда сама функция должна быть спинором. Она обладает дополнительными степенями свободы... помимо зависимости от координат и времени, обычной для скалярной волновой функции, и эти дополнительные степени свободы действительно описывают спин электрона!» [7. С. 524]. А далее он указывает, что частица, движение которой описывается уравнением Дирака, имеет всего две компоненты спина, несмотря на то, что у волновой функции имеются четыре компоненты. В *математическом* отношении причина этого расхождения тесно связана с тем фактом, что уравнение Дирака (6) является уравнением первого порядка, так что пространство его решений охватывает лишь половину решений волнового уравнения второго порядка (5). В физическом плане такой «подсчёт» решений уравнения Дирака, казалось бы, должен учитывать тот факт, что число степеней свободы античастицы электрона, а именно позитрона, также скрывается в решениях уравнения Дирака. «Однако было бы заблуждением считать, – пишет Пенроуз, – что две компоненты уравнения Дирака относятся к электрону, а две других – к позитрону...» [7. С. 526]. На самом деле, резюмирует автор, ситуация гораздо сложнее. «Гораздо сложнее» означает, что уравнение Дирака содержит оператор $\partial/\partial t$ (оператор берётся с мнимой единицей) в первой степени. А в уравнение (5) он входит в квадрате. Поэтому мы должны считаться с наличием двух комплексно сопряжённых операторов $i\partial/\partial t$ и $-i\partial/\partial t$, что соответствует двум состояниям движения, описываемым двумя комплексно сопряжёнными волновыми функциями.

Большинство физиков, как мы уже указывали, вводят в рассмотрение чисто формально две дополнительные степени свободы электрона под названием левой и правой спиральности. Пенроуз попытался, было, дать им содержательную интерпретацию, введя в игру символику «зиг» и «заг». Он предположил, что под каждым из них надо понимать частицу, имеющую нулевую массу покоя и движущуюся со скоростью света. Но поскольку они как-то взаимодействуют между собой, то в результате их взаимодействия получается частица, уже обладающая отличной от нуля массой покоя. Усреднённое движение электрона теперь вроде должно бы характеризоваться скоростью, меньшей скорости света.

Недостаток интерпретации, предложенной Пенроузом, состоит в том, что в её рамках всё-таки нельзя толком объяснить, почему в обоих спинорах в качестве показателя скорости движения фигурирует скорость света c ; нет объяснения, как она превращается в величину $v < c$. А вот предлагаемая нами интерпретация лишена этого недостатка, так как в этой интерпретации скорость света предстаёт как среднеквадратичная величина от двух других величин – «групповой» и фазовой скоростей движения электрона v и u : $c = \sqrt{vu}$. Один спинор, стало быть, соответствует состоянию движения час-

тицы с досветовой скоростью (вещественное время), другой – соответствует состоянию движения, аналогичному движению со сверхсветовой скоростью (мнимое время).

Точно так же двуспинором описывается и движение позитрона. Но, конечно, позитронный двуспинором отличается от электронного двуспинора и отличается не только тем, что электрические заряды частицы в одном и другом случае противоположны. При переходе от электронного двуспинора к позитронному имеет место изменение спиральностей: правая становится левой, и наоборот. Этот факт свидетельствует о том, что при полном решении уравнения Дирака мы получаем связку (сцепление) двух двуспиноров. Наличием этого сцепления определяется нулевое состояние электронно-позитронного квантового поля – физического вакуума. Если же сцепление спинов разрушается, электрон и позитрон обретают состояние свободного движения в пространстве-времени мира Минковского. В учебниках по квантовой механике данный факт чаще всего интерпретируется иначе. Указывают, например, на наличие состояний движения частицы с положительной и отрицательной энергиями, причём подчёркивается, как это делает в своём учебнике А.С. Давыдов, что данные понятия имеют «условный смысл и удобны для описания процессов рождения и уничтожения пар частиц (например, электронов и позитронов)» [8. С. 249–251].

Перейдём теперь к вопросу о том, что означают слова «состояние движения, аналогичное движению со сверхсветовой скоростью». В своё время (1940-е гг.) Я.И. Френкель выдвинул гипотезу, согласно которой проблема квантизации динамических полей связана с фактором прерывистого движения квантовых объектов. С этой точки зрения, писал он, материя образует совокупность проникающих друг в друга динамических полей (электромагнитного и нуклонового) с их узловыми точками – материальными частицами и телами. «Эти точки при некоторых условиях могут появляться и исчезать, причём, однако, энергия поля, а также количество движения и другие фундаментальные свойства остаются неизменными» [9. С. 304]. Данная гипотеза тогда физиками не была принята во внимание. Одна из причин такого невнимания состояла в том, что не было указано, откуда появляются и куда исчезают частицы. Короче говоря, Френкель упускал из виду физический вакуум. Теперь же можно представить, что исчезновение электрона в процессе движения есть его погружение в физический вакуум. Исчезновение частицы в одном месте сопровождается одновременным её появлением в другом месте пространства. При этом, в силу принципа тождества неразличимых, не имеет смысла спрашивать, тот ли самый электрон появился в другом месте. Важно лишь не упускать из виду, что каждому провалу частицы, именуемому *hiatus*, соответствует мнимая протяжённость и мнимое время.

Есть возможность построить более наглядную физико-математическую модель взаимозависимости вещественного и мнимого времени. Она как раз

связана с понятиями спина и спиральности электрона или любого другого фермиона.

Анализ понятия спина показывает, что оно вбирает в себя две внутренние степени свободы (движения) частицы. С одной стороны, спин электрона проявляет себя как полярный вектор, обладающий противоположными проекциями на выделенное направление в пространстве. Он, стало быть, имеет пространственную атрибуцию. С другой стороны, если бы его функция сводилась только к этому, то отпала бы нужда оперировать понятиями левой и правой спиральности. Вообще следует сказать, что спин обладает неожиданной спецификой в отличие от многих других квантовых величин. Если, скажем, такие квантовые величины, как координата и импульс микрочастицы, имеют классические аналоги, то спин такого аналога не имеет, хотя, казалось бы, им мог бы быть угловой момент вращения макроскопического тела. Однако, как пишет канадский учёный Дж. Р. Браун, случай со спином ни на что известное не похож. «Электрон ни в каком смысле нельзя рассматривать как действительно вращающийся объект. Не существует системы отсчёта координат, в которой могло бы быть устранено вращение электрона» [10. С. 31].

Чтобы прояснить ситуацию, автор приводит такой пример. Допустим, что некий субъект стоит в центре карусели и вращается с некоторой угловой скоростью относительно земли. Он, конечно же, находится в покое относительно карусели, рассматриваемой в качестве системы отсчёта. Следовательно, он движется в одной системе отсчёта, но неподвижен в другой. «Однако для электрона не существует такой «карусельной» системы отсчёта. В любой системе, какова бы она ни была, он сохраняет своё вращение (spin). Именно поэтому спин называется «внутренним», поэтому о нём иногда говорят как о подлинном квантово-механическом свойстве, в отличие от других» [10. С. 31]. В конце концов Браун задаётся вопросом: если спин электрона не похож на вращение Земли вокруг своей оси, тогда что он такое?

На этот вопрос он отвечает просто: для спина электрона не существует механической модели. С этим, конечно, нельзя не согласиться. Однако в данном высказывании недостаёт позитивного указания на решение «электронной» загадки. Всякая механическая модель есть модель движения в пространстве и времени. Поскольку вращение (спин) электрона нельзя соотнести с пространством, за ним остаётся только время. Должно быть, тут как раз обнаруживается соответствие между левой и правой спиральностями электрона и двумя компонентами времени: вещественной и мнимой. В математическом плане мы можем совместить эти компоненты посредством комплексных чисел, на комплексной плоскости.

Как известно, комплексным числам, рассматриваемым в чисто алгебраическом плане, на комплексной плоскости соответствуют точки и полярные вектора. Проекция точки (она же проекция соответствующего вектора) на вещественную ось даёт вещественную координату точки, проекция на

мнимую ось даёт мнимую координату точки. Интуитивно представляется возможным как-то ассоциировать вещественную компоненту времени с вещественной, или действительной, частью комплексного числа, а мнимую – с мнимой частью. Но здесь возникает одна трудность. Поскольку вещественная и мнимая части комплексного числа суть разнородные величины, их нельзя непосредственно сочетать в единой сущности времени. Поэтому приходится искать такого их выражения, при котором они не попадали бы под запрет принципа однородности (в широком смысле принципа перманентности Ганкеля). К счастью, формула Эйлера и формула Муавра позволяют преодолеть данную трудность.

Наглядно сведение к единству двух частей комплексного числа выглядит следующим образом. Записывается равенство

$$z = a + ib = \rho(\cos \theta + i \sin \theta). \quad (8)$$

Согласно формуле Эйлера имеем

$$\rho(\cos \theta + i \sin \theta) = \rho e^{i\theta}. \quad (9)$$

В выражении (8) вещественная и мнимая части комплексного числа представлены двумя циклическими функциями, аргументами которых служит угловая величина θ . Изменение этой величины соответствует вращению полярного вектора комплексного числа либо против движения часовой стрелки, либо в обратном направлении (по часовой стрелке), что представляется соответственно выражениями $z = \rho e^{i\theta}$ и $\bar{z} = \rho e^{-i\theta}$, где \bar{z} – комплексно сопряжённое (по отношению к z) число. Далее, вращение полярного вектора комплексного числа символизируется посредством аксиального вектора, который будем называть для определённости вектором Максвелла (предложено А.П. Флоренским [11]). Вот с этим вращением, прямым и обратным, есть смысл соотносить ход времени. На первый взгляд, может показаться абсурдной сама мысль, что течение времени может менять своё направление в согласии с изменением направления вращения вектора Максвелла. Однако мы находим подтверждение этому как раз со стороны наличия двух спинов, описывающих движение электрона.

Чтобы окончательно убедиться в наличии данного соответствия, сделаем ряд некоторых дополнительных разъяснений. Во-первых, надо учесть особенность вектора Максвелла как вектора аксиального. Им символизируется, в зависимости от его направления, левосторонняя или правосторонняя ориентация комплексной плоскости. Для задания её ориентации достаточно придать ориентацию какой-нибудь расположенной на ней окружности. Трансформация окружности в окружность с противоположной ориентацией называется антиконформным преобразованием (иногда его именуют конформным преобразованием 2-го рода). Чтобы его совершить, достаточно перейти от аналитической функции, заданной на комплексной плоскости, к комплексно сопряжённой функции. Если $f(z) = z$, где $z = a + ib$, то соответствующее преобразование как раз означает переход от $z = a + ib$

к $\bar{z} = a - ib$. При этом вектор Максвелла меняет своё направление на противоположное.

К этим математическим сведениям следует ещё добавить, что комплексная плоскость удовлетворяет условию непрерывности и односвязности. Свойство односвязности означает, что всякую окружность, расположенную на плоскости, можно стянуть в точку. Легко понять, что, определяя ориентацию комплексной плоскости по ориентации расположенной на ней окружности, мы, при переходе от z к \bar{z} , меняем ориентацию всей плоскости. Самый важный для нас здесь момент заключается в том, что преобразование комплексного числа $x + iy$ в число $y + ix$ можно представить как преобразование по типу комплексного сопряжения, $x + iy \rightarrow x - iy$ вместе с последующим поворотом координатных осей на угол $\pi/2$ (выражение $x - iy$ умножается на мнимую единицу). Под этим углом зрения и оценивается функция комплексно сопряжённых операторов $i\partial/\partial t$ и $-i\partial/\partial t$ в двух спинорах, описывающих состояния движения электрона.

Возвратимся, однако, к вопросу об отношении дополнителности между пространственным континуумом и физическим вакуумом. В чисто техническом плане боровская идея дополнителности представляется в данном случае посредством некоммутирующих операторов канонически сопряжённых физических величин в теории квантованных полей. Выражение «теория квантованных полей» означает, что в ней изучается множество полей в зависимости от сорта частиц. Имеется в виду электронно-позитронное поле, протон-антипротонное, электромагнитное поле, квантами которого служат фотоны и т.д. Процедура соотнесения частиц с соответствующими полями называется вторичным квантованием. В книге А.А. Гриба «Концепции современного естествознания» [12] находим следующее разъяснение. При построении теории многих частиц советским физиком В.А. Фоком было введено важное понятие фоковского квантования поля. В результате развития этой теории появилось новое понятие локального квантованного поля. Оказалось, что каждой частице можно сопоставить не только волновую функцию, но и особое поле, зависящее от точки в пространстве и времени. Оперирование с четырёхмерным пространством-временем позволяет ввести понятие плотности тока частиц по аналогии с электромагнитным полем для фотонов.

Далее А.А. Гриб пишет: «Понятия частицы и её квантованного поля находятся в отношении дополнителности. Операторы числа частиц и тока частиц и античастиц не коммутируют. Поэтому одновременно они не существуют: если измеряется определённое число частиц, то при этом не существует их квантованное поле, если существует поле, то не существует определённого числа частиц» [12. С. 171]. Далее делается вывод, что при нулевом числе частиц (а это число, стало быть, определённое) не может не существовать отличное от нуля значение поля. Это поле и отождествляется с физическим вакуумом. Считается, что вакуум является единым для всех сортов

частиц. А существование частиц есть как раз показатель существования пространства.

Фоковский метод квантования поля введён для описания взаимодействий реальных элементарных частиц. С той же целью Р. Фейнманом был предложен другой метод – метод фейнмановских диаграмм и виртуальных частиц. Могло создаться впечатление, что в этой теории физическому вакууму места не остаётся. Электромагнитное взаимодействие между электрически заряженными элементарными частицами – электронами и позитронами – описывается в нём как обмен виртуальными фотонами. Однако приходится апеллировать к некоторому фактору, позволяющему ответить на вопрос о том, откуда виртуальные фотоны заранее «знают», какую функцию им предписано выполнять: расталкивать ли частицы, когда они имеют одинаковые заряды, или притягивать – в случае противоположных зарядов. Этот фактор «повисает в воздухе», если игнорировать его связь с физическим вакуумом.

