

# **МЕТАФИЗИКА**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

**2013, № 3 (9)**

Основан в 2011 г.  
Выходит 4 раза в год

- **ТВИСТОРНАЯ  
ПРОГРАММА  
ПЕНРОУЗА  
И СМЕЖНЫЕ  
ПРОГРАММЫ  
ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ  
ФИЗИКИ**
- **ПРОБЛЕМА  
СОЗНАНИЯ  
В ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ  
ФИЗИКЕ**

# **METAFIZIKA**

**(Metaphysics)**

SCIENTIFIC JOURNAL

**No. 3 (9), 2013**

**Founder:**  
**Peoples' Friendship University of Russia**

Established in 2011  
Appears 4 times a year

**Editor-in-Chief:**

Professor *Yu.S. Vladimirov*, D.Sc. (Physics and Mathematics),  
Academician of the Russian Academy of Natural Sciences

**Editorial Board:**

*Professor S.A. Vekshenov*, D.Sc. (Physics and Mathematics)

*P.P. Gaidenko*, D.Sc. (Philosophy),

*Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences*

*Professor A.P. Yefremov*, D.Sc. (Physics and Mathematics),

*Academician of the Russian Academy of Natural Sciences*

*Archpriest Kirill Kopeikin*, Secretary of the Academic Board  
of the St. Petersburg Theological Academy, Director of the Scientific-Theological  
Center of Interdisciplinary Studies at St. Petersburg State University

*Professor V.I. Yurtayev*, D.Sc. (History)

*(Executive Secretary)*

ISSN 2224-7580

# **МЕТАФИЗИКА** НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

**2013, № 3 (9)**

**Учредитель:**  
**Российский университет дружбы народов**

Основан в 2011 г.  
Выходит 4 раза в год

**Главный редактор –**

**Ю.С. Владимиров** – доктор физико-математических наук,  
профессор, академик РАН

**Редакционная коллегия:**

**С.А. Векшенов** – доктор физико-математических наук, профессор  
**П.П. Гайденов** – доктор философских наук, член-корреспондент РАН  
**А.П. Ефремов** – доктор физико-математических наук, профессор,  
академик РАН

**Протоиерей Кирилл Копейкин** – секретарь учёного совета  
Санкт-Петербургской духовной академии, директор Научно-богословского  
центра междисциплинарных исследований Санкт-Петербургского  
государственного университета

**В.И. Юртаев** – доктор исторических наук, профессор  
(ответственный секретарь)

ISSN 2224-7580

## CONTENTS

<b>EDITORIAL NOTE</b> .....	6
<i>Press Conference of Sir Roger Penrose (Peoples' Friendship University of Russia, April 3, 2013)</i> .....	9
 <b>TWISTOR PROGRAM OF PENROSE AND RELATED PROGRAMS IN FUNDAMENTAL PHYSICS</b>	
<i>Vladimirov Yu.S.</i> Penrose's Twistor Program and Binary Geometrophysics .....	33
<i>Yefremov A.P.</i> Rescue of Algebras and the Key to the Secrets of Mechanics .....	55
<i>Vekshenov S.A., Beshenkov A.S.</i> Sequential Images of Complex Numbers and Quaternions in the Foundations of Physics .....	70
<i>Kokarev S.S.</i> Modern Natural Philosophy: Perspectives in the Focus of Unity .....	86
 <b>THE PROBLEM OF CONSCIOUSNESS IN FUNDAMENTAL PHYSICS</b>	
<i>Panov A.D.</i> The Technological Singularity, Penrose Theorem about Artificial Intelligence and Quantum Nature of Consciousness .....	141
<i>Mensky M.B.</i> Mysteries of Consciousness – from Quantum Mechanics .....	189
<i>Zakharov V.D.</i> R. Penrose's Ideas about the Consciousness: an Apophatic Approach? .....	199
 <b>OUR AUTHORS</b> .....	 209

© Metafizika. Authors. Editorial Board.  
Editor-in-Chief Yu.S. Vladimirov, 2013  
© Peoples' Friendship University of Russia, Publishing House, 2013

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ОТ РЕДАКЦИИ</b> .....	6
<i>Пресс-конференция сэра Роджера Пенроуза</i> .....	9
<b>ТВИСТОРНАЯ ПРОГРАММА ПЕНРОУЗА И СМЕЖНЫЕ ПРОГРАММЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ</b>	
<i>Владимиров Ю.С.</i> Твисторная программа Пенроуза и бинарная геометрофизика .....	33
<i>Ефремов А.П.</i> Спасение алгебр и разгадка секретов механики .....	55
<i>Векшенов С.А., Бешенков А.С.</i> Порядковые образы комплексных чисел и кватернионов в основаниях физики .....	70
<i>Жокарев С.С.</i> Современная натурфилософия: перспективы в фокусе единства ....	86
<b>ПРОБЛЕМА СОЗНАНИЯ В ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКЕ</b>	
<i>Панов А.Д.</i> Технологическая сингулярность, теорема Пенроуза об искусственном интеллекте и квантовая природа сознания .....	141
<i>Менский М.Б.</i> Тайны сознания – из квантовой механики .....	189
<i>Захаров В.Д.</i> Р. Пенроуз о сознании: апофатический подход? .....	199
<b>НАШИ АВТОРЫ</b> .....	209

---

---

## ОТ РЕДАКЦИИ

---

---

В данном выпуске междисциплинарного научного журнала «Метафизика» обсуждаются вопросы фундаментальной теоретической физики, поднятые в связи с выступлениями в Москве Роджера Пенроуза – одного из ведущих физиков-теоретиков, возглавляющего кафедру математики Оксфордского университета, лауреата ряда престижных международных премий. Роджер Пенроуз широко известен российским читателям по опубликованным переводам таких его книг, как «Твисторы и калибровочные поля» (Сборник статей Пенроуза и его соавторов. – М.: Мир, 1983. – 368 с.), двухтомная монография Р. Пенроуза и В. Риндлера «Спиноры и пространство-время» (М.: Мир, 1987. – 1102 с.), «Тени разума: в поисках науки о сознании» (Москва–Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. – 368 с.), «Новый ум короля: О компьютерах, мышлении и законах физики» (М.: Едиториал УРСС, 2003. – 384 с.), «Путь к реальности или законы, управляющие Вселенной. Полный путеводитель» (Москва–Ижевск: Институт компьютерных исследований, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2007. – 912 с.) и другие.

Р. Пенроуз находился в России (в С.-Петербурге и Москве) с 26 марта по 6 апреля 2013 г. по приглашению директора Научно-исследовательского института гиперкомплексных систем в геометрии и физике Д.Г. Павлова и МГТУ имени Н.Э. Баумана. Выступая в Санкт-Петербурге с 2-часовой лекцией, он изложил свои соображения по поводу квантовой теории сознания. Во время пребывания в Москве с 31 марта по 6 апреля состоялось несколько выступлений: в Институте философии РАН, в Политехническом музее, в МГТУ имени Н.Э. Баумана и в Российском университете дружбы народов.

Особо следует выделить две обстоятельные лекции по принципиально важным вопросам физического мироздания, прочитанные в МГТУ имени Баумана. Первая из этих лекций «Красота и сила комплексных чисел и их роль в открытии твисторной теории» состоялась 2 апреля. В ней были подняты чрезвычайно важные вопросы современной фундаментальной теоретической физики – о первоначалах пространственно-временных представлений. Согласно Р. Пенроузу, в их основу должны быть положены комплексные числа, которые образуют спиноры и далее твисторы, которым придается определяющее значение в программе его исследований. Твисторная про-

грамма Р. Пенроуза оказалась созвучной идеям, развиваемым рядом российских авторов. В отдельном разделе настоящего журнала помещено несколько статей, посвященных сопоставлению твисторной и других программ исследований этой чрезвычайно важной проблемы, от решения которой зависит будущее развитие всей фундаментальной теоретической физики в XXI веке: объединение физических взаимодействий, устранение расходимостей в квантовой теории микромира, совмещение принципов общей теории относительности и квантовой теории и ряда других.

Вторая лекция Р. Пенроуза в МГТУ имени Баумана «В состоянии ли мы видеть другой мир сквозь Большой взрыв?» состоялась 4 апреля. Она также была посвящена чрезвычайно важной проблеме – устройству и эволюции мироздания в целом. В отличие от общепринятых ныне взглядов на происхождение Вселенной из некоего сингулярного состояния в результате так называемого Большого взрыва, Р. Пенроуз развивает теорию вечного циклического развития Вселенной в виде последовательности эр (эонов), в каждой из которых конечное сингулярное состояние совпадает с сингулярным начальным состоянием следующей эры. В докладе формулировалась гипотеза о возможности через реликтовое излучение получать информацию в последующем эре из предыдущей.

Собравшимся на лекциях физикам было интересно не только послушать Р. Пенроуза, но также изложить ему своё понимание первооснов теории пространства-времени и всего мироздания в целом и узнать его мнение. В этих целях в Российском университете дружбы народов был организован специальный семинар на базе Научно-учебного института гравитации и космологии (директор института профессор А.П. Ефремов). Здесь были заслушаны два доклада: «Поличисловая теория поля» С.С. Кокарева (зам. директора Института гиперкомплексных систем в геометрии и физике, кандидата физико-математических наук) и «Основы обобщенной теории эквивалентности (анизотропной геометродинамики)» С.В. Сипарова (профессора Академии гражданской авиации в Санкт-Петербурге). Несмотря на то что изложенные идеи существенно отличались от взглядов Р. Пенроуза, он в своих комментариях высоко оценил научный уровень российских исследований в этой области и высказался за необходимость широкого фронта работ в фундаментальной физике, которые позволят выявить наиболее плодотворные направления исследований.

В работах Р. Пенроуза большое внимание уделяется проблеме физического описания (обоснования) феномена сознания и возможности создания искусственного интеллекта. Исследования в этой области составляют чрезвычайно важный раздел современной фундаментальной науки, в котором активно работает ряд российских ученых, как физиков, так и психологов, биологов, а также представителей других областей знания. В связи с приездом Р. Пенроуза в Москве в Институте философии РАН 1 апреля 2013 г. был организован круглый стол, посвященный обсуждению данной проблемы, где выступили физики М.Б. Менский (ФИАН) и А.Д. Панов (Институт ядерной

физики МГУ имени М.В. Ломоносова), философ В.А. Лекторский (Институт философии РАН) и биологи Т.В. Черниговская (Санкт-Петербургский государственный университет) и К.В. Анохин (Курчатовский институт). После этого были заслушаны комментарии Р. Пенроуза, который говорил о необходимости новой физики для раскрытия тайн мозга и сознания.

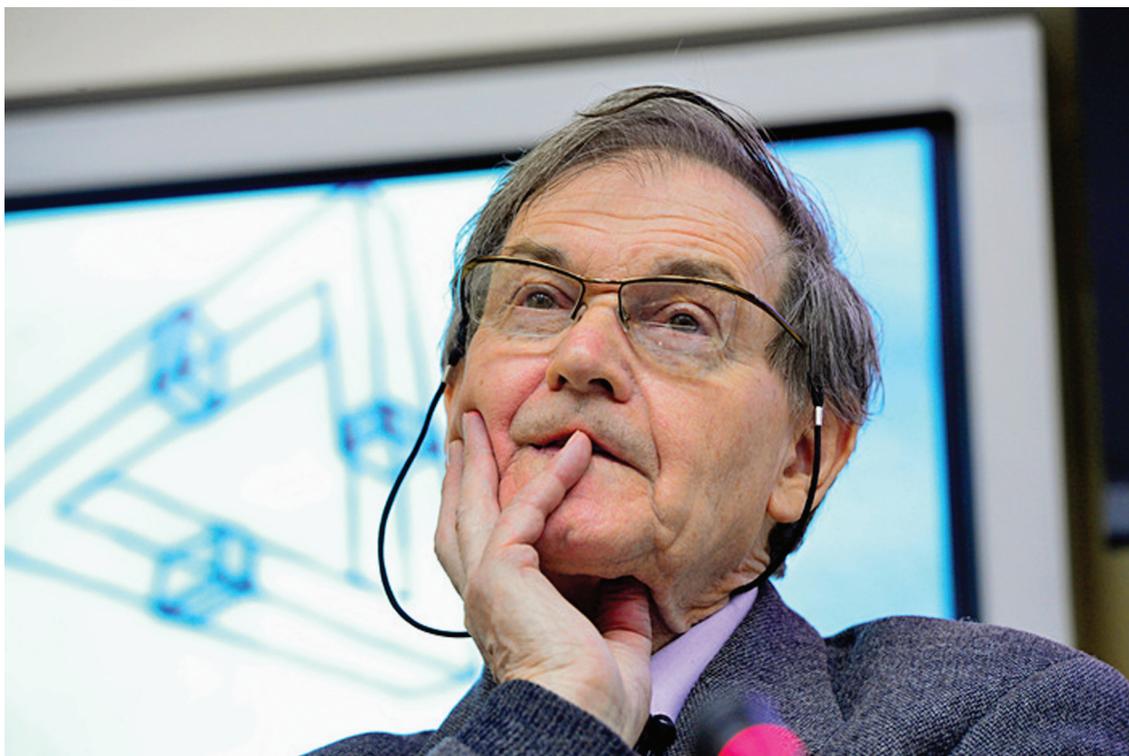
Обсуждавшимся на круглом столе вопросам физических аспектов феномена сознания посвящен второй специальный раздел данного журнала, в котором помещены статьи М.Б. Менского и А.Д. Панова, а также В.Д. Захарова, присутствовавшего на ряде выступлений Пенроуза.

В Политехническом музее состоялось выступление Р. Пенроуза «Круги времени: можно ли сквозь Большой взрыв разглядеть предыдущую Вселенную?», рассчитанное на широкую аудиторию интересующихся данной проблематикой. Следует отметить также две пресс-конференции Пенроуза: в Российском университете дружбы народов после научного семинара 3 апреля и итоговую пресс-конференцию, состоявшуюся 5 апреля 2013 г. На этой пресс-конференции, в частности, Р. Пенроуз поддержал идею создания под Москвой (близ Фрязино) научного центра фундаментальной физики на базе уже успешно действующего под руководством Д.Г. Павлова НИИ гиперкомплексных систем в геометрии и физике, не исключая даже своего участия в работе этого центра. Стенограммой итоговой пресс-конференции Р. Пенроуза открывается настоящий номер журнала.

Следует отметить, что выступления Р. Пенроуза в Москве имели огромный общественный резонанс. На его лекциях и выступлениях в Институте философии РАН, в Политехническом музее, в Московском государственном техническом университете имени Баумана и в Российском университете дружбы народов неизменно присутствовало много слушателей. К сожалению, в Политехнический музей смогли попасть далеко не все желающие. Визит сэра Роберта Пенроуза в Россию, широко обсуждавшийся в российских СМИ, выявил огромный интерес общества не только к вопросам ближнесрочной перспективы, но и к глобальным проблемам мироздания, которые всегда волновали российских деятелей науки и культуры.



После семинара в РУДН с участием Р. Пенроуза. Слева направо стоят: переводчица, Д.Г. Павлов, жена Р. Пенроуза, А.П. Ефремов, сын Пенроуза, С.В. Сипаров, С.С. Кокарев, переводчица, Майкл Райт (Англия), переводчица. Сидят: Ю.П. Рыбаков, Роджер Пенроуз, Ю.С. Владимир



Р. Пенроуз во время заседания в РУДН



---

---

## ПРЕСС-КОНФЕРЕНЦИЯ СЭРА РОДЖЕРА ПЕНРОУЗА (РУДН 3 апреля 2013 г.)

*(Перепечатка материалов пресс-конференции, ранее опубликованной в журнале «Гиперкомплексные числа в геометрии и физике», 1(19), том 10, 2013, издаваемом НИИ гиперкомплексных систем в геометрии и физике)\**

**Ведущий:** Добрый день, уважаемые гости, коллеги! Мы приветствуем вас в Пресс-центре Российского агентства международной информации РИА Новости. Начинаем пресс-конференцию. Наша сегодняшняя встреча посвящена визиту сэра Роджера Пенроуза в Москву и Санкт-Петербург. Этот всемирно известный британский ученый, профессор Оксфордского университета, философ, математик и физик, прибыл в Россию после почти 40-летнего перерыва. Но, поскольку нашему гостю не совсем удобно о себе говорить, я представлю его немного подробнее.

Сэр Роджер Пенроуз работает в различных областях математики, общей теории относительности и квантовой теории, разработчик теории твисторов. Он – автор теорий, связанных с квантовым сознанием, квантовым скачком, квантовой биологией. Издал ряд книг: «Новый ум короля», «Тени разума», «Путь к реальности» и др. Почетный профессор многих зарубежных университетов, член Лондонского королевского общества. Среди его наград – премия Вольфа (1988 год, совместно со Стивеном Хокингом), медаль Копли (2008), премия Альберта Эйнштейна и медаль Королевского общества. В 1994 г. Королевой Великобритании ему был присвоен рыцарский титул за выдающиеся заслуги в развитии науки.

В ходе пресс-конференции сэр Роджер Пенроуз подведет итоги своего визита в Россию. Визит проходил с 26 марта по 5 апреля 2013 г. Он прибыл в Россию по приглашению коллег из МГТУ им. Н.Э. Баумана и НИИ гиперкомплексных систем в геометрии и физике.

С удовольствием представляю наших сегодняшних собеседников. В конференции также примут участие директор НИИ гиперкомплексных систем в геометрии и физике Дмитрий Павлов и заместитель директора этого института, кандидат физико-математических наук Сергей Кокарев, а также доктор физико-математических наук, профессор Сергей Сипаров.

Я обращаюсь к сэру Роджеру Пенроузу и передаю ему слово. Хотелось бы услышать о цели его визита в Москву и Санкт-Петербург. Пожалуйста, Вам слово! Просим!

---

\* В текст внесена минимальная редакторская правка.

**Р. Пенроуз:** Я очень рад, что меня ещё раз пригласили в Россию после 40-летнего перерыва. Я тогда посетил Москву и Санкт-Петербург по приглашению Советской академии наук. А в этот раз меня великодушно пригласил доктор Дмитрий Павлов, директор Института гиперкомплексных систем в геометрии и физике. Я выступил здесь с несколькими лекциями по различным аспектам своей собственной работы, а также выслушал несколько очень интересных выступлений присутствующих здесь коллег на темы, которыми они занимаются. Этот визит был для меня интересен с разных точек зрения: во-первых, меня заинтересовали результаты проводимой здесь работы. Во-вторых, приятно было вновь посетить Россию и познакомиться с некоторыми замечательными достижениями. Мы побывали на балете в Большом театре, это было замечательно, а вчера вечером мы были на концерте, который также был великолепен. По-моему, это тот уровень, которого можно ожидать от России.

Думаю, что наука здесь порой переживала тяжелые времена. Я был очень рад увидеть, что проводится большая работа с целью повысить престиж науки таким независимым образом, когда люди могут работать над тем, что не представляет в обязательном порядке господствующие тенденции (мейнстрим), развивая оригинальные идеи в различных направлениях. Я считаю, что то, что сделано и делается, – по-настоящему замечательно.

**Ведущий:** Спасибо большое! Я обращаюсь к принимающей стороне. Дмитрий, пожалуйста, несколько слов о вашем институте и почему именно ваш институт пригласил сэра Роджера Пенроуза?

**Д.Г. Павлов (директор НИИ гиперкомплексных систем в геометрии и физике):** Наш институт необычный. Он негосударственный. Его учредителями являются частные лица: я сам и мои коллеги по бизнесу. Для России это пока ещё достаточно редкое явление, чтобы средний и мелкий бизнес финансировал фундаментальные исследования. Есть примеры финансирования прикладных научных направлений, а вот чтобы геометрию пространства и времени, тут, я думаю, мы пока ещё единственные, но, надеюсь, не последние. Наш коллектив образовался юридически всего 4 года назад, но фактически мы начали работу 15–17 лет назад. Поскольку основным капиталом научных организаций, а мы здесь не исключение, являются люди и их знания, я позволил себе подготовить небольшую презентацию, где, прежде всего, представлены наши ежегодные международные конференции.

Начиная с 2004 года проводится наша ежегодная конференция. Она проходила в России, в Египте и в Румынии, и, наконец, в этом году будет проходить в Венгрии. В общей сложности в этих конференциях приняли участие сотни исследователей из 40 стран. То есть наше направление, так или иначе, интересует ученых, прежде всего физиков и математиков. Конечно же, не только конференциями жив наш институт. Мы регулярно, начиная с 2002 года, проводим постоянно действующий научный семинар, который

взаимодействует с другими постоянно действующими семинарами не только в России, но и за рубежом.

Институт располагается на территории Подмосковья. Может быть, в не очень современном здании, но нам удобно проводить там школы, поскольку с молодежью мы также стараемся работать в постоянном режиме. Если ученые не готовят свою смену, то научное направление рано или поздно умирает. Каждый год мы проводим одну-две летние или зимние школы. И делаем это достаточно регулярно. Ну, наверное, это основное, что я хотел сказать.

**Ведущий:** Спасибо, Дмитрий! Я обращаюсь к Сергею Кокареву. Вы являетесь заместителем директора института по науке. Пожалуйста, о научной работе института!

**С.С. Кокарев:** Ну, если в двух словах, то деятельность института концентрируется вокруг изучения многомерного обобщения числа и тех геометрий, которые отсюда вытекают. Эти геометрии получаются немножко необычными, но фактически оказывается, что они содержат в себе, в определенном смысле, те геометрии, с которыми постоянно работают физики и математики. Мы надеемся, что такие геометрии и алгебры представляют собой новый, интересный и эффектный язык для описания физической реальности.

**Ведущий:** Спасибо. Профессор Сипаров представляет Санкт-Петербург. Пожалуйста, расскажите о сотрудничестве с Институтом гиперкомплексных систем. Пожалуйста, прошу!

**С. Сипаров:** Дело в том, что как уже сказал Дмитрий, это особое заведение. Оно уникальное. Другого такого нет. И поэтому наше сотрудничество с этим институтом протекает тоже довольно специальным образом. То есть сюда невозможно устроиться по блату, невозможно попасть на синекуру, мы фактически не получаем зарплату. А оплата или компенсация происходит следующим образом. Сначала мы стали коллективом единомышленников, которые постепенно узнавали друг друга, и, как сказал Дмитрий, это довольно длительный процесс. Впоследствии это сложилось в организационную единицу, и теперь мы имеем возможность поехать на конференцию туда, куда мы хотим, и принять в ней участие, а расходы несет институт. Все остальное – это просто научный интерес, который реализуется на семинарах, проводимых нами, в научной работе, научных контактах, которые мы поддерживаем. То есть это добровольное объединение. И для того чтобы поехать куда-то, нам не нужно собирать кучу бумаг – достаточно просто заявить о своем желании. Вот так происходит это взаимодействие, и я считаю, что это очень эффективная форма.

**Ведущий:** Вы принимали участие в семинаре, в котором также участвовал и профессор Роджер Пенроуз. Пожалуйста, несколько слов о вашем докладе.

**С. Сипаров:** Хорошо. Но я был вторым докладчиком. Может быть, начнет Сергей?

**Ведущий:** Давайте! Сергей Кокарев, прошу!

**С.С. Кокарев:** Я как раз рассказывал про самый простейший тип алгебры этого многомерного обобщения числа, называемого алгеброй двойных чисел. Эти числа двумерные, они устроены проще, чем комплексные, но воспроизводят очень интересным образом много свойств, которые мы знаем из алгебры комплексных чисел. Оказывается, можно сделать даже больше. Можно построить вариант физической теории, но, правда, она будет игрушечная, двумерная. Такая двумерная Вселенная – я назвал ее Гиперлэнд, – в которой опираясь на правила вот этой алгебры можно ввести или рассчитать даже фундаментальные константы этого двумерного мира, установить число и тип элементарных частиц, которые при этом присутствуют, способы их связи, соединения. То есть полностью изучить, чисто теоретически, свойства этого мира. Эта модель игрушечная. Но, мы надеемся, что если применить эти же правила для чисел высших измерений, то Вселенная, которая будет получаться, станет очень напоминать нашу. Вот в этом наша надежда.

**Ведущий:** Спасибо! Вам (обращаясь к С. Сипарову) слово!

**С. Сипаров:** Как вы могли слышать, институт называется «Институт гиперкомплексных систем в геометрии и физике». То есть, с одной стороны, имеются математические работы, которые связаны с тем, что исследуются новые свойства числовых объектов и тех геометрий, о которых только что говорил С. Кокарев. Построены модели, которые, предположительно, могут быть обнаружены в природе, окружающей нас. Но ведь естественно пойти и в обратную сторону. И это как раз то, чем занимаюсь я. То есть существуют физические проблемы, которые представляют как самостоятельный интерес, так и фундаментальное значение для науки в целом. И поэтому возникает вопрос: та ли геометрия используется для описания физики мира, в котором мы живем? Собственно говоря, на этом пути как раз и были совершены продвижения XX века. Ведь когда Эйнштейн создавал теорию относительности, он изменил геометрию, которой пользовались до него. А сейчас прошли годы, появились новые наблюдения. В частности, целый ряд астрономических наблюдений в больших, галактических масштабах оказался таким, что с помощью классической теории не удастся описать эти наблюдения достаточно хорошо, без введения таких понятий, как темная материя, например, которая, вообще-то говоря, изначально в теорию Эйнштейна не входила. Имеет-

ся и ряд других явлений, которые также нуждаются в адекватном описании и которые не попадают в область действия этой теории. Об этом Фок предупреждал еще в 1930-х годах. Несмотря на то что в настоящее время существуют несколько теорий гравитации, ни одна не дает лучших результатов, чем теория относительности, если речь идет о Солнечной системе. Так вот, ниоткуда не следовало, что в космологических масштабах на выходе будет точно так же. И когда мы встретились с этим 30-40 лет назад, то возникли вопросы к теории и возникли вопросы к сущностям, которые были введены впоследствии. А мне показалось, что, может быть, стоит попробовать поискать новую геометрию для описания того, что мы наблюдаем. И в результате некоторых усилий последних лет удалось справиться с рядом затруднений и объяснить ряд явлений, которые не имели объяснения, а также дать другие объяснения явлениям, интерпретируемым с помощью понятия «темная материя».