Полномасштабное описание движения микрообъектов на языке квантово-релятивистской физики позволяет понять и выразить на этом языке соотношения неопределённостей Гейзенберга

$$\Delta x \Delta p_x \geq \hbar, \Delta E \Delta t \geq \hbar. \quad (10)$$

Так, сравнивая величины импульса и энергии в (10) с их соотношением в уравнении (2), мы видим, что в релятивистской теории ими нельзя оперировать порознь. Специфика квантово-релятивистского описания движения электрона, однако, позволяет понять и объяснить, почему электрон, движущийся, скажем, по направлению оси x с точно определённым импульсом p может быть обнаружен с разной вероятностью в любом месте на оси x . Во все нет необходимости помышлять, что измерительная фиксация электрона служит причиной его разброса по разным местам на траектории движения (эффект микроскопа, придуманного в своё время Гейзенбергом). Спинорный способ описания движения оперирует амплитудами вероятности для двух состояний движения: досветового и «сверхсветового». Эти амплитуды позволяют вычислить естественным образом среднюю скорость движения частицы. Трудность и с истолкованием неравенства $v \neq c$ отпадает.

Имея в виду эту трудность, Дирак писал, что для того чтобы измеренная нами скорость служила приближением для мгновенного значения скорости, интервал времени между двумя измерениями координаты должен быть очень мал, и, следовательно, эти измерения должны быть очень точными. «Большая точность, с которой известна координата электрона в течение данного интервала времени, должна приводить, согласно принципу неопределённости, к почти полной неопределённости импульса. Это значит, что почти все значения импульса вероятны, так что импульс почти наверняка бесконечен. Бесконечная же величина проекции импульса соответствует величине c для соответствующей проекции скорости» [13. С. 361–362]. Как здесь Дирак устанавливал соответствие величине скорости света, было со-

вершено непонятно. В связи с этим В.А. Фок отмечал, что описанная Дираком процедура не есть измерение скорости в квантово-механическом смысле. С одной стороны, она не позволяет делать предсказаний, относящихся к результатам будущих измерений скорости, а с другой стороны, она не может дать и проверки предшествовавших предсказаний. А потому, если отрицать обычную связь между скоростью и количеством движения (импульсом), то здесь нельзя применять и принципа неопределённости <...>, то есть соотношений Гейзенберга. К тому же следует отметить, «что рассуждения автора, будучи применены в теории Шредингера, привели бы к выводу, что скорость электрона всегда бесконечна»²².

При полном решении квантово-релятивистского уравнения Дирака обычное соответствие между скоростью и импульсом электрона остаётся в силе, а среднее значение скорости теоретически вычисляется исходя из наличия двух амплитуд вероятности для двух (переменяющихся) состояний движения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Котельников А.П. Принцип относительности и Геометрия Лобачевского (in mem. Lobatschevskii, 2). Главнаука. – Казань, 1927.
2. Клейн Ф. О так называемой неевклидовой геометрии // Об основаниях геометрии: сборник классических работ по геометрии Лобачевского и развитию её идей. – М.: Госиздат технико-теоретич. литературы, 1956.
3. Лобачевский Н.И. Полн. собр. соч.: в 5 т. – Т. 2. – М.–Л.: Гостихиздат, 1946–1951.
4. Техническая энциклопедия. – Т. XXI. – М.: АО «Советская энциклопедия» (1927–1934).
5. Антипенко Л.Г. Павел Флоренский. Штрихи творческой жизни // Русская мысль. – 1993. – № 1–2.
6. Успенский В.А. Что такое нестандартный анализ? – М.: Наука, 1987.
7. Пенроуз Р. Путь к реальности, или Законы, управляющие Вселенной. – М.: Ижевск, 2007.
8. Давыдов А.С. Квантовая механика. – М.: Физматгиз, 1963.
9. Френкель Я.И. На заре новой физики. – М.: Наука (Ленинградское отделение), 1970.
10. Браун Дж.Р. Может ли математика объяснять? // Эпистемология и философия науки. – Т. XIX. – 2009. – № 1.
11. Флоренский П. Мнимости в геометрии. – М.: Лазурь, 1991 (2-е изд.).
12. Гриб А.А. Концепции современного естествознания. – М., 2003
13. Дирак П.А.М. Принципы квантовой механики. – М.: Госиздат – физматгиз, 1960.

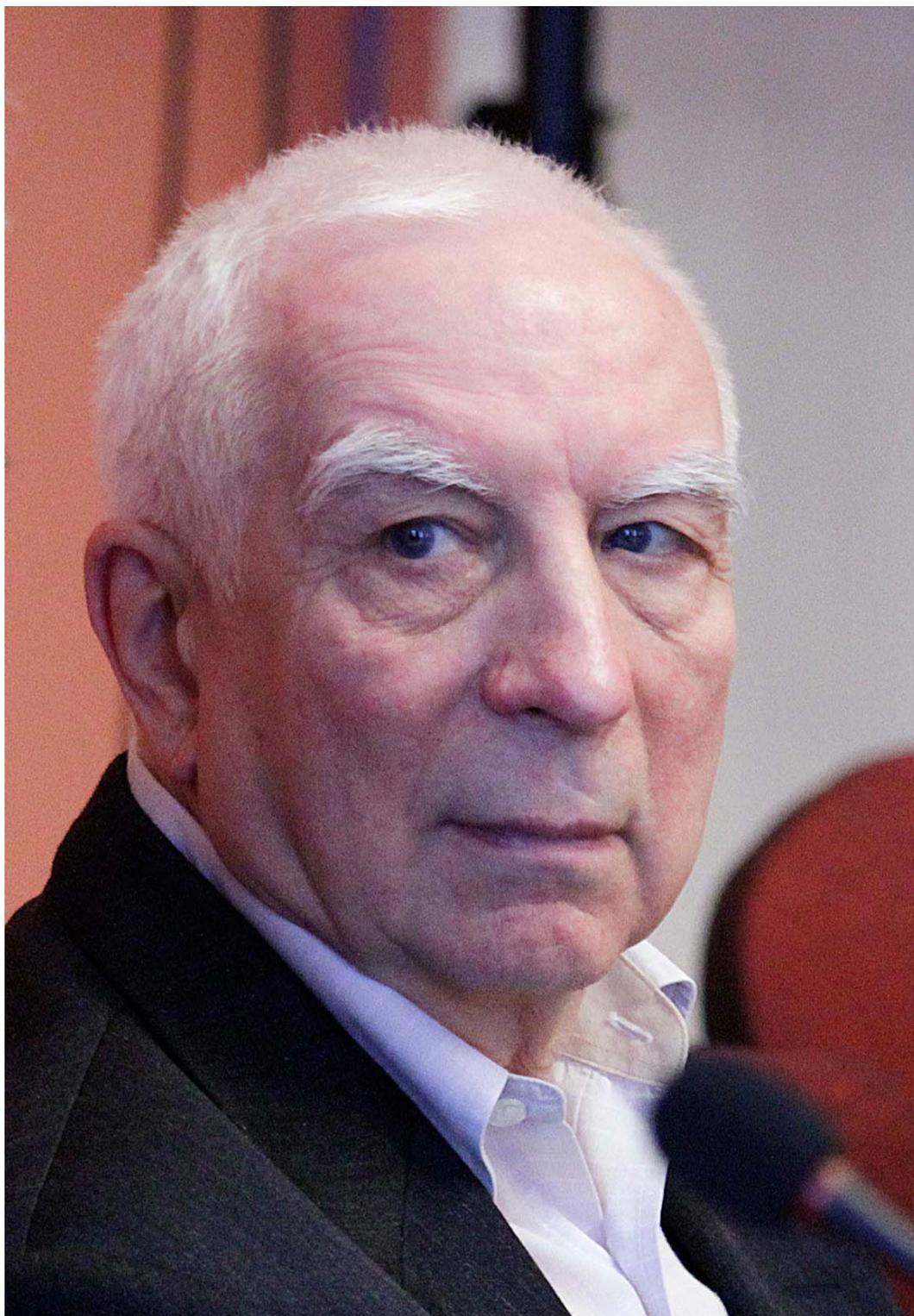
²² Примечание редактора к книге Дирака [13. С. 362].

ON THE SPECIFICS OF QUANTUM-RELATIVISTIC DESCRIPTION OF THE MOTION OF MICROSCOPIC OBJECTS

L.G. Antipenko

We give a complete solution of the quantum-relativistic Dirac equation. It uses the method of solution proposed by R. Penrose (elements of Clifford algebra). Thereby are opened two new internal degrees of freedom of the electron: the right and the left helicities. They are described by two spinors. One spinor corresponding real time and real length, the second – an imaginary time and imaginary length. Imaginary quantities do not have dimensional units. They represent an instantaneous process.

Key words: internal degrees of freedom of the electron: the right and the left helicities.



Михаил Борисович Менский (1939–2015)

КОНЦЕПЦИЯ МНОЖЕСТВЕННОСТИ МИРОВ МИХАИЛА МЕНСКОГО

Р.Ф. Полищук

*Астрокосмический центр Физического института
имени П.Н. Лебедева РАН*

Михаил Борисович Менский (1939–2015) как известный специалист по квантовой теории измерений внёс нетривиальный вклад в концепцию множества миров Эверетта, у которого миры множились при квантовых измерениях параметров каких-то его подсистем. Менский постулировал наличие единой квантовой реальности мира до и после взаимодействия мира с измерительным прибором. При этом квантовый мир есть суперпозиция его классических состояний, из которых сознание (мозг) наблюдателя как тоже квантовая система выбирает при каждом измерении только один вариант. В этом суть формулируемой Менским его квантовой концепции сознания.

Ключевые слова: множество миров Эверетта, единая квантовая реальность, суперпозиция классических состояний, квантовая концепция сознания.

Памяти нашего коллеги М.Б. Менского

Шестого марта 2015 г. в Москве скончался главный научный сотрудник Отделения теоретической физики Физического института имени П.Н. Лебедева РАН (ФИАН) Михаил Борисович Менский (1939–2015). Он был яркой фигурой в физике как таковой. Физику создают и развивают её унификаторы (например, Платон, Ньютон, Максвелл, Эйнштейн, Дирак) и диверсификаторы (скажем, Протагор, Нильс Бор, Эверетт, Уилер), к числу которых относился и Михаил Менский.

Всякий человек как разумное существо начинается с мифа, творческим усилием создавая или воссоздавая не существующие в природе идеализованные понятия бытия, времени, пространства, точки, линии, поверхности, добра, зла, Бога, дьявола, духа, материи и т.д. Дело в том, что понятие есть определение, полагание предела, отличающего одно понятие от другого, тогда как нельзя поставить предел тому, суть чего – в беспределности, поскольку истина – в целом. Даже сама актуальная бесконечность, приписывающая завершённость процессу увеличения чего-то и рождаемая незаконной бесконечной экстраполяцией «и так далее до бесконечности», ошибочна, поскольку за каким-то пределом всегда получается уже «не так» (иерархия не существующих в природе актуальных бесконечностей-«алефов» на самом деле из-за неизбежного предельного перехода приближённо моделирует соотношение изменяющихся сверхбольших конечных величин).

Научное познание мира начинается с расщепления первичной космологии на физику и метафизику. Ньютон создал математические начала философии природы. Он абсолютизировал созданные им понятия абсолютного времени и абсолютного пространства. С помощью несуществующих в природе материальных точек конечной массы и, по сути, с бесконечной плотностью материи (мысленно сжатой в центр массы) он описал всемирное тяготение всех масс (гравитационных зарядов) Вселенной. Максвелл на самом деле (по современным представлениям) имел дело со световыми состояниями «безмассовых» фотонов (у них равные по абсолютной величине масса и 3-импульс образуют 4-импульс нулевой 4-длины), не укладывающихся в квазиньютоново понятие светоносного эфира. Эйнштейн уловил относительность пространства и времени в рамках абсолютности уже четырёхмерного мира воображаемых нульмерных мировых точек-событий. Возникло 4+0 расщепление мира событий, дающего своё 1+3 расщепление на время и пространство для каждого досветового наблюдателя. Для воображаемого светового наблюдателя с его мировой линией нулевой длины (длина мировой линии досветового наблюдателя определяется показаниями его стандартных часов как его собственное время) трёхмерное пространство вырождается в двухмерное, давая 2+2 расщепление мира событий. Дирак связал вектор с диагональной матрицей, извлёк из неё и из дифференциального оператора второго порядка Клейна-Гордона-Фока «квадратный корень» и получил уравнение для электрона и возникшей при этом его античастицы (позитрона) с полуцелым спином: извлечение корня даже из нулевой матрицы даёт, вообще говоря, ненулевую матрицу, и появляется спин как новая характеристика элементарной частицы. Каждая физическая величина стала собственным значением оператора (матрица стала обобщением понятия числа, состояние системы – бесконечномерным вектором, изменяемым действием бесконечномерной матрицы, дающей новое содержание старой формуле Пифагора «Мир есть число»). Поскольку собственным значением оператора скорости является только плюс-минус скорость света, световые времена как первичные образы их комбинированием и усреднением рождают привычные понятия времени и пространства.

У Менского сам видимый мир стал понятием вторичным. Усиление платоновского принципа симметрии его локализацией привело к калибровочным полям, в том числе к реальным фотонам Максвелла и к виртуальным фотонам, переносящим взаимодействие электрических зарядов. Возник квантовый принцип неопределённостей, соединивший понятия положения и импульса запретом возможности их одновременного абсолютно точного измерения и задания (ведь всякая теория должна строиться операционально, с опорой в конечном счёте на те или иные конкретные операции). В квантовом мире исчезла геометрическая пустота. Возникли планковские кванты длины и длительности, запретившие физические (но не теоретические, математические) нульмерные точки-события, и возник квант действия, связавший операцию измерения с изменением измеряемого объекта (например, в

известном двухщелевом эксперименте с электронами они дают на экране картину их интерференции как картину наложения волн, а при «подматрировании» за электронами с помощью фотонов интерференция исчезает; непрерывный самоконтроль человека тоже изменяет его самого). А измерения производит обладающий сознанием субъект, и Михаил Менский увлёкся идеей связи сознания человека с квантовым фундаментом окружающего его мира, связи человеческого Я и не-Я. Но ранний буддизм как первая мировая религия исходит именно из ложности членения реальности на субъект и объект, в том числе – на Творца и творение (а альтернативный буддизму теизм абсолютизировал творческую способность человека как его характеристическое свойство, и разумное зерно теизма – в универсальности человека как наиприроднейшего существа, улавливающего универсальные законы породившей его Природы, а разумное зерно Живоначальной Троицы – в связи неделимого индивида и образуемого индивидами рода, где Святой Дух осуществляет их диалектическую взаимосвязь, причём в католицизме эта связь Отца-рода и Сына-порождения не односторонняя, как в православии). Михаил Менский на языке формул квантовой физики искал новый образ единства бытия (ведь у каждого человека – свой родной язык).

Михаил Борисович Менский, как сказано, был диверсификатором и предложил, в частности, расширенную концепцию Эверетта множественности миров. Американский физик Хью Эверетт считал математический формализм квантовой механики более надёжным ориентиром, чем нашу интуицию. Наш видимый мир, который мы привыкли считать «реальным», для него есть только один из бесчисленных «срезов» действительно реального «квантового мира». Согласно формулировке ДеВитта интерпретации Эверетта после каждого измерения того или иного параметра физической системы имеется совокупность классических эвереттовских миров, в каждом из которых реализуется лишь один результат измерения, и для каждого наблюдателя существует клон-двойник в каждом из эвереттовских миров. И с определённой вероятностью наблюдатель отождествляет себя с соответствующими двойниками в других мирах, каждый из которых видит вокруг себя тот же результат измерения и свой классический мир, так что наблюдения различных наблюдателей-двойников согласованы. Но в этой многомировой интерпретации Эверетта Менский усмотрел некоторую неполноту: приходится говорить, что классический мир, наблюдавшийся перед измерением, расщепляется на множество миров, по одному для каждого результата измерения, что нарушает, например, закон сохранения энергии (и я тоже говорил ему, что здесь не сохраняется и электрический заряд, но Михаил Менский сказал, что у него с этим всё в порядке).

Чтобы избежать указанной трудности в подходе Эверетта, Менский говорит не о многих классических мирах, но о многих *классических реальностях*, принадлежащих *единой квантовой реальности* квантового по своей природе материального мира. Никакого расщепления мира на самом деле здесь не происходит, но просто сам квантовый мир принимает форму супер-

позиции классических реальностей, не совместимых друг с другом с классической точки зрения. Но *различные классические реальности воспринимаются сознанием отдельно друг от друга*, так что, воспринимая одну из них, человек и любое другое живое существо не воспринимают остальные классические реальности, формирующие единую квантовую реальность в её целостности. Так возникает иллюзия существования лишь одной классической реальности: этот отдельный срез единой квантовой реальности, по Менскому, выбирается именно сознанием и ошибочно отождествляется со всей подлинной реальностью. На самом деле, по Менскому, после измерения квантовой системы «выживают» все компоненты суперпозиции, и в предложенной Менским Квантовой концепции сознания (Quantum Concept of Consciousness, QCC) имеется *внеперсональное «сверхсознание»* с его *сверхинтуицией непосредственного видения истины*, которому доступен весь набор классических реальностей, формирующих единую квантовую реальность. То, что недоступно сознанию, доступно отождествляемому с существованием сверхсознанию.

Вектор полной квантовой реальности есть, по Эверетту, суперпозиция, сумма векторов состояния, соответствующих различным классическим реальностям. Разделению классических реальностей соответствует явление декогеренции (термин Гелл-Мана и Хартла, 1990) как перехода чистого состояния квантовой системы в состояние смешанное при взаимодействии этой системы с окружением, с измерительным прибором. При декогеренции состояние системы описывается уже не вектором, но матрицей плотности: ведь теперь состояния измеряемой квантовой системы связываются с состояниями измерительного прибора. По Менскому, измерителем является мозг человека, в состоянии которого отражается состояние внешнего мира. Состояние мозга можно получить суммированием всех состояний внешнего мира переходом от вектора состояния квантового мира как целого к матрице плотности (внешним умножением по Дираку бра-вектора состояния на кет-вектор состояния) и взятием частичного следа этой матрицы по состояниям измеряемой системы. Когда мир находится в данном определённом состоянии, мозг находится в соответствующем ему состоянии, так что альтернативные реальности единой квантовой реальности оказываются несовместимыми друг с другом. Внеперсональное сверхсознание М. Б. Менский отождествляет с *коллективным бессознательным* Карла Юнга. Для человека в состоянии бессознательного сверхсознания нет разделения на внешнее и внутреннее, на всеобщее-абстрактное Я и не-Я, то есть на «мир». Теперь Я=Мир. Более того, в силу (отметим от себя, по Спинозе) *Deus est Natura*, понятие Я отождествляется с понятием Бога: погружившийся в глубокую медитацию (то есть включивший сверхсознание) человек становится равным Богу. Здесь человеку становится доступной не только сверхинтуиция с её прямым видением истины, но и управление субъективной реальностью, то есть тем, в какой из альтернативных реальностей человек окажется после возвращения в состояние обычного сознания.

Думаю, в оценке роли медитации Михаил Менский ошибается. Человек живёт не только разумом и наукой, и медитация апеллирует скорее к чувствам, чем к понятиям (а наука и есть развивающееся понятие). При медитации активируется прежде всего вегетативная нервная система – даже в ущерб центральной нервной системе. Естественное стремление человека уравновесить его досознательное и сознательное начала есть стремление избежать саморазрушения эксцессом саморефлексии. Ведь самопознание сравнимо с самоизмерением, изменяющим самого человека, – с риском возможного нарушения гармонии разума и воли, созерцательного «восточного» недеяния и реального физического «западного» действия, бездумность которого, в свою очередь, содержит новые риски. Абсолютное бессознательное вовсе не есть сверхсознание. Любовь к «пустоте» (*шунье* на санскрите) восточных мыслителей следует понимать *cum grano salis* (с крупинкой соли, диалектически). Пустота сознания сама по себе ещё не равна полноте сознания (иначе исчезает различие, скажем, между камнем и мыслящим человеком, между нищим и миллиардером, между не *имеющей частей* по Евклиду *точкой* и целым миром; и даже у Демокрита кроме пустоты есть ещё и атомы, а квантовая физика различает физический конкретный вакуум, что сродни океану в состоянии штиля, и частицы как кванты его возбуждения, что сродни бегущим по поверхности океана волнам).

Рациональное понятие Бога у Менского скорее метафора нового прорыва, выхода из тесных рамок классической реальности в широкий и таинственный квантовый мир ради приближения к непосредственному постижению «Божественных тайн», понимаемых им как высшие ценности. Учёт важного вклада сознания наблюдателя в наблюдаемую им картину мира устраняет для Менского пропасть между естественными науками и ненаучными, сверхнаучными, религиозными способами познания реальности, умеряя высокомерие естественников. Мы видим, что здесь М.Б. Менский онтологизирует продукты сознания как новый объективно существующий духовный мир, доступный сверхинтуиции сверхсознания. Этот выход за рамки науки привлёк внимание далёких от естественников людей (на самом деле наука «знает» границы и самой себя, и религии).

В частности, 10 сентября 2010 г. в Москве, в зале заседаний Учёного совета Института философии РАН учёные обсудили с буддистами проблему сознания и реальности. Предыстория этой встречи восходит ко времени начала квантовой механики, когда ещё Нильс Бор обратил внимание на то, что «в поисках параллели с вытекающим из атомной теории уроком об ограниченной применимости обычных идеализаций мы должны обратиться к совсем другим областям науки, например, к психологии, или даже к особому рода философским проблемам, это те проблемы, с которыми уже столкнулись такие мыслители, как Будда и Лао Цзы, когда пытались согласовать наше положение как зрителей и как действующих лиц в великой драме существования» (Н. Бор, Избранные научные труды. М.: Наука, 1971. С. 256). Наиболее глубокой идеей современной физики и буддизма является пони-

мание ложности обыденных представлений о внутренней самодостаточности явлений и их независимости друг от друга, понимание того, что всё можно рассматривать только с точки зрения взаимообусловленности – не только в гносеологическом, но и в онтологическом плане: некоторые последние интерпретации квантовой механики гораздо более конкретно соответствуют махаянским буддийским представлениям о мире, как они изложены Нагарджуной и его последователями (журнал «Буддизм России» онлайн. Сознание и реальность – подходы физики и буддизма сблизилась? 15.12.2010). Профессор ФИАН М. Б. Менский пришёл ровно к тому же: наш видимый мир для него есть только один из бесчисленных «срезов» действительно реального «квантового мира», который выбирается нашим сознанием и ошибочно принимается за всю реальность. Поэтому журнал «Буддизм России» совместно с Центром восточных философий Института философии РАН, с Центральным калмыцким буддийским монастырём «Геден Шедул Чойкорлинг» (Элиста) и Центром тибетской культуры и информации (Москва) созвали конференцию «Роль сознания в природе: научные и буддийские представления».

Первый доклад “The Role of Consciousness in the Natural World: Buddhist and Scientific Views” сделал президент Института изучения сознания в Санта-Барбаре (США) Алан Уоллес (В. Alan Wallace). Михаил Борисович Менский сделал второй доклад «Параллельные реальности в квантовом мире и квантовая концепция сознания». Алан Уоллес процитировал Джона Арчибалда Уилера: «Вселенная состоит из странной петли, в которой физика порождает наблюдателей, а наблюдатели порождают физику. По существу, Вселенная – это информационно-обрабатывающая система, в которой на более высоких уровнях возникает понятие материи». Затем он процитировал Стивена Хокинга: «Все возможные версии отдельных вселенных существуют одновременно в состоянии квантовой суперпозиции. Когда вы решаете провести измерение, вы выбираете из диапазона возможностей подмножество историй, которые разделяют специфические измеряемые параметры. История вселенной, которую вы воспринимаете, выбирается из подмножества историй. Иными словами, прошлое выбираете вы». И ведь именно эти процессы выбора изучаются в тибетской Ваджраяне.

В то же время Менский в своём докладе говорил о том, что, например, состояние точечной частицы может быть суперпозицией её состояний в двух различных точках, и при измерении возникает корреляция её состояния с состоянием макроприбора как тоже квантовой системы. Поскольку описывающее эволюцию системы уравнение Шредингера линейно, после измерения составная система (микросистема плюс макроприбор) тоже находится в суперпозиции состояний. В частности, в случае с «котом Шредингера» тот остаётся в суперпозиции состояний «кот жив» и «кот мёртв». Менский отрицает копенгагенскую интерпретацию Нильса Бора, согласно которой взаимодействие измеряемой системы с макроприбором нарушает линейность квантовой эволюции. Он принимает интерпретацию Эверетта, соглас-

но которой суперпозиция сохраняется и после измерения, поскольку продолжается сосуществование различных «эвереттовских миров». Скажем, в одном мире наблюдатель видит живого кота, в другом он видит кота мёртвого. При этом реальна квантовая суперпозиция этих двух классических миров как проекций мира квантового. По Менскому, эти классические миры разделяются исключительно сознанием, и единственность классического мира – иллюзия наблюдателя. Странно, что Менский придаёт слишком большое значение линейности уравнения Шредингера с его обратимым временем, вместо того, чтобы перейти к нелинейным образам: ведь и при разложении гладкой функции в ряд Тейлора линейные члены дают только первое приближение её изменения (даже учёт просто самодействия поля уже изменяет лагранжиан физической системы появлением нелинейных членов).

В 2000-м г. М.Б. Менский предложил Расширенную концепцию Эверетта, *отождествив разделение альтернатив с сутью (корнем) сознания*. Данная факторизация в множестве понятий, склеивание двух понятий в одно уменьшает их количество. Различие возникает из проекций одного понятия по двум направлениям – в квантовую механику и психологию. Но становится непонятно, как с точки зрения «кота Шредингера» склеиваются его мёртвое и живое состояния. Впрочем, парадоксы – вещь для Михаила Борисовича вполне приемлемая. Здесь даже бросание кости предполагает суперпозицию множества миров Эверетта, в каждом из которых свой счёт выпавших очков. У математика и художника Анатолия Фоменко есть картина, в которой человек бросает игральную кость, на каждой грани которой человек бросает игральную кость, и так далее до бесконечности. Здесь мир предстаёт как океан ветвящихся возможностей, не подчиняющийся лапласовскому детерминизму. У Лапласа с его доквантовой физикой Ньютона данные Коши (задание функций и их ростков на начальной гиперповерхности, задающей, скажем, начальное состояние Вселенной) полностью определяют всю прошлую и будущую эволюцию во времени (поэтому Лаплас на вопрос Наполеона о месте Бога в его картине мира и ответил, что не нуждается в гипотезе Бога). Развилки – бифуркации эволюции систем имеются не только в квантовой физике, но и в духовной истории человечества.