Эта деятельность находится, в общем-то, в начале пути, поскольку она пока не слишком хорошо известна. Результаты, естественно, опубликованы, но они известны недостаточно широко. Однако то, что произошло, позволяет надеяться, что эти геометрические изыскания могут привести к далеко идущим последствиям.

**Ведущий:** Спасибо! Я обращаюсь к профессору Пенроузу. В ходе своего визита в Россию Вы провели ряд публичных лекций. Вы приняли участие в нескольких научных семинарах по актуальным проблемам современной физики, космологии. Пожалуйста, расскажите о ваших впечатлениях. Что вам дало общение с вашими российскими коллегами, с публикой? Пожалуйста!

**Р. Пенроуз:** Как вы правильно заметили, я прочитал несколько лекций. Говоря о них, было очень ценно получить ответную реакцию; некоторые оригинальные отклики, о которых я раньше не слышал. Слушателями были высказаны некоторые интересные, весьма проницательные замечания. Всегда очень полезно услышать реакцию от слушателей, особенно представляющих разные сообщества; узнать о разных точках зрения. Естественно, я нашёл весьма интересными и вдохновляющими отклики от многих людей здесь о том, над чем я работаю на протяжении многих десятилетий, и о том, над чем работаю недавно.

Если говорить более конкретно, на днях я прослушал лекции моих коллег, присутствующих здесь, которые явили собой два примера идей, являющихся оригинальными и очень отличающихся от того, что исповедует большинство; тем не менее, очень последовательными и хорошо продуманными. Это те примеры, которые, по моему мнению, демонстрируют очень важный аспект науки – то, что люди должны иметь возможность свободно мыслить, обсуждать свои идеи с другими людьми, не быть слишком стесненными рамками традиционных, общепринятых понятий. Итак, это хорошо

продуманные и по-своему очень логичные идеи. Эти два выступления, несомненно, в каком-то смысле были очень разными. Одно из них затрагивало конкретные математические методы о числах и роли, которые они могут сыграть в понимании фундаментальных проблем физики.

Наш сегодняшний взгляд на физику предполагает, что комплексные числа играют, особенно в квантовой механике, важнейшую роль. Очень полезно освободиться от общепринятого и посмотреть на другие числа, которые также могут играть важную роль. В лекции Сергея Кокарева мы слышали о другом направлении, в котором мы можем двигаться. Всё это было очень тщательно продумано и проиллюстрировано примерами того, как геометрия может перестать быть чем-то очень знакомым и стать тем, что совершенно по-другому выглядит, вместе с тем сохраняется её внутренняя структура.

Это сродни очень важному изменению в геометрии, которое было введено Минковским. Когда Эйнштейн представил свою идею специальной теории относительности, Минковский показал, что её можно понять с точки зрения такой геометрии, которая во многом подобна Евклидовой геометрии, но имеет некоторые небольшие изменения. И теперь у нас есть такой тип геометрии, который очень точно представляет понятие пространства-времени, которое ранее рассматривалось иначе. Эйнштейн рассматривал пространство и время как отдельные сущности, Минковский же показал, что их можно объединить. Этот особый взгляд на специальную теорию относительности был откровением для Эйнштейна, который ранее не рассматривал это таким образом. Но затем он использовал эту идею в общей теории относительности, модифицировав геометрию Минковского. Таким образом, мы видим, что было некоторое нежелание принимать новое в начале, но впоследствии он использовал эти идеи в своей собственной теории.

Я думаю, это до некоторой степени аналогично тому, что происходит с числами, которые могут играть фундаментальную роль в квантовой механике, их можно определённым образом трансформировать. Исследуя такие числа, важно развивать математические идеи ради них самих, и необязательно сразу же находить для них то или иное применение.

Важно, чтобы у ученых была возможность развивать свои идеи без необходимости сразу же находить для них практическое применение. Мы видели очень хорошую иллюстрацию этого в лекции доктора Кокарева.

Во второй лекции, лекции профессора Сипарова, мы услышали нечто совершенно другое. Его интересуют наблюдаемые загадки Вселенной, и он занимается работой, связанной с тем, чтобы проверить, насколько справедлива традиционная точка зрения на темную материю (вопрос очень серьёзный), чтобы понять, действительно ли она существует. Хороший вопрос. Или можно ли объяснить её эффекты, влияние, которое данная материя оказывает на вращение галактик и других систем, которые доступны наблюдению. Можно ли объяснять всё это с какой-то точки зрения? Может быть, дело не в существовании этой материи, а в чем-то другом?

Следует развивать различные версии, различные пути, являющиеся следствием предложенной Эйнштейном общей теории относительности, но рассматривая её с иной точки зрения. Это позволяет объяснить темную материю альтернативным способом. И, повторяю, я считаю важным, что не обязательно принимать господствующую точку зрения на темную невидимую материю. Возможно, существует другое объяснение; здесь мы видели очень интересный альтернативный способ рассмотрения того, каким образом могут возникать эти эффекты, используя необычную точку зрения на геометрию, несколько отличную от точки зрения Эйнштейна – отличную в некоторых аспектах.

В обоих случаях после лекций было большое обсуждение с высказыванием различных точек зрения. Но это неотъемлемая часть науки – такие оживленные обсуждения. И в этом случае было также много различных точек зрения и состоялась весьма оживленная дискуссия.

Я бы сказал, в этом случае важно, что были представлены две идеи, каждая из которых заслуживает дальнейшего исследования и является весьма важной. И совсем необязательно, чтобы эти идеи повлекли за собой революционные изменения в нашей области науки. Это были идеи независимые, незаурядные, самодостаточные и очень хорошо продуманные.

Конечно, многие люди представляют идеи, которые выходят за рамки обычных, общепринятых представлений, но большинство из них не являются хорошо продуманными. Вы рассматриваете их и видите, что они не оправданы и бессмысленны. В этом же случае были представлены очень хорошо продуманные идеи, и обе заслуживают дальнейшего исследования.

Я думаю, это является примером того, что нам хотелось бы видеть в науке – открытая дискуссия, оригинальность идей и готовность обсуждать правильность выбранного пути. Возможно, этот путь правильный, может быть, правильный другой. Может быть, эту идею можно использовать в какой-то другой области. Я очень поддерживаю такую деятельность. В данном случае существует форум для такого рода дискуссий, такого вида деятельности, которая стимулирует восприимчивость к новым идеям. И важно то, что это та работа, которая не обязательно должна приводить к быстрым результатам в финансовом плане. В данном случае идеи развиваются, поскольку они интересны с научной точки зрения, а не потому, что вы хотите получить отдачу здесь и сейчас.

Я очень поддерживаю такую деятельность. Был рад увидеть, что существует научный центр обучения «Лесное озеро». Надеюсь, что новый проект будет продолжать эти традиции, что он окажется важным для дальнейшего развития науки как в России, так и в международных проектах.

**Ведущий:** Спасибо большое! И вот как раз хотелось бы спросить у Дмитрия, каковы дальнейшие планы института? Может быть, вы еще кого-то планируете пригласить?

**Д.Г. Павлов:** Прежде всего я хотел бы рассказать, что помимо той деятельности, которая была представлена ранее, у нас большие надежды на следующий серьёзный шаг. Мы бы хотели, не прекращая текущей деятельности института, перейти к созданию научно-образовательного центра по образцу центров, которые уже достаточно давно работают на Западе. Я был в одном из них. Он находится под Парижем и называется Институт высших научных исследований. Там, кстати, работает наш соотечественник Михаил Громов. Принципы организации работы, обучения, передачи знаний там настолько разумны и правильны, что даже обидно, что в России пока еще нет подобной организации, которая могла бы без лишнего формализма с максимальной оперативностью решать проблемы ученых, помогать им и делать это ненавязчиво, непринужденно. Там есть условия для нормальной работы. Там есть небольшие домики, куда приезжают и живут как постоянные профессора, по сути дела пожизненно, так и приглашенные на несколько недель, месяцев или лет. Им созданы все условия, чтобы они работали. Иногда вместе с семьями. Есть общий конференц-зал, общее здание, где у них есть свои кабинеты, где они могут спокойно работать, оставить книги, общаться друг с другом, и единая территория, где решены все бытовые проблемы. Такой маленький научный городок. Не большой наукоград, которые тоже, конечно, нужны, но нужны и маленькие такие городки. Мы мечтаем создать на базе нашего института и тех коллег, связи с которыми мы наработали за последние сорок лет, такой центр в Подмосковье. Мы уже присмотрели территорию в Щелковском районе, получили предварительное одобрение Московской областной думы, Московского областного правительства, городских властей. И, кстати, эта территория принадлежит наукограду Королев, который тоже поддерживает эту идею. И остается дело за малым. Начать. Ну и получить финансовую поддержку, которую я ожидаю прежде всего от частных источников. Фундаментальные исследования во всех странах в первую очередь финансируются государством, однако и частные источники могут и должны быть одними из основных, по крайней мере, на первых порах. Я говорю об Институте высших научных исследований.

Удивительно, что этот институт на свои личные деньги основал наш соотечественник, который во времена Гражданской войны эмигрировал, поднял бизнес и, повинуясь некоему внутреннему порыву, создал первое научное объединение. Сейчас это государственный проект Франции, который финансируется соответствующим министерством. Но начиналось все с частной инициативы. Мы выдвигаем такую же частную инициативу. Я не могу сравнить себя с создателем этого замечательного института под Парижем, но, по крайней мере, предпринять попытку сделать что-то такое же полезное для России и именно в России мы считаем необходимым и чувствуем в себе для этого достаточно сил, энергии, а значит, все задуманное может воплотиться в жизнь.

**Ведущий:** На какой территории располагается этот наукоград, наукоцентр?

**Д.Г. Павлов:** Мы рассчитываем продолжить ту деятельность, которую уже ведем последние 10 лет. Администрация города Королев 10 лет назад разрешила нам построить на территории бывшего пионерского лагеря «Лесное озеро» под Литвиново небольшое здание, где у нас есть конференц-зал, комнаты для приема на несколько дней гостей, которые приезжают к нам не только из России и стран ближнего зарубежья, но и, как я говорил, из сорока стран. Отталкиваясь от того что мы сделали за эти 10 лет, можно рядом, не обязательно на территории «Лесного озера», а где-нибудь в 2–3 километрах, затеять организацию всех строений, которые необходимы, по образцу и по подобию Института высших научных исследований.

**Ведущий:** Спасибо большое! Профессор Пенроуз, как вы оцениваете этот проект наукоцентра? Наверняка есть аналогии в Великобритании? Как они функционируют? Расскажите, пожалуйста!

**Р. Пенроуз:** Что-то очень похожее? Я действительно видел видео о будущем институте. Это очень интересно прозвучало. Это то, что, несомненно, необходимо поощрять и поддерживать. Однако мне ничего неизвестно о чем-то подобном в Великобритании. Думаю, что это очень стоящий проект. Желаю вам удачи и успехов новому институту. Самые лучшие пожелания и удачи вам!

**Ведущий:** Спасибо большое! Коллеги, сейчас мы приступаем к вашим вопросам. Просьба пользоваться микрофоном и называть СМИ, которое вы представляете. Ну и конкретно адресовать ваши вопросы. Пожалуйста! Первый ряд, прошу!

**Алла Б., член Союза журналистов Москвы:** После вашего выступления [Д.Г. Павлова] у меня сложилось такое впечатление, что вы хотите сделать какой-то переворот в науке: математике, физике. Второй вопрос к господину Пенроузу: когда у него появилась любовь к математике, в том числе к геометрии и к физике? Кто были его учителя? Спасибо! Пока я ограничусь этими вопросами.

**Р. Пенроуз:** Если бы назревали какие-то революционные изменения, я бы об этом знал. Несомненно, я высказывал здесь определённые идеи, в основном имеющие отношения к космологии, в которой, по-моему, есть некоторые экспериментально полученные доказательства. Я предложил несколько лет назад новую теорию, в соответствии с которой Большой взрыв явился не началом Вселенной, а того, что я называю «сжатым эоном» (pressed aeon). То есть до нашего эона существовал другой эон, отдалённое будущее которого и явилось большим взрывом для нашей Вселенной. Я полагаю, не стоит

сейчас подробно это объяснять – это несколько сложно с научной точки зрения.

Тем не менее замечу, что это означает, что мы можем получить некие сигналы из предыдущего эона. Это был бы «неистовый» процесс, который включает в себя столкновения сверхмассивных чёрных дыр, и это будет подтверждением того, что в предыдущем эоне существовали сигналы, которые можно увидеть в микроволновом реликтовом излучении, которое приходит к нам с разных направлений. Из нашей совместной работы с армянским коллегой Вахе Гурзадяном я полагаю, у нас есть доказательства по этим сигналам. Я не могу сейчас объяснить, какого рода эти сигналы. Но если другие ученые согласятся, что эти сигналы представляют собой сигналы, которыми мы их считаем, тогда можно будет считать эту идею революционной в космологии. Но если кто-то предложит другое объяснение природы этих сигналов, это вопрос, на который я не могу дать ответа. Согласятся ли другие с нашим объяснением? Повторяю, это вопрос, на который я не могу ответить. Но, по моему мнению, существуют хорошие доказательства (экспериментально полученные данные), что такие сигналы существуют, и они очень важны. И, по-моему, они указывают на существование эона, который имел место до нашего большого взрыва. Это был ответ на первый вопрос. Теперь к ответу на вопрос о моих учителях и так далее.

Как математик я начал обучаться в Университетском колледже в Лондоне и там изучал математику – в Англии математика состоит из двух видов математики. Один из них – чистая математика, а другой – прикладная математика. В то время главным образом меня интересовала чистая математика. Изучение прикладной математики, которая включает изучение динамики, электромагнетизма и других подобных вещей я находил интересным, но не главным для себя. Я интересовался математикой ради самой математики, и я сделал нечто, что было в определённом смысле оригинальным, и на основе некоторых из моих идей меня пригласили проводить исследования в области чистой математики, в алгебре и геометрии в Кембридж, где я работал под руководством выдающегося математика Уильяма Ходжа. Я думаю, что такое же большое влияние на меня в первый год работы, как Ходж, оказал мой коллега, который (я об этом тогда и не подозревал) позднее станет выдающимся математиком. В самом начале нас было четверо в группе. Один из членов группы очень быстро выбыл, второй впоследствии стал историком математики и науки, таким образом, нас осталось двое: я и другой человек, который позже стал выдающимся математиком в Англии – Майкл Атья. В то время я не осознавал, кто он, думая, что все студенты такие. Это было ошеломительным узнать, что твои коллеги настолько изумительно хороши в математике. Это даже несколько пугало.

В действительности, что на меня оказало самое большое влияние в то время, я имею в виду на ранних этапах моего образования, была та свобода, которую я имел, – я делал такие вещи, которых от меня не ожидали. В то время я посещал лекции по трем курсам, которые не обязан был посещать.

Один из них вел выдающийся специалист по космологии Уильям Бонди. Это были блестящие, превосходные лекции.

Другой курс преподавал ещё более знаменитый физик Пол Дирак. Он читал курс по квантовой механике, который был таким же превосходным, но по-своему, совершенно по-другому. Курс Бонди был очень интересным и волнующим, а курс Дирака был очень точным и таким четким и понятным, что я хорошо понял квантовую механику. Более того, я не только наилучшим образом понял квантовую механику, я также понял, как её понимать не надо. Я имею в виду, что эта теория оказалась для меня совершенно идеально последовательной. И это произвело на меня неизгладимое впечатление.

Ещё одним курсом, который никакого отношения не имел к тому, чем я должен был заниматься, был курс по математической логике. Этот курс читал человек, не столь известный, по крайней мере не такой известный, как двое других. Это был человек по фамилии Стин, и он читал очень хороший курс по математической логике. Из него я узнал о машинах Тьюринга, теоретических основах современных компьютеров, изобретенных Аланом Тьюрингом, 100-летие со дня рождения которого отмечалось в прошлом году. Я понял теорему Гёделя о неполноте, и это, несомненно, заслуга лектора – объяснить, что она в действительности означает. Многие люди думают, что теорема Гёделя связана с ограничениями, с тем, что недоступно познанию в математике. Но именно об этом-то теорема Гёделя как раз ничего и не говорит. Она говорит о том, что вы не можете ограничить своё понимание конкретными логическими построениями. В некотором смысле она говорит о том, что мы не можем ограничить наше понимание математики тем, что можно сделать путём вычислений без глубокого понимания задачи.

Таким образом, мое мировоззрение сформировалось частично благодаря курсу Дирака, который познакомил меня с недостатками квантовой механики (то есть почему нам необходимо нечто, выходящее за рамки квантовой механики), и благодаря курсу логики, который научил меня понимать, насколько нам необходимо нечто, что выходит за пределы вычислений, чтобы объяснить, как мы понимаем математику.

Это то, что сформировало мою философскую точку зрения, которую я высказывал в своей популярной книге «Новый ум короля», переведенной на русский язык.

Также большое влияние на меня оказала космология. Космология и теория относительности, которые я так хорошо изучил благодаря Герману Бонди. Не только и не столько благодаря этому курсу, а благодаря моей дружбе с Деннисом Сиамом. Он много времени посвятил тому, чтобы «обратить меня в свою веру», чтобы я перестал заниматься исключительно чистой математикой, а обратил внимание на физику и космологию. Думаю, до некоторой степени у него это получилось. Он был очень вдохновляющим учителем. Он объяснял мне всё, что происходит в современной космологии. Он был явным сторонником одной космологической теории, которая в то время стала популярной в Кембридже. Другими поборниками этой теории были Бонди, о

лекциях которого я рассказывал минуту назад, и Голд. Бонди и Голд были авторами того, что в космологии называется теорией стационарной Вселенной. Третьим сторонником этой теории был Хойл, Фред Хойл. В то время основной теорией было то, что большого взрыва не было, Вселенная продолжала развиваться (то, что называется теорией непрерывного творения). Предполагалось, что происходит непрерывное создание водорода. С философской точки зрения, всё выглядело убедительно. И все были довольны. И не требовалось обсуждать вопрос о возникновении Вселенной.

Одной из причин того, почему была введена эта модель, является противоречие, касающееся возраста Вселенной, которая была моложе некоторых известных звездных систем, шаровых звездных скоплений, а шаровые звездные скопления – это звездные системы, которые являются очень древними. И такой теорией стала модель стационарной Вселенной. Из-за ошибки в наблюдениях полагали, что большой взрыв произошел позднее, чем зародились эти шаровые скопления. Таким образом, нужна была теория, которая объяснила бы этот парадокс. И одной из таких теорий, которая объясняла парадокс, была модель стационарной Вселенной. С философской точки зрения, всё было логично, потому что не стоял вопрос о возникновении Вселенной.

Но затем, когда было открыто космическое микроволновое фоновое излучение (реликтовое излучение) и появились некоторые другие наблюдения, эта модель перестала работать. И существование большого взрыва, казалось, получило подтверждение.

Спустя много лет я сформулировал теорию, о которой только что сказал. Я называю её конформной циклической космологией. Я написал книгу «Круги времени», которая была опубликована полтора года назад... Когда это было? Да, может быть, два с половиной года назад. Эта книга была переведена на русский, не знаю, вышла ли она уже в свет. Книга называется «Круги времени» и объясняет эту модель, которую с философских позиций можно сравнить с моделью стационарной Вселенной, потому что нет начала Вселенной. Зоны постоянно сменяют друг друга. Но они не стационарны. Каждый начинается с большого взрыва, затем происходит ускоренное расширение. За открытие этого ускоренного расширения Вселенной была присуждена Нобелевская премия полтора года назад. И сейчас очевидно, что это хорошо обосновано. Это является частью, одним из элементов сценария, который я предложил. Надеюсь, в будущем у этой теории появится больше сторонников. Мне интересно будет увидеть, существуют ли какие-то другие объяснения тем наблюдениям, тому анализу, который мы с Гурздяном предложили и который был опубликован в «Европейском физическом журнале» около месяца назад.

Я ответил на вопрос, возможно, несколько многословно.

**Ведущий:** Пожалуйста, сначала второй ряд, прошу вас!

**Алекс Т.:** У меня есть два вопроса к российским коллегам. Поскольку они собираются создавать центр научного образования, хотели бы вы принять участие в работе этого центра? И ещё два вопроса к русским коллегам. Что вы можете сказать о том, когда центр будет открыт? Будут ли выпускникам выдаваться официальные дипломы, какие-то сертификаты? Будут ли курсы включены в официальную систему обучения науке и систему научных исследований? Спасибо!

**Р. Пенроуз:** Вы хотите, чтобы я прокомментировал?

**Д.Г. Павлов:** Наверное, вопросы ко мне.

**Ведущий – Пенроузу:** Сначала вы.

**Р. Пенроуз:** Могу сказать, что, несомненно, хотелось бы посетить Центр. Но надо подождать.

**Д.Г. Павлов:** По поводу сроков говорить еще рано. Проект, по сути, рождается только сейчас, как идея. Но фактическую работу мы ведем уже давно – 10–12 лет. То что было сделано ранее – это тот же самый научно-образовательный центр. У нас есть конференции, семинары, школы для старшеклассников, студентов и аспирантов. Все это мы проводим, но только на базе очень маленькой инфраструктуры. Здание, построенное нами, не позволяет реализовать идею, которую я озвучил: приглашать на постоянной и временной основе профессоров и принимать у себя не десятки студентов и школьников, как мы это делаем сейчас, а несколько сотен в год. Такой уровень, конечно, требует более серьезной подготовки, более серьезного финансирования, чем мы осуществляли в предыдущие десять лет. Если сейчас я смогу получить поддержку от соответствующих госструктур и от моих коллег-бизнесменов в плане финансирования, думаю, все реально сделать в течение 2–3 лет. По крайней мере, все отстроить, запустить, и это будет работать, хотя, возможно, в меньших масштабах, чем мы видим на примере Института высших научных исследований под Парижем, но все-таки это будет.

**Ведущий:** Насколько я понял, источник финансирования – это в основном бизнес-план?

**Д.Г. Павлов:** Наш институт не имеет ни копейки в уставном капитале от государства. Мы только пару раз воспользовались небольшими грантами от Министерства образования и еще одной организации. Поняли, что с государством работать очень сложно. Правильно профессор Пенроуз сказал, что мы идем по пути, который еще не получил одобрения, не стал общепризнанным. А в этой ситуации государство просто не может позволить себе

финансирование, поскольку конечный результат пока неизвестен. А бизнес частный может и рисковать. Я, вот, рискую своими средствами. Уговариваю своих друзей-бизнесменов, потому что если мы все-таки окажемся правы и будущее физики хотя бы отчасти будет связано с гиперкомплексными числами, с геометриями, которые более интересно устроены, чем доминирующая сегодня псевдориманова геометрия и ее производные, тогда оправдаются не только наши инвестиции, а, вообще, любые, потому что тогда это будущее науки. Хотя вероятность такого исхода, вообще говоря, не 100 процентов.

**Ведущий:** Спасибо! Пожалуйста, ваши вопросы!

**Учительская [газета]:** У меня первый вопрос к сэру Рождеру Пенроузу, может быть, несколько юмористический. Мне интересно, как комментируют вашу теорию сознания простые люди, не ученые? Я тоже не имею никаких научных степеней. Как я поняла, из книги «Новый ум короля», вы там критикуете теорию сторонников сильного искусственного интеллекта, которая сводит сознание к логическим операциям. Любой обычный человек согласится с этим и конечно скажет, что на наши решения влияют эмоции, интуиция и т.д. Мне интересно, как комментировали не ученые вашу теорию? Это – первый вопрос. И второй: все-таки достижимо ли создание искусственного интеллекта и в каком виде? Спасибо!

**Р. Пенроуз:** Да, это еще одна из тех тем, о которых я говорил в своих лекциях здесь. О проблеме искусственного интеллекта (ИИ) и моей точке зрения по этому вопросу, которую я высказывал в своей книге «Новый ум короля» и о которой подробно говорил в более поздней своей книге «Тени разума». Идея, о которой я упомянул, отвечая на предыдущий вопрос, была сформулирована мною очень давно, когда я был аспирантом. Думаю, что до этого я мог бы легко стать сторонником того, что называется «сильным ИИ» (ИИ означает искусственный интеллект). Это означает, что компьютеры, в основном... я имею в виду наш мозг, производят вычисления – в этом заключается ответ. Нам надо понять, как он это делает. И если бы мы поняли, как он это делает, тогда мы могли бы создать машину, которая делала бы эти операции лучше нас. Потому что мощность современных компьютеров превосходит вычисленную мощность, которая может быть получена путём понимания взаимодействия нейронов. Я полагаю, что этого не может быть.

Это то, что предполагает наше сознательное мышление. Думаю, важно понять, какие процессы происходят при сознательном мышлении и что происходит, когда мы думаем подсознательно. Потому что, например, когда вы идёте по улице, вы определённым образом передвигаете ноги, мышцы соответствующим образом контролируются; или когда вы размахиваете руками, вам не приходится контролировать каждое своё действие – вам не надо думать о том, как сделать то или иное движение. Всё это делается подсозна-

тельно и в основном той частью мозга, а именно мозжечком, который, как правильно полагают, отвечает за подсознательные действия. То есть можно считать, что мозжечок в конечном итоге представляет собой некий компьютер. Думаю, что в мозге человека происходят разнообразные процессы, которые можно объяснить с помощью очень мощных компьютеров. С другой стороны, есть те качества мозга, которые участвуют в сознательном процессе понимания, а я делаю особый упор на понимании. Многие люди при этом думают о несколько других качествах. Когда они говорят о сознании, они думают о боли, об эмоциях, о восприятии цветов, о восприятии прекрасного, о том, как музыкальное произведение вызывает в нас определённые чувства и так далее. И это, несомненно, то, в чем участвует наше сознание. Но у меня нет по этому поводу никаких комментариев, потому что я не знаю, что сказать. Мысли, которые уже давно появились у меня по данному предмету, имеют отношение именно к пониманию, и в частности к пониманию математики. Мне кажется, что можно убедительно доказать, что наше понимание математики не является тем, что можно в полной мере смоделировать на компьютере. В основном это теорема Гёделя, которая была сформулирована, в частности, благодаря Алану Тьюрингу. Например, если вы хотите доказать определённый класс математических результатов, касающихся обычных чисел, то существуют четко определённые формулировки. Знаменитым примером является Великая теорема Ферма (Fermat), которая была доказана Андрю Уайлсом (Andrew Wiles) несколько лет назад. Таким образом, в случае с подобными математическими формулировками, как вы определяете, являются ли они истинными? Вы сможете сказать, что они истинны, если можно использовать такие-то правила с целью доказательства их истинности.

Гёдель (Kurt Godel) и Тьюринг (Alan Turing) продемонстрировали, что, каковы бы ни были эти правила, если они могут быть проверены компьютером, просто проверены компьютером для оценки их правильности, и если вы полагаете, что, следуя этим правилам, вы будете получать только истинные результаты – это не даст вам возможность доказать, что два равно трем – вы получите только истинные результаты. Затем вы можете показать... Гёдель и Тьюринг показали, как создать формулировку, которая не может быть доказана с помощью этих правил. И всё же сама формулировка будет оставаться истинным утверждением.

Итак, это истинное утверждение, истинность которого вы видите на основе вашей веры в правила. То есть если вы принимаете правила как истинные, то вы должны верить и в то, что утверждение является истинным. С другой стороны, вы также должны верить и в то, что формулировка является невыводимой с помощью этих правил. Что это значит? Если бы мы были созданы на основе правил, которые мы понимаем... Но ведь этого не может быть. Потому, что мы понимаем, что что-то является истинным, тогда как правила этого не доказывают. Да, здесь есть загадки. Возможно, мы можем делать выводы о том, как мы были созданы на основе правил, которые мы не можем понять... Я думаю, специалисты, работающие над искусствен-

ным интеллектом, часто думают: «Хорошо, мы можем использовать какой-нибудь прибор для создания таких правил, которые выше нашего понимания...». Но мне кажется весьма маловероятным, что это объяснит наше происхождение, потому что – возьмите хотя бы естественный отбор – как он может создавать правила, которые мы не в состоянии понять, доказать теоремы, которые мы не можем доказать иным путём, чем через опыт, полученный от наших далеких предков. Мне кажется, что это совершенно невероятно. Это тот аргумент, который я использовал, и, по-моему, он достаточно убедительный, он заключается в том, что наши действия не могут быть объяснены исключительно вычислительными процедурами. И следующий шаг заключается в понимании – если это не так, то как? Вы меня спрашивали, как это воспринимает широкая публика – часто люди говорят: «Есть нечто загадочное в нашем мозге, что наука не в состоянии объяснить». Это, возможно, звучало бы убедительно, если бы мы не желали объяснить своё происхождение научно. Я не разделяю эту точку зрения. Моя точка зрения заключается в том, что это можно было бы научно объяснить, но это не та наука, которая нам известна, то есть не создана ещё такая наука. Это наука, выходящая за рамки нашей существующей науки. В соответствии с существующей, известной нам наукой, да, мы знаем в принципе, как всё это ввести в компьютер. Следовательно, нет пока такой науки, это не та наука.

Так, где же тот пробел в нашем понимании, та наука, которая нам пока неизвестна, но которая объяснила бы функционирование мозга? Здесь, если хотите, можно вспомнить мой опыт учебы у Дирака и изучение квантовой механики. Потому что я пришел к выводу, что квантовая механика не является законченной теорией. Я здесь также мог бы сослаться на великих ученых – я знаю, что этого не следует делать в науке, но я всё равно это сделаю. Галилео предупреждал нас, что не следует считаться с традиционными авторитетами. Но я могу сослаться на Эйнштейна, который полагал, что квантовая механика не является законченной и не есть истина в последней инстанции. Или на Шредингера, от знаменитого уравнения которого зависит квантовая механика и который сказал, что квантовая теория не является окончательным ответом и его уравнение не является окончательным ответом. Или даже на Дирака, который, как известно, подчеркивал, что квантовая механика не является окончательной.

Я полагаю, что то, что нам нужно, находится за пределами квантовой механики, я имею в виду, то, от чего зависит наше понимание. То, что я говорю, довольно нестандартно, и большинство со мной не согласятся. Потому что, в первую очередь, они скажут: «Даже квантовая механика?.. Так как же это может быть важно для человеческого мозга?» Всё это потому, что температуры были слишком высоки, и все эти сложные события... и всё это... понимаете, я думаю, что просто неверно.

Вообще, это не единственная причина, по которой я написал «Новый ум короля». Я также думал о том, что это может быть ценно для того, чтобы дать молодым людям мотивацию для занятий наукой. Может быть, книга

эту задачу и выполнила. Но кроме того, я стремился к тому, чтобы люди, работающие в других областях науки, заинтересовались проблемами, которые волнуют меня. Стюарт Хамерофф, который был учёным в Соединённых Штатах, анестезиологом, то есть его работа заключалась в том, чтобы давать пациентам наркоз, усыплять людей – обратимым способом – я имею в виду, что позже они просыпались. В отличие от своих коллег, он интересовался тем, что делает в действительности, когда он даёт пациенту наркоз. Как действует общий наркоз, на что действуют препараты. И он придерживался точки зрения, что эти препараты воздействуют на определённые микроструктуры мозга под названием микроканальцы, о которых я совершенно ничего не знал. Таким образом, для меня оказалось полезным соединить эти две науки – то, что меня интересовало, и то, чем интересовался он. Это совершенно разные области, но он знал о микроканальцах и других структурах, о биологических структурах, о которых мне ничего не было известно. Мне представляется, что такой подход является наиболее вероятной фундаментальной составляющей в поисках того, что выходит за пределы квантовой физики.

Вы спросили меня, возможен ли искусственный интеллект. Мой вывод таков: если искусственный интеллект означает компьютеры, тогда мой ответ – нет. Компьютеры не достигнут настоящих интеллектуальных (умственных) способностей и они не будут обладать сознанием. Нет никаких доказательств, что им присуще хотя бы одно из этих качеств.

Даже сейчас, разве компьютеры не могут делать то, что не могут делать люди? Да, конечно, могут. Но если вы используете компьютер в современной науке, например, для того, чтобы понять какие-то астрофизические процессы, происходящие взрывы, удаленные галактики; вы хотите понять, что происходит, и вы проделываете очень сложные вычисления, чтобы понять, насколько это соотносится с теорией. Но понимание того, какие именно вычисления вы производите, от каких физических законов это зависит... Компьютер выдаёт вам какие-то графики, но вам надо знать, что именно они значат. То есть вы привносите в этот процесс своё понимание. Понимание, сознание – это не то, чем обладает компьютер. Хотя компьютеры являются чрезвычайно полезными инструментами для нас, понимание процессов – это то, что мы вносим. Тогда как компьютеры управляются человеком, наукой занимается человек.

Вы можете сказать: «Хорошо, есть ведь что-то, что происходит в наших головах, в нашем мозге, что понятно с научной точки зрения. И это могут быть вовсе не компьютеры. Можем ли мы это смоделировать?» Может быть. Но здесь существует как минимум три больших и важных этапа, которые надо пройти (ни один из них не был пройден): во-первых, нам нужна новая физика, нам нужен новый Эйнштейн или кто-то другой, кто скажет нам, что же это, что выходит за рамки квантовой механики. Во-вторых, мы должны понять, как использовать эту новую физику. Общая теория относительности Эйнштейна – замечательная теория, но только совсем недавно люди поняли,

как ею пользоваться, например, для спутниковых навигационных приборов. В самом деле, сейчас вы можете использовать общую теорию относительности Эйнштейна для того, чтобы найти местоположение объектов, для вождения автомобилей и так далее. И это второй шаг. Третий шаг – это, даже если у нас есть новая физика и мы знаем, как её использовать, каким образом применить это в каком-то устройстве искусственного интеллекта? Я думаю, что это ещё более сложный этап, чем два других. Мы очень далеки от этого.

Я узнал из интервью на днях, что Обама инициировал новую программу, новый проект, целью которого будет понять, каким образом функционирует мозг во всем разнообразии связей с другими объектами. Я точно не знаю, в чем она заключается. Но даже если этот проект будет направлен на понимание взаимодействия между нейронами и так далее, в результате это всё-таки не даст нам понимания того, что такое человеческое мышление и что такое сознание. Если бы была более широкая программа, направленная на понимание других, более сложных процессов, участвующих в функционировании человеческого мозга, это, возможно, да, на мой взгляд, это было бы гораздо более ценно. Было бы интересно узнать об этой программе подробнее.

**Ведущий:** Пожалуйста, ваш вопрос, прошу!

**Комсомольская правда:** Возможно, мои вопросы не совсем серьезные, но ваши ответы будут интересны двум миллионам наших читателей. Следует ли из вашей квантовой теории сознания, что существует или не существует душа? Это первый вопрос. Второй вопрос: Вы так хорошо изучили Вселенную, даже то, что было до Большого взрыва, может, вы знаете, где прячутся «братья по разуму»? И третий вопрос – будет ли создан в 2045 году аватар?

**Р. Пенроуз:** Это несерьёзный вопрос? Во-первых, вы спрашиваете о душе. Я думаю, мне понадобится научное определение того, что такое душа. Я имею в виду, да, сознание действительно существует. Некоторые люди считают, что душа – это нечто, что существует после смерти. И можно было бы представить себе продолжение жизни нашего сознания после смерти. Это обычно связано с каким-бы то ни было вероисповеданием. Должен сказать, что я – человек не религиозный, считаю себя атеистом. Поэтому я себя неловко чувствую, когда мне приходится отвечать на вопросы о душе. Я верю в то, что существует нечто, что невозможно понять с точки зрения существующей, современной науки и что связано с нашим сознанием. Существует ли продолжение, дальнейшая жизнь нашего сознания в какой-бы то ни было в форме – об этом я представления не имею. У меня нет доказательств этого.

Вторая часть вашего вопроса интересна. Это имеет отношение к таким проектам, как SETI, целью которого является выяснить, существовала ли разумная жизнь с развитой цивилизацией на других, удаленных планетах. Возможно, какие-то сигналы могут быть от них получены. Моя точка зрения – возможно, ближайшая такая разумная цивилизация на какой-нибудь планете может находиться чрезвычайно, очень и очень далеко от нас. Поскольку это связано с большим количеством катастроф, предшествовавших появлению разумной жизни на нашей планете и на каких-то других планетах также, вероятно, произошел целый ряд катастроф. Но я представления не имею, как далеко, как глубоко нам надо заглянуть, чтобы найти удаленную цивилизацию, посылающую нам сигналы. Тем не менее, это очень интересный вопрос, который вытекает из космологической теории, которую я предложил. Не могу сказать, что я знаю, как возможная цивилизация может передавать сигналы из одного зона в следующий. Но сейчас я говорю не о таких цивилизациях, которые достигли нашего уровня развития. Мы рассматриваем возможную историю какой-то цивилизации, которая могла существовать в галактике в предыдущем зоне, ну и так далее. Да, конечно, возможно, это лишь досужие домыслы, но можно было бы представить себе возможность существования высокоразвитой цивилизации, обладающей настолько развитой техникой, что она может передавать сигналы какого-то очень сложного типа, которые могли бы распространяться из одного зона в другой. Возможно, стоит заниматься такими поисками. Но в данный момент я не имею ни малейшего представления о том, каким именно образом такая цивилизация могла бы передавать сигналы, способные проникать из одного зона в другой. Думаю, было бы сложно себе представить, что такая цивилизация могла бы манипулировать сверхмассивными чёрными дырами и контролировать их столкновения друг с другом. Думаю, что вряд ли такое возможно. Однако, возможно, существуют какие-то другие способы передавать сигналы, способные таким образом распространяться. Я просто не имею представления, каким именно образом это могло бы происходить. Но не исключаю такой возможности.

Был вопрос об аватаре. Я знаю термин «аватар», который используется в компьютерных играх. Когда игрок представляет себя каким-нибудь героем в этой игре. Думаю, что вы не это значение слова имели в виду, не так ли? Аватар? Что такое аватар? Это когда вы входите в какую-то вычислительную систему, что-то вроде этого?

**Ведущий:** Уточните, пожалуйста!

**Комсомольская правда:** У человека будет свой робот и в него будет перенесено сознание, как в фильме Кэмеруна «Аватар». Вы будете участвовать в конференции «Глобальное будущее 2045» в Нью-Йорке этим летом и они там обсуждают очень активно проблему создания аватара к 2045 году.

**Р. Пенроуз:** Если это предполагает отдельное сознание, то, как я сказал ранее, я в это не верю. Поскольку для этого необходим компьютер, обладающий своим собственным сознанием. Между прочим должен отметить, что иногда говорят: «Ну разве не отлично было бы, если бы у нас был робот, который можно было бы отправить на какую-нибудь удаленную планету?» И если бы этот робот обладал интеллектом, то он мог бы исследовать эту удаленную планету, и нам не надо было бы беспокоиться о возвращении его на Землю. Но если он обладает сознанием, то вы морально ответственны за то, чтобы вернуть его. Вы не можете отправить робота, обладающего сознанием, на удаленную планету и не вернуть его обратно. Мне кажется, здесь есть парадокс.

Я думаю, ваш вопрос всё-таки немного не об этом. Потому что так называемый аватар... В первую очередь, это зависит от вопроса, насколько я понимаю, может ли робот быть наделен независимым сознанием. В это я не верю. Если бы это было независимое существо, обладающее сознанием, а это связано с тем, что выходит за рамки квантовой механики, о чем я говорил ранее, то это было бы человеческое существо, хотя и не похожее на нас.

Однако есть ещё один аспект – возможно, вы о нём говорите. То есть представьте, что есть некое существо, подобное роботу, которое не является роботом, потому что оно контролируется мною. Это та идея, которой ученые занимаются. То есть у него есть датчики, а я, сидя здесь, имею возможность видеть всё, что видит это существо. Я буду шевелить руками, и это существо будет повторять мои движения. С технической точки зрения, это не робот, поскольку контролируется мною. Ну, в каком-то смысле существуют подобные вещи, например, самолет меняет положение крыльев, когда элероны меняют положение. Ну и так далее. Но весь процесс контролируется человеком с помощью штурвала.

Это довольно отдаленное будущее. Нет, в этом нет ничего плохого. За исключением тех моментов, когда он будет находиться от вас слишком далеко, поскольку есть задержка во времени. Понимаете, если вы отправите такой объект на Марс, это не будет очень хорошо. Можно сравнить это с ситуацией, когда вы пытаетесь влезть на скалу. Это может занять, ну, не знаю, сколько времени это занимает, 20 минут или что-то вроде этого. Всё зависит от того, насколько удален от вас «Марс». Вы ставите одну руку сюда и затем ждете целый час, пока сможете сделать следующее движение. Это не очень эффективно. Конечно, если это всё близко от вас, то может быть. Если же это в Австралии, то задержка во времени будет очень неприятным фактом.

**Ведущий:** Так, коллеги, мы уже исчерпали время, отведенное нам. Давайте два завершающих вопроса.

**Наталья Бодарь, газета «Вечерняя Москва»:** Сэр Роджер, я, когда еще училась в средней школе, увидела в одном научном журнале рисунок, который поразил мое воображение, произвел «Большой взрыв» в моей голо-

ве и, вообще, повлиял на мое мировосприятие очень сильно, на пространственное воображение. Это треугольник, невозможный треугольник. Я хотела бы спросить вас. Скажите, благодаря каким законам геометрии или вопреки каким законам геометрии возможно существование в нашем мире невозможных фигур?

**Р. Пенроуз:** Картинка, которую я нарисовал, этот невозможный треугольник (рис. 1) что меня побудило нарисовать его? – это была работа голландского художника Маурица Эшера. У него была выставка в Амстердаме, которую я посетил, ещё будучи студентом, в начале 50-х годов. Я приехал домой и задался вопросом, смогу ли я тоже изобразить нечто невозможное. Оказалось, что многие пытались сделать нечто подобное, ещё до моего треугольника. Я подумал, что треугольник может послужить хорошим примером невозможной фигуры, имея в виду его простую форму. Гораздо позже я понял, что это в самом деле довольно хорошая иллюстрация такого математического понятия, как кохомология. Я нашел её полезной в применении к теории твисторов (не хочу объяснять, что такое теория твисторов), к уравнениям Максвелла и другим уравнениям физики. Мне необходимо было понять математику, которая имеет отношение к этому представлению.

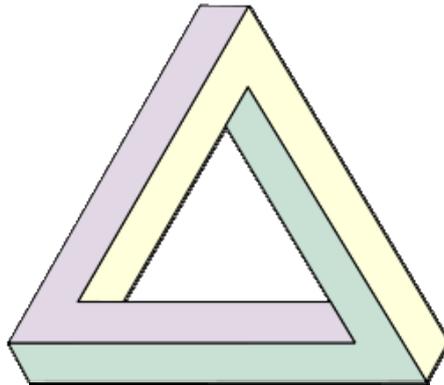


Рис. 1

Однажды я участвовал в какой-то телевизионной программе, и ведущие спросили меня: «Можете ли вы объяснить, что означает это понятие?» А я неосмотрительно упомянул этот термин. Я тогда сказал: «Всё, что вам нужно для этого, это кохомология». И они спросили: «Можете ли вы объяснить, что такое кохомология?», на что я ответил: «Нет, нет, я не в состоянии это объяснить доступно для широкой публики». Потом я приехал домой и подумал: «Да, может быть, с помощью невозможного треугольника можно объяснить кохомологию». В чем заключается идея? У вас есть картинка, каждая часть которой понятна и логична. Можно ли сделать такие элементы этой фигуры из дерева, такую 3-мерную фигуру из дерева? Да, можно. Можно сделать каждый отдельный элемент этой фигуры и понять, каким образом эти элементы соединяются. А фигуру в целом – нет, нельзя. В чем ключ к пониманию этого? Видите ли, фигура логична с локальной точки

зрения. Но она нелогична как единое целое. Здесь всё зависит от наличия свободы интерпретации этого явления. Потому что именно вот в этом случае, если вы что-то изображаете на бумаге, то какие-то вещи могут находиться близко от вас и они изображаются в меньшем масштабе, тогда как некоторые объекты, расположенные дальше, – крупнее. Это очень знакомая ситуация. Когда вы рисуете картину, на ней могут быть изображены объекты, находящиеся далеко, и те, которые находятся близко. Существует некоторая неопределенность, вы не знаете, с каким из объектов вы имеете дело. Именно с этой неопределенностью вы сталкиваетесь, когда идете вдоль сторон треугольника. Пока вы таким образом огибаете фигуру, она логична. Но возвратившись в начало, вы находите противоречие с тем, что было, когда вы начали свой путь. Но нельзя обнаружить такие невозможные точки. Где картинка, где фигура неправильна? Нет, не здесь, не здесь и не здесь. Нет такой точки, где она была бы неверной. Неверно всё в целом. И описание того, что именно неправильно, это, если хотите, элемент когомологии. И это очень хорошая иллюстрация, я думаю, того, что можно объяснить идею, которая представляет собой очень тонкую и сложную математику, используя простую картинку. Мы не часто это делаем. И это то, что называется первым типом когомологии. Я часто показывал это своим студентам и говорил: «Вот хороший пример первой когомологии (когомологии первого порядка). Как насчет примера когомологии второго порядка, которая является немного более сложным явлением?» Такую задачу я ставил перед студентами. То и дело ко мне подходили студенты и говорили: «Как вам вот это?» Я смотрел, и оказывалось, что это совсем не то. И это всё ещё загадка. Представления не имею, как представить вторую когомологию. Но, видите ли, здесь интересно то, каким образом можно не только заниматься математикой, но и найти способ продемонстрировать математические явления так, чтобы они были доступны и понятны. И не только непосвященным, но и самим математикам. Поскольку иногда такое понимание необходимо. Это даёт возможность, используя простые представления, понять сложные вещи. Я думаю, что мой пример выполняет эту задачу.

**Ведущий:** Пожалуйста, ваш завершающий вопрос. Прошу!

**Корреспондент:** Вы знаете, настолько насыщенная пресс-конференция! Во-первых я хочу поблагодарить директора института. Потому что, честно говоря, я не знала, что есть такой институт, тем более частный. И всех представителей, профессоров за участие. И за то, что вы привезли сюда сэра Роджера Пенроуза. К нему у меня такой вопрос. Вы так увлечены своей наукой, что я просто завидую вашим студентам, которым вы читаете лекции. А есть ли у вас, среди ваших учеников перспективные, кем вы можете гордиться и кто может быть продолжателем, на ваш взгляд, вашей науки и ваших исследований? И еще следующие вопросы: «Как изменилась Москва, на ваш взгляд, за эти 40 лет которые вы не были здесь? И действительно ли у

вас есть (были?) предки в России?» Спасибо и удачи вам! Больших творческих успехов!

**Р. Пенроуз:** Я бы сказал, да. У меня в настоящее время есть такой студент. Вообще у меня было много хороших студентов, интересовавшихся многими из этих идей. В прошлом у меня было несколько студентов, которые добились больших успехов в науке. Многие из них не добились выдающихся успехов. Тем не менее некоторые из них были очень успешны. Но несколько человек отлично потрудились, думаю. Да, я думаю, что для меня это было колоссальным опытом – иметь успешных студентов.

Конечно, Москва разительно изменилась. И это очевидно. Изменилась во многом: в политике и в других областях. Однако всё, что я ценил в прошлом и всё ещё высоко ценю, – то, чем славилась Россия, то, о чем я ранее упоминал, – балет и концерт были изумительны – приятно видеть, что такая высокая культура сохранена. Я также побывал в Санкт-Петербурге. Там, конечно, произошли разительные перемены. Но очень приятно видеть, что те вещи, которые имеют огромное культурное значение, не были разрушены. Там мы также ходили на балет.

Вы спросили меня о предках. Есть ли у меня связи в России? В самом деле, когда я был здесь в первый раз – это очень странно и любопытно – моя мама попросила меня, среди прочего, попытаться найти дом, в котором жила её мать. Её мама выросла в Санкт-Петербурге, но родилась она в Латвии, а выросла в Санкт-Петербурге. Затем она уехала в Англию и вышла замуж за моего дедушку. И считалось, хотя это как-то странно, что она «обесчестила» свою семью. Возможно, потому что её семья её же и «обесчестила». Высказывались предположения, что она вышла замуж за человека другой национальности, и не просто другой национальности, а другого вероисповедания. Подозреваю, может быть, суть в этом. Моя бабушка происходила из еврейской семьи. Она полностью порвала со своей семьей. А возможно, её семья порвала с ней. Было интересно найти этот дом. И когда я был в Санкт-Петербурге – да, я должен объяснить, что девичья фамилия моей бабушки со стороны матери была неизвестна даже моей маме. Оказалось, что её фамилия Натансон, как моя мама позже узнала через своих знакомых. Она также нашла место, где жил её отец, извините, где жил её дед. Её дед жил там, где жила мать в детстве. И этот дом, где была квартира, я увидел вместе с некоторыми моими коллегами из Ленинградского университета (как он раньше назывался). В университете работал один человек, преподаватель математики по фамилии Натансон. Не исключаю возможности, что он приходился мне родственником. Но поскольку фамилия эта довольно распространенная, это всё же маловероятно. Я спросил его, связан ли он или его предки с этим домом, и он сказал, что ничего об этом не знает. У него была какая-то родственница, которая жила в Москве. По возвращении в Москву он попытался связаться с этой женщиной. Он позвонил этой женщине, но она, хотя, по видимому, много знала о родственных связях с другими членами семьи, от-

казалась с нами разговаривать. Она нервничала – это был 1971 год – и она волновалась по поводу контактов с иностранцами.

Я уже стал об этом забывать. Но когда я в этот раз приехал в Москву, оказывается, что я случайно встретился здесь с женщиной, которая была замужем за Григорием? Да, кажется, Григорием Натансоном. И он, по всей видимости, был потомком той женщины, с которой мы говорили по телефону. Оказалось, что она помнила об этом разговоре и очень переживала по поводу того, что так нервничала, разговаривая с иностранцами, – конечно, это объяснялось политическими причинами. И оказалось, что позже она пыталась связаться со мной, но мы так и не пообщались.

Хотя мне было бы интересно понять, имеются ли у меня родственники по крови в Москве и Санкт-Петербурге в настоящее время. Было бы замечательно, если бы удалось это выяснить.

**Ведущий:** Спасибо! Я благодарю наших уважаемых гостей за интересный разговор с журналистами. Всем спасибо за участие в пресс-конференции. На этом наша встреча завершена. Спасибо всем!

---

# ТВИСТОРНАЯ ПРОГРАММА ПЕНРОУЗА И СМЕЖНЫЕ ПРОГРАММЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ

---

## ТВИСТОРНАЯ ПРОГРАММА ПЕНРОУЗА И БИНАРНАЯ ГЕОМЕТРОФИЗИКА

**Ю.С. Владимиров**

*Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова,  
Российский университет дружбы народов*

Произведено сопоставление твисторной программы Р. Пенроуза и бинарной геометрофизики, нацеленных на теоретическое обоснование свойств классического пространства-времени и закономерностей квантовой теории. Рассмотрены ключевые проблемы фундаментальной физики: комплексная первооснова теории пространства-времени, обоснование размерности и сигнатуры пространства-времени, природа понятия метрики, интерпретация квантовой теории, реляционный и субстанциальный подходы к физическому мирозданию.

**Ключевые слова:** пространство-время, спиноры, размерность, твисторы, системы отношений, бинарная геометрофизика, реляционная теория.

### **Введение**

Я впервые увидел Р. Пенроуза в 1962 г. во время работы 3-й Международной гравитационной конференции в Варшаве (точнее, в Яблоннах, вблизи Варшавы), кстати, самой представительной, в которой участвовали Р. Фейнман, П.А.М. Дирак, Л. Инфельд, П. Бергман, Дж. Уилер, В.А. Фок и ряд других ведущих физиков-теоретиков мировой науки. Затем мы видели и слушали выступления Пенроуза в 1965 г. на 4-й Международной гравитационной конференции в Лондоне и в 1971 г. на 6-й Международной гравитационной конференции в Копенгагене. С тех пор я был в курсе работ Пенроуза и с удовлетворением мог констатировать некий параллелизм в направлениях его и своих исследований.

Так, Пенроуз с сотрудниками развивал формализм изотропных тетрад и использовал его для решения ряда проблем общей теории относительности,

а мы развивали монадный и диадный формализмы в ОТО и применяли их для описания систем отсчета и в исследованиях проблем гравитационных волн, квантования гравитации, а также на случай многомерных геометрических моделей физических взаимодействий.