После философского синтеза Канта возникла бифуркация на абсолютный идеализм немца Георга Вильгельма Фридриха Гегеля (1770–1831) и на экзистенциализм датчанина Сёрена Киркегора (Kierkegaard, 1813–1855). Последний написал великое произведение «AUT – AUT» («Или – Или»), пафос которого в том, что, жертвуя одним началом, совершивший выбор человек полностью наполняется началом другим. Это в виртуальном начале, скажем, есть существо как бы среднего рода *das Kind* (ребёнок). После таинства инициации он становится либо *der Mann* (Мужчина), либо *die Weib* (Женщина), и со временем настоящий мужчина нуждается в настоящей женщине, но не в существе бесполом, неспособном передать эстафету жизни дальше. Пусть читатель сам выбирает между данной реальной драмой противоречивого становления нового дыхания жизни и умозрительной схемой Михаила Мен-

ского игры возникающих в сознании воображаемых реализаций. По сути, речь идёт о различии виртуальной и действительной реальности. Виртуальные частицы, например, обеспечивают взаимодействие физических зарядов разной природы, и при этом сверхсветовые (для какой-то виртуальной метрики – не сверхсветовые) виртуальные частицы дают свой реальный вклад в физику процесса, но наблюдаемая реальная метрика не допускает сверхсветовых скоростей взаимодействующих реальных частиц. К сожалению, Михаил Борисович ничего не говорит о важности виртуальной реальности, онтологический статус которой всё-таки отличен от статуса реальности действительной. Да, аборигены Австралии до сих пор считают, что живут столетиями (они отождествляют себя со своими предками, реальным продолжением которых они являются), и полагают, что способны одновременно находиться в разных местностях (пренебрегая координатой времени). Современная психология учитывает разумные начала их мировосприятия, но вносит новые различия: истина процессивна. Но отдадим должное интеллектуальной смелости Михаила Борисовича, смело идущего навстречу парадоксам: его воображение столь сильно было потрясено квантовой парадигмой, повлекшей глубокое смысловое преобразование всей картины мира, что он экстраполировал применимость новых понятий до новых парадоксов, в чём-то возвращающих нас к реликтам прошлого: крайности сходятся.

В защиту квантовой механики, образующей фундамент нашего мира, приведём простое доказательство недистрибутивности квантовой логики. Пусть имеются три логические переменные: «a» («частица движется слева направо», функция истинности равна 1), «b» («частица локализована в интервале (0; 1)», функция истинности равна 0, поскольку частица-волна локализована на всей числовой оси), «c» («частица локализована вне интервала (0; 1)», функция истинности 0). Конъюнкция отвечает умножению, дизъюнкция – сложению, так что «b+c» означает локализацию частицы на всей оси (функция истинности 1). Для дистрибутивной логики имеем $a(b+c) = ab+ac$, что при подстановке функций истинности даёт противоречие $1 = 0$. Это означает, что модальность квантовой логики отлична от логики аристотелевой (булевой) с её законом исключённого третьего: частица не есть волна либо частица, но нечто третье, различно изменяющееся при взаимодействии с различными измерительными приборами. Первична именно квантовость мира, и начинать следует именно с неё. Но Михаил Борисович начинает со спектра классических состояний, отождествляя этот спектр с квантовым истинным состоянием. Но на самом деле классических состояний просто нет в природе, поскольку они всего лишь приближённые версии состояний, внутри себя квантовых. При этом когерентные фотоны-бозоны могут образовывать луч лазерной пушки, прожигаящий стенку летящей ракеты. Но фермионы вынуждены при конденсации образовывать, в том числе, кристаллы, поскольку в каждом узле кристаллической решётки может находиться не более одного фермиона. Впрочем, ошибка Менского понятна, ведь и копенгагенская интерпретация квантовой механики ошибочно фор-

мулируется с использованием макроприбора, который на самом деле есть просто большое квантовое тело.

Квантовая парадигма действительно изменяет картину мира. Например, давайте вслед за Уилером рассмотрим скелетную 3-геометрию начального состояния вселенной из тетраэдров (каждый определяется шестёркой рёбер, точкой 6-мерного пространства, вся 3-геометрия мира – точка счётно-бесконечномерного числового пространства, являющаяся также геометродинамической координатой начального состояния мира). Поскольку мы абсолютно точно задаём геометродинамическую координату, геометродинамический импульс становится полностью неопределённым. Уилер делает отсюда вывод: время отсутствует, имеется только пространство 3-геометрий, в котором уравнения Эйнштейна определяют геодезическую, и квантовая размерность мира равна трём. Потрясающий вывод! Но Уилер нарушил симметрию неопределённостей: если расслоить начальное 3-пространство на 2-плёнки, то можно точно проследить эволюцию одной ценой утраты координаты, нумерующей начальные плёнки. Впрочем, неопределённость координаты и импульса точки ограничена планковскими масштабами длины и длительности, за пределами которых теряют смысл сами понятия длины и длительности, оставляя свободу миру быть квантовым, в котором локализация и скорость теряют независимый друг от друга смысл. Мир не состоит из точечных событий с четвёркой координат каждое. Поскольку лоренцевы преобразования перемешивают пространственные и временные «тени» (по Минковскому), проекции интервала в пространстве-времени между близкими событиями, смысл имеет только совокупность координат событий (в классическом приближении). Если ввести ещё пару антикоммутирующих комплексных грассмановых координат, связанных со спином, то смысл имеет только возникающее здесь новое 8-мерное пространство. Каждое понятие имеет предел применимости, и его развитие происходит как по размерности, так и по учёту «квантовой зернистости» мира.

Спасибо Михаилу Менскому за смелый подъём нашего знания на новую высоту: приходится делать следующие шаги, просто чтобы не быть его эпигоном – ведь он даёт пример смелого движения вперёд, и нам остаётся этот путь продолжить.

Я знал Михаила Борисовича Менского с 1966 г. как члена научного коллектива (Кирилла Петровича Станюковича), возникшего в 1965 г. Он вместе с Генрихом Абрамовичем Соколик, Нелли Павловной Коноплёвой и Валерием Дмитриевичем Захаровым образовывали как бы интеллектуальное ядро этого коллектива (позже он вырос под сотню человек, включая Юрия Николаевича Барабаненкова, Виталия Николаевича Мельникова, Кирилла Александровича Бронникова, Михаила Ивановича Калинина, Владимира Дмитриевича Иващука, Николая Ивановича Колосницына, Владимира Евгеньевича Якимова, Александра Савельевича Сорина, Владимира Драгановича Озрина, Георгия Николаевича Шикина, Евгения Александровича

Шаповала, Олега Всеволодовича Карагиоза, Григория Александровича Вилковыского, Георгия Львовича Ставраки, Виталия Петровича Шелеста, Рудольфа Николаевича Фаустова, Михаила Натановича Кобринского, Льва Алексеевича Покровского и многих других серьезных физиков). М. Менский верил в возможность усилием сознания влиять на внешний мир, верил в мощь человеческого сознания. Сами парадоксы Менского привлекали к нему внимание многих людей. С уходом из жизни Михаила Менского российская физика обеднела.

MIKHAIL MENSKY'S CONCEPT OF MULTIPLICITY OF UNIVERSES

R.F. Polishchuk

Mikhail Mensky (1939–2015) as a noted expert on the quantum theory of measurements made a non-trivial contribution to Everett's concept of multiple universes according to which universes multiplied during quantum measurements of the parameters of some of his subsystems. Mensky postulated the presence of a single quantum reality of the universe before and after the universe's interaction with the measuring instrument. The quantum universe is a superposition of its classical states from which the observer's consciousness (mind), which is also a quantum system, selects only one variant during each measurement. Such is the essence of the quantum concept of consciousness formulated by Mensky.

Key words: Everett's multiple universes, single quantum reality, superposition of classical states, quantum concept of consciousness.

ИЗ НАСЛЕДИЯ ПРОШЛОГО

СОМНИТЕЛЬНАЯ РОЛЬ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО КОНТИНУУМА В МИКРОСКОПИЧЕСКОЙ ФИЗИКЕ

Проф. Джеффри Ф. Чью

*Факультет прикладной математики и теоретической физики,
Кембриджский университет*

(Перевод с английского С.В. Болохова и А.В. Пилипенко)

Один из главных уроков, которые преподносит нам развитие физики, состоит в том, что в структуре всякой физической теории следует избегать понятий, не поддающихся экспериментальной проверке. Данное требование не всегда выполнялось для успешных на тот или иной период теорий, и, тем не менее, с устранением из теории ненаблюдаемых аспектов неоднократно был связан существенный научный прогресс. Так, физикам XIX столетия было весьма трудно отказаться от представления о всепроникающем эфире; однако до тех пор, пока данное понятие не было элиминировано в силу своей ненаблюдаемости, оставалось невозможным развитие принципа относительности. И хотя даже сегодня мы не можем категорически утверждать, что довольно изошренная в теоретическом плане концепция эфира с необходимостью ошибочна, современные физики глубоко убеждены в том, что теория, содержащая эфир лишь на уровне декларации, гораздо менее удовлетворительна в сравнении с теорией, где на подобные понятия наложен запрет. Мой тезис в данной лекции будет состоять в предположении, что пространство и время в современной микроскопической физике играют примерно ту же роль, что и понятие эфира в макроскопической физике конца XIX века. Возможно, нам никогда не удастся продемонстрировать *несуществование* пространственно-временного континуума, однако все большее число физиков приходит к мысли, что дальнейшее существенное продвижение в теории предполагает отказ от ненаблюдаемого континуума. Мы должны пытаться строить теорию в терминах лишь измеримых величин.

Почему пространственно-временной континуум а priori ненаблюдаем? Точнее говоря, почему невозможно определить положение некоторого объ-

екта с произвольной точностью? Те, кто знаком с принципом неопределенности Гейзенберга, правильно отметят здесь его ключевую роль, однако этого еще недостаточно для исчерпывающего ответа. Дело в том, что в нерелятивистском случае принцип неопределенности утверждает лишь невозможность *одновременного* измерения положения и импульса с произвольной точностью. При этом остается принципиальная возможность точного определения координаты, если импульс вовсе не подвергается измерению. Если говорить более конкретно, то измерение координаты путем рассеяния кванта света (фотона) на исследуемом объекте ограничено по своей точности дифракционными эффектами, зависящими от длины волны фотона λ , однако последняя в принципе может быть сделана сколь угодно малой. Уменьшение длины волны означает рост импульса фотона согласно соотношению Де Бройля $p = \frac{\hbar}{\lambda}$, где \hbar – постоянная Планка, что ведет к увеличению импульса

отдачи объекта в ходе измерительной процедуры. Но если нас не интересует импульс объекта ни до, ни после эксперимента, то возможность неограниченно точного измерения положения вынуждает нас заключить, что нерелятивистская квантовая механика не запрещает явное экспериментальное изучение пространственно-временного континуума.

Однако именно релятивистская эквивалентность массы и энергии накладывает абсолютные ограничения на наши измерительные возможности по определению пространственного положения частиц. Когда фотон (или любая другая частица, играющая роль зонда) имеет энергию большую, чем энергия покоя зондируемого объекта, в ходе столкновения начинают рождаться новые частицы, что ведет к изменению физической ситуации в целом. Мы теряем даже возможность идентифицировать первоначальный объект, положение которого мы измеряли. Поскольку трудности начинаются с энергий зондирующей частицы порядка mc^2 (то есть импульса порядка mc), критическая длина волны оказывается равной \hbar/mc , где m есть масса легкой частицы, могущей родиться в ходе столкновения. Если считать m массой электрона, критический масштаб получится порядка 10^{-11} см. Однако во многих экспериментах по столкновению частиц сравнительно легче рождаются пи-мезоны, нежели электроны. Взяв в качестве критерия массу пиона, приходим к величине порядка 10^{-13} см как пределу наших возможностей по измерению пространственных координат.

Чрезвычайно важно понять, что не существует соответствующего предела измеримости импульса или, что эквивалентно, скорости. Позволив частице без столкновений путешествовать на достаточно большие расстояния, мы можем вычислить ее скорость с произвольной точностью посредством *макроскопических* пространственно-временных измерений в начале и конце проходимого ею пути. Массу же одной частицы, отнесенную к массе другой, можно определить с помощью закона сохранения полного импульса путем измерения углов разлета в ходе взаимного столкновения. (Лишь отношения масс являются существенными.) И вновь для достижения произвольной точности (по крайней мере в бесконечной Вселенной) требуются лишь макро-

скопические пространственные измерения. Таким образом, существует экспериментальная возможность изучения континуума импульсов (и энергий), даже несмотря на отсутствие таковой в случае пространства-времени.

Эти соображения известны уже в течение примерно трети столетия, начиная с первого столкновения квантовой механики с теорией относительности. Почему же тогда эти тридцать лет были истрачены физиками-теоретиками в попытках построить микроскопические теории, содержащие в качестве центрального понятия пространственно-временной континуум? Ответ в значительной степени тот же, что и в случае эфира: существование пространственно-временного континуума, во-первых, «очевидно», а во-вторых, на нем были основаны все предыдущие физические теории. При этом склонны забывать тот факт, что все эти теории не имели дела с явлениями на расстояниях порядка 10^{-13} см.

Три следующих фактора сыграли существенную роль в поддержании незыблемого статуса пространства-времени в микроскопической физике. Первым из них стало успешное предсказание ряда свойств электрона; такого рода предсказания возникли как результат попыток квантования уравнений Максвелла для электромагнитного поля. Уравнения поля – а фактически и само понятие поля – зависят от пространственно-временного континуума, а верные экспериментальные предсказания, явившиеся следствием усилий по квантованию теории Максвелла, укрепили и статус полей в целом. Стала общепринятой точка зрения, согласно которой единственный путь избежать действия на расстоянии – и, таким образом, не нарушить принцип причинности – это сформулировать фундаментальные физические законы в терминах полей. Тот факт, что последовательные квантово-полевые уравнения, включающие в себя взаимодействие, так и не были получены, был затенен успехами теории возмущений и ее экспериментальными предсказаниями в отношении свойств электрона. Явная сходимости ряда теории возмущений есть следствие малости безразмерного параметра, постоянной тонкой структуры $e^2/hc = 1/137$, причем, как известно, значимый вклад дают лишь первые члены разложения. Так называемая квантовая электродинамика, как стало ясно сегодня, не есть теория поля в том же смысле, что и квантованные уравнения Максвелла, а представляет собой релятивистский квантовый «рецепт» (совместимый в подходящем пределе с классической, то есть неквантованной теорией поля) для предсказания большинства наблюдаемых атомных явлений, а также некоторых ядерных, в терминах постоянной тонкой структуры и масс частиц. Важно понимать, что этот рецепт может быть дан (и часто дается) в форме, где не фигурируют ни поля, ни пространство-время. В описании должны возникать лишь измеримые величины, такие как импульсы частиц. Тем не менее указанный рецепт исторически был открыт в ходе попыток проквантовать полевые уравнения, и данное обстоятельство, даже несмотря на неудачность этих попыток, упрочило статус пространственно-временного континуума в микроскопической физике.