Затем Р. Пенроуз стал развивать теорию твисторов с целью описания на ее основе свойств классического пространства-времени и закономерностей квантовой теории, а мы приступили к развитию бинарной геометрофизики, нацеленной на вывод классических пространственно-временных отношений на основе более элементарных физических понятий, каковыми автоматически оказались спиноры. Более элементарная спинорная структура материи (элементарных частиц) оказалась в центре внимания как твисторной программы Пенроуза, так и развиваемой нами бинарной геометрофизики.

В последние годы Пенроуз стал уделять большое внимание общефилософским проблемам фундаментальной физики, написал ряд книг по этой тематике, в частности «Новый ум короля» [1], «Путь к реальности, или Законы, управляющие Вселенной» [2] и некоторые другие, переведенные на русский язык. Мы в нашей группе также занялись метафизическим анализом оснований наших представлений о физической реальности с целью более глубокого осмысления сути нашего направления исследований, его сопоставления с иными программами в фундаментальной физике и выявления своих единомышленников в прошлом и настоящем. На основе наших исследований была написана монография «Метафизика» [3] и цикл книг под общим названием «Между физикой и метафизикой» [4, 5].

Перед приездом Пенроуза в Москву мы с ним виделись в 2012 г. в Варшаве, где наши польские коллеги организовали небольшую гравитационную конференцию по случаю 50-летия со дня проведения 3-й Международной гравитационной конференции, на которую пригласили оставшихся в живых ее бывших участников. Таковых оказалось немного. В числе приехавших на эту конференцию были Р. Пенроуз (Англия), Д. Брилл (США), Д. Финкельштейн (США), Дж. Нарликар (Индия), А. Траутман (Польша), Божаньский (Польша). От России я оказался единственным участником прошлой конференции. Большинство бывших участников выступили с пленарными докладами. В частности, там выступил и Р. Пенроуз с докладом «Конформная циклическая Вселенная». Пленарное выступление в Варшаве «От квантования гравитации к реляционно-статистической теории пространства-времени» было составлено мною специально в расчете обратить внимание Р. Пенроуза на наш подход (на основе бинарной геометрофизики) к тем проблемам фундаментальной теоретической физики, которые он пытался решить выдвигая свою твисторную программу. Предваряя свое выступление, я вручил Пенроузу подробный текст доклада, а после выступления поинтересовался его мнением. Тогда он ограничился вежливо-дипломатическим ответом, что в моем «докладе было высказано много интересных идей». Текст этого доклада на русском языке опубликован в [6].

В связи с только что прочитанным циклом лекций Пенроуза представляется важным сопоставить его твисторную программу с нашей бинарной геометрофизикой, развиваемой на физическом факультете МГУ имени М.В. Ломоносова, поскольку имеется много общего в целевой направленности этих двух направлений исследований. Так, в одной из своих первых работ (1977) по этой теме Пенроуз писал: «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 квантово-механический принцип суперпозиции возникают как тесно связанные аспекты этой комплексной твисторной структуры» [7. С. 14].

В еще более ранней работе Пенроуза (1972), написанной совместно с М.А.Х. Мак-Каллумом, говорилось: «Мы надеемся, что развитие твисторной теории приведет в конечном счете к построению лоренцевых многообразий, которые будут служить моделями пространства-времени. Конечно, точки пространства-времени являются вторичными величинами в твисторном формализме, а основную роль играют сами твисторы» [7. С. 133].

Имея в виду эти и некоторые другие аналогичные высказывания, я во время конференции в Варшаве (в Яблоннах) спросил Пенроуза: «Правильно ли я понимаю, что ваша твисторная программа нацелена на вывод теории классического пространства-времени и квантово-механических закономерностей, исходя из неких более элементарных физических факторов?» На этот вопрос Пенроуз определенно ответил: «Да». Тогда я задал ему второй вопрос: «А позволила ли ваша твисторная программа решить эту задачу?» На что он также четко ответил: «Нет!».

Для меня этот ответ не явился неожиданным, поскольку в его дальнейших публикациях, в частности в его с В. Риндлером двухтомной книге «Спиноры и пространство-время» [8], вместо решения поставленной фундаментальной физической проблемы содержатся исследования довольно тонких математических аспектов теории спиноров. А в своей книге «Путь к реальности, или Законы, управляющие Вселенной» (2004) Пенроуз написал: «У меня лично была (и остается уже более 40 лет) надежда, что необходимое изменение физической точки зрения удастся обрести в рамках теории твисторов. Однако, несмотря на определенный прогресс, при нынешнем положении дел нельзя сказать, что теория твисторов сумела существенно приблизить нас к разрешению парадокса измерения» [2. С. 848].

Как мне представляется, в развитии фундаментальной физической части своей твисторной программы Пенроуз столкнулся с рядом трудностей, застопоривших движение в этом направлении. В то же время, как я убежден, в рамках нашей бинарной геометрофизики можно продвинуться значительно дальше в решении сформулированной Пенроузом задачи и даже выйти на

решение еще более глубокой проблемы – вывода понятий классического пространства-времени из более элементарных физических закономерностей. Замечу, что постановка этой фундаментальной проблемы обсуждалась рядом авторов, в частности А. Эйнштейном, ван Даницгом, Е. Циммерманом, П.К. Рашевским, Б. Грином и некоторыми другими известными авторами.

Исходя из всего изложенного, с большим интересом мною ожидалось выступление Пенроуза в Москве. Был заготовлен список из 35 вопросов, по которым хотелось бы уточнить позиции или узнать его мнение. Услышанное в Москве во время его выступлений, его ответы на вопросы слушателей, а также и на мои вопросы в более приватной обстановке фактически дали ответы на большинство из подготовленных вопросов. Оказалось, что наши позиции в постановке фундаментальных проблем довольно близки, однако имеются существенные расхождения в путях их решения.

### **1. Ключевые свойства пространства-времени в двух программах**

Начну с того, что нас объединяет. Прежде всего, это убежденность в том, что для решения фундаментальных проблем современной фундаментальной физики необходимо привлечение принципиально новых идей. Современные модные теории супергравитации и суперструн не представляют тот путь, на котором можно добиться существенного прогресса в раскрытии тайн мироздания. Об этом неоднократно писал Р. Пенроуз: «Среди наиболее самонадеянных теоретиков бытует мнение, что мы, возможно, уже «почти у цели» и что «теория всего» лежит не слишком далеко от направления последовательного развития достижений конца XX века. Часто такие заявления делались в отношении какой-либо теории, наиболее модной в то время, например теории струн. Сейчас стало трудно поддерживать такую точку зрения, поскольку теория струн трансформировалась в нечто такое (М- или F-теорию), природа чего в настоящее время совершенно неясна. На мой взгляд, от «окончательной теории» мы гораздо дальше, чем кажется» [2. С. 837]. И заканчивает свою книгу Пенроуз словами: «Вполне возможно, что XXI век принесет еще более удивительные открытия, чем те, которыми нас порадовал XX век. Но чтобы это произошло, необходимы глубокие новые идеи, которые направят нас по существенно иному пути, нежели тот, которым мы идем сейчас. Возможно, главное, что нам требуется, это какое-то тонкое изменение взгляда на мир – что-то такое, что все мы утратили» [2. С. 862].

В поисках «тонкого изменения взгляда на мир» мы с Пенроузом в значительной степени пересекаемся. Мы с ним солидарны в том, что в основании теории классического пространства-времени лежит именно комплексная структура. По этому вопросу иногда возникают споры с некоторыми коллегами, считающими, что комплексные числа представляют собой лишь особую комбинацию из двух вещественных чисел и используются для упрощения некоторых выражений. Мы, как и Пенроуз, считаем, что описание мик-

ромира комплексными числами обусловлено глубокими принципиально важными обстоятельствами. Пенроуз об этом писал: «Особая магия этих чисел проявляется не только в математике, но и сама Природа использует эту магию в устройстве Вселенной на самых глубоких уровнях. Можно задаться вопросом: действительно ли это является особенностью нашего мира или просто эти числа настолько полезны в математическом отношении, что находят широкое применение в физической теории. Многие физики, я полагаю, склоняются ко второму варианту. Но тогда им придется объяснить, почему оказывается столь универсальной роль этих чисел в квантовой теории, где они лежат в основе фундаментального принципа квантовой суперпозиции и в несколько ином облике в основе уравнений Шредингера, условия положительной частоты и бесконечной «комплексной структуры», которая появляется в квантовой теории поля. Таким физикам вещественные числа кажутся «естественными», а комплексные – «таинственными». Однако с чисто математической точки зрения вещественные числа ничуть не «естественнее» комплексных. Учитывая несколько магический математический статус комплексных чисел, вполне можно занять противоположную позицию и считать их более «естественными» (или, если угодно, «данными Богом»), нежели вещественные числа» [7. С. 855]. Свою первую лекцию в Бауманском университете «Красота и сила комплексных чисел и их роль в развитии твисторной теории» Пенроуз посвятил именно обоснованию важности комплексных чисел.

В этом вопросе мы солидарны с Пенроузом и, более того, считаем, что использование комплексных чисел в микромире обусловлено тем, что там теряет смысл свойство линейной упорядоченности (понятие больше-меньше), являющееся неотъемлемым свойством вещественных чисел, тогда как в множестве комплексных чисел понятие линейной упорядоченности теряет силу.

Комплексные числа лежат в основе теории 2-компонентных спиноров, о которых также много писал Пенроуз в своих книгах и говорил в своей лекции в Москве. Как известно, наиболее распространенные элементарные частицы имеют спинорную структуру. В работах Пенроуза ключевую роль играет именно пара 2-компонентных спиноров, образующая понятие твистора.

Однако здесь имеется и существенное отличие от нашей программы: в работах Пенроуза понятие спинора фактически **постулируется**, тогда как в нашем подходе (в рамках бинарной геометрофизики) спинорный характер материи возникает автоматически как следствие теории бинарных систем комплексных отношений. Введенный Пенроузом постулат спинорной структуры частиц, казалось бы, вполне естественный с точки зрения современной физики микромира, на самом деле ограничил возможности его теории, явился источником дальнейших трудностей в развитии физической программы.

С принятием данного постулата невольно возникают вопросы: Почему на самом элементарном уровне материя описывается 2-компонентными спинорами? Почему выбираются два спинора, а не один или три? Имеются

ли обобщения данного постулата? Имеется ли связь оснований теории пространства-времени с природой физических взаимодействий? Последний вопрос имеет особо важное значение для развития физической теории. Ведь сейчас мы хорошо знаем, что гравитационные взаимодействия самым непосредственным образом связаны со свойствами (кривизной) пространства-времени, а 5-мерная теория Калуцы и ее дальнейшие обобщения свидетельствуют о наличии такой связи для электромагнитных и других взаимодействий.

Наш подход основан на теории систем отношений, развитой в работах Ю.И. Кулакова и его учеников [9; 10], где было показано, что теория классического пространства-времени может рассматриваться как частный случай системы отношений на одном множестве элементов (точек пространства-времени). Исходя из общей теории систем отношений были найдены и другие частные виды систем отношений, соответствующие геометриям Лобачевского, Римана (постоянной положительной кривизны), симплектической и др.

Но самое главное в работах Кулакова и его учеников состояло в следующем: было показано, что по аналогичным правилам можно построить теорию систем отношений и на двух множествах элементов – теорию бинарных систем отношений, из которой следует новый тип геометрий – бинарных. Эта теория оказалась значительно проще (является более элементарной) теории систем отношений на одном множестве элементов. Из нее путем своеобразной склейки элементов из двух множеств бинарной геометрии можно получать общепринятые (унарные) геометрии на одном множестве элементов. Из этого факта следует чрезвычайно важный вывод: **классическое пространство-время уже не является первичным, а следует из более элементарной теории (геометрии) на двух множествах элементов.** Уже этот факт является продвижением в программе, провозглашенной в ранних работах Пенроуза. Назовем это первым важным следствием бинарной геометрофизики. Следует особо отметить, что теория систем отношений строится на основе своих собственных абстрактных принципов и не нуждается в привлечении понятий классической физики или общепринятой геометрии.

В наших работах [11–13] было показано, что при переходе от вещественных отношений к комплексным в самом простом (невырожденном) варианте бинарных систем комплексных отношений ранга (3,3) элементы теории (бинарной геометрии) описываются 2-компонентными спинорами [11], что означает, что **2-компонентные спиноры специально постулировать не нужно, как это делал Пенроуз, а они автоматически следуют из теории бинарных систем комплексных отношений (БСКО) ранга (3,3).** Более того, известные правила построения 4-мерных векторов из 2-компонентных спиноров представляют собой не что иное как проявления перехода от бинарной геометрии к унарной, то есть к геометрии на одном множестве эле-

ментов. Вывод теории спиноров в рамках бинарной геометрофизики можно рассматривать как второе важное следствие нашей теории.

Данный результат имеет чрезвычайно важное значение: он фактически означает ответ на фундаментальный вопрос, поставленный еще Э. Махом: «Почему пространство трехмерно?» Над этим вопросом размышляли А. Эйнштейн, А. Эддингтон, П. Эренфест и другие классики теоретической физики. Ответ на него дает бинарная геометрофизика: **4-мерность пространства-времени обусловлена тем, что в основе физического мироздания лежит бинарная система комплексных отношений минимального невырожденного ранга (3,3)**. Более того, отсюда также следует, что наш мир обладает известной сигнатурой минус два, то есть (+ - - -). А в работах Пенроуза этот факт фактически постулируется заданием (своими руками) 2-компонентных комплексных спиноров. Уже давно известна однозначная связь между видом спиноров и размерностью (а также сигнатурой) многообразия, в которое они вкладываются. Этот материал более подробно рассмотрен в наших книгах «Физика дальнего действия» (часть 1 «Природа пространства-времени») [12] «Основания физики» [13] и в ряде других публикаций. Отметим, что в рамках физики в общепринятой (унарной) геометрии удалось лишь выявить ряд замечательных свойств 4-мерной теории, но теоретически обосновать необходимость 4-мерия так и не удалось, несмотря на многочисленные предпринимавшиеся попытки. Назовем обоснование наблюдаемой размерности и сигнатуры пространства-времени третьим важным следствием бинарной геометрофизики.

В бинарной геометрофизике предлагается не ограничиваться минимальным рангом (3,3), а рассматривать БСКО более высокого ранга: (4,4) и т.д., то есть использовать своеобразное бинарное многомерие, аналогичное многомерным теориям Калуцы в общепринятой (унарной) геометрии. При этом открывается новый канал обобщения спиноров. Так, в теории БСКО ранга (4,4) 2-компонентные спиноры переходят в 3-компонентные, а в теориях систем отношений более высокого ранга спиноры обладают еще большим числом компонент. Такие спиноры были названы нами финслеровыми, поскольку переходы от бинарных систем отношений более высокого ранга к соответствующим им унарным теориям приводят к финслеровым геометриям, в которых мероопределение уже не квадратично, как в общепринятых геометриях, а задается кубичными формами или выражениями с еще большей степенью составляющих. Этот факт означает, что **квадратичное мероопределение в обычных (унарных) геометриях обусловлено именно минимальным невырожденным рангом (3,3)**. Если бы наш мир раскрылся на основе БСКО ранга (4,4), то он был бы, во-первых, 9-мерным, а во-вторых, в нем было бы кубичное мероопределение. Назовем этот факт четвертым принципиально важным следствием бинарной геометрофизики.

## 2. Квантово-механические закономерности и основания теории пространства-времени

Вернемся к исходным посылкам твисторной программы Пенроуза. Как уже отмечалось, им ставилась задача вывода из первичной комплексной структуры не только классического пространства-времени, но и квантово-механических закономерностей. Как нам представляется, решение этой задачи в твисторной программе вызвало большие трудности. Конечно, как комплексная первоструктура физического мироздания, так и спинорные свойства материи, несомненно, относятся к закономерностям квантовой механики, но этого далеко недостаточно для решения поставленной задачи. Судя по всему, Пенроуз это отлично сознает. Так, в Институте философии РАН при обсуждении вопроса о квантовой обусловленности природы сознания Пенроуз заявил, что при современном состоянии (понимании) квантовой теории этот вопрос вряд ли удастся решить.

Пенроуз не удовлетворен общепринятой интерпретацией квантовой механики. Так, обсуждая прогресс, достигнутый в физике XX века, он в своей книге пишет: «На этом фоне выделяется общая теория относительности Эйнштейна, которая представляет, на мой взгляд, высшее достижение этого века. Большинство физиков таковым, по-видимому, считают квантовую механику (и квантовую теорию поля). Я не могу разделить это мнение. Хотя квантовая теория, несомненно, объяснила несравненно больше, чем общая теория относительности, и в гораздо более широком классе различных явлений, я считаю, что эта теория пока не достигла той степени согласованности, которая необходима для *настоящей* теории. Проблему составляет, конечно, парадокс измерения. На мой взгляд, квантовая теория неполна. Когда она достигнет необходимой полноты (а я надеюсь, что в XXI веке это произойдет), она, несомненно, станет еще большим достижением, нежели общая теория относительности Эйнштейна. В самом деле, такая полная квантовая механика должна включить теорию Эйнштейна как предельный случай больших масс и расстояний» [2. С. 838].

В своих более ранних работах с соавторами, Пенроуз писал: «Теория твисторов является попыткой создания такого формализма, в котором на первый план выдвигается новый геометрический подход к описанию физических явлений. В основе этого подхода на начальном этапе лежит пересмотр геометрии специальной теории относительности. Одним из главных мотивов такого пересмотра явилась мысль о том, что должна существовать более тесная, чем в традиционной теории, связь между структурой пространства-времени и квантовой механикой, ибо квантовая теория имеет не менее важное значение, чем теория относительности, для выяснения природы физических процессов» [7. С. 78]. В другой работе повторяется эта мысль: «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 ком-

плексного переменного) и классической структурой пространства-времени» [7. С. 251].

В связи с этим хотелось бы напомнить слова, сказанные на заре становления квантовой теории одним из ее создателей Л. де Бройлем: «Понятия пространства и времени взяты из нашего повседневного опыта и справедливы лишь для явлений большого масштаба. Нужно было бы заменить их другими понятиями, играющими фундаментальную роль в микропроцессах, которые бы асимптотически переходили при переходе от элементарных процессов к наблюдаемым явлениям обычного масштаба в привычные понятия пространства и времени. Стоит ли говорить, что это очень трудная задача? Было бы удивительно, если бы оказалось возможным когда-нибудь исключить из физической теории понятия, представляющие самую основу нашей повседневной жизни. Правда, история науки показывает удивительную плодотворность человеческой мысли и не стоит терять надежды. Однако пока мы не добились успеха в распространении наших представлений в указанном направлении, мы должны с большими или меньшими трудностями втиснуть микроскопические явления в рамки понятий пространства и времени, хотя нас все время будет беспокоить чувство, что мы пытаемся втиснуть алмаз в оправу, которая ему не подходит» [14. С. 187]. Эти слова Л. де Бройля оказались пророческими, – до сих пор не затухают дискуссии об интерпретации квантовой теории, а в последнее время интерес к данной проблеме даже усиливается.

Наша бинарная геометрофизика позволяет продвинуться в решении задачи, поставленной Л. де Бройлем, а также близкой проблемы, сформулированной Р. Пенроузом. Главное содержится уже в определении бинарной геометрофизики – она строится на двух множествах элементов, одно из которых следует сопоставить начальным состояниям квантовых систем, а второе – конечным состояниям. Тогда комплексные отношения между элементами двух множеств можно интерпретировать как прообраз квантовомеханической амплитуды вероятности перехода системы из начальных в конечные состояния.

Несмотря на то что современная квантовая механика формулируется на базе дифференциальных волновых уравнений, которыми якобы описывается непрерывная эволюция квантовых систем, на самом деле физическим смыслом обладают лишь вероятности переходов из одних (начальных) состояний систем в другие (конечные) состояния. Таковыми являются вероятности переходов атомов из одних состояний в другие посредством излучения или поглощения электромагнитных квантов или вероятности обнаружения фотонов или частиц в том или ином месте экрана и т.д. Важен результат – вероятность перехода, вычисляемая квадратично через амплитуды, а это и означает реляционный характер эволюции, через отношения между состояниями.

Напомним, что Дирак в своем варианте аксиоматики квантовой механики [15] ввел наряду с пространством векторов состояний еще пространство

со-векторов состояний, так что в его аксиоматике скалярное произведение векторов из двух разных пространств (амплитуду вероятности перехода) можно трактовать как своеобразную метрику в бинарной геометрии.

Идеология аксиоматики Дирака соответствует методу S-матрицы в квантовой теории поля. Напомним, в S-матричной формулировке квантовой теории определяются начальные состояния (на минус-бесконечности) и конечные состояния (на плюс-бесконечности), и, игнорируя даже постановку вопроса о промежуточных состояниях, из самых общих принципов стремятся вывести амплитуды вероятности переходов между парами возможных состояний квантовой системы. Отметим, что в свое время предпринимались попытки построения S-матричной формулировки квантовой теории, минуя волновые уравнения поля.

Уместно заметить, что формулировка квантовой теории на основе S-матричного подхода соответствует метафизической трактовке Аристотелем понятия движения, определяемого им как переход систем из некоторого одного состояния в другое. При этом Аристотель утверждал, что два состояния определяются в возможности, тогда как должно быть нечто третье, связывающее две противоположности и тем самым определяющее действительность в виде перехода (движения). На это соответствие принципов квантовой теории в S-матричной формулировке с идеями Аристотеля неоднократно обращал внимание один из создателей квантовой теории В. Гейзенберг: «Понятие возможности, которое играет решающую роль в философии Аристотеля, в современной физике снова заняло центральное положение. Математические законы квантовой теории можно рассматривать как количественную формулировку аристотелевских понятий “дьюнамис” или “потенция”» [16. С. 393].

Все это фактически заложено в основание бинарной геометрофизики, где отдельные события классической физики (точки в геометрии) трактуются как склейки пар элементов, соответствующих некому элементарному процессу. Классическая непрерывность соответствует рассмотрению большого количества элементарных переходов.

### **3. Какова природа масс, времени и расстояний?**

Как уже отмечалось, Пенроуз свое первое, причем, как мне представляется, главное выступление в МГТУ имени Баумана посвятил комплексным числам, спинорам и твисторам. Довольно эффектным местом в его докладе была демонстрация процедуры перехода от плоскости комплексных чисел к геометрии на 2-мерной сфере, осуществляемая посредством обратной стереографической проекции. Это, в частности, демонстрировало тот факт, что в теории Пенроуза в центре внимания оказываются изотропные векторы, через которые можно вводить две угловые координаты в классическом пространстве.

Однако здесь сразу же возникает вопрос о введении еще двух координат 4-мерного пространства-времени: радиальной и координаты времени. Многие авторы подчеркивали, что при обсуждении свойств классического пространства-времени естественно опираться на его  $2+2$ -расщепление: на две угловые и две другие координаты (временную и радиальную). Две неугловые координаты можно ввести методом хроногеометрии, как это делали в своих работах Дж. Синг [17], Л.Я. Арифов [18] и другие авторы, а затем их дополнять двумя угловыми координатами, с которых фактически начинал Пенроуз в своей твисторной программе и которые возникают на первых этапах развития бинарной геометрофизики.

На лекции Пенроуза я задал ему двойной вопрос: «Как в твисторной программе вводится понятие метрики, то есть понятие длины? Можно ли на основе теории твисторов ответить на вопрос, поставленный еще Риманом?» Здесь мною имелся в виду не только факт введения двух неугловых координат, но хотелось услышать его мнение о природе происхождения метрики, то есть о том, что он думает о вопросе, поставленном еще в знаменитом мемуаре Б. Римана «О гипотезах, лежащих в основании геометрии». Однако содержательного ответа на этот вопрос тогда не было дано ни в узком, ни в расширенном смысле. Видимо, второй смысл не был понят, а ответ на происхождение координаты времени (тем самым и радиальной) фактически был дан на втором его докладе в МГТУ имени Баумана, посвященном космологии. Он звучал в духе общепринятого подхода к введению масс элементарных частиц посредством механизма Хиггса.

Пенроуз справедливо отмечает, что понятие времени самым непосредственным образом связано с наличием масс у элементарных частиц. Последние же в современной теории поля вводятся посредством механизма Хиггса. Напомним, в общепринятой квантовой теории поля элементарные частицы, описание которых должно удовлетворять определенным групповым симметриям, являются безмассовыми, поэтому возникает проблема введения масс. Механизм Хиггса состоит в том, что постулируется существование скалярных частиц (хиггсов), из взаимодействия с которыми возникают массы. В настоящее время предпринимается активный поиск хиггсовских бозонов.

В простейшем варианте бинарной геометрофизики, опирающемся на БСКО ранга  $(3,3)$  элементы описываются 2-компонентными спинорами; из каждого такого спинора можно построить изотропный вектор (свойство безмассовости частицы). Закон, определяющий БСКО ранга  $(3,3)$  (и более высокие ранги), допускает конформные преобразования компонент спиноров, что соответствует наличию подсистемы БСКО минимального ранга  $(2,2)$ . Эта система отношений также характеризуется двумя множествами элементов, означающих расщепление каждого из множеств БСКО ранга  $(3,3)$  на два подмножества, соответствующие левым и правым компонентам массивных элементарных частиц. В строении массивных частиц фактически реализуются возможности, предоставленные теорией БСКО ранга  $(3,3)$  и ее

подсистемы ранга (2,2), – через наличие их левой и правой компонент. Сумма двух изотропных векторов (на конусе будущего) образует времени-подобный вектор, соответствующий массивной частице.

Известно, что в общепринятой теории массовое слагаемое в лагранжиане частицы возникает лишь в том случае, когда у нее имеются как левая, так и правая компоненты. Таким образом, в бинарной геометрофизике наличие массы уже обеспечено свойствами законов отношений, причем именно конформными преобразованиями (БСКО ранга (2,2)), которые в общепринятой теории приводят к гипотезе хиггсовских скалярных бозонов. Другой вопрос состоит в конкретизации значений масс элементарных частиц. Он решается чисто феноменологически введением нужной константы, значение которой из теории не следует. Наличие этой константы трактуется через поляризацию вакуума.

Несмотря на столь различный подход к появлению масс в твисторной теории Пенроуза (в общепринятой квантовой теории поля) и в нашей бинарной геометрофизике, отметим весьма остроумное описание Пенроузом извечного циклического характера эволюции Вселенной, о чем он рассказал во второй лекции в Бауманском техническом университете (4 апреля). Не вдаваясь в подробности, отметим наиболее существенную его идею. Согласно общепринятой точке зрения, когда-то в прошлом произошел Большой взрыв, после которого началось расширение Вселенной. Полагается, что в момент Большого взрыва Вселенная состояла из безмассовых частиц, главным образом фотонов. В системе из одних только безмассовых частиц понятие времени теряет силу. Затем на некоторых стадиях вступил в действие механизм Хиггса, начинают образовываться элементарные частицы разных сортов, затем появляются более сложные массивные объекты, звезды, галактики, разбегание которых ныне наблюдается.

Полагается, что и далее будет происходить расширение Вселенной, причем, согласно последним астрофизическим данным, расширение происходит с ускорением. В результате температура во Вселенной будет падать, постепенно приближаясь к нулю. От температуры зависит механизм Хиггса. При очень малой температуре он перестает действовать, так что частицы начнут терять массу. При этом будут испаряться черные дыры и Вселенная постепенно окажется составленной лишь из безмассовых частиц (фотонов).

Но, как уже отмечалось, в системе из безмассовых частиц исчезает понятие длин и времени. В системе, состоящей из частиц с изотропными векторами импульсов, их начала можно снести в одну точку. (В системах, где определены лишь импульсы, отсутствует понятие разнесенности начал векторов импульсов.) А это означает, что бесконечно расширившаяся Вселенная уподобляется Вселенной с очень малыми размерами. Бесконечно большое становится тождественным с бесконечно малым. Следовательно, эту ситуацию можно отождествить с мгновением Большого взрыва. Это значит, что Большой взрыв, с которого началось расширение нашей Вселенной, можно считать концом «бесконечного» расширения предыдущей эры суще-

ствования Вселенной. Точно так же можно считать, что конечная стадия расширения Вселенной в нашу эру означает Большой взрыв следующей эры. В итоге эволюцию Вселенной можно представить в виде бесконечной цепочки периодических смен Больших взрывов и «бесконечных» расширений отдельных эр (мировых «эонов»).

В докладе Пенроуза также ставился вопрос (задавались вопросы слушателями), отличаются ли свойства Вселенных в отдельных эрах и можно ли сквозь явление Большого взрыва рассмотреть что-либо из происшедшего в предыдущей эре.

Все это чрезвычайно остроумно, однако данные рассуждения справедливы в рамках геометрического (с элементами теоретико-полевого) подхода к природе пространства-времени. Но они становятся бессмысленными в реляционной парадигме, в частности в бинарной геометрофизике. Дело в том, что в реляционной парадигме, основанной на понятии отношений, среди первичных понятий отсутствует понятие поля. Вместо этого рассматриваются прямые межчастичные взаимодействия. Как об этом писали Фейнман и Уилер, в этой теории ничего не испускается, если нет поглотителей излучения, что подразумевается в рассуждениях Пенроуза о начальных и конечных стадиях развития Вселенной в отдельных эрах («эонах»).

#### 4. Пространство-время и физические взаимодействия

Изложенное выше относится к вопросам оснований теории классического 4-мерного пространства-времени и пространства скоростей (импульсного пространства), на вскрытие которого, в частности, нацелены как твисторная программа Пенроуза, так и наша бинарная геометрофизика. Дальше в обеих программах необходимо строить теорию физических взаимодействий. В твисторной программе это делается введением ряда дополнительных постулатов, как правило, соответствующих общепринятым в теории поля, тогда как в геометрофизике это предлагается осуществить на основе БСКО более высокого ранга, то есть в рамках бинарного многомерия. Так, при использовании БСКО ранга (4,4) дополнительную компоненту 3-компонентного спинора можно связать с электрическим зарядом. Дальнейшее увеличение ранга БСКО до (6,6) позволяет описывать бинарный прообраз сильных взаимодействий, где 3 дополнительные компоненты 5-компонентных спиноров описывают цветовые заряды хромодинамики, а после своеобразной редукции на меньшую размерность из них выделяются два вида зарядов калибровочной модели электрослабых взаимодействий Вайнберга–Салама–Глэшоу.

Здесь может возникнуть вопрос: не противоречит ли данный переход к бинарному многомерию всему изложенному выше об обусловленности размерности, сигнатуры и квадратичного мероопределения в наблюдаемом мире именно тем, что в основании мира лежат БСКО минимального невырожденного ранга (3,3)? Противоречия нет, поскольку в бинарном многомерии

следует поступать так же, как это делается в унарном многомерии калуцевского типа. Как известно, если в 5-мерной теории Калуцы дополнительную (пространственно-подобную) координату положить равноправной с тремя явными пространственными координатами, то возникнет противоречие с наблюдаемой физикой: силы взаимодействий будут убывать обратно пропорционально кубу расстояний, а не квадратично, как это имеет место. Это устраняется тем, что дополнительная координата полагается компактифицированной. То же самое делается и в унарных геометрических теориях больших размерностей.

В бинарном многомерии нужно поступать аналогично. Из общей группы преобразований  $SL(n-1, C)$  в теориях БСКО ранга  $(n, n)$  выделяются подгруппы  $SL(2, C) \times SU(n-3)$ . Это приводит к тому, что выделяется подсистема БСКО ранга  $(3, 3)$  с группой преобразований  $SL(2, C)$  для двух (внешних, то есть явных) спинорных параметров, а для оставшихся дополнительных спинорных параметров имеет место группа  $SU(n-3)$ . Так, в рамках названной выше теории БСКО ранга  $(6, 6)$  для трех дополнительных спинорных параметров имеет место группа преобразований  $SU(3)$ , играющая ключевую роль в общепринятой калибровочной хромодинамике. Согласно этой теории, она описывает симметрии в так называемом внутреннем пространстве. Все замечательные свойства наблюдаемого мира по-прежнему оказываются обусловленными БСКО ранга  $(3, 3)$ .

Эту возможность бинарной геометрофизики можно отнести к еще одному ее замечательному следствию. Замечу, что в числе подготовленных вопросов к Пенроузу был вопрос: «Как вы относитесь к многомерным геометрическим моделям физических взаимодействий?» Однако подобный вопрос был задан одним из слушателей его лекций. Из ответа Пенроуза следовало, что он не видит положительных моментов в развитии многомерных теорий. Об этом Пенроуз писал и в своей книге: «Я не вижу причин, по которым теории, в которых размерность пространства-времени превышает непосредственно наблюдаемую (а именно  $1+3$ ), могла бы сама по себе вести нас в направлении более полного *физического* понимания» [2. С. 837].

### **5. Реляционный и субстанциональный подходы к природе пространства-времени и мироздания**

Но самое главное расхождение твисторной программы Пенроуза и нашей бинарной геометрофизики состоит в принципиальном различии используемых метафизических парадигм. Твисторная программа Пенроуза фактически опирается на общепринятую теоретико-полевою парадигму, в которой пространство-время представляет собой самостоятельную сущность. В общепринятой квантовой теории поля оно априорно задано, и в твисторной программе Пенроуза ищется лишь его переформулировка на базе более элементарных понятий: спиноров или твисторов.

Наша же бинарная геометрофизика строится в рамках реляционной парадигмы, в которой среди первичных понятий отсутствует пространственно-временное многообразие. Вместо него задаются отношения между событиями или физическими объектами. В классической геометрии в качестве таких отношений выступают расстояния или интервалы, в физической теории таковыми являются лагранжианы взаимодействия. Самым существенным в реляционном подходе является наличие материальных объектов (событий с их участием), между которыми они устанавливаются. Если нет материальных объектов, то теряют всякий смысл понятия пространства и времени, независимо от того, через какие более элементарные понятия они описываются.

Имеется принципиальное различие между задачей переформулировки понятия пространства-времени через более элементарные понятия и проблемой вывода классических пространственно-временных отношений из неких более элементарных физических закономерностей. Последнее означает отказ от пространства-времени, введение вместо него чего-то иного, более элементарного, причем физического характера, и затем вывода из него понятия пространства-времени в качестве вторичного удобного понятия. Эту задачу невозможно решить в рамках общепринятого ныне теоретико-полевого подхода, поскольку понятие поля нуждается в так или иначе заданном пространственно-временном многообразии, на котором оно определяется. Данную задачу не удастся решить и в геометрической парадигме, в которой сформулирована общая теория относительности, поскольку понятия этой теории также нуждаются в наличии пространственно-временного многообразия, которое в этой теории лишь искривляется (может закручиваться, растягиваться и т.д.)

Решение поставленной задачи возможно лишь в рамках реляционного подхода, в котором вместо пространства-времени вводится система отношений между физическими объектами, а последние могут описываться теорией абстрактных систем отношений (как унарных, так и более элементарных бинарных). Здесь особо следует подчеркнуть, что в реляционном подходе физические взаимодействия выступают в качестве отношений между объектами. В отсутствии априорно заданного пространства-времени взаимодействия уже не могут трактоваться в терминах поля – полям теперь не по чему распространяться. В реляционной теории вместо концепции близкодействия используется концепция дальнодействия, в XX веке развивавшаяся в работах А. Фоккера [19], Я.И. Френкеля, Р. Фейнмана [20], Ф. Хойла [21] и ряда других авторов.

Характерной чертой концепции дальнодействия является то, что ничто не может излучиться, если нет приемника этого излучения. В первую очередь это касается электромагнитного излучения. А в космологической модели циклической Вселенной, о которой рассказывал Пенроуз в одной из своих лекций, говорилось о Вселенной, состоящей из одних лишь фотонов в отсутствии массивных частиц (приемников излучения).

Напомним, что реляционный подход к мирозданию был основан в работах Г. Лейбница, развивался в немецкой физической школе середины XIX века, затем отстаивался Э. Махом. Эйнштейн, создавая общую теорию относительности, был уверен, что реализует именно реляционные идеи Маха. Он говорил: «Мах в девятнадцатом столетии был единственным, кто серьезно думал об исключении понятия пространства, которое он пытался заменить представлением о всей сумме расстояний между всеми материальными точками» [22. С. 48]. Он же и ввел термин «принцип Маха».

В последнее время возрос интерес к реляционному подходу в физике. В частности, об этом пишет в одной из своих книг Б. Грин, ярый сторонник суперсимметричного подхода и теории струн, развивающихся в рамках теоретико-полевого подхода: «Готфрид Лейбниц и другие шумно спорили, провозглашая, что пространство и время – всего лишь регистрационные приборы для удобной записи соотношений между объектами и событиями во Вселенной. Положение объекта в пространстве и во времени имеет смысл только в сравнении с другим объектом. Пространство и время есть лишь словарь для разговора об этих отношениях, ничего больше. Несмотря на то, что точка зрения Ньютона, поддержанная его тремя экспериментально проверенными законами движения, господствовала в течение более двух сотен лет, концепция Лейбница, развитая австрийским физиком Эрнстом Махом, гораздо ближе к современной картине» [23. С. 242].

В связи с наличием двух концепций в понимании природы пространства-времени (реляционной и субстанциональной) у меня было подготовлено несколько вопросов к Пенроузу. Приведу несколько из них:

1. Каково Ваше мнение об априорном характере пространства-времени в современной теоретической физике? Как Вы считаете, доколе мы будем подкладывать готовое пространство-время под все наши теоретические построения?

2. Каково Ваше отношение к концепции дальнего действия и реляционного характера пространственно-временных отношений, отстаиваемых Г. Лейбницем, Э. Махом и другими авторами?

3. Известно, что Эйнштейн, создавая общую теорию относительности, был уверен, что реализует реляционные идеи Маха. Однако, когда ОТО была создана, понял, что принцип Маха в ней не содержится. Каково Ваше отношение к принципу Маха и как Вы его понимаете?

Полагаю, что из его лекций и книг можно было получить частичный ответ лишь на первый из этих вопросов. Два других остались для меня без ответа.

## **6. Статистический подход к природе пространства-времени**

Нельзя сказать, что проблему вывода пространства-времени Пенроуз не рассматривал. В своих лекциях в Москве он об этом не говорил, но в его статьях и книгах можно найти рассуждения на эту тему. Так, представляется

интересным и принципиально важным следующее высказывание на этот счет в совместной статье Р. Пенроуза и М.А.Х. Мак-Каллума, написанной по материалам лекций Пенроуза, прочитанных в Кембридже в 1970 г.: «Скорее, следует думать о квантовании самого пространства-времени. Под этим нужно понимать не простую замену континуума дискретным множеством точек (хотя такие попытки предпринимались), а скорее отыскание способа, при котором точки «размазываются», так же как размазываются частицы в квантовой теории». Далее писалось: «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. <...> Мы надеемся, что развитие твисторной теории приведет в конечном счете к построению лоренцевых многообразий, которые будут служить моделями пространства-времени. Конечно, точки пространства-времени являются вторичными величинами в твисторном формализме, а основную роль играют сами твисторы. Однако комплексный континуум по-прежнему занимает важное место в наших рассуждениях. Комплексные числа и голоморфные функции, которые составляют основу современной физики элементарных частиц, оказываются связанными с самой структурой пространства-времени» [7. С. 132–133].

Здесь нам представляются важными слова об истоках понятия пространства-времени в виде «предела вероятности взаимодействий большой сети частиц, квазистатически обменивающихся спинами» и упоминание о комбинаторном способе вывода пространства. Эти соображения соответствуют уже давно обсуждаемой в литературе идее о макроскопической (статистической) природе классического пространства-времени. Она состоит в том, что комплекс понятий классического пространства-времени справедлив лишь для достаточно больших (сложных) систем из элементарных частиц – макросистем – и возникает в результате своеобразного наложения (суммирования) огромного количества факторов, присущих микрообъектам. Высказывалось мнение, что многие привычные понятия геометрии и физики можно уподобить таким понятиям термодинамики, как давление или температура.

Проблема вывода классического пространства-времени на основе идеи о его макроскопической природе рассматривалась рядом авторов. Так, Е. Циммерман в своей работе «Макроскопическая природа пространства-времени» писал: «Пространство и время не являются такими понятиями, которые имеют смысл для отдельных микросистем. (...) Наиболее фундаментальным следствием взаимодействия огромного числа таких микросистем является образование пространственно-временной решетки, которая приводит к справедливости классических понятий пространства и времени, но только в макроскопической области» [24].

Неоднократно высказывался по этому вопросу наш соотечественник, известный геометр П.К. Рашевский, пришедший к данной идее со стороны геометрии. В хорошо известной всем физикам-релятивистам монографии «Риманова геометрия и тензорный анализ» он писал: «Между тем трудно сомневаться в том, что макроскопические понятия, в том числе и наши пространственно-временные представления, на самом деле уходят своими корнями в микромир. Когда-нибудь они должны быть раскрыты как некоторый статистический итог, вытекающий из закономерностей этого мира – далеко еще не разгаданных – при суммарном наблюдении огромного числа микроявлений» [25. С. 258].

Более определенно о статистическом происхождении метрических отношений говорил Д. ван Данциг: «Можно быть склонным рассматривать метрику как описывающую некое “нормальное” состояние материи (включая излучение), и дать ей *статистическую* интерпретацию как некоторый вид среднего физических характеристик окружающих событий, вместо того, чтобы класть ее в основу всей физики» [26].

Заметим, что в приведенном выше высказывании из статьи Пенроуза и Мак-Каллума 40-летней давности имеются настораживающие моменты, свидетельствующие о непоследовательности выдвинутой программы: с одной стороны, провозглашается вывод пространства-времени из спиновых сетей, а с другой стороны, сохраняется первичный континуум – говорится о сохранении комплексного континуума, о размазывании точек (по континууму).

## 7. Идея спиновых сетей Пенроуза 40 лет спустя

Р. Пенроуз в своей книге «Путь к реальности, или Законы, управляющие Вселенной», написанной почти 40 лет спустя после провозглашения твисторной программы и выдвижения идеи спиновых сетей анализирует вопрос: «Действительно ли пространственно-временной континуум вещественных чисел, почти универсально используемый физической теорией, представляет собой подходящую математическую основу для описаний устройства Природы». В связи с этим он пишет: «Мы уже видели, что подход к квантовой гравитации, реализуемый формализмом петлевых переменных, начинает уводить нас от стандартной картины непрерывного и плавно меняющегося пространства-времени к чему-то имеющему более дискретный топологический характер. Тем не менее некоторые физики провозглашают необходимость гораздо более радикального пересмотра идей пространства-времени и более глубокого проникновения в природу «квантованного пространства-времени». Первоначальная (хотя и ограниченная) идея спиновых сетей имеет полностью дискретный характер, однако стандартная картина петлевых переменных все еще опирается на непрерывную природу 3-пространства, в которое должны быть погружены «спиновые сети». В этой последней схеме мы не получаем полностью дискретного и явно «комбинаторного» фона, который некоторые считают необходимым для описания

Природы в ее самых малых масштабах. Предлагались различные идеи, в корне отличные по своему характеру от начальной схемы спиновых сетей или спиновой пены, целью которых было построение полностью дискретной комбинаторной картины мира» [2. С. 794].

Далее Пенроуз кратко упоминает предлагавшиеся пробы построения дискретной модели мира:  $p$ -адическую модель Ахмаваара, геометрию причинных множеств Рафаэля Соркина, кватернионную геометрию Давида Финкельштейна, октонионную физику Корин Маного и Тевiana Дрея, скелетный вариант квантовой теории гравитации Тулио Редже, модели на основе теории топосов или теории категорий и т. д. При этом он отмечает главные недостатки перечисляемых дискретных моделей мира.

Не углубляясь в более подробный их анализ, Пенроуз описывает «совершенно иное семейство идей, а именно *теорию твисторов* (которой я сам посвятил уже более 40 лет!), где никакой дискретности на пространство-время специально не накладывается. Вместо этого точки пространства-времени лишаются той первичной роли, которую они всегда играли в физической теории. Пространство-время становится (вторичной) конструкцией, построенной из более примитивных твисторных элементов. Теория твисторов имеет некоторое отношение к теории спиновых сетей и к переменным Аштекера, а возможно, и к некоммутативной геометрии, однако она не приводит непосредственно к какому-либо понятию «дискретного пространства-времени». Ее отход от континуума вещественных чисел происходит в противоположном направлении – в качестве руководящего принципа для физики она выбирает *магию комплексных чисел*. Согласно теории твисторов, комплексным числам принадлежит основополагающая роль в определении структуры пространства-времени в дополнение к известной фундаментальной роли таких чисел в квантовой механике. Здесь ощущается возможность присутствия важной связующей нити между физикой самых больших и самых малых масштабов» [2. С. 797].

Исходя из изложенного можно сделать вывод, что Пенроуз отошел от первоначального (в какой-то степени непоследовательного) варианта вывода пространственно-временных представлений из дискретной модели спиновых сетей и фактически заменил эту задачу переформулировкой теории пространства-времени на основе теории твисторов. Это ему позволило остаться в рамках общепринятой теоретико-полевой парадигмы в физике и использовать имеющиеся в ней понятия и методы, в частности калибровочный подход и механизм Хиггса.

## 8. Реляционно-статистическая природа пространства-времени

В приведенных выше высказываниях о желательности макроскопического подхода к геометрии и физике, как правило, не называются факторы из физики микромира, подлежащие суммированию. В качестве намеков можно рассматривать идею спиновых сетей в твисторной программе Пенроуза

уза. Другой намек можно усмотреть в фейнмановской теории квантования на основе суммирования по историям, однако эта теория опирается на уже готовое классическое пространство-время.

На основе принципов бинарной геометрофизики можно указать конкретный путь реализации идеи макроскопической природы классического пространства-времени и многих понятий общепринятой физики.

В приведенном выше высказывании ван Данцига говорится о событиях окружающего мира как источниках понятия метрики. Вместо событий можно говорить о неких процессах. В связи с этим напомним, что бинарная геометрофизика предназначена для описания элементарных звеньев процессов. Но тогда спрашивается: какие процессы следует считать ответственными за происхождение классических пространственно-временных отношений?

В бинарной геометрофизике предлагается рассматривать в качестве таковых процессы *электромагнитных взаимодействий* в окружающем мире. Дело в том, что, поскольку в реляционном подходе фотоны не распространяются по так или иначе заданному пространству-времени, вместо этого создается комплексная матрица отношений между излучателем и всеми возможными поглотителями, которая определяет амплитуду вероятности поглощения фотона тем или иным поглотителем. Следовательно, каждым фотоном устанавливается комплексное отношение между любыми парами поглотителей. Но испущенных и пока не поглощенных фотонов чрезвычайно много. Предлагается из этих комплексных отношений формировать понятия пространственно-временных отношений.

В ряде наших работ [11–13] приводится ряд аргументов в пользу данного утверждения. Их подробное изложение выводит за пределы данной статьи, нацеленной на сопоставление идей и позиций, положенных в основание твисторной программы Пенроуза, развиваемой в Англии, и нашей программы бинарной геометрофизики, развиваемой на физическом факультете МГУ имени М.В. Ломоносова.

### Заключение

В заключение следует еще раз подчеркнуть, что выступления Р. Пенроуза в Москве и его работы позволили обратить внимание широкой общественности на чрезвычайно важные фундаментальные проблемы современной физики. Из них следует особо выделить, как нам представляется, наиболее важную проблему теоретической физики XXI века – вывод классических пространственно-временных представлений из более элементарных физических закономерностей, вместо того, чтобы продолжать подкладывать априорно заданное пространство-время под все наши теоретические построения. Только решив эту проблему, разобравшись в том, чем оно обусловлено, можно будет поставить чрезвычайно важную практическую задачу: как можно воздействовать на пространство и время, изменять расстояния и влиять на промежутки времени. Есть основания полагать, что решение этой за-

дачи откроет перед человечеством необъятные фантастические перспективы.

Завершим статью словами Пенроуза: «Конечно, совсем не исключено, что когда-нибудь будет создана теория, которая сможет описывать природу лучше, чем теперешняя, и вместе с тем эта новая теория окажется несовместимой с представлением о пространстве-времени как о дифференцируемом многообразии. На такую возможность не следует закрывать глаза, но в то же время полезно подумать и о том, почему современный подход является таким прекрасным приближением при описании удивительно широкого круга явлений» [7, с. 11].

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Пенроуз Р.* Новый ум короля. – М.: Едиториал УРСС, 2003.
2. *Пенроуз Р.* Путь к реальности, или Законы, управляющие Вселенной. – М.–Ижевск: Институт компьютерных исследований. НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2007.
3. *Владимиров Ю.С.* Метафизика. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 1-е издание 2002, 2-е издание 2009.
4. *Владимиров Ю.С.* Между физикой и метафизикой. Книга 1-я «Диамату вопреки». – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010.
5. *Владимиров Ю.С.* Между физикой и метафизикой. Книга 4-я «Вслед за Лейбницем и Махом». – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012.
6. *Владимиров Ю.С.* От квантования гравитации к реляционно-статистической теории пространства-времени // Пространство, время и фундаментальные взаимодействия. – 2013. – № 1 (2). – С. 5–19.
7. *Пенроуз Р.* Структура пространства-времени. – М.: Мир, 1972.
8. *Пенроуз Р., Риндлер В.* Спиноры и пространство-время. – М.: Мир, 1987.
9. *Кулаков Ю.И.* Теория физических структур. – М.: 2004.
10. *Михайличенко Г.Г.* Математические основы и результаты теории физических структур. – Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2012.
11. *Владимиров Ю.С.* Реляционная теория пространства-времени и взаимодействий. Ч. 1: Теория систем отношений. – М.: Изд-во Московского университета, 1996.
12. *Владимиров Ю.С.* Физика дальнего действия. – Ч. 1: Природа пространства-времени. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012.
13. *Владимиров Ю.С.* Основания физики. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008.
14. *Бройль Л., де.* Революция в физике. – М.: Госатомиздат, 1963.
15. *Дирак П.А.М.* Принципы квантовой механики. – М.: Физматгиз, 1960.
16. *Гейзенберг В.* Физика и философия. Часть и целое. – М.: Наука, 1989.
17. *Синг Дж.Л.* Общая теория относительности. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1963.
18. *Арифов Л.Я.* Общая теория относительности и тяготение. – Ташкент: Изд-во «ФАН», 1983.
19. *Fokker A.D.* Ein invarianter Variationssatz fur die Bewegung mehrerer electrischer Massenteilchen // Z. Phys. – 1929. – Bd. 58. – S. 386–393.
20. *Wheeler J.A., Feynman R.P.* Interaction with the absorber as the mechanism of radiation // Rev. Mod. Phys. – 1945. – Vol. 17. – P. 157–181.
21. *Hoyle F., Narlikar J.V.* Action at a distance in physics and cosmology. – San Francisco: W.N. Freeman and Comp., 1974.

22. *Эйнштейн А.* Как создавалась теория относительности // Эйнштейновский сборник, 1980–1981. – М.: Наука, 1985. – С. 9.
23. *Грин Б.* Элегантная Вселенная. Суперструны, скрытые размерности и поиски окончательной теории. – М.: Едиториал УРСС, 2004.
24. *Zimmerman E.J.* The macroscopic nature of space-time // Amer. Journ. of Phys. – 1962. – V. 30. – P. 97–105.
25. *Рашиевский П.К.* Риманова геометрия и тензорный анализ. – М.: Наука, 1967.
26. *Dantzig D. van.* On the relation between geometry and physics and concept of space-time // Funfzig Jahre Relativitatstheorie. Konferenz Bern, Basel. – 1955. – Bd. 1. – S. 569.

## **PENROSE'S TWISTOR PROGRAM AND BINARY GEOMETROPHYSICS**

**Yu.S. Vladimirov**

A comparison has been made of R. Penrose's twistor program and binary geometrophysics aimed to theoretically base the properties of classical space-time and laws of quantum theory. The key problems in fundamental physics have been addressed: the complex foundation of the theory of space-time, the ground of dimension and signature of space-time; the nature of the concept of a metric, the interpretation of quantum theory, relational and substational approaches to the Physical Universe.