Трудности в получении совместных полевых уравнений со взаимодействием напрямую связаны с ненаблюдаемостью лежащего в их основе пространственно-временного континуума. Взаимодействие в теории поля обычно реализуется перемножением различных полей, взятых в одной и той же точке пространства-времени. Таким образом избегают действия на расстоянии, однако попытка локализовать взаимодействие в бесконечно малой области неизбежно ведет (в силу соображений, рассмотренных выше) к рождению в данной области бесконечного числа частиц с неограниченным спектром энергий. В математическом плане локальное произведение квантовых полей никогда не было строго определено; физическое же происхождение данной проблемы обусловлено в точности теми же обстоятельствами, которые делают принципиально непроверяемым существование пространственно-временного континуума.

Возвращаясь к обсуждению обстоятельств *в поддержку* полевой теории, я должен упомянуть о достигнутом на сегодняшний день понимании касательно существования античастиц, связи между спином и характером симметрии при обмене частицами, а также ряда других, экспериментально наблюдаемых, специальных симметрий. Данное понимание исторически было основано на изучении свойств отдельных, невзаимодействующих полей и не требовало явного построения реалистичной теории поля – конструкции, которой по вышеназванным причинам так никогда и не удавалось достичь. Позже я объясню, что все вышеперечисленные вещи, как недавно было показано, можно понять и без обращения к понятию поля или пространства-времени; и лишь, справедливости ради, стоит сказать, что впервые на данную область пролила свет именно полевая теория.

Третье обстоятельство в пользу теории поля заключалось в неспособности физиков-теоретиков в течение многих лет представить «фундаментальные» законы взаимодействий на каком-либо ином языке, кроме пространственно-временного. Новые теории почти всегда основаны на аналогии со старыми, а мы никогда раньше не располагали теорией, в которой фундаментальные динамические законы формулировались бы исключительно в терминах импульсов. Но прежде чем покинуть старую хозяйку, столь долго бывшую нашим преданным спутником, необходимо хотя бы мельком взглянуть на привлекательную замену⁴. И лишь в половину последнего десятилетия эта замена, можно сказать, мелькнула перед нами ножкой за углом.

Прежде чем описать прелести новой «хозяйки», позвольте мне коснуться чрезвычайно тонкого вопроса о том, что, собственно, составляет теорию вообще. Единственное определение, имеющее для меня смысл, состоит в следующем: теория есть *любой* набор правил, позволяющих приблизительно предсказать результат *произвольного* эксперимента. Конечно, некоторые теории оказываются лучше остальных, и степень превосходства возрастает с увеличением числа различных экспериментов, в отношении которых теория

⁴ Я обязан этой аналогией проф. Гелл-Манну.

дает предсказания, а также с увеличением точности самих предсказаний, и уменьшается с ростом числа свободных параметров. Квантовая электродинамика в этом смысле ранжируется очень высоко; она содержит лишь постоянную тонкой структуры вкупе с массами частиц и покрывает огромное количество экспериментальных ситуаций. И все же она не описывает абсолютно все ситуации и имеет ограниченную точность даже в рамках своей области применимости. В атомной физике эксперименты обычно не в состоянии приблизиться к пределу точности квантовой электродинамики, но этот предел, тем не менее, существует, как это было для всех предшествующих и, скорее всего, для всех последующих теорий.

Таким образом, к разочарованию математиков, абсолютная истина никогда не была выполнимым требованием для физической теории; а что можно сказать насчет красоты последней? Я бы предположил, что когда число свободных параметров теории очень мало и область экспериментальных предсказаний весьма широка, то красота возникает сама собой. Для любой теории обычно можно найти множество различных математических формулировок, одни из которых эстетически привлекательнее других, но если теория имеет достаточно высокую степень превосходства согласно моему критерию, то в прошлом по крайней мере одна из её формулировок оказывалась приятной нашему чувству красоты. Подчас, однако, наиболее красивая формулировка оставалась неоткрытой в течение некоторого времени, после того как теория демонстрировала свои возможности. В таком случае критерий красоты хоть и не стоит игнорировать, но следует применять с осторожностью. Способность к экспериментальным предсказаниям по-прежнему есть единственно надежная мера физической теории.

Теория поля, даже не достигая красивой стадии замкнутого набора математически совместных уравнений, позволила сделать *немало* успешных предсказаний. Трудность в том, что ее предсказательная сила, по-видимому, сегодня превышена, по крайней мере, для случая так называемых «сильно взаимодействующих частиц». Эти частицы, подобно нейтрону и протону, взаимодействуют посредством мощных короткодействующих сил. Все открытые к настоящему времени частицы, за исключением фотона, электрона, мюона и нейтрино, относятся к данному типу, однако теория поля оказалась не в состоянии описать их свойства – и, тем более, их происхождение. Методика разложения в степенной ряд, применимая для электрона (и мюона), становится бесполезной в отсутствие малого безразмерного параметра типа постоянной тонкой структуры. Гейзенберг не оставляет надежды обнаружить подходящий набор полевых уравнений, однако я убежден, что корень затруднений лежит непосредственно в пространственно-временном континууме. Используя в качестве математических объектов полевые величины, являющиеся локальными функциями принципиально ненаблюдаемых переменных, мы тем самым порождаем полностью вымышленные трудности.

Теперь позвольте мне перейти к вопросу о том, как микроскопическая теория может основываться непосредственно на понятии импульса, игнори-

руя пространственно-временной континуум. В настоящее время наблюдается рост попыток построить такую теорию, причем менее опытные физики имеют некоторое преимущество в работе с новым понятийным каркасом. (Обратная корреляция между продуктивностью и опытом в подобной ситуации весьма примечательна.) Уже много различных исследователей внесли важный вклад в эту область, зачастую пересекаясь друг с другом, так что мне следует быть корректнее по поводу происхождения тех идей, которые я упомяну. Позвольте мне начать со старого, но базового понятия, а именно с амплитуды рассеяния или S-матричного элемента.

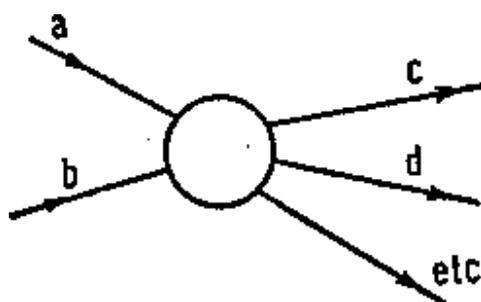


Рис. 1

Единственно возможный эксперимент, позволяющий нам изучать процессы в микроскопической вселенной, заключается в столкновении групп частиц и наблюдении различных продуктов распада. Для квантовомеханического описания такого процесса, пример которого показан на рисунке, вводится комплексное число $S_{ab...cd...}$, квадрат модуля которого дает вероятность реакции. Это число называется амплитудой рассеяния, или, более общо, элементом матрицы рассеяния – поскольку полный набор таких амплитуд образует бесконечную квадратную матрицу. Можно показать, что S-матрица унитарна и ее элементы преобразуются в соответствии с релятивистскими требованиями при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой. Знать S-матрицу означает обладать максимально полной информацией о микромире; теория, позволяющая вычислить S-матрицу, является полной, поскольку дает возможность предсказать результат любого эксперимента. Важность S-матрицы была осознана (в особенности Гейзенбергом) вскоре после развития квантовой механики, однако долгое время казалось, что концепция S-матрицы слишком замысловата, чтобы служить проводником к фундаментальным законам микромира. Это было особенно верно в тот период, когда все внимание было приковано к понятию «элементарных» частиц. Пока было сильно ощущение, что вся материя может быть составлена из комбинаций нескольких фундаментальных объектов, было мало причин для формулирования базовых теорий в терминах амплитуд рассеяния. Стремилась строить теории, кладя в основу свойства отдельных частиц, а не специфику их взаимодействий. К настоящему моменту, однако, обнаружено столь много равноправных сильновзаимодействующих частиц,

что понятие «элементарности» несколько потеряло в репутации. Теперь считается, что каждая сильнодействующая частица может состоять из всех остальных; ни одна из них не более фундаментальна, чем любая другая. Объяснение того, какие же частицы существуют, лежит в структуре взаимодействий: другими словами, та же самая сила, что порождает эффекты рассеяния, может привести и к связанному состоянию, а последнее есть не что иное, как частица. С этой точки зрения S -матрица представляется вполне подходящей структурой для отыскания ключа к макроскопической вселенной. Более того, ключ, по всей вероятности, уже найден.

Ключ лежит в *аналитичности* S -матричного элемента как функции импульсов входящих и выходящих частиц. Мнение физиков об аналитичности амплитуд рассеяния двоякое. Одни находят очевидным, почти тривиальным, что локальная зависимость от энергии или угла представима в форме разложения в ряд. Другим данное обстоятельство представляется весьма загадочным. Лично я испытываю некоторые колебания между этими двумя позициями, но, независимо от этих точек зрения, совокупные экспериментальные данные за тридцать лет ядерных исследований всецело подтверждают справедливость свойства аналитичности.

Принятие аналитичности в качестве базового принципа порождает невероятное число следствий. Стапп показал, как я уже упоминал, что все общие симметрии, прежде выведенные в рамках теории поля, можно получить из свойства аналитичности. Более того, предсказательная рецептура квантовой электродинамики также может быть выведена. Фактически *вся* предсказательная мощь предписаний, мотивированных теорией поля, может быть воспроизведена в рамках аналитической S -матрицы без упоминания пространства-времени или полей. Данное обстоятельство, на которое впервые обратил внимание Гелл-Манн в 1956 г., было впоследствии проверено длинной серией исследований с участием таких видных имен, как Голдбергер, Лоу, Мандельстам, Нишиджима, Ландау, Каткоски, Фруассар, Стапп, Полкингтон и Гансон. И эти достижения – только начало.

Предсказательная сила полевых теорий для случая сильных взаимодействий оказалась незначительной (по причинам, объясненным выше), тогда как аналитическая S -матрица уже привела к количественному пониманию ряда ситуаций с участием сильнодействующих частиц с учетом знания того, какие частицы реально существуют. Знать, какие частицы существуют, означает знать чрезвычайно много (к этому пункту я еще вернусь). Стоит осознать тот факт, что после трех десятилетий проблема низкоэнергетических ядерных сил, сформулированная в первоначальных терминах, была решена посредством формализма аналитической S -матрицы. Задача эта весьма сложная, и некоторые её аспекты требуют дальнейшего исследования, но уже успешно объяснено столь многое, что не приходится сомневаться в конечном результате. То же самое можно сказать и о низкоэнергетическом взаимодействии между пионом и нуклоном, и нет никаких указаний на то, что данный случай (за исключением большей вычислитель-

ной сложности) принципиально отличается от случая иных сильно-взаимодействующих частиц. Сейчас интенсивно обсуждаются методы описания в области высокоэнергетических взаимодействий, и имеются благоприятные признаки того, что вскоре удастся развить соответствующие вычислительные процедуры. Если мы чем-то и удручены здесь, так это лишь сложностью исследуемых ядерных реакций и ограниченностью человеческих сил, но уж никак не нехваткой содержательности в концепции аналитической S-матрицы.

Упомянутое осложнение вынуждает меня отметить еще одно различие между математикой и физикой. Физические измерения всегда содержат ошибки, а теоретические предсказания – долю неопределенности, поскольку любая реальная физическая ситуация с неизбежностью слишком запутанна, чтобы теоретические оценки оказались абсолютно точны. Как следствие, любая теория может быть опровергнута, но в то же время никогда нельзя сказать, что она абсолютно подтверждена экспериментально. Сопоставление теории с экспериментом всегда включает и будет включать аппроксимацию и ограничение рамками простейших ситуаций, и теория признается успешной не тогда, когда она прошла все мыслимые тесты (чего не бывает никогда), а лишь тогда, когда она выдержала «впечатляющее» количество проверок и ни одной не провалила. Именно в этом ключе неспециалист должен воспринимать дискуссии, бушующие сегодня вокруг статуса S-матричной теории. Вы найдете в них общие параллели с моими негативными замечаниями в адрес теории поля, однако не слишком удивляйтесь, если три из четырех встреченных вами физиков-теоретиков выразят скепсис по поводу предсказательной силы теории S-матрицы. Одно из двух: либо они не осведомлены об обширном многообразии экспериментальных тестов, уже успешно пройденных теорией, либо их не впечатлили эти тесты по причине недостаточной «чистоты». В такой ситуации ничего не поделать – разве что подобрать для каждого конкретного физика эксперимент или целую их серию, удовлетворяющую *его* персональным стандартам. Нет нужды говорить, что мои удовлетворены уже достаточно давно.