**Key words:** Space-time, spinors, dimension, twistor, systems of references, binary geometrophysics, relational theory.

---

## СПАСЕНИЕ АЛГЕБР И РАЗГАДКА СЕКРЕТОВ МЕХАНИКИ

А.П. Ефремов

*Институт гравитации и космологии  
Российского университета дружбы народов*

Обсуждается метафизическая взаимосвязь между формулировками эмпирически установленных законов физики и фундаментальными соотношениями, имманентно присущими математическим структурам. В частности, показано (без использования формул), что допустимые преобразования спиноров, структурирующих базисные единицы ассоциативных алгебр, имеют своим неизбежным следствием условие стабильности алгебр по форме тождественное уравнению квантовой механики, из которого также следует аналог уравнения классической аналитической механики. При переходе к физическим единицам эти чисто математические соотношения в точности становятся уравнением Шредингера и уравнения Гамильтона-Якоби. В ходе обсуждения вводятся представления о ненаблюдаемой базовой поверхности, ячейки которых формируют элементы трехмерного пространства и дается геометрическая трактовка проточастицы, соответствующей волновой функции квантовой механики.

**Ключевые слова:** ассоциативные алгебры, гиперкомплексные числа, спиноры, предгеометрия, квантовая механика, проточастица.

«Я едва осмеливаюсь сказать, что открыл универсальный принцип, на котором основываются все законы – принцип наименьшего количества действия, принцип достойный мудрости Верховного Существа» [1].

*П.Л.М. де Мопертюи*

«Теоретико-множественная математика крайне формализована... Многим это импонирует, ибо в хорошо организованном мире легче жить. Но чем дольше в нем живешь, тем более возрастает ощущение искусственности этого мира. Жажда «бытия» становится основным и очень энергичным мотивом» [2].

*С. А. Векшенов*

### Введение

В 2012 г. весь четвертый номер журнала «Метафизика» был посвящен проблемам филологии и лингвистики, вообще языка. Эта тема, видимо, останется вечной, ибо вряд ли однозначно разрешится загадка возникновения древних «естественных» символов, обозначающих звуки, складывающиеся в слова, которые в свою очередь складываются в сочетания, отражающие предметные и абстрактные понятия. Даже искусственные языки программи-

рования, будучи производными от древних, несут в себе элементы этой тайны. Может быть, именно поэтому, обмениваясь информацией своего сознания, люди часто не понимают друг друга.

И тем более загадочен обращенный к человечеству монолог чистой математики, из века в век нехотя приоткрывающей свои драгоценные файлы, с паролями в виде чисел, формул и логических цепочек. Падающую на него совершенную информацию абстрактной математики человек тщится расшифровывать информационной системой своего сознания, изобретая при этом персональный синтаксис и семантику. Это неравное взаимодействие имеет три неприятных следствия: (1) единственная истина иной раз представляется во многих вариациях, (2) мозг (если система расшифровки все же в нем), вдруг убоявшись бездны, закрывает тему, (3) понимать друг друга перестают все.

В связи с пунктом (3) возникает вопрос: а нельзя ли рассказать о глубокой и сложной математике на понятном человеческом языке, не обращаясь к формулам? Ведь есть же масса популярной литературы по физике и другим естественным наукам. Но по математике – почему-то практически нет. После некоторых размышлений автор пришел к выводу, что это возможно, но только в том случае, если читатели все же имеют некоторые базовые математические знания, и – самое главное – если математический объект можно представить в виде геометрического образа. Увидеть – значит наполовину понять. Ниже будет предпринята попытка такого рассказа о емкой по содержанию, и притом весьма «геометричной», математике гиперкомплексных чисел, перед которой, стоит отметить, имея в виду пункт (2), сложили оружие многие бойцы. Что же касается пункта (1), то неоднократно будет показано, как в этой области несколько «истин» редуцируются к одной.

Представляется важным отметить также, что изложенные здесь сведения есть результат многолетнего системного изучения математических закономерностей и осмысления их взаимосвязи с известными (или пока неизвестными) физическими законами. Вначале были найдены математические корни теории электромагнетизма и теории относительности. Но все более углубленный анализ, как ни странно, привел к истокам базовой физической науки – теоретической механики. Немалую роль здесь сыграла подсказка научной интуиции, к которой автор научился прислушиваться.

### **От аналитической механики к спинорам**

Начнем с цитаты [1], с которой, казалось бы, невозможно не согласиться:

«...При создании классических и неклассических физических теорий XIX и XX вв. стала очевидной эффективность аналитической механики, которую вслед за Ю. Вигнером стали называть непостижимой, поскольку никакого убедительного теоретического (логического) обоснования ей дать не удалось».

Действительно, преобразование уравнений динамики, эмпирически сформулированных «не измышлявшим гипотез» Ньютоном, в раздел математики, включивший уже не физические, а абстрактные понятия и принципы, представляется неким метафизическим (если не мистическим) явлением.

В середине XVIII в. Пьер Мопертюи показал, что уравнения динамики могут рассматриваться как следствие требования экстремального значения – минимума – некоторой величины (с размерностью момента импульса), которая в конечном итоге стала называться «действие». Она вычисляется как определенный на интервале времени интеграл от функции Лагранжа, заданной разностью между кинетической и потенциальной энергией механической системы (такая разность определено не имеет физического смысла). Через сто лет Уильям Гамильтон «подправил ситуацию», предложив формализм механики, на базе «более физической» функции обобщенной энергии. Но при этом выяснилось, что все компоненты уравнения ньютоновой динамики в точности эквивалентны единственному уравнению – уравнению Гамильтона–Якоби, связывающему обобщенную энергию с производной действия по времени; то самое абстрактное действие здесь оказалось главной искомой функцией.

«Что-то за этим стоит, но что?» – таким вопросом мог задаться каждый, изучавший теоретическую механику не поверхностно. Вопрос неспроста, поскольку этот раздел математики оказал существенное влияние на процессы становления всей современной физики.

Через полвека, анализируя результаты опытов, Макс Планк открыл постоянный «квант действия», а еще через четверть века Эрвин Шредингер записал уравнение квантовой механики, содержащее планковский квант действия как множитель и похожее на уравнение Гамильтона–Якоби, но имеющее смысл только в математике комплексных чисел. Искомой переменной в этом уравнении оказалась безразмерная функция состояния квантовой системы, физическая трактовка которой вызывает споры и поныне. Не прошло и нескольких лет, как опытные данные засвидетельствовали наличие у частицы новой характеристики – спина, взаимодействующего с внешним магнитным полем. Учитывая этот факт, Вольфганг Паули модифицировал уравнение Шредингера, при этом скалярную функцию состояния пришлось заменить двухкомпонентным вектором. В самом конце 1930-х гг. Поль Дирак предложил уравнение, представляющее собой релятивистское продолжение уравнения квантовой механики, искомой функцией при этом был уже четырехкомпонентный вектор со специфическим законом матричного преобразования; эти объекты Пауль Эренфест предложил назвать спинорами. На этом рассматриваемая здесь логическая линия завершилась.

Эта телеграфно изложенная (впрочем, хорошо известная) история имеет своей целью подчеркнуть два метафизических обстоятельства. Первое: все открытия аналитической и квантовой механики имели эвристический характер. Так «просто оказалось», что уравнения динамики следуют из принципа экстремума некоего действия, что не основанное ни на каком опыте уравне-

ние Гамильтона–Якоби эквивалентно эмпирическим уравнениям Ньютона; что уравнения квантовой механики похожи на уравнения классической механики, но не сводятся к ним. И второе: эта затянувшаяся в веках цепочка «гениальных озарений» с неизбежностью протянулась от математики действительных чисел – скаляров и векторов – к математике комплексных чисел и спинорам.

Кстати, как постфактум выяснили физики, математика спиноров почти за 20 лет до теории Дирака уже была изложена в книге Эли Картана (см. русский перевод [3]). Впрочем, несложно предположить, почему эта математика не была широко известна: даже простейшие спиноры, введенные на базе геометрии плоского пространства, оказались трудно представимыми объектами. Действительно, основой определения спинорных функций трехмерного пространства у Картана служит трехмерный вектор нулевой длины, тогда компоненты спинора суть комплексные числа. Предлагается непрерывно вращать изотропный 3D-вектор, при этом фаза спинора меняется как половина угла поворота. Какое-то изображение спинора в таком подходе затруднено, поэтому, несмотря на заявление Картана в предисловии: «...основной целью книги является систематическое развитие теории спиноров на основе чисто геометрического определения этих математических объектов», в книге нет ни одного графика или рисунка.

Первые, пожалуй, графические образы спиноров появились полвека спустя в работах Роджера Пенроуза (см. например, русский перевод [4]). В поисках понимания субмикроскопической структуры физического мира он писал: «...абсолютно не ясно, имеет ли вообще смысл говорить о природе пространства-времени в таких масштабах, и если это бессмысленно, то мы заведомо не можем со всей строгостью описывать пространство-время как гладкое многообразие». В результате Пенроуз ввел алгебру спиноров также на основе изотропного вектора (как и Картан) но уже четырехмерного – светового. Ссылаясь на работы Пэйна, Витакера (и свои) он пишет: «Можно сказать, что спинор определяет световой флаг в касательном пространстве, причем флагштоком служит направленный в будущее световой вектор, а полотнище флага есть световая площадка» – и здесь же приводится соответствующий рисунок. Последующие десятилетия показали, что спинорная (позднее – твисторная) программа Пенроуза, рассчитанная на представление искривленных четырехмерных многообразий, по сути, всей геометризованной физики XX века посредством «более фундаментальных» математических объектов оказалась, по-видимому, не слишком успешной. Тем не менее это была реальная и мощная попытка установления глубинной связи математического описания макро- и микрофизики.

Другой пример такой попытки, пусть математически не формализованной, – известное размышление Джона Уилера о предгеометрии [5], которая понимается как альтернатива представлениям о гладкости мирового пространства. Уилер пишет, что пространственно-временной «геометрический» континуум является фикцией и что в его субмикроскопической основе, ско-

рее всего, лежит некая пока неизвестная структура, о которой можно говорить как о «до-геометрии». Причиной такой убежденности, очевидно, были успехи квантовой физики, для описания которой с неизбежностью привлекаются спиноры – геометрически трудно представимые объекты. Тем более что квадрат спинорных функций, как следует из работ Картана и Пенроуза, есть изотропный вектор – геометрически тоже не слишком внятное образование, особенно в 3D-мире.

Стоит заметить, что подобные представления о спинорах достаточно широко распространены и сегодня. Однако, как выяснилось, есть возможность вводить и изучать эти замечательные объекты не с эвристических, а с фундаментально-логических позиций; для этого достаточно обратиться к математике гиперкомплексных чисел.

### **Кватернионы – брошенный Клондайк**

В середине XIX в. Гамильтон открыл алгебру кватернионов – гиперкомплексных чисел, построенных на четырех единицах, одна из которых – действительная скалярная единица, три оставшихся – мнимые векторные единицы. Последние не коммутируют между собой по умножению, при этом упорядоченное произведение любых двух таких единиц в точности дает третью. Поэтому, несмотря на «мнимость», векторные единицы получили геометрическую трактовку направляющих векторов декартовой системы координат, задающей окрестность трехмерного пространства, которое сразу стало ассоциироваться с пространством конфигураций физического мира. Что же касается скалярной единицы, то для нее подходящего геометрического образа не нашлось. Годами позже ее – как четвертую единицу алгебры – пытались идентифицировать с направлением времени, но эта интерпретация оказалась unsuccessful, поскольку участие этой единицы в преобразованиях Лоренца, естественных для теории относительности, нарушает закон умножения алгебры. Иными словами, при любых преобразованиях скалярная единица должна оставаться инвариантом.

Дальнейшая история кватернионов хорошо известна (см., например, [6]). Взамен «нефизических» кватернионов, однако на их основе Джозайя Гиббс и Оливер Хэвисайд разработали элементы эклектической векторной алгебры, которая в силу своей «большой простоты» стала общепринятой, и после распада «Международного общества по изучению кватернионов» в период Первой мировой войны системное изучение этой математики было, по существу, заброшено. Лишь изредка появлялись работы, в которых кватернионы осознано или случайно использовались как удобный или экзотический аппарат. Так, нет уверенности в том, что Паули, вводя для описания спина в уравнение Шредингера свои  $2 \times 2$  матрицы, был в курсе, что эти матрицы с точностью до множителя суть векторные единицы кватернионной алгебры. Вот стандартная позиция математиков (и физиков) конца прошлого века: «с кватернионами абсолютно все ясно!».

Необходимо подчеркнуть, что помимо прочего заслуга Паули состоит еще и в том, что если ранее кватернионные единицы фигурировали как абстрактные (бесструктурные) символы, то Паули предложил простейшее – и самое удобное – представление векторных единиц (и, как позже выяснилось, не только их). Однако дальнейшие исследования показали, что число таких представлений бесконечно, поскольку все они связаны преобразованиями поворота, что геометрически понятно: триаду ортогональных единичных векторов можно произвольным образом вращать в 3D-пространстве.

Но любой обычный поворот на некоторый угол можно представить и иным способом – как симметричное «зеркальное» отражение от плоскости, повернутой на половинный угол. Этот геометрический факт хорошо известен, в математике говорят: группа вращений дважды покрывается группой отражений, но последняя – и это очень существенно – является не чем иным, как группой преобразования спиноров. Таким образом, произвольный пространственный поворот жесткой кватернионной триады оказывается связанным со спинорами. Но где в кватернионах скрываются спиноры и как их выделить? А главное, какой геометрический образ можно приписать этим объектам, представляющим собой определенную часть «самой геометричной» математики – алгебры кватернионов?

Видимо, кватернионы, «с которыми все ясно», забросили рано. Проблемы остались, и никаких сведений об их систематическом изучении автору данной работы найти не удалось. Поиск ответов на эти вопросы начался в 2006 г. и, хотя еще не завершен, прояснилось многое (см. публикации [7–9]).

Детальный анализ базисных соотношений кватернионной алгебры показал, что установить наличие внутренней структуры единиц, представленных формальными символами, практически невозможно: «слишком абстрактная» математика метафизически «сопротивляется» углубленному изучению; для достижения результата потребовалось представление единиц  $2 \times 2$  матрицами общего вида (с комплексными, вообще говоря, компонентами). При этом выяснилось, что матрица каждой векторной единицы обязана иметь единичный определитель (следовательно, она обратима) и нулевой след (следовательно, ее собственные значения не кратны). И тут вступает в игру весьма существенное обстоятельство: оказывается, что матрица со столь хорошими свойствами удовлетворяет спектральной теореме (см., например, [10]), согласно которой такую матрицу можно разложить на прямые произведения элементов некоторого 2D-базиса, при этом коэффициентами разложения являются собственные значения (мнимая единица со знаками плюс и минус).

Слова «2D-базис» здесь – ключевые. Этот базис представлен диадой – двумя ортогональными единичными векторами, задающими локальную площадку (2D-ячейку) некоторой поверхности, которая в дальнейшем будет называться базовой. Компоненты этого базиса, вообще говоря, – комплексные числа, и это существенно: в каждой 2D-ячейке можно выделить действительную площадку и мнимую площадку. Метрический тензор такой пло-

щадки строится по известному правилу как сумма прямых произведений векторов (точнее, ковекторов) диады. В общем случае эта метрика может иметь переменные компоненты (функции), но локально, в касательном пространстве, – это двумерная декартова метрика, описываемая единичной  $2 \times 2$  матрицей. И здесь следует важное наблюдение: такая матрица есть не что иное, как представление кватернионной скалярной единицы! Действительно, если на базовой поверхности компоненты векторов диады могут изменяться от точки к точке, то метрика (она же скалярная единица), как было отмечено выше, остается неизменной.

Таким образом, впервые удастся установить не обсуждавшийся ранее «геометрический смысл» скалярной единицы алгебры кватернионов: это метрика базовой поверхности, «подлежащей» под 3D-пространством, которому принадлежит вектор, описываемый исходной  $2 \times 2$  матрицей и разложенный по закону спектральной теоремы.

Но почему «геометрический смысл» в кавычках и что значит «подлежащей»? Дело в том, что, помимо исходного разложения вектора, существуют еще только две различные линейные комбинации прямых произведений векторов диады, и простая проверка показывает, что эти комбинации в точности оказываются  $2 \times 2$  матрицами двух оставшихся векторов кватернионной триады, задающей окрестность трехмерного мира. Тогда каждая из размерностей базовой поверхности есть своего рода «корень квадратный» из физической пространственной размерности. Понятно, что вся эта экзотическая поверхность, составленная из множества 2D-ячеек, реально не наблюдается, «не геометрична», но в известном смысле фундаментальна, поскольку двух ее размерностей достаточно, чтобы сформировать три размерности наблюдаемого геометрического мира. Вспоминая Уилера, можно ассоциировать концепцию предгеометрии с представлением об этой фундаментальной поверхности.

Итак, 2D-ячейка представляет собой (относительно) малый элемент базовой предгеометрической поверхности, заданный парой векторов диады; любая такая пара однозначно определяет триаду трехмерного пространства. И здесь выясняется, что векторы предгеометрического базиса представляют собой искомые спиноры, минимальные составные части векторов триады, так что некоторому вращению триады соответствует поворот диады на угол, равный половине угла 3D-вращения. Так, пожалуй, впервые спинорные функции появляются в математике не как эвристические объекты, а как естественные составляющие внутренней структуры единиц гиперкомплексной алгебры, имеющие при этом внятную геометрическую (точнее предгеометрическую) трактовку.

Впрочем, поскольку действие осуществляется в комплексном пространстве, поворот 2D-ячейки (на половинный угол) имеет специфику. Упрощая, его можно трактовать как «перекачку» площадки реальной поверхности в площадку мнимой поверхности. Но поскольку эти площадки не наполнены каким-то – пусть математическим – содержанием, то это пока что «перекач-

ка пустоты» (напомним, что в 3D-мире это эквивалентно повороту триады на полный угол).

### **Заполнение 2D-ячеек, метрический дефект и спасение алгебр**

Несложно сообразить, что теми же  $2 \times 2$ -матрицами могут быть представлены не только кватернионные единицы, но единицы и других алгебр – и «хороших» алгебр действительных и комплексных чисел, и алгебр без деления (и даже нормы) – дуальных, двойных чисел и бикватернионов. А значит, под каждой из них «лежит» та же самая «предгеометрическая» спинорная поверхность, составленная множеством 2D-ячеек, «перекачка пустоты» которых не нарушает базовых правил не только кватернионных, но и всех перечисленных ассоциативных по умножению алгебр.

И тут возникает вопрос: а что если выделить одну из таких ячеек, изменив, например, ее масштаб, пусть без изменения формы? Такое локальное растяжение называется конформным преобразованием и осуществляется умножением векторов базиса на некоторую действительную (не комплексную) величину – масштабную функцию. При этом длина векторов диады перестает быть единичной, а вслед за ней, конечно, изменяется модуль соответствующей трехмерной величины, она перестает быть единицей (скалярной или векторной). Возникает метрический дефект, нарушающий базовые соотношения всех вышеперечисленных алгебр, то есть конформное преобразование базовых спиноров вроде бы оказывается «плохим».

Однако в одном случае алгебры все же удастся спасти – когда масштабная функция, как говорят, компактна, то есть быстро убывает в малой области 3D-пространства. Тогда метрический дефект, весьма заметный на уровне 2D-ячейки, на крупномасштабном 3D-уровне сглаживается условием компактности, и квадратичные комбинации базовых спиноров вновь приобретают вид хороших алгебраических единиц. Понятно, что масштабная функция наполняет предгеометрическую 2D-ячейку определенным содержанием; и если при этом диада вращается, то из действительной площадки в мнимую «перекачивается» уже не пустота, а значения параметров растяжения. В целом этот процесс математически описывается «фактором растяжения и вращения диады» – произведением масштабной функции и фазового преобразования «на половинный угол».

Но остается вопрос: а «всегда» ли алгебры с такими единицами остаются хорошими алгебрами? Чтобы ответить, вначале следует ввести понятие длительности, которое математически можно задать некоторым независимым параметром, безразмерным (не измеряющимся в физических единицах) как, впрочем, и все рассматриваемые здесь величины – векторы диады, триады и координаты 3D-пространства. Если параметр длительности задан, то оказывается, что единицы алгебр сохраняются «навечно», если в смысле параметра длительности квадрат фактора диады сохраняется. И здесь начинается самое интересное.

Оказалось, что математический закон сохранения допускает представление в существенно упрощенной форме – не для квадрата, а первой степени фактора диады, при этом его можно трактовать как необходимое и достаточное условие «лечения» алгебр от метрических дефектов (или стабильности алгебр). При выводе в это условие автоматически включается некоторая свободная функция, а пространственное изменение угла вращения диады приобретает смысл вектора распространения 2D-ячейки (значит, соответствующего 3D-объекта) в трехмерном мире. Далее выясняется, что это условие с неизбежностью записывается в комплексных функциях, и – совершенно неожиданный факт – по форме оно в точности совпадает с уравнением Шредингера квантовой механики, в котором свободная функция играет роль потенциальной энергии.

В сознании каждого серьезного – и удачливого – исследователя пусть хоть однажды, но непременно вдруг зазвучит метафизическое заклинание Гете: «Остановись мгновенье!» Да простится автору затянувшийся экскурс в математику, но здесь как раз такой случай. Полученное из требований формальной логики чисто математическое соотношение, вообще говоря, никак не связанное с естеством окружающего мира, по сути, оказывается физическим уравнением, достаточно точно описывающим механику малых частиц.

Причем уравнение квантовой механики, полученное как некое эвристическое откровение (хотя и на базе эмпирического опыта), само по себе пока еще остается загадочным: не ясно, почему реальные физические сущности обязаны быть величинами из алгебры комплексных чисел, а главная такая величина – «волновая» функция – до сих пор трактуется неоднозначно. Вывод условия стабильности алгебр и внятная геометрия (и предгеометрия) вовлеченных математических объектов позволяют с иных позиций рассмотреть эти «вечные вопросы» квантовой механики. Но об этом чуть ниже, а пока (не взывайте!) – еще немного математики.

Далее комплексное условие стабильности можно разложить на действительную и мнимую части. Понятно, что результирующая система двух уравнений (для действительных переменных) эквивалентна прежнему комплексному уравнению, то есть эта система по-прежнему остается математическим аналогом уравнения Шредингера. И, тем не менее, результат оказывается удивительным. Одно уравнение системы – для масштабной функции – представляет собой «корень квадратный» из уравнения непрерывности квадрата этой функции, а вторая часть – для фазы (угла поворота 2D-ячейки) – тождественна уравнению механики в формате Гамильтона–Якоби. При этом оказывается, что предгеометрическая фаза есть точный математический аналог функции классического механического действия.

Факт отнюдь не тривиальный: чистая математика теперь приводит к классической механике, притом к ее аналитическому сегменту. Значит, с позиций математики, «непостижимая» аналитическая механика оказывается первичной. А как получить аналог ньютоновских уравнений динамики? Тут приходится вспоминать другой математический раздел – вариационное ис-

числение. Если потребовать, чтобы на заданном отрезке параметра длительности значение фазы «перекачки» параметров растяжения диады из реальной площадки 2D-ячейки в мнимую было минимальным, то должно выполняться некоторое условие на дифференциальные характеристики фазы; это условие представляет собой математическое обобщение уравнений динамики Ньютона.

Здесь следует напомнить, что все вышеперечисленные математические величины и уравнения, как было отмечено выше, безразмерны (не вычисляются в физических единицах). Но если фундаментальные математические соотношения действительно являются метафизическим прообразом физических законов, то должны существовать связи между безразмерными объектами и размерными величинами. Кстати, одна такая связь хорошо известна в физике: безразмерная постоянная тонкой структуры Зоммерфельда (константа связи электромагнитного взаимодействия) объединяет размерные величины: электрический заряд, постоянную Планка и скорость света. Некоторыми из этих составляющих полезно воспользоваться при записи полученных математических уравнений в физических единицах.

### **От математики к физике и что такое частица**

При переходе от математики к физике возможны два типа масштабов: микроскопического – для квантовых частиц и лабораторного – для классической механики; притом желательно, чтобы соответствующие стандарты были выражены в известных физических константах. Один такой стандарт хорошо известен, это так называемая комптоновская длина волны: отношение постоянной Планка к произведению массы электрона и скорости света (в вакууме). Такая длина в тысячу раз меньше характерного размера атома водорода, так что это стандарт квантового масштаба. Повторное деление комптоновской длины на константу фундаментальной скорости дает квантовый стандарт времени. Используя эти стандарты как коэффициенты безразмерных математических параметров, легко определить координаты микроскопического пространства и соответствующее физическое время. Операция такой замены в комплексном условии стабильности алгебр приводит к ожидаемому результату: в физических переменных это условие в точности становится уравнением Шредингера.

Но совершенно новый смысл приобретает условие компактности масштабной функции – функции конформного растяжения 2D-ячейки. Если в квантовой механике оно обычно интерпретируется как норма вероятности нахождения частицы во всем пространстве, то в теории фундаментальной предгеометрической поверхности оно сводится к определению массы частицы в 3D-объеме, построенном на базе одной «растянутой» 2D-ячейки. Тогда масштабная функция без ущерба для теории может рассматриваться как своего рода «полуплотность» массы (корень квадратный из плотности). Эта «почти физическая» величина в совокупности с фазовым множителем, за-

дающим «вращение» ячейки, образует ту самую волновую функцию, или функцию состояния квантовой частицы, которая часто трактуется как амплитуда вероятности нахождения частицы в заданном объеме. Но с точки зрения геометрии, сопутствующей математическому выводу уравнений Шредингера, волновая функция – предгеометрический образ частицы (проточастица) – представляет собой двумерную площадку, наделенную компактно распределенной «полуплотностью» массы, которая при изменении углового параметра (фазы) «перекачивается» из своего действительного сектора в мнимый и обратно.

Автор вполне отдает себе отчет в том, что изложенное здесь представление о проточастице вряд ли проще для понимания, чем почти общепринятое – и уже привычное – понятие об амплитуде вероятности. Действительно, что такое «полуплотность» массы? мнимая площадка? фаза «перекачки»? Да, это довольно экзотические объекты, но следует помнить, что они возникают не в физическом пространстве-времени, а на уровне предгеометрии, заданной комплексной диадой, каждый вектор которой есть «корень квадратный» из физической размерности. И если остаются вопросы к физическому содержанию этих объектов и образов, то визуальное представление проточастицы достаточно очевидно, в отличие от абстрактной схемы амплитуды вероятности.