Для *меня* уже нет вопросов в том, что при заданном наборе частиц аналитическая S-матрица дает возможность описать в деталях характер их дальнейшего поведения; важный пункт сейчас состоит в том, может ли она *также* сообщить, почему наблюдаемые частицы, в первую очередь, существуют. Я убежден, что теория S-матрицы в весьма высокой степени готова ответить на этот вопрос, по крайней мере для случая сильно-взаимодействующих частиц, и мои соображения следующие: прежде всего (как уже заявлялось), я принимаю допущение, что каждая сильно-взаимодействующая частица есть динамическая композиция других частиц; все они являются равноправными с точки зрения S-матрицы. Тогда происхождение *определенных* частиц, таких как дейтрон и нестабильный объект, называемый (3,3)-резонансом, посредством аналитической S-матрицы уже оказывается связанным с существованием некоторых других частиц (так, в приведенных

примерах первичную роль играют пион и нуклон). Причина, по которой такого рода соотношения легче устанавливаются для одних частиц, чем для других, вовсе не фундаментальна; это вопрос специфики вычислительных методов, развитых к настоящему времени. Постоянно появляются новые методы и устанавливается все больше связей между разными частицами; и не видно ничего такого, что бы принципиально ограничивало нашу способность объяснять существование любой частицы при наличии информации об определенных других частицах. В такой замкнутой и чрезвычайно нелинейной ситуации я нахожу затруднительным предполагать существование более чем одного самосогласованного набора частиц. Фактически даже существование одного такого набора кажется удивительным тому, кто ознакомился в деталях с требованиями самосогласованности. Степень чуда несколько уменьшится, если предположить, что не только частицы, но и группы симметрий, обуславливающие сильные взаимодействия, выбираются из требования самосогласованности в структуре аналитической S-матрицы. Таким образом, не так уж и непостижим тот факт, что для сильных взаимодействий *единственно* необходимый элемент теории – аналитичность⁵.

Таким образом, теория S-матрицы действительно пребывает сегодня в беспрецедентной, но вполне приятной ситуации, заключая в простом принципе едва ли не большую мощь, чем теоретики до сих пор имели в своем распоряжении, при этом не имея ни малейшего намека на какие-либо принципиальные недостатки. Почему же тогда не наблюдается панического бегства прочь от теории поля в распростертые объёты аналитической S-матрицы? Я уже обсуждал ряд причин такой нерешительности консервативно мыслящих теоретиков; позвольте мне завершить этот краткий обзор S-матричной теории попыткой прояснить еще одну, чрезвычайно тонкую, но психологически существенную причину.

Все динамические теории в прошлом были даны в форме уравнений движения, и многие физики просто не могут поверить, что возможно иметь динамику без уравнений. Похоже, что в S-матричной теории фундаментальное уравнение отсутствует. Можно просто сказать: S-матрица есть Лоренц-инвариантная аналитическая функция энергий и импульсов, чья структура полюсов согласована с требованием унитарности. Точка! В силу ряда причин пока еще рано говорить, что данное утверждение нашло точное математическое отражение, и сегодня много высокоталантливых специалистов прилагают крайне важные усилия в достижении необходимого уровня строгости; но перспектив получить на этом пути обычное уравнение движения нет. Уравнения, которые мы действительно имеем и на которых основаны все предсказания теории, суть формулы Коши (иногда называемые в данном контексте дисперсионными соотношениями), описывающие аналитическую

⁵ Фотон и лептоны имеют особые и примечательные характеристики, которые выделяют их из общего ряда; в данном случае труднее поверить, что всё дело сводится к одной лишь аналитичности. Возможная причина специфического статуса фотона упоминается в конце данной статьи.

функцию в терминах ее полюсов и точек ветвления, а также аналитически продолженное условие унитарности, определяющее расположение и природу данных точек ветвления и полюсов. Невозможно, однако, записать сразу *все* эти уравнения, поскольку их бесконечное число вследствие бесконечной размерности S -матрицы; любой же конечный их набор влечет неполноту описания. Единственно возможное полное описание – именно то, которое указано мною выше, и оно, на мой взгляд, обладает несомненной красотой, хотя и невыразимо в форме каких-либо уравнений движения. Вследствие этого множество выдающихся физиков-теоретиков находят невозможным принять S -матричную теорию всерьез.

В заключение позвольте мне вернуться к вопросу пространства-времени. Никто не предлагает лишить пространство-время базового статуса в *макроскопической* физике; дело обстоит как раз наоборот, поскольку процедура измерения импульсов, задающих S -матрицу, существенно зависит от макроскопических пространственно-временных измерений. Означает ли это, что невозможна непрерывная связь между микро- и макроскопическими мирами? Данная ситуация ничуть не страшнее той, что всегда имела место в квантовой механике, где общепринятое объяснение соотношения между классическим наблюдателем и квантовыми законами вызывает у многих сильный дискомфорт. На самом деле, теория S -матрицы в конечном счете может привести нас к лучшему пониманию связи между микро- и макромиром. Как подчеркивал Стапп, она избавляет нас от большей части аппарата квантовой механики (операторов, правил коммутации, векторов состояния), сохраняя лишь принцип суперпозиции. Таким образом, любопытной стороной предлагаемой теории является тот факт, что её, в отличие от квантовой теории поля, способна оценить даже более широкая аудитория. Ведь идея аналитичности гораздо тривиальнее для понимания, чем свойства, приписываемые полевым операторам.

До сегодняшнего дня никто не предпринимал радикальных попыток выстроить цепочку связующих звеньев между макроскопическим понятием пространства-времени и S -матрицей. Однако одно поразительное обстоятельство не должно ускользнуть от нашего внимания: любые экспериментальные измерения макроскопических траекторий частиц требуют далекодействующих электромагнитных взаимодействий. Иными словами, с точки зрения S -матричного подхода, само определение пространства-времени в целом требует существования электромагнитного кванта, фотона. Несомненно, поэтому фотон с его нулевой массой покоя выделяется из общего ряда.

Как видите, новая теория, идущая на смену старой хозяйке, полна загадок, но, соответственно, полна и надежд. Старая же продолжает отчаянно цепляться за свой статус, но время её позади. Физика двадцатого столетия уже подверглась двум захватывающим дух революциям – в теории относительности и квантовой механике. Мы стоим на пороге третьей.

Чью Дж.Ф. Сомнительная роль пространственно-временного континуума в микроскопической физике

**THE DUBIOUS ROLE
OF THE SPACE-TIME CONTINUUM IN MICROSCOPIC PHYSICS**

Geoffrey F. Chew

*[Somnitelnaya Rol Prostranstvenno-Vremennogo Kontinuuma V Mikrofizike]
(Translated from the English by S.V. Bolokhov and A.V. Pilipenko)*

ПРОСТРАНСТВО И КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА

И.С. Алексеев

(Фрагмент из: *Философские вопросы квантовой механики.* – М., 1970. – С. 230–240)

Основная задача автора заключается в попытке показать, что пространственные понятия, фигурирующие в системе квантовой механики, гораздо разумнее считать относящимися только к макроуровню, интерпретируя их как характеристики событий обнаружения микрообъектов в макропространстве. Тенденция считать их характеристиками микрообъектов «как таковых», то есть в конечном счете характеристиками микропространства, почти безраздельно господствующая в настоящее время, на наш взгляд, представляет собой остатки непреодоленной инерции стиля мышления, свойственного классической физике, согласно которому микромир принципиально не отличается от макромира.

Естественно, что отказ от использования категории пространства в качестве средства задания способа существования и сосуществования микрообъектов повлечет за собой весьма далеко идущие последствия в деле понимания философского статуса этой категории. Пространство в таком случае утрачивает право быть всеобщей и универсальной формой существования материи, оставаясь лишь особенной формой существования макроматерии. Поэтому, прежде чем решаться на такой серьезный шаг, нужно доказать его обоснованность. Это, в первую очередь, предполагает выяснение понятийного содержания категории «пространство», тщательный анализ вкладываемого в него смысла.

В нашей современной философской литературе пространство понимается как такая форма бытия материи, которая, являясь коренным условием сосуществования материальных явлений, отражает в своей сущности и свойствах некоторую общую закономерность сосуществования явлений, состояний движущейся материи. Короче, «пространство выражает порядок расположения одновременно существующих объектов» [2. С. 80]. Такова, в частности, концепция В.И. Свидерского. С.Т. Мелюхин, принимая содержание этого определения, существенно конкретизирует его в части уточнения смысла выражения «порядок сосуществования», понимая его как протяженность [3. С. 122].

Различное понимание категории пространства упомянутыми авторами приводит к тому, что В.И. Свидерский допускает возможность того, что в микромире теряет смысл устанавливающее количественную определенность протяженности понятие расстояния [4. С. 6; 5. С. 299], а С.Т. Мелюхин категорически отвергает эту возможность, считая протяженность основной ха-

рактической характеристикой пространства, без которой оно теряет свое содержание и существование [6. С. 152].

Присоединяясь к точке зрения С. Т. Мелюхина по вопросу о трактовке протяженности как неотъемлемой характеристики пространства, мы не разделяем убежденности в абсолютности пространства, которую, согласно В.И. Свидерскому, следует понимать как всеобщность, обязательность существования пространства для существования всех состояний материи [5. С. 304]. Это, разумеется, не отрицает объективности пространства там, где оно существует.

Применительно к проблеме прояснения смысла категории пространства выдвигается тезис: категория пространства, конкретизируемая в понятиях «протяженность» и «расстояние», есть не что иное, как средство индивидуализации различных объектов.

Индивидуализация различных объектов предполагает, что каждый из таких объектов не только может быть отличаем от других, но и отождествлен с самим собой. Вообще говоря, индивидуализация не предполагает существования различных объектов – если объект только один (ему не от чего отличаться), то он, естественно, может быть индивидуализирован, то есть отождествлен сам с собой.

Общепринятые представления о пространстве, зафиксированные в упомянутых выше определениях, также связаны с представлениями о тождестве и различии объектов действительности (состояний движущейся материи). Попробуем уточнить представления о конкретном характере этой связи.

Большинство наших философов считает, что выражение «мир в целом существует в пространстве» не имеет смысла. Это происходит потому, что мир в целом – только один. Ему не от чего отличаться – различных «миров в целом» нет. Существование пространства «внутри» мира в целом возможно только благодаря факту существования различий его отдельных фрагментов. Если же встать на позиции Парменида, трактовавшего мир в целом (бытие) как единый, неизменный, не имеющий различий ни вне, ни внутри себя, то придется отказаться и от существования пространства совсем, что Парменид и сделал, провозгласив отсутствие, несуществование пустоты. Поэтому можно сказать, что существование различий является необходимым условием существования пространства: если никаких различий нет, пространство существовать не может.

Является ли существование различий достаточным признаком существования пространства?

С нашей точки зрения, предположение об абсолютности пространства неявно подразумевает утвердительный ответ на этот вопрос. Иными словами, предполагается, что сам факт существования различных объектов обязательно требует существования пространства, откуда следует, что каждый из различных объектов обязан существовать в пространстве.

Такое понимание абсолютности пространства связано с тем, что современные представления о пространстве сформировались путем синтеза нью-

тоновских и лейбницевских представлений о смысле понятия «пространство».

Ньютоновская линия в понимании пространства трактовала его абсолютность как существование пространства самостоятельно, независимо от существования или несуществования наполняющих его объектов, как его существование наряду с этими объектами. Она берет начало в трактовке древнегреческими атомистами понятия «пустота». По мнению атомистов, пустота существует ничуть не менее реально, чем бытие (атомы), несмотря на то, что она является небытием [6. С. 25]. Будучи необходимым и достаточным условием движения, пустота выступает у атомистов и как необходимое и достаточное условие различения и отождествления (индивидуализации) атомов, заполняющих различные области пустоты, трактуемые как реально и самостоятельно существующие. То же самое будет справедливым и для ньютоновского абсолютного пространства.

Иными словами, ньютоновская линия развития категории пространства переносит центр тяжести с индивидуальности отождествляемых и различаемых объектов на возможность их индивидуализации, трактуя эту возможность вне зависимости от объектов и опредмечивая, гипостазируя ее в понятии абсолютного пространства.

Лейбницевская линия, берущая свое начало в детальном анализе понятия «место», осуществленном Аристотелем¹, напротив, с самого начала сосредоточивает внимание на самих объектах, не отрываясь от них в ходе рассуждения. Аристотелевская трактовка места тела как границы другого тела, объемлющего данное [6. С. 77], подразумевает существование двух различных тел – объемлющего и объемлемого – и понимает границу между ними как определенную характеристику различия этих тел. Развитием аристотелевского понятия места является представление о пространстве как о совокупности мест и порядке сосуществования вещей, сформулированное Лейбницем [7. С. 47, 74, 78], согласно которому части пространства могут отождествляться и различаться только с помощью находящихся в нем вещей [7. С. 85], что обусловило его вывод: «...без материи нет пространства» [7. С. 84]. Понятие расстояния также трактуется Лейбницем как характеристика взаимного расположения вещей, то есть как характеристика определенного вида их различий [7. С. 78].

Современным представлениям о пространстве не присуще понимание его абсолютности как существования наряду с объектами и независимо от них, свойственное Ньютону, но присуще понимание его абсолютности как необходимого и достаточного условия существования и сосуществования не только индивидуализируемых, но и всех различных объектов. Это предполагает, в частности, что существование и сосуществование каждого объекта обязательно должно быть задано пространственно. Если же трактовать пространство как относящееся к существованию только индивидуализируемых объектов, то его абсолютность будет означать, что все объекты являются индивидуализируемыми.

Анализ показывает, однако, что предположение об абсолютности пространства в обоих его вариантах оказывается слишком сильным и не обязательным, ибо характеристика существования и сосуществования различных объектов не обязательно требует их индивидуализации и может быть выражена в «непространственных» понятиях. Иными словами, требование различия объектов (которое, естественно, предполагает как существование каждого из различных объектов, так и их сосуществование всех вместе) является более слабым требованием, чем требование существования их в пространстве и требование индивидуализации объектов.