Но если образ волновой функции как предгеометрической проточастицы весьма необычен, то соответствующий геометрический образ в трехмерном пространстве, наоборот, крайне прост. Это сконцентрированная в малом объеме масса, по сути, материальная точка – почти классический объект. Но у него есть существенная особенность: в эту массивную «почти точку» «вморожена» триада единичных векторов, невидимая, конечно, но способная вращаться и тем самым наделяющая частицу дополнительным параметром – углом собственного поворота. Напомним, что этот угол в два раза больше фазы «перекачки» проточастицы. Если частица вращается перманентно, то оказывается, что период ее вращения сравним со стандартом времени, размер – со стандартом длины, а собственный момент импульса есть постоянная Планка. Но, что удивительно, этот «квантовый множитель», по сути, исключается из системы уравнений, эквивалентной уравнению Шредингера, если считать, что функция действия механики есть фаза «перекачки», измеренная в единицах постоянной Планка. При этом уравнение для фазы – теперь для действия – в точности оказывается уравнением Гамильтона–Якоби классической механики, а условие, удовлетворяющее требованию минимальной фазы, становится уравнением динамики Ньютона.

Круг замкнулся: вся теория механики – и квантовой, и следующей из нее классической – оказалась простейшим следствием требования сохранности ассоциативных алгебр при конформной деформации вращающегося элемента фундаментальной поверхности, «подлежащей» под трехмерным миром.

Слова «простейшее следствие» сказаны не случайно. Дело в том, что для математического вывода соотношений механики реально были исполь-

зованы не спиноры – векторы диады, а только коэффициенты их преобразований, точнее, всего один коэффициент – фактор одного вектора диады. Именно этот скаляр в математическом условии стабильности алгебр играет роль волновой функции квантовой механики; фактор второго вектора комплексно сопряжен фактору первого, уравнение для него удовлетворяется автоматически, так что спинорная структура в целом оказывается неустраиваемой.

Математическая ситуация кардинально меняется, если трехмерное пространство, в котором определены все функции, содержит внешнее векторное поле. Присутствие такого поля приходится учитывать и при определении пространственного изменения фазы, и – главное – в формате 2D-метрики, заданной по правилу алгебр Клиффорда с участием всех спиноров (в данном случае – двух векторов диады). Вывод уравнения стабильности алгебр в этом случае оказывается сложнее, но уже не приходится удивляться, что и он приводит к знакомому результату – уравнению Паули для заряженной квантовой частицы во внешнем магнитном поле. Чистая математика вновь демонстрирует свою безусловную приобщенность к законам, которые человечество пока что научилось открывать лишь методами приземленной эмпирики.

### **Спинорная программа и «естественнонаучная метафизика»**

Обнаружение формул механики в сугубо математической среде и возникновение новых визуализированных представлений о величинах, воспринимаемых ранее как абстрактные, конечно, вызывает повышенный интерес к гиперкомплексным числам, но практически уже не вызывает удивления. Сегодня можно привести целую серию известных примеров тождественности формул физических законов и математических соотношений, более всего связанных с кватернионами. Одни из самых известных примеров – записанные Рудольфом Фютером [11] уравнения дифференцируемости функции кватернионного переменного, которые оказались не чем иным, как уравнениями электродинамики Максвелла в вакууме. Другой теперь уже известный пример – вывод базовых соотношений теории относительности и создание по существу нового варианта теории релятивистского движения систем отсчета из требования форм-инвариантности бикватернионного вектора по отношению к полной группе допустимых преобразований единиц алгебры [12]. Можно также упомянуть неожиданный факт возникновения физической (хотя и чисто теоретической) величины – напряженности поля Янга-Миллса – как кривизны пространства, обладающего специфическим геометрическим объектом – кватернионной неметричностью [13]. Наконец, базис кватернионных единиц (впрочем, и единиц других ассоциативных алгебр) имеет внутреннюю спинорную структуру, что, в частности, приводит к вышеизложенному «совпадению» формы уравнений стабильности алгебр с формой уравнений механики.

Последний факт заставляет, во-первых, отдать должное научной интуиции Пенроуза, в свое время сформулировавшего программу конвергенции квантовой и классической физики посредством формулировки законов и той и другой в формате спинорно-подобных математических объектов, пусть даже искусственно вводимых. Но во-вторых, уже зная, что эвристическая программа Пенроуза не была завершена, явление «естественных» спиноров, формирующих вышеописанное пространство предгеометрии, вероятно, можно рассматривать как очередную возможность движения к единому формату законов физики.

Пока что можно с определенностью говорить о том, что только квантово-механические закономерности (в виде уравнения Паули) и частично классическая механика (в виде скалярного уравнения Гамильтона–Якоби) адекватны языку «естественных» спиноров. Но, предвзято события, автор готов сообщить, что и кватернионная версия теории относительности может быть всецело изложена в этом фундаментальном формате, хотя геометрию (точнее, «предгеометрическое поведение») векторов диады, осуществляющих гиперболические повороты на половинный угол, представить визуально пока не удастся. И нет сомнений, что уравнения для тензорных полей (кватернионных версий теорий электродинамики и гравитации) также могут быть представлены в терминах спиноров, задающих окрестности фундаментальной поверхности.

Однако остается вопрос о реальности (или виртуальности) предгеометрической поверхности. Не исключено, что такая поверхность – всего лишь теоретическая конструкция, присущая специфике рассматриваемых алгебр, хотя и приводящая к формулировке точных аналогов физических законов. Но в таком случае, во-первых, остаются неясными причины квантовых свойств частиц в физическом пространстве, а во-вторых, приходится признавать, что мир построен по некоему искусственному абстрактному алгоритму – законам спинорных объектов, никак не связанных с естественными явлениями.

И наоборот, можно рассматривать фундаментальную поверхность, составленную огромной совокупностью 2D-ячеек, как физическую сущность, полагая, что «заполненные» ячейки представляют собой проточастицы, а «пустые» – элементы протопространства, не занятого материей. При этом, конечно, не исключается и дальнейшая возможность исследования внутренних структур каждого из таких квазипростых объектов. Впрочем, такой позитивистский взгляд ведет к новому витку спирали представлений о материи. Человек – весьма слабый «прибор», так что нет никакой убежденности в том, что предгеометрические структуры, даже приводящие к новым «правильным» законам естества, когда-либо станут доступны человеческому сознанию как объекты физиологических ощущений, пусть даже опосредованных инструментариумом физических экспериментов. Тогда в реальное наличие таких структур останется только метафизически верить, допуская их материальную реальность при невозможности ощутить.

На этом этапе можно задать себе вопрос: а что все-таки «стоит за физикой»? С одной стороны, – и об этом уже были опубликованы размышления автора [14] – физическое пространство может рассматриваться как дуальное, состоящее из двух 3D-миров, разделенных световым барьером. Такое представление о строении вселенной следует из упомянутой выше кватернионной версии теории относительности. В этом контексте один из 3D-миров является «энтропийным» физическим миром вещей и явлений, тогда как второй, «мнимый» (и по существу, и математически) по отношению к первому, является миром, информационным для существующего среди действительных объектов человечества. В этой нестандартной модели обитатели физического мира, получая эвристическую информацию в форме «гениальных озарений», могут воспринимать информационный мир как метафизический.

Но развитие спинорной математики и связанных с ней экзотических, хотя и допускающих визуализацию предгеометрических объектов, приводит к иным представлениям о метафизическом содержании бытия. Невидимый, но вполне вероятно – реальный мир «до-геометрических» объектов также может восприниматься как нечто, стоящее в ряду наблюдаемых (и ощущаемых) явлений «за физикой». Такая двойственность представлений о метафизике заставляет еще раз задуматься о сущностном значении этой грандиозной философской темы. В наступившей для человечества эре информационной перегрузки и «виртуальной жизни» прежние классические взгляды, определения категорий и рассуждения «об этом вообще», пусть даже для докторской диссертации, сегодня видятся абсолютно недостаточными. Представляется, что для тех, кто всерьез озабочен проблемами вероятных (даже ближайших) перспектив цивилизации, проблемы именно «естественнонаучной» метафизики должны выйти на первое место, ибо только адекватное истине понимание сущности вещей и сопутствующие этому новые возможности позволят преодолеть болото косности, агрессию невежества и бессильные поиски счастья в виртуальном мире с измененным сознанием.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Визгин В.П.* Метафизические аспекты «дуги Эйнштейна» // *Метафизика*. – М.: РУДН, 2013. – № 1 (7). – С. 108–125.
2. *Векишенов С.А.* Метафизический язык математики // *Метафизика*. – М.: РУДН, 2012. – № 4 (6). – С. 161–179.
3. *Картан Э.* Теория спиноров. – М.: Изд. «Иностранная литература», 1947.
4. *Пенроуз Р.* «Структура пространства-времени». – М.: Мир, 1972.
5. *Wheeler J.A.* Pregeometry: motivations and prospects // *Quantum theory and gravitation* / A.R. Marlov (Ed.). – New York: Academic Press, 1980. – P. 1–11.
6. *Ефремов А.П.* Метафизика кватернионной математики // *Метафизика XXI век* / под ред. Ю.С. Владимирова. – Вып. 2. – М.: Бином, 2008.
7. *Yefremov A.P.* Structure of Hypercomplex Units and Exotic Numbers as Sections of Bi-Quaternions // *Adv. Sci. Lett.* – 2010. – Vol. 3. – P. 537–542.
8. *Yefremov A.P.* The conic-gearing image of a complex number and a spinor-born surface geometry // *Grav. Cosmol.* – 2011. – Vol. 17 (1). – P. 1–6.

9. *Yefremov A.P.* Splitting of 3D Quaternion Dimensions into 2D Cells and a “World Screen Surface Geometry // *Adv. Sci. Lett.* – 2012. – Vol. 5. – P. 288–293.
10. *Lancaster P., Tismenetsky M.* The Theory of Matrices. Second Edition with Applications. – Academic Press, San Diego, USA, London, UK, 1985.
11. *Fueter R.* *Comm. Math. Hel.* – Vol. B7. – 1934–1935. – P. 307–330.
12. *Yefremov F.P.* Six dimensional Rotational relativity // *Acta Phys. Hung, Series – Heavy Ions (Hungary).* – Vol. 11 (1–2). – 2000. – P. 147–153.
13. *Ефремов А.П.* Кватернионные пространства, системы отсчета и поля. – М.: РУДН, 2005.
14. *Ефремов А.П.* Коранические сказания и дуальная картина мира. Соотношение научной и религиозной мысли. – М.: МГУ, 1997. – С. 144–158.

## **RESCUE OF ALGEBRAS AND THE KEY TO THE SECRETS OF MECHANICS**

**A.P. Yefremov**

Metaphysical link between empirically formulated physical laws and fundamental correlations immanently inherent in mathematical structures is discussed. In particular it is verbally described (in detail, but using no math formulas), that admitted transformations of spinors structuring basic units of associative algebras inevitably lead to the algebras' stability condition formally equivalent to equation of quantum mechanics, and further on giving an analogue of equation of classical (analytical) mechanics. When represented in physical units the respective pure mathematical equations precisely acquire the form of Schrodinger and Hamilton-Jacobi equations. Additional notion of non-observable basic surface consisting of 2D cells each forming an element of 3D space is introduced, and quantum mechanical wave-function is geometrically modeled as a 2D protoparticle.

**Key words:** associative algebra, hypercomplex numbers, spinors, pregeometry, quantum mechanics, protoparticle.

---

---

## ПОРЯДКОВЫЕ ОБРАЗЫ КОМПЛЕКСНЫХ ЧИСЕЛ И КВАТЕРНИОНОВ В ОСНОВАНИЯХ ФИЗИКИ

С.А. Векшенов, А.С. Бешенков

*Российская академия образования*

В статье рассматривается порядковый образ фундаментальной цепочки чисел  $\mathbb{N} \subset \mathbb{Z} \subset \mathbb{Q} \subset \mathbb{R} \subset \mathbb{C} \subset \mathbb{H}$ . Показывается, что порядковый образ кватернионов лежит в основе этой цепочки, а натуральные числа, напротив, являются структурой, построенной на порядковых образах кватернионов. Это, в частности, открывает возможность построения континуума, определяемого физическими процессами.

**Ключевые слова:** принцип двойственности, порядковая бесконечность, фундаментальное вращение, порядковый образ.

### Введение

Как известно, традиционная задача физической науки со времен Галилея состояла в описании реальности на языке математики, причем такое описание должно было обладать свойством предсказания новых, экспериментально проверяемых эффектов.

В физике XX в. появляются новые мотивы – возникает потребность синтеза ранее созданных теорий. Началом этого процесса можно считать специальную теорию относительности, которая объединила механику Ньютона и электродинамику Максвелла. В работах основоположников этой теории, прежде всего А. Пуанкаре, была определена методология такого объединения на основе абстрактных математических структур, в которые «вписываются» объединяемые теории. В случае теории относительности такой структурой явилась группа Лоренца, которая согласно идеологии Эрлангенской программы должна определять некоторую геометрию. Заметим, что и в классической работе Эйнштейна 1905 г. реализована фактически та же методология: в ней обрисована математическая структура, в которой одновременно выполняются два ключевых факта объединяемых теорий: принцип относительности и постоянство скорости света.

При таком подходе, однако, возникает следующий пласт методологических проблем:

- существует ли возникшая структура как математический объект?
- имеется ли за этой структурой физическая реальность?

От первой из названных проблем нас освободил еще создатель теории множеств Г. Кантор, заявивший, что всякая внутренне непротиворечивая математическая структура имеет статус существующего («существовать – значит быть свободным от противоречия»). Что касается второй проблемы, то ситуация здесь более тонкая. Как показывает практика, синтез можно

осуществить на основе различных математических структур. Какая из них соответствует реальности? П. Дирак утверждал, что «самая изящная» («Physical laws should have mathematical beauty»). Но может быть, имеется и другой критерий?

«Поставщиком» структур для осуществления синтеза, естественно, является математика, в которой процесс синтеза различных областей начался несколько раньше (приблизительно с момента появления уже упомянутой Эрлангенской программы). С развитием теории множеств, аксиоматики и появлением Программы Бурбаки этот процесс принял небывалый размах. Именно теоретико-множественная (а в менее абстрактной форме – геометрическая) методология стала восприниматься как основной инструмент осуществления синтеза разнообразных физических концепций. Решающим фактором развития именно этого направления был успех теории относительности и убежденность ее создателя в том, что именно геометрия только и способна обеспечить необходимый синтез.

Разумеется, физика XX в. помимо синтеза теорий занималась и своим «прямым делом» – описанием новых областей реальности. Случалось так, что эти вновь созданные теории немедленно вовлекались в процесс синтеза. Самый показательный тому пример – квантовая теория и попытки её синтеза с общей теорией относительности. При этом, разумеется, попытки осуществления такого синтеза предпринимались в рамках теоретико-множественной (геометрической) методологии. Как известно, приемлемого решения получить так и не удалось. Как нам представляется, корень проблемы лежит в принципиальном различии теории относительности и квантовой теории.

Теорию относительности можно считать вполне математической теорией в том плане, что у нее нет «темных углов», не охваченных формализаций, поскольку она изначально строилась как синтетическая структура. Иначе выглядит квантовая теория. Сам феномен квантования, несмотря на его внешнюю очевидность, не получил в её рамках адекватного истолкования, а известные на сегодняшний день формализмы квантовой теории явно неполны. Иными словами, квантовая теория во многом остается «живой», не до конца формализованной теорией. При таком положении дел всякая попытка синтеза в принципе обречена на неудачу, поскольку всякому синтезу предшествует *полная формализация* (в естественных границах, разумеется).

Осознание этого факта привело к возникновению направления, условно названного «основания физики», важнейшей задачей которого стал поиск математических структур, которые в принципе могли бы обеспечить желаемый синтез.

К теориям из области оснований физики можно отнести Твистерную программу Р. Пенроуза и Бинарную систему комплексных отношений (БСКО) Ю.С. Владимирова. Каждая из этих теорий использует свою методологию построения синтезирующих структур.

Теория Пенроуза явно тяготеет к упомянутой выше геометрической методологии. Достаточно сказать, что фундаментальные конструкции этой теории опираются на чисто геометрическое понятие – сферу Римана [1].

В теории Владимирова намечена тенденция отхода от априорных геометрических представлений и развитие концепции динамических структур, на основе которых можно осуществить переход от первичных структур квантовой теории к четырехмерному пространству-времени [2].

Несмотря на значительные различия теорий Р. Пенроуза и Ю.С. Владимирова, они сходятся в одном принципиальном моменте – опоре на комплексные числа. Можно предположить, что именно комплексные числа и, в более общем случае, кватернионы отражают существенные особенности квантовой теории. На ряд таких особенностей указывает БСКО. Достаточно определенно о роли математики кватернионов в основании квантовой теории говорит А.П. Ефремов [3].

Как нам представляется, именно кватернионные структуры (которые в ряде случаев сводятся к комплексным структурам) «ответственны» за появление самого феномена квантования, и, напротив, квантование приводит к появлению структур, которые можно соотнести с комплексными числами и кватернионами. Однако увидеть это соотношение в рамках их традиционного, количественного понимания не представляется возможным. Для этого необходимо осуществить переход к порядковым образам названных чисел, что требует привлечения основных понятий и положений концепции двойственности, развиваемой в работах авторов.

Ниже, в тезисной форме, представлены основные положения этой концепции, необходимые для обсуждения сформулированных выше проблем.

## 1. Принцип двойственности

В основе принципа двойственности лежит известный еще со школы факт, что всякое натуральное число  $n$  является единством «количества» и «порядка». Например, число **семь** подразумевает наличие семи каких-либо предметов и седьмого по счету предмета в каком-либо пересчете.

Сразу бросается в глаза отсутствие симметрии количественного и порядкового компонентов числа. Количественная составляющая, то есть семь предметов, вполне определяются самим числом 7, в то время как «седьмой предмет» подразумевает фиксацию некоторого начала отсчета, информация о котором в числе 7 не содержится.

Такое отсутствие симметрии в конечном итоге привело к доминированию количественной точки зрения на природу числа, которая получила всеобщий характер после создания Г. Кантором теории множеств.

Теория множеств сформировала «количественно-ориентированный» стиль мышления, который в настоящее время доминирует в математике. Не вдаваясь во все аспекты этого доминирования (это частично сделано в работах [4], [6]), можно сказать, что на сегодняшний день существуют веские

причины вернуться к пониманию важности двойственного характера натурального числа и, опираясь на это понимание, сформулировать универсальный принцип двойственности. Суть этого принципа двойственности состоит в том, что для *каждого* «количественного» объекта  $A$  всегда найдется его «порядковый» образ. Понятия «количества» и «порядка», разумеется, не имеют четко очерченных границ, однако, учитывая связь идей количества и порядка пространства и времени, можно сказать, что принцип двойственности утверждает, что каждому пространственному объекту соответствует временной объект.

Наиболее радикальным следствием принципа двойственности является утверждение о существовании бесконечности  $\Omega$ , двойственной к количественной бесконечности  $\omega$  (в данном случае  $\omega$  в большей мере является символом этой бесконечности, чем обозначение первого бесконечного ординала).

Единый подход к определению этих двух бесконечностей в общих чертах состоит в следующем (более подробно вся конструкция приведена, например, в [4]).

Рассмотрим некоторый неограниченный процесс  $W$  (при этом мы хорошо понимаем, что этим символом обозначается именно процесс, *durée* в смысле А. Бергсона). Шаги этого процесса мы можем различать или не различать в зависимости от набора имеющихся у нас предикатов.

Предположим, что шаги процесса  $W$  различаются некоторым предикатом  $T(x,y)$ , в результате чего мы видим некоторый дискретный неограниченный процесс (если шаги этого процесса не различимы никаким предикатом, то мы видим некоторую целостность, но не видим движения, а только аргюи знаем, что оно есть). Будем обозначать такой видимый процесс как  $W_T$ .

Предположим далее, что с некоторого конкретного шага процесса  $W_T$  все остальные шаги будут неотличимы друг от друга в смысле предиката  $T$ . В этом случае этот стабилизированный фрагмент процесса  $W_T$  определяет бесконечный в смысле предиката  $T$  по отношению к остальным фрагментам данного процесса объект.

Существенную роль в этом подходе играют два предиката:

- $T_R(x,y)$ : равенство  $x$  и  $y$  в смысле «количества»;
- $T_Z(x,y)$ : равенство  $x$  и  $y$  в смысле «порядка».

При этом «количество» и «порядок» понимаются интуитивно в рамках интуиции «натурального числа». Бесконечный объект процесса  $N_{T_R}$  будем отождествлять с  $\omega$ , а бесконечный объект процесса  $N_{T_Z}$  – с  $\Omega$ , где  $N$  – процесс порождения натуральных чисел.

Очевидно, что  $\omega$  по своему смыслу является количественной бесконечностью и может быть представлена в виде бесконечного множества (точнее, бесконечное множество является *носителем* количественной бесконечности). Порядковая бесконечность  $\Omega$  имеет иную природу, и ее носитель не может быть представлен множеством [4], [5], [6].

Принцип двойственности позволяет расширить понятие актуальной бесконечности путем включения «в оборот» порядковой бесконечности. Это наводит на мысль о целесообразности развития общей теории бесконечности, которая пришла бы на смену теории множеств.

Основываясь на приведенной выше схеме «свертывания» неограниченного процесса в бесконечный объект, общую теорию бесконечности можно определить так.

Общая теория бесконечности – это теория о свертывании неограниченных процессов в бесконечные объекты (бесконечности) и о свойствах носителей этих бесконечностей. Данный взгляд на бесконечность является очень существенным для всех дальнейших построений.

## 2. Основные конструкции и теоремы

Имея в распоряжении два бесконечных объекта  $\Omega$  и  $\omega$ , естественно возникает вопрос об их соотношении. Бесконечный объект  $\omega$  является таковым только в смысле предиката  $T_R$ . В смысле предиката  $T_Z$  – это конечный объект. Из этого простого соображения вытекает принципиальной важности неравенство:

$\Omega > \aleph_\delta$ , где  $\aleph_\delta$  – какой-либо кардинал.

Суть этого неравенства состоит в том, что математический универсум в количественно-порядковом (или пространственно-временном) ракурсе не симметричен. Это видится весьма нетривиальным фактом и, строго говоря, оправдывает развитие всей изложенной выше концепции двойственности.

Как известно, фундаментом всей математики являются натуральные числа, которые, по известным словам Л. Кронекера, были «сотворены Господом Богом». Однако трудно предположить, что Господь Бог одновременно сотворил и аксиоматику, которая описывает процесс возникновения этих чисел и их свойства. Скорее всего, Д. Пеано просто следовал сложившейся научной традиции, видя в аксиоматике некую идеальную форму представления Божьего творения. В этом случае имеется принципиальная возможность найти иную форму проявления в нашем умственном взоре идеи натурального ряда.

В рамках концепции двойственности эта возможность получает конкретную реализацию. Названная реализация основывается на следующих теоремах [7].

**Теорема 1.** Если шаги процесса  $W$  различимы одним предикатом  $B$ , то он совпадает с  $T_Z$ .

**Теорема 2.** Если шаги процесса  $W$  различимы только двумя предикатами  $B_1, B_2$ , то один из них есть  $T_R$ , а другой –  $T_Z$ .

**Теорема 3.** Если, кроме того, предикаты  $T_R$  и  $T_Z$  эквивалентны (в том смысле, что каждый шаг можно количественно «очислить»), то процесс  $\gamma$  изоморфен последовательности натуральных чисел.

Картину, которую описывают эти теоремы, наглядно можно представить следующим образом.

а) Введение предиката  $T_Z$  позволяет представить процесс  $W$  (*durée*) в виде процесса  $W_{T_Z}$  с различными шагами  $\rightarrow$  (рис. 1)

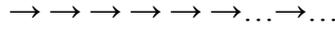


Рис. 1

б) Введение предиката  $T_R$  в дополнение к предикату  $T_Z$  позволяет фиксировать число шагов процесса  $T_Z$  от его начала. При этом существует неограниченное число шагов, для которых такая фиксация невозможна (следствие неравенства  $\Omega > \omega$ ). Наглядно этот процесс можно представить так (рис. 2):

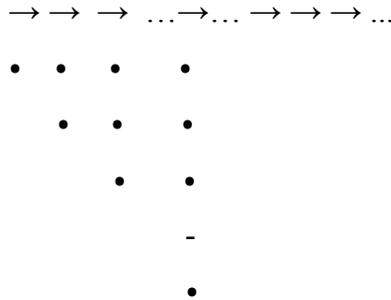


Рис. 2

Будем записывать этот процесс как  $W_{T_R;T_Z}$ .

На рис. 2 хорошо видно, что процесс  $W_{T_R;T_Z}$  «длиннее» процесса  $W_{T_Z}$ , поскольку у  $W_{T_Z}$  имеется «хвост»:  $\rightarrow \rightarrow \rightarrow \dots$ , который принципиально не «очисляется» (в количественном смысле).

в) Тем не менее, если предположить, что  $T_R \sim T_Z$ , этот «хвост» каким-то образом распределяется внутри «очисленных» шагов и, согласно теореме 3, процесс  $W_{T_R;T_Z}$  и  $T_R \sim T_Z$  будет изоморфен последовательности натуральных чисел.

Таким образом, в данном подходе натуральный ряд «высекается» из некоторой целостности (процесса  $W$ ) с помощью предикатов «количества» и «порядка» (говоря словами Микеланджело, «убирается все лишнее») [9].

Расширяя семантическое поле теорем 1–3, мы приходим к следующей фундаментальной теореме о характере носителя бесконечности в зависимости от свойств определяющих ее предикатов [4].

**Теорема 4.** Для того чтобы *шаги*  $\rightarrow$  процесса  $W_{T_Z}$  сделать *элементами* и образовать из этих элементов множество, необходимо, чтобы они различались, по крайней мере, еще одним предикатом (если это только один предикат, то по теореме 2 он совпадает с  $T_R$ ).