Дело в том, что, наряду с пространственным, существуют и другие способы отождествления и различения объектов – по свойствам и по числу. При установлении пространственных характеристик тождества и различия объектов (вещей) в качестве непосредственных объектов деятельности отождествления и различения берутся сами эти вещи в целом, взятые каждая как одно, как нерасчлененное себестождественное единство. Это, конечно, предполагает индивидуальность сравниваемых пространственно объектов. При установлении тождества и различия объектов по их свойствам непосредственными объектами отождествления и различения являются не сами объекты (вещи), а их свойства. Знание о тождестве или различии объектов при этом является выводным по отношению к непосредственно получаемому знанию о тождестве или различии отдельных свойств этих объектов (вещей). Сами объекты рассматриваются как наборы свойств – одно (объект) полагается как множество (множество свойств). Очевидно, что различия по свойствам, вообще говоря, несводимы к пространственным различиям.

В отличие от пространственных различий и различий по свойствам различия объектов по числу не требуют индивидуализации, представляя собой «чистые» различия, не предполагающие себестождественности различных по числу объектов. Поэтому их естественно считать более простыми, чем пространственные различия и различия по свойствам.

В реальной познавательной деятельности все три вида различий тесно связаны и неотделимы друг от друга. Однако для целей методологического анализа имеет смысл рассмотреть их отдельно. Это необходимо, в частности, для решения вопроса о статусе пространственных понятий в квантовой механике и об абсолютности пространства.

Итак, мы будем исходить из того, что различия бывают трех родов: различия по числу, пространственные различия и различия по свойствам. Попробуем установить отношения между этими видами различий.

Прежде всего покажем, что различие по числу (множественность) действительно является самым простым, исходным различием.

Очевидно, что если объекты различны пространственно, то они обязательно различны и по числу. Обратное, вообще говоря, неверно – так, например, в одном и том же месте пространства могут существовать несколько различных объектов – скажем, электромагнитное и гравитационное поля. В локальных теориях взаимодействие двух различных частиц также проис-

ходит в одной точке пространства. Иными словами, различие объектов по числу не обязательно влечет за собой их пространственное различие, в то время как пространственное различие объектов обязательно влечет за собой их различие по числу.

Это и означает, что различие по числу является более простым и фундаментальным, чем пространственное, поскольку оно, вообще говоря, не зависит в своем существовании от существования пространственных различий, в то время как существование пространственных различий зависит от существования различий по числу.

Аналогичное справедливо и для отношения между различием по числу и различием по свойствам. Различие по числу является более простым и фундаментальным, так как из существования различия объектов по свойствам вытекает их различие по числу, а из существования различия по числу существование различий по свойствам, вообще говоря, не следует. Совершенно одинаковые по свойствам объекты (например, атомы одного и того же вещества, находящиеся в одном и том же состоянии) могут все же различаться по числу.

Интересно, что в истории философии были попытки установления отношения эквивалентности между различиями по числу и пространственными различиями, а также между различиями по числу и различиями по свойствам при помощи определенных онтологических принципов.

Так, например, лейбницевский принцип тождества неразличимых (по свойствам) постулировал невозможность существования никаких двух неразличимых друг от друга по свойствам отдельных объектов [7. С. 54, 55], хотя и допускал возможность абстрактного мышления о такого рода объектах [7. С. 72, 73]. Принятие этого принципа делает логически и онтологически эквивалентными различие по свойствам и различие по числу, открывая возможность умозаключать от одного типа различий к существованию другого. Кроме этого, принцип тождества неразличимых позволяет индивидуализировать объекты только по свойствам, утверждая единственность объекта, обладающего заданным набором свойств.

С другой стороны, доктрина античного атомизма о непроницаемости атомов, утверждавшая невозможность существования многих атомов в одном и том же месте пространства, онтологически и логически уравнивала различия по числу и пространственные различия, представляя собой своеобразный принцип «тождества пространственно неразличимых» (атомы «были сделаны» из одного и того же материала!). Это позволяло индивидуализировать частицы (объекты) только по их пространственным характеристикам. Если атомов было несколько (они различались по числу), то они обязательно должны были существовать в разных местах пространства (быть пространственно различными). Справедливо было и обратное – если атомы были пространственно различными, то они обязательно различались и по числу. В силу такой логико-онтологической эквивалентности было возможным

объяснить одно через другое – так, например, Кант считал пространство условием множественности (численного различия явлений) [8. С. 316].

Приведенные выше примеры показывают, что в реальной познавательной деятельности ни принцип непроницаемости, ни принцип Лейбница не являются абсолютными онтологическими критериями. Это открывает возможность считать как различия по свойствам, так и пространственные различия конкретизацией различий по числу. Соблазнительно трактовать такую конкретизацию как обязательную и сделать вывод, что эти способы конкретизации исчерпывают все ее возможности, так что из наличия различий по числу обязательно вытекает либо различие по свойствам, либо пространственное различие. Поскольку в приводившихся примерах гравитационное и электромагнитное поля, различающиеся по числу, но не различающиеся пространственно, различны своим по свойствам, а одинаковые атомы, не различаясь по свойствам, различаются пространственно, такое предположение кажется правдоподобным. Однако в общем случае такой вывод, как показывает практика познавательной деятельности, является несправедливым. В качестве опровергающего правомерность такого вывода примера можно привести возможность существования нескольких абсолютно одинаковых по своим свойствам электромагнитных волн, обладающих одними и теми же пространственными характеристиками.

Приведенные примеры показывают также, что пространственные различия и различия по свойствам взаимно независимы. Из существования пространственных различий объектов нельзя вывести их различие по свойствам. Нельзя сделать и обратного вывода. Пространственно различные объекты могут быть тождественны по всем своим свойствам, а различные по свойствам объекты могут иметь одни и те же пространственные характеристики.

Из этого вытекает важный вывод, что все три вида различий могут рассматриваться независимыми друг от друга не только в логическом, но и в онтологическом смысле.

После всех этих довольно утомительных рассуждений можно, наконец, показать, что в квантовой механике пространственные различия микрочастиц разумно считать несуществующими.

Принцип неразличимости (тождественности) отдельных объектов в системе многих одинаковых (по своим свойствам) микрочастиц, справедливость которого установлена достаточно надежно макроскопическими экспериментами, утверждает, что обмен пространственными местами между отдельными микрочастицами не имеет физической значимости, то есть не влияет на макроскопически наблюдаемые явления. Строго говоря, этот принцип лучше называть принципом отсутствия индивидуальности, ибо он требует не отсутствия всяких различий, а только лишает возможности использовать пространственные различия между различными по числу микрочастицами для их индивидуальности. Ситуация сильно затемняется тем, что в математическом аппарате квантовой механики волновая функция $\psi(r_1, r_2)$ отлична от $\psi(r_2, r_1)$ именно в пространственном отношении, различаясь

пространственным порядком аргументов. Суть дела, однако, заключается в невозможности сопоставить этим различным ψ -функциям различные экспериментальные ситуации. Поэтому, если следовать той же логике рассуждений, как и при выводе утверждения о несуществовании у микрочастицы одновременно координаты и импульса, которое основано на невозможности одновременного измерения этих характеристик (то есть считать основой утверждений о существовании или несуществовании чего-либо эксперимент, практику), то разумнее будет предположить, что пространственных различий у микрочастиц не существует вообще, чем считать их существующими, но никак не обнаружимыми экспериментально. Различие аргументов ψ -функции в этом случае будет обозначать различие мест обнаружения микрочастиц (различных по числу) в макропространстве, которые (места обнаружения), естественно, могут быть индивидуализированы. Но из индивидуальности этих мест в макропространстве вовсе не следует индивидуальность микрообъектов в микропространстве.

Возможность такого вывода затемняется еще и тем фактом, что координату и импульс нельзя одновременно задать в математическом аппарате квантовой механики, а пространственные различия микрочастиц как будто можно. Однако симметризация волновых функций, требуемая принципом отсутствия индивидуальности, фактически ликвидирует возможность и математической индивидуализации двух различных по числу, но одинаковых по свойствам микрочастиц посредством индивидуализации их волновых функций.

Можно возразить, что, несмотря на экспериментальную необнаружимость пространственных различий микрочастиц, эти различия все же существуют. Но таким же образом можно утверждать и существование абсолютного пространства, и одновременное существование координаты и импульса, невзирая на невозможность экспериментальной проверки этого утверждения.

Можно, наконец, сказать, что хотя индивидуализируемые микрочастицы и не сосуществуют в пространстве (пространственные различия между ними как характеристики способа их сосуществования не существуют), сами они существуют в пространстве. Но состояние (характеристику способа существования) микрочастиц, вообще говоря, можно задать и не прибегая к пространственным характеристикам (положение, координата), а при помощи их свойств, символизируемых квантовыми числами, которые не имеют пространственной природы. Сосуществование таких «беспространственно» существующих объектов можно задать через сосуществование их свойств с помощью аппарата теории групп, в котором пространственные характеристики могут и не фигурировать.

С философской точки зрения это означает, что категория структуры является более общей характеристикой сосуществования объектов, чем категория пространства, ибо пространственные структуры, основанные на понятии расстояния, являются частным случаем «структур вообще».

В таком случае утверждение о существовании пространства в микромире всецело будет следствием философского положения об абсолютности пространства. Если отбросить это требование (что никоим образом не поколеблет объективности существования микрочастиц), то квантовая механика так же сможет обойтись без утверждения об обязательности существования и сосуществования микрообъектов в пространстве, как теория относительности обходится без утверждения о существовании эфира и абсолютного пространства в ньютоновском смысле.

Вся вышеизложенная попытка «налить старое вино квантовой механики в новые меха» касается только философской стороны вопроса. Мы пытались показать, что принцип тождественности микрочастиц, запрещающий их индивидуализацию, позволяет исключить без всякого ущерба пространственные характеристики (основанные на понятии расстояния) как характеристики существования и сосуществования микрочастиц. Это и обосновывает предположение, что пространство, как форма существования материи, относится только к индивидуализированным фрагментам действительности. Что же касается неиндивидуализируемых объектов, то их существование характеризуется с помощью категории структуры. Структурность материи и представляет собой абсолютную форму ее существования, более общую, чем пространство.

ЛИТЕРАТУРА

1. Философские вопросы квантовой механики. – М., 1970.
2. Философский словарь / ред. М.М. Розенталь, П.Ф. Юдин. – М., 1963.
3. Мелюхин С.Т. К философской оценке современных представлений о свойствах пространства и времени в микромире // Философские проблемы физики элементарных частиц. – М., 1963.
4. Свидерский В. И. Пространство и время. – М., 1958.
5. Свидерский В. И. Философское значение пространственно-временных представлений в физике. – Л., 1956.
6. Маковельский А. Древнегреческие атомисты. – Баку, 1946.
7. Полемика Г. Лейбница и С. Кларка / пер. В.И. Свидерского, Г. Кребера. – Л., 1960.
8. Кант И. Сочинения. – Т. 3. – М., 1964.

SPACE AND QUANTUM MECHANICS

I.S. Alexeyev

[Prostranstvo I Kvantovaya Mekhanika]

In: Filosofskiye voprosy kvantovoi mekhaniki [Philosophic Questions of Quantum Mechanics]. Moscow, 1970, pp. 230–240.

ВОЗМОЖНО ЛИ ОТОБРАЖЕНИЕ МИКРОМИРА В ИНЫХ ПОНЯТИЯХ, ЧЕМ ПОНЯТИЯ КЛАССИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ?

М.А. Марков

(Фрагмент из книги М.А. Маркова «О природе материи». –
М.: Наука, 1976. – С. 56–61)

Иногда, обсуждая удивительное своеобразие закономерностей микромира, высказывают соображения, которые ставят под сомнение «адекватность» современного аппарата квантовой теории задачам отображения микромира в макроскопических понятиях. Для отображения микромира в этих понятиях требуется их «кентаврообразное» сочетание.

Не является ли задачей физики будущего найти эти будто бы «более адекватные» микромиру физические понятия? Мы сами неоднократно подчеркивали нашу макроскопическую «невежливость» в обращении с микромиром – мы пытаемся входить в микромир «в пальто и калошах», – но в конце концов проявление нашей «вежливости» заключается в том, что мы снимаем «только пальто» или «только калоши»: подходим к микроявлениям либо «с точки зрения» координаты, либо «с точки зрения» импульса. Нельзя ли снять и «пальто» и «калоши»? Можно думать, что в иных понятиях, например, мы снова вернемся к нестатистической концепции и т.д.

В этом вопросе имеются две стороны: одна тривиальная, которая заключается, по существу, в том же старом затаенном чувстве «недоверия» к полноте квантовой теории, в стремлении обнаружить «скрытые» параметры, которые приблизили бы, по существу, теорию квантовую к теории классической.

В этом узком аспекте вопросы ставились строго математически с самого почти возникновения квантовой теории. Существуют общие математические теоремы, утверждающие, что такие скрытые понятия, параметры несовместимы с квантовой теорией в ее современном виде, несовместимы именно в той ее области, в которой она блестяще оправдана опытом. Доказательства эти с общей точки зрения, правда, существенно ограничены определенным классом математических выражений, представляющих физические величины «скрытых параметров».

В широком логическом аспекте вопрос сводится пока к неопределенному пожеланию будущей теории «более адекватных понятий».

Против такого неконкретного пожелания трудно найти какое-либо конкретное возражение, но анализы конкретных предложений, если они появят-

ся, всегда целесообразны. Правда, надо сказать достаточно определенно, что тенденция в развитии физики не идет в этом направлении.

В первые годы создания квантовой теории физики часто обсуждали так называемый принцип наблюдаемости. «В теорию должны входить только принципиально наблюдаемые величины», – говорили физики, анализируя новую ситуацию в новой теории. Иногда этот принцип рассматривался едва ли не как основное достижение современной физики, как методологический принцип, дающий чуть ли не однозначную возможность при построении новой теории. Может быть, с этим принципом связан ответ на наш вопрос? Этот принцип действительно оказал известную помощь авторам квантовой теории. Но как универсальное конкретное орудие он содержит, к сожалению, существенный порок неоднозначности: какие величины считать принципиально наблюдаемыми?

Если считать, что ответ на этот вопрос должен дать эксперимент в тесном смысле этого слова, то принцип становится тривиальностью. Если дело идет о величинах, принципиально наблюдаемых в мысленных экспериментах с точки зрения данной теории, то принцип в иных словах вскрывает, в сущности, непротиворечивость теории или отсутствие в ней «лишних» элементов.

Во всяком случае, этот «принцип» нельзя рассматривать как единственный фактор при построении новой теории. Более того, если рассматривать науку в ее развитии конкретно, то, в сущности, ясно, что физика всегда неизбежно «захлавлена» всякими ненаблюдаемыми понятиями. В физике сегодняшнего дня – и ненаблюдаемый фон электронов в состояниях отрицательной энергии, и, по-видимому, неполная наблюдаемость волновой функции, так как эксперимент непосредственно дает значение квадрата ее амплитуды, и т.д. И все это существует в физике наряду с требованием ее создателей, чтобы в теорию входили только наблюдаемые величины. Они уживаются рядом с этим принципом, говоря житейским языком, может быть, только потому, что «до них не дошли руки». Но, с другой стороны, здесь не простая небрежность и попустительство: это исторически естественный и необходимый момент развития науки. Если бы наука была чиста от них, она бы перестала развиваться – такая теория была бы истиной в конечной инстанции, абсолютной истиной. В этом «хламе» заложены возможности дальнейшего развития науки. Правда, такое толкование науки содержит в себе противоречие, но это – жизненное противоречие науки.

Нельзя развитие науки излагать так: «И вот голову физика осеняет мысль: посмотрю я, какие понятия не наблюдаемы, выброшу весь хлам и построю настоящую теорию». Ничего из этого не выйдет, а главное, *не выходит*. «Хлам» выбрасывается тогда, когда он становится в физике практически ненужным, что дается самим ходом развития науки, а не абстрактным применением принципа наблюдаемости.

Наконец, имеется некоторая неясность в необходимости и даже обоснованности формулировки принципа: «В теорию должны входить *только* на-

блюдаемые величины». Не слишком ли большое ограничение налагает этот принцип на нашу способность к абстракциям? Действительно, в своих конечных результатах теория должна давать эксперименту лишь наблюдаемые данные. Для предсказания результата эксперимента теория должна требовать наблюдаемых начальных данных, но каждый этап пути получения конечных результатов – промежуточные этапы в аппарате теории, – должны ли они подчиняться требованию этого принципа? То есть этот вопрос требует обсуждения.

Во всяком случае, имеется опасность, что в такой жесткой формулировке принцип является таким же произвольным ограничением, как и классическое требование наглядных представлений, и столь же антинаучным.

Надо заметить, что, наряду с четко выраженным желанием известных авторов квантовой теории ввести как некоторый верховный принцип наблюдаемости, практически развитие квантовой механики выдвигало конкретные формы теории, в своей основе прямо противоположные этому принципу.

Исключительно любопытно, с этой точки зрения, научное творчество Дирака. Его «ненаблюдаемый» фон электронов отрицательной энергии стал безусловным достоянием науки.

К самой конкретной идее «фона» можно относиться по-разному: возможно, что в будущей теории идея примет какие-то иные формы, но факт остается фактом: двумя десятилетиями подтверждается ее огромная эвристическая ценность. Во всяком случае, развитие современной физики было бы существенно задержано, если бы, уступая требованию принципа наблюдаемости, в свое время отвергли теорию Дирака.

Таким образом, принцип наблюдаемости в его несомненной части вряд ли содержит больше, чем тривиальное утверждение, что теория должна соответствовать эксперименту. Таким образом, и здесь мы не находим логического ответа на наш вопрос.

Но вопрос все-таки имеет более конкретное содержание не в чисто логическом аспекте, а с точки зрения познания как конкретной человеческой деятельности.

В сфере своей деятельности человек встречается с пространственно-временной локализацией событий и с энергетическим взаимодействием объектов. Всякий опыт ставится в пространстве и во времени, и каждое взаимодействие, по которому делаются заключения о предмете, как известно, исчерпывается энергетическим взаимодействием. Понятия пространства-времени, понятия энергии (материи)-импульса являются отображением в сознании человека его непосредственно макроскопического бытия. Если считать вместе с классической физикой, что это отображение в макроскопических пределах правильно, то какой смысл в предложении искать новые основные понятия для трактовки явлений микромира, понятия иные, чем координата и импульс, время и энергия (материя)? Ведь микромир всегда познается в форме макроскопического проявления.

Смысл предложения, по-видимому, заключается в том, что понятия энергетические и пространственно-временные отображены человеком в его макроскопической деятельности, поэтому они могут быть не адекватны микромиру, что многие наши затруднения отображают лишь недостаток языка макроскопических понятий и этот недостаток подлежит исправлению. Во-первых, этот «недостаток» связан с макроскопическим существованием человека, а поэтому «просто» непоправим, а во-вторых, не нуждается, по-видимому, в исправлении, так как не препятствует познанию природы. Действительно, тезис, утверждающий, что «макроскопический» язык недостаточен для выражения макроскопическим наблюдателем микроразнообразностей, ложен. В самой основе он опровергается тем обстоятельством, тем фактом, что от явлений микромира в макромир идет цепочка взаимодействий, что микромир при всем своем своеобразии *взаимодействует* с макромиром, и это взаимодействие, каждый его случай, с точки зрения макроскопического партнера, *обязан* истолковываться в макроскопических понятиях потому, что они только и характеризуют макроскопического партнера.

Если раньше, исходя из факта взаимодействия микромира с макромиром, мы выяснили возможность толкования микромира в макроскопических понятиях, то теперь из анализа макроскопического бытия человека следует, что эта возможность должна реализоваться в нашей теории, по-видимому, довольно однозначным образом, что идея «принципиально немакроскопических» понятий пока не имеет большого конкретного содержания в макроскопической деятельности человека, познающего микромир.

Из анализа макроскопической познавательной деятельности человека вытекает только, конечно, принципиально макроскопический характер этих понятий, с помощью которых отображается микромир, и ни в коем случае не предпрещается конкретный смысл этих понятий. Только анализ макрофизики указывает на импульс и координату или вообще на так называемые канонические сопряженные переменные, в которых наиболее последовательно и исчерпывающе отображается макромир.

Отсюда также следует, что дальнейшее развитие физических теорий, по-видимому, также не должно порывать с элементами пространственно-временных и энергетических отношений. Это, разумеется, совсем не значит, что наши физические представления о микромире не подлежат дальнейшим изменениям, что пространственно-временные отношения не будут обогащаться новыми фактами, но все эти факты будут, по всей вероятности, все же подчинены макроскопическому эксперименту, протекающему во времени и в пространстве, и всякое явление будущей физики также через цепочку взаимодействий должно оказывать влияние на наш прибор, изменяя его состояние, и на органы наших чувств; оно не только должно быть отлично от вещей макромира, но чем-то «похоже» на них, чтоб иметь *возможность* с ними взаимодействовать, чтоб иметь возможность проявляться *в нашем опыте*. Ведь «таким образом» явление может изучаться, а многообразие

свойств микрообъекта благодаря этому взаимодействию – исчерпываться многообразием проявления микрообъекта в нашем макроскопическом опыте.

Можно подумать, что мы слишком большую роль отводим тому «земному», макроскопическому, что характерно для современной квантовой теории, что мы, наконец, понижаем могучую роль абстрактного мышления. Это неверно: достаточно раскрыть любую книгу по квантовой теории, чтобы убедиться в колоссальной роли и возможностях абстрактного мышления, убедиться в том, что макроскопическая форма нашего знания микромира предъявляет огромные требования именно к абстрактному мышлению, роль которого непрерывно возрастает.

IS IT POSSIBLE TO REPRESENT THE MICROSCOPIC WORLD IN CONCEPTS OTHER THAN THE CONCEPTS OF CLASSICAL MECHANICS?

M.A. Markov

*[Vozmozhno Li Otobrazheniye Mikromira V Inykh Ponyatiyakh,
Chem Ponyatiya Klassicheskoi Mekhaniki?]*

*(A fragment from M.A. Markov's book O prirode materii [On the Nature of Matter].
Moscow, Nauka Publishing House, 1976, pp. 56-61).*

НАШИ АВТОРЫ

АЛЕКСЕЕВ Игорь Серафимович (1935–1988 гг.) – доктор философских наук, профессор, работал старшим научным сотрудником сектора истории физики и механики Института истории естествознания и техники АН СССР.

АНТИПЕНКО Леонид Григорьевич – кандидат философских наук, старший научный сотрудник Института философии РАН.

ВЛАДИМИРОВ Юрий Сергеевич – доктор физико-математических наук, профессор физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, профессор Института гравитации и космологии РУДН, академик РАЕН.

ГРИБ Андрей Анатольевич – доктор физико-математических наук, профессор Российского государственного университета имени А.И. Герцена (Санкт-Петербург).

ЗАХАРОВ Валерий Дмитриевич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Всероссийского института научной и технической информации.

ЕФРЕМОВ Александр Петрович – доктор физико-математических наук, профессор, первый проректор Российского университета дружбы народов, директор Института гравитации и космологии РУДН, академик РАЕН.

КОГАНОВ Александр Владимирович – кандидат физико-математических наук, заведующий отделом математики Научно-исследовательского института системных исследований РАН (Москва).

ЛАПТЕВ Юрий Павлович – кандидат физико-математических наук, выпускник магистратуры и аспирантуры Института гравитации и космологии Российского университета дружбы народов (РУДН).

МАРКОВ Моисей Александрович (1908–1994 гг.) – советский физик-теоретик, академик АН СССР, сотрудник Физического института АН СССР (ФИАН).

ПОЛИЩУК Ростислав Феофанович – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Астрокосмического центра Физического института имени П.Н. Лебедева РАН.

ФИЛЬЧЕНКОВ Михаил Леонидович – доктор физико-математических наук, доцент, зам. директора Института гравитации и космологии Российского университета дружбы народов (РУДН).

ЧЬЮ Джеффри Фаукар (р. в 1924 г.) – американский физик-теоретик. Научные работы посвящены квантовой теории поля, физике элементарных частиц, ядерной физике, астрономии и гравитации.

МЕТАФИЗИКА

**Российский университет
дружбы народов**

Научный журнал

2015, № 2 (16)

Редактор *И.Л. Панкратова*
Компьютерная верстка *Н.А. Ясько*
Дизайн обложки *М.В. Рогова*

Адрес редакции:
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198
Сайт: <http://lib.rudn.ru/37>

Подписано в печать 02.06.2015 г. Формат 60×84/8.
Печать офсетная. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 17,67. Тираж 500 экз. Заказ 666.

Российский университет дружбы народов
115419, ГСП-1, г. Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3

Типография РУДН
115419, ГСП-1, г. Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3, тел. 952-04-41

Общие требования по оформлению статей для журнала «Метафизика»

Автор представляет после согласования с Главным редактором:

- Текст статьи до 20-40 тыс. знаков в электронном формате;
- Язык публикации – русский;
- Краткую аннотацию статьи (два–три предложения, 4-5 строк) на русском языке;
- Ключевые слова – не более 12;
- Информацию об авторе:
 - Ф.И.О. полностью, ученая степень и звание, место работы, должность, почтовый служебный адрес, контактные телефоны и адрес электронной почты.

Формат текста:

– шрифт: Times New Roman; кегль: 14; интервал: 1,5; выравнивание: по ширине;

– абзац: отступ (1,25), выбирается в меню – «Главная» – «Абзац – Первая строка – Отступ – ОК» (то есть выставляется автоматически).

- ✓ Шрифтовые выделения в тексте рукописи допускаются только в виде курсива.
- ✓ Заголовки внутри текста (название частей, подразделов) даются выделением «Ж» (полужирный).
- ✓ Разрядка текста, абзацы и переносы, расставленные вручную, не допускаются.
- ✓ Рисунки и схемы допускаются в компьютерном формате.
- ✓ Ссылки на литературу даются по факту со сквозной нумерацией (не по алфавиту) и оформляются в тексте арабскими цифрами, взятыми в квадратные скобки, с указанием страниц.

Например:

- На место классовой организации общества приходят «общности на основе объективно существующей опасности» [2, с. 57].
- О России начала XX века Н.А. Бердяев писал, что «постыдно лишь отрицательно определяться волей врага» [3, с. 142].
- ✓ Номер сноски в списке литературы дается арабскими цифрами без скобок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адорно Т.В. Эстетическая теория. – М.: Республика, 2001.
2. Бек У. Общество риска. На пути к другому модерну. – М.: Прогресс-Традиция, 2000.
3. Бердяев Н.А. Судьба России. Кризис искусства. – М.: Канон+, 2004.
4. Савичева Е.М. Ливан и Турция: конструктивный диалог в сложной региональной обстановке // Вестник РУДН, серия «Международные отношения». – 2008. – № 4. – С. 52–62.
5. Хабермас Ю. Политические работы. – М.: Праксис, 2005.

- ✓ Примечания (если они необходимы) даются подстрочными сносками со сквозной нумерацией, выставляются автоматически.

С увеличением проводимости¹ кольца число изображений виртуальных магнитов увеличивается и они становятся «ярче»; если кольцо разрывается и тем самым прерывается ток, идущий по кольцу, то изображения всех виртуальных магнитов исчезают.

¹ Медное кольцо заменялось на серебряное.

- ✓ Века даются только римскими цифрами (XX век).

Редакция в случае неопубликования статьи авторские материалы не возвращает и не рецензирует.

Будем рады сотрудничеству!

Контакты:

ЮРТАЕВ Владимир Иванович, тел.: 8-910-4334697; E-mail: vyou@yandex.ru

Для заметок