**Следствие.** Если совокупность некоторых объектов различима только одним предикатом, то он совпадает с  $T_Z$ . Это означает, что из этой совокупности объектов нельзя образовать множество.

Следствием этого «следствия» является утверждение о том, что континуум, понимаемый в канторовском смысле, не является множеством. Действительно, поскольку элементы континуума различаются только одним предикатом (что вытекает из не вполне эффективной упорядоченности континуума), этот предикат совпадает с предикатом  $T_Z$ , который, в свою очередь, указывает на порядковую бесконечность. Носителем этой бесконечности является *сверхмножество*.

Отсюда, в частности, следует, что континуум является *переменной величиной*, то есть для любого  $\lambda$  мощность континуума  $c$  больше кардинала  $\aleph_\lambda$ . Таким образом, континуум – проблема, состоящая в указании места континуума (вернее, его теоретико-множественной модели) на кардинальной шкале, оказывается принципиально некорректной.

Из всех предыдущих пунктов вытекает следующее.

**А.** Из теоремы 3 вытекает принципиальная возможность перехода обсуждений возникающих проблем с количественного на порядковый (структурный уровень). Можно ожидать, в частности, что с помощью «стрелочных» структур можно построить замкнутую в себе теорию действительных чисел. Оказывается, еще в 1973 г. Дж. Конвей построил «стрелочную» модель действительной прямой (даже нестандартной прямой). Однако он построил ее именно как модель, без всякой связи с теорией двойственности (которой в 1973 г. еще не было). Возможность такой модели является непосредственным следствием теоремы 3.

Естественно, встает вопрос о расширении «стрелочных» моделей на комплексные числа и кватернионы. Ниже мы предложим решение этой проблемы.

**Б.** Из следствия теоремы 4 вытекает, как уже подчеркивалось, что континуум в канторовском смысле, вопреки желанию его создателя, является переменной величиной. Это обстоятельство трансформирует изначальный канторовский вопрос о месте континуума на кардинальной шкале в вопросе о его характере как переменной величины.

Разумеется, предположение о линейном характере этой величины, как движении от элемента к элементу, не выдерживает критики, поскольку в этом случае сразу же возникает неограниченный процесс «углубления», ведущий к отдельному элементу континуума. За этим немедленно следует весь спектр апорий Зенона, которые, как известно, не поддаются полностью приемлемому решению. В рамках данной статьи мы попытаемся ответить на этот вопрос.

### 3. Математические структуры и их интерпретации

Поскольку понятие порядковой бесконечности, равно как и понятие ее носителя – сверхмножества, было введено формальным путем, их продвижение от оснований математики в ее верхние этажи требует для них содержательного толкования.

В соответствии с основной задачей общей теории бесконечности – об «извлечении» из неограниченного процесса бесконечного объекта, приведем прямые конструкции извлечения –  $T_R$  и –  $T_Z$  бесконечных объектов, соответствующих их формальному определению [4], [5], [6].

а)  $T_R$  – бесконечный объект  $\omega$  получается путем мысленного объединения в одно целое всех шагов процесса  $W_{T_Z}$ , что соответствует теоретико-множественному подходу.

б)  $T_Z$  – бесконечный объект  $\Omega$  может быть получен путем простейшего замыкания процесса  $W_{T_Z}$  (рис. 3):



Рис. 3

Это значит, что порядковую бесконечность  $\Omega$  можно интерпретировать как некоторое абстрактное вращение, которое в дальнейшем мы будем называть **фундаментальным вращением**.

Попытаемся более детально разобраться в структуре фундаментального вращения.

1) Заметим, что различные структуры фундаментального вращения соответствуют различным порядковым бесконечностям, так же как различные кардиналы соответствуют различным количественным бесконечностям.

Начнем с очевидного замечания, что добавление к простейшему фундаментальному вращению (которое мы будем обозначать как  $\cup$ ) шага  $\rightarrow$  не меняет этого вращения. В свободной форме это можно записать:  $\cup + \rightarrow = \cup$ .

Это значит, что  $\rightarrow$  можно понимать как некий аналог периода фундаментального вращения  $\cup$ . Очевидно также, что наравне с вращением  $\cup$  можно рассматривать обратное фундаментальное вращение  $\cup$ .

Наличие двух разнонаправленных фундаментальных вращений  $\cup$  и  $\cup$  позволяет составлять более сложные цепочки, например:  $\cup \cup \cup \cup \cup \cup \dots$ . Эти цепочки можно рассматривать как фундаментальное вращение с более сложной конфигурацией замыкания.

При этом важно понимать, что такая конфигурация представляет собой чистую «фигуру времени», которая не может быть адекватно использована никакими пространственными или теоретико-множественными образами.

Возможна ситуация, когда линейные шаги не являются однонаправленными. Например, количество шагов  $\rightarrow$  совпадает с количеством шагов  $\leftarrow$ .

В этом случае замыкание такого линейного процесса приведет к иному типу фундаментального вращения  $\odot$  (рис. 4):

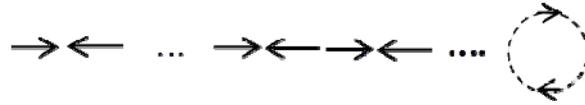


Рис. 4

Для этого вращения также можно найти обратное вращение  $\ominus$ . Как и в предыдущем случае, можно составлять цепочки из фундаментальных вращений этого типа, например:  $\odot\odot\odot\odot\odot\odot\dots$

Эти вращения, хотя и не имеют прямого физического аналога (одновременного вращения в двух противоположных направлениях), однако играют ключевую роль в описании именно физических процессов. Об этом пойдет речь ниже.

2) Из принципа двойственности вытекает факт наличия у каждого количественного числа его порядкового образа. В случае натурального ряда существование такого образа подкрепляется теоремой 3. Опираясь на абстрактные линейные шаги  $\rightarrow$  и  $\leftarrow$  и фундаментальные вращения  $\cup$  ( $\cup$ ) и  $\odot$  ( $\odot$ ), можно представить весь спектр порядковых образов фундаментальной цепочки:

$$\mathbb{N} \subset \mathbb{Z} \subset \mathbb{Q} \subset \mathbb{R} \subset \mathbb{C} \subset \mathbb{H}.$$

Набор этих образов выглядит так [6]:

$$\mathbb{N} \sim : \{ \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \dots \} - \text{образ } \mathbb{N},$$

$$\mathbb{Z} \sim : \{ \leftarrow \leftarrow \leftarrow \leftarrow \leftarrow \dots \} - \text{образ } \mathbb{Z},$$

$$\mathbb{R} \sim : \{ \rightarrow \leftarrow \rightarrow \dots \leftarrow \rightarrow \dots \} - \text{образ } \mathbb{R},$$

$$\mathbb{C} \sim : \{ \rightarrow \leftarrow \rightarrow \leftarrow \dots \cup \cup \cup \dots \} - \text{образ } \mathbb{C},$$

$$\mathbb{H} \sim : \{ \rightarrow \leftarrow \rightarrow \rightarrow \dots \cup \cup \cup \dots \odot \odot \odot \dots \} - \text{образ } \mathbb{H}.$$

При этом совокупность порядковых чисел выбранного класса ( $\mathbb{N} \sim, \mathbb{Z} \sim, \mathbb{R} \sim, \mathbb{C} \sim, \mathbb{H} \sim$ ) можно рассматривать как модель соответствующего класса количественных чисел.

В дальнейшем будем придерживаться следующих обозначений.

Порядковые образы комплексных чисел будем обозначать как  $\mathcal{D}^{\alpha}_{\beta} = (\uparrow)^{\alpha} (\cup)_{\beta}$ , где  $\alpha$  и  $\beta$  – количественные числа, описывающие, согласно модели Конвея, структуру линейных шагов и фундаментальных вращений соответственно (из соображений удобства горизонтальные стрелки располагаются вертикально).

Порядковые образы кватернионов будем обозначать как:

$$\mathcal{A}^{\alpha}_{\beta\gamma} = (\uparrow)^{\alpha} (\cup)_{\beta} (\odot)_{\gamma},$$

где  $\alpha, \beta, \gamma$  – имеют тот же смысл.

В дальнейшем большую роль будет играть сокращенная форма:

$$\mathcal{A}^{\alpha}_{\gamma} = (\uparrow)^{\alpha} (\odot)_{\gamma}.$$

3) Приведенное соответствие на первый взгляд обладает свойством взаимной однозначности. В этом случае принцип двойственности просто бы констатировал полную симметрию между количеством и порядком и выбор того или иного аспекта числа был бы вопросом индивидуальных предпочтений. Однако оказывается, что структура порядкового образа фундаментальной цепочки «освежающе несхожа» со структурой оригинала. Выясним суть этой «несхожести».

Прежде всего, отметим, что признание порядковых чисел самостоятельными математическими объектами с необходимостью влечет требование к их инвариантности в том же смысле, в каком являются инвариантными количественные числа.

Заметим, что в рамках теоретико-множественной концепции подобная программа не возникает, поскольку порядковая составляющая числа определяется через его количественную составляющую.

Как показано в [8], предположение об инвариантности порядкового числа  $n_Z$  означает следующее. Все шаги процесса  $W_{T_Z}$  определяются некоторым началом отсчета. Чтобы сделать  $n_Z$  инвариантным, необходимо включить это начало отсчета в само число, то есть рассмотреть все возможные сочетания маркеров, «прикрепленных» к шагам процесса  $W_{T_Z}$ . В качестве таких маркеров традиционно выступают количественные числа  $1, 2, 3, \dots$

Перестановка маркеров в положение  $n, n-1, \dots, 1$  означает, что начало отсчета переместилось в противоположную сторону. Таким образом, идея инвариантности  $n_Z$  имманентно содержит в себе идею отрицательного числа (что, например, реализуется в модели Конвея).

Разумеется, все названные перестановки должны осуществляться одновременно (поскольку время едино) (рис. 5):

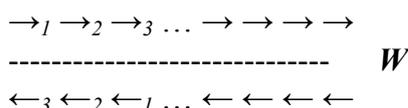


Рис. 5

Очевидно, что требование инвариантности  $n_Z$  приводит к тому, что цепочки отдельных шагов процесса  $W_{T_Z}$  замыкаются, образуя фундаментальные вращения, при этом возникают именно парные фундаментальные вращения. Чтобы подсчитать число образованных таким способом парных фундаментальных вращений, рассмотрим особый случай одного шага  $\rightarrow$  процесса  $W_{T_Z}$ . В этом случае число  $1_Z$ , разумеется, будет инвариантным в порядковом смысле. Однако из соображений общности к нему целесообразно добавить шаг с обратным направлением  $\leftarrow$ . Таким образом, конструкцию  $\uparrow\downarrow$  (снова из соображения удобства стрелки пишутся вертикально) можно рассматривать как линейный шаг, направления которого определяются соглашением (забегая вперед, можно сказать, что эту конструкцию можно ото-

ждествить с изотропным вектором). В случае натурального  $n$ , естественно, выбирается положительное направление.

Подсчет перестановок основан на фиксации различного числа линейных шагов. Тогда число  $\lambda(n)$  парных фундаментальных вращений  $\odot$ , определяемых по формуле:

$$\begin{aligned} &0, \text{ при } n = 0, \\ &\lambda(n) = 0, \text{ при } n = 1, \\ &\lambda(n+1) = \lambda(n)(n+1) + 1, n \geq 2. \end{aligned}$$

Будем считать также, что  $\lambda(\omega) = \omega$ , где  $\omega$  – счетный ординал.

Это позволяет уточнить структуру чисел  $n_Z$ , добавив к  $(\uparrow)^n \lambda(n)$  парных фундаментальных вращений, то есть  $(\uparrow)^n$  переходит в  $(\uparrow)^n (\odot)_{\lambda(n)}$ .

Данный результат имеет интересное метафизическое следствие: всякое линейное движение, в котором можно выделить отдельные линейные шаги  $\rightarrow \rightarrow \rightarrow \dots$ , сопровождается появлением  $\lambda(n)$  парных фундаментальных вращений, «привязанных» к каждому шагу (рис. 6):

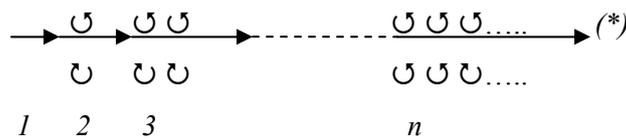


Рис. 6

4) Формула  $n_Z = (\uparrow)^n (\odot)_{\lambda(n)}$  имеет крайне нетривиальные и очень существенные следствия.

Первое из них касается структуры порядкового двойника цепочки:

$$\mathbb{N} \subset \mathbb{Z} \subset \mathbb{Q} \subset \mathbb{R} \subset \mathbb{C} \subset \mathbb{H}.$$

Из инвариантного определения числа  $n_Z$  вытекает, что  $\mathbb{N}^\sim$  непосредственно вложено в  $\mathbb{H}^\sim$ .

Однако, очевидно, что не всякая структура  $(\uparrow)^\alpha (\odot)_\beta$ , где  $\alpha$  и  $\beta$  – количественные натуральные числа может быть отождествлена с каким-либо числом  $n_Z$ .

С другой стороны, очевидно, что  $\mathbb{C}^\sim$  не вложено непосредственно в  $\mathbb{H}^\sim$ , поскольку порядковые образы комплексных чисел включают в себя простое фундаментальное вращение, в то время как порядковые образы кватернионов дополняются парными фундаментальными вращениями. Для осуществления этого вложения необходимо введение дополнительной (впрочем, очень простой) конструкции [6].

Наиболее радикальное различие порядковых и количественных чисел проявляется в структуре  $\mathbb{R}^\sim$ .

Согласно модели Конвея (которая, как уже подчеркивалось, идейно опирается на теорему 3), всякое действительное число (и даже нестандартное действительное число) можно представить различными цепочками (ко-

нечными и неограниченными) линейных шагов  $\rightarrow$ ,  $\leftarrow$ . Опираясь на это представление, изобразим  $\mathbb{R} \sim$  в виде последовательности следующих блоков (рис. 7).



Рис. 7

Если предположить, что  $\mathbb{R} \sim$  должна включать в себя инвариантно определенные натуральные (и целые) числа то, оказывается, что порядковая структура  $\mathbb{R} \sim$  полностью (с точностью до соглашения о направлении линейных шагов и фундаментальных вращений) совпадает со структурой (\*) последовательности инвариантно определенных натуральных чисел. Иными словами, действительные числа с точки зрения порядка не вносят ничего принципиально нового в структуру порядкового образа натурального ряда (при естественном условии порядковой инвариантности натуральных чисел).

Из этого утверждения вытекает ряд принципиальных следствий.

а) Из предположения порядковой инвариантности вытекает дискретность  $\mathbb{R} \sim$  в том смысле, что вся непрерывная в теоретико-множественном понимании совокупность элементов  $\mathbb{R} \sim$  разбивается на линейную последовательность шагов и сопровождающую ее совокупность парных фундаментальных вращений.

Фактически это означает, что фундаментальными элементами порядковых образов из цепочки:  $\mathbb{N} \subset \mathbb{Z} \subset \mathbb{Q} \subset \mathbb{R} \subset \mathbb{C} \subset \mathbb{H}$  являются совокупности  $\mathbb{C} \sim$  и  $\mathbb{H} \sim$ , определяемые двумя различными типами фундаментальных вращений. Более того, при определенных условиях эти совокупности могут быть сведены друг к другу [6].

Таким образом, в порядковом смысле имеются только порядковые образы комплексных чисел и кватернионов, из которых могут быть построены порядковые образы всех остальных чисел.

б) Полученная конструкция  $\mathbb{R} \sim$  – порядкового образа континуума действительных чисел дает ответ на поставленный ранее вопрос о характере движения континуума. Это линейное движение в рамках натурального ряда, которое сопровождается увеличивающимся числом парных фундаментальных вращений, прикрепленных к каждому шагу. Такая модель континуума проясняет источник апорий Зенона – неправомерное отождествление  $\mathbb{R} \sim$  и  $\mathbb{R}$ .

в) Структура порядкового образа континуума  $\mathbb{R} \sim$  существенно меняет философию дискретности. Традиционно дискретное находится «ступенью ниже» непрерывного. В этом контексте теоретико-множественная, количественная бесконечность видится основным инструментом построения моде-

ли непрерывного (это, собственно говоря, и является основным мотивом ее введения).

Порядковая бесконечность в определенном смысле является более сильной бесконечностью, чем бесконечность теоретико-множественная. Она позволяет «свернуть» теоретико-множественную модель непрерывного в приведенную выше структуру, состоящую из линейных шагов и парных фундаментальных вращений.

В результате образуется некоторая новая дискретность, которая не предшествует теоретико-множественной непрерывности, а *следует за ней*.

г) Обрисованная выше ситуация, с одной стороны, видится альтернативной: выбор типа инвариантности  $n_Z$  (количественной или порядковой) определяется волевым фактором. Однако если вспомнить следствие теоремы 4 о том, что континуум представляет собой переменную величину, альтернативность исчезает: инвариантность  $n_Z$  может быть только порядковой (что, разумеется, соответствует общему принципу двойственности).

д) Понятия количественной и порядковой инвариантности числа  $n_Z$  проецируются на различные модели времени: *геометрическое* время и время как *параметр* физических процессов (это время условно можно назвать бергсоновским).

В рамках количественной инвариантности две различные цепочки линейных шагов дают два различных числа. Это приводит к понятию *геометрического* времени, то есть времени, моделируемого с помощью теоретико-множественного континуума.

С точки зрения порядковой инвариантности линейные цепочки свертываются, образуя структуру (\*), состоящую из линейных шагов и фундаментальных вращений. Это, в свою очередь, приводит к дискретизации континуума и появлению *феномена квантования*.

е) Дополнительную «интригу» добавляют следующие свойства фундаментальных вращений:  $\circlearrowleft + \uparrow\downarrow = \circlearrowleft$

$$\cup + \uparrow = \cup$$

Шаг  $\uparrow\downarrow$  можно мыслить как период фундаментального вращения  $\circlearrowleft$ , а шаг  $\uparrow$  как период фундаментального вращения  $\cup$  (это следует из самого определения фундаментального вращения). Можно показать [7], что, добавив к фундаментальному вращению  $\circlearrowleft$  его полупериод  $\uparrow$ , можно получить обратное фундаментальное вращение  $\circlearrowleft + \uparrow = \circlearrowright$ . Это значит, что фундаментальное вращение  $\circlearrowleft$  представляет собой *абстрактную модель спина*.

Вспоминая структуру (\*), можно уточнить, что натуральным числам соответствуют не просто некоторые структуры, состоящие из парных фундаментальных вращений, но абстрактные модели спина. Это позволяет предположить, что квантовая механика «спрятана» внутри порядковой составляющей натурального ряда.

ж) Появление структур квантовой теории «из ничего» (из «стрелок» и «кругов») может вызвать недоумение. Однако, как это ни парадоксально,

дело именно в «стрелках» и «кругах», а традиционная теоретико-множественная модель – это трудный путь их моделирования. В самом общем виде проиллюстрируем сказанное.

В рамках геометрической (множественной) концепции вращение моделируется с помощью непрерывных групп преобразований. Отсюда вытекает необходимость непрерывной среды – континуума. С другой стороны, абстрактный характер вращения («вращения точки») потребовал введения новой конструкции – расслоенного пространства, «прикрепленного» к каждой точке континуума. Далее, по необходимости, вводится связность, соединяющая слои и т.д.

Порядковая бесконечность позволяет ввести фундаментальное, абстрактное вращение сразу, без промежуточных конструкций, в частности, континуума. Более того, опираясь на расширенную модель Конвея, можно структурно (с помощью «стрелок» и «кругов») представлять физические параметры вращения (например,  $\mathcal{U}$  соотносится с числом  $1/2$ ). В этом случае всю перечисленную выше множественную технику можно рассматривать как «строительные леса», необходимые для геометрического, множественного, представления фундаментального вращения.

### Некоторые выводы

Как мы видим, переход к порядковой составляющей числа и введение порядковой инвариантности (инвариантности  $n_z$ ) приводит к появлению следующих нетривиальных утверждений:

– порядковый образ цепочки  $N \subset Z \subset Q \subset R \subset C \subset H$  в определенном смысле *оборачивается*:  $N \rightsquigarrow Z \rightsquigarrow Q \rightsquigarrow R \rightsquigarrow C \rightsquigarrow H$ , то есть основополагающим понятием становится не порядковый образ натурального числа, а порядковый образ кватерниона. Порядковый образ натурального ряда является последовательностью порядковых образов кватернионов;

– порядковый образ  $R$  оказывается дискретным, при этом дискретность, если так можно выразиться, является дискретностью «более высокого порядка», чем теоретико-множественная непрерывность. Примечательным фактом является то, что дискретность  $R$  возникает вместе с возникновением порядкового образа кватернионов, что предопределяет роль кватернионов (и комплексных чисел) в квантовой теории;

– порядковый образ  $R$  является дискретной структурой, которая с точностью до соглашения о направлении линейных шагов и фундаментальных вращений совпадает со структурой инвариантного порядкового образа натурального ряда;

– если возникшие порядковые образы кватернионных структур наделять адекватным физическим содержанием, то приведенные выше утверждения позволяют предположить, что само существование континуума и его свойства определяются физическими процессами;

– принципиальное различие порядковой и количественной инвариантности, при условии, что за порядковой инвариантностью стоят реальные квантово-механические процессы, как нам представляется, делает принципиально невозможным строгую интеграцию квантовой теории и общей теории относительности и эта невозможность приобретает форму теоремы.

Стоит упомянуть об одном важном моменте, который остался за рамками данной статьи.

Дискретные, «стрелочно-круговые» структуры допускают реализацию на классическом компьютере, что может внести некоторую ясность в перспективность собственно «квантовых вычислений». Разумеется, эта тема требует отдельного развернутого обсуждения.

Возвращаясь к началу статьи, можно отметить, что порядковые образы комплексных чисел позволяют понять некоторые особенности «комплексного Мира» Р. Пенроуза.

Как показано в статье, комплексные числа, как и остальные числа, двойственны и представляют собой пару: ⟨точка плоскости, фундаментальное вращение⟩. Более сложная конструкция выглядит так: ⟨геометрическая конструкция,  $\hat{O}_\gamma$ ⟩, где предполагается, что парное фундаментальное вращение  $\hat{O}$  представлено через простые фундаментальные вращения  $\hat{U}$ .

Посмотрим на связь фундаментальной конструкции Пенроуза со второй из названных пар. Как известно, комплексный Мир Пенроуза базируется на расслоенном пространстве  $\mathcal{M}$ , где базой является пространство Минковского, а слоями комплексные проективные прямые  $CP^1$ . Комплексная проективная прямая  $CP^1$  мыслится Пенроузом как геометрическое описание спина, что позволяет встроить его и само пространство  $\mathcal{M}$  в более сложную геометрическую конструкцию – пространство твистеров. Разумеется, такое встраивание возможно, если представить физическую сущность спина адекватной абстрактной конструкцией. В подходе Пенроуза это сделано на основе проективной прямой  $CP$ , то есть первого компонента второй из приведенных выше пар. С другой стороны, это можно принципиально можно сделать и на основе второго компонента этой пары – абстрактной динамической конструкции  $\hat{O}_\gamma$ . Вполне возможно, это позволит лучше понять идеи Пенроуза, заложенные в его твистерной программе.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Пенроуз Р.* Путь к реальности, или Законы, управляющие Вселенной. М.: Регулярная и хаотическая динамика, 2007.
2. *Владимиров Ю.С.* Основания физики. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010.
3. *Ефремов А.П.* Метафизика кватернионной математики. – М.: РУДН. URL: <http://www.cosmology.su/file.php?id=260>
4. *Векшенов С.А.* Является ли «множество действительных чисел» множеством? // Вестник ТГУ. Сер. Естественные и технические науки. – 2000. – Т. 5. – Вып. 5. – С. 519–535.
5. *Векшенов С.А.* Математика и физика пространственно-временного континуума / Основания физики и геометрии. – М.: Российский университет дружбы народов, 2008. – С. 89–118.

6. *Векшенов С.А.* Метафизика двойственности / Метафизика век XXI. – Вып. 4. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – С. 90–114.
7. *Бешенков А.С.* Множество и процесс: «нераздельно и неслиянно» // Вопросы современной науки и практики. Вестник университета им. В. И. Вернадского. – 2011. – № 4 (35). – С. 58–62.
8. *Векшенов С. А.* Метафизика инвариантности // Метафизика. – 2012. – № 2. – С. 50–59; № 3. – С. 115–119.
9. *Бешенков А.С.* О новом подходе к определению множества действительных чисел и его применению к задаче измерения // Вопросы современной науки и практики. Вестник университета им. В.И. Вернадского. – 2012. – № 3 (41). – С. 23–28.

## **SEQUENTIAL IMAGES OF COMPLEX NUMBERS AND QUATERNIONS IN THE FOUNDATIONS OF PHYSICS**

**S.A. Vekshenov, A.S. Beshenkov**

*Russian Academy of Education*

The article examines the sequential image of the fundamental chain of numbers  $N \subset Z \subset Q \subset R \subset C \subset H$ . It is demonstrated that underlying this chain is a sequential image of quaternions, whereas natural numbers, on the contrary, are a structure built on sequential images of quaternions. This, in particular, opens up a possibility of building a continuum determined by physical processes.

**Key words:** duality principle, ordinal infinity, fundamental rotation, ordinal image.

---

## СОВРЕМЕННАЯ НАТУРФИЛОСОФИЯ: ПЕРСПЕКТИВЫ В ФОКУСЕ ЕДИНСТВА

С.С. Кокарев

*РНОЦ Логос (Ярославль) – НИИ ГСГФ (Фрязино)*

В статье рассматриваются некоторые характерные общие структурные элементы и тенденции современных физических теорий и их потенциальная роль в построении будущей физической «теории всего». Особое внимание уделяется принципам алгебраизации и геометризации и статусу последнего в свете геометрического конвенционализма Пуанкаре. Обсуждается концепция мета-физики – общей математической «теории физических теорий», в рамках которой можно проводить количественные исследования соответствия различных физических теорий друг с другом и их отношений с экспериментами и метафизическими принципами. Обсуждается статус и место границ физики в современной физической картине мира.

**Ключевые слова:** альтернативные теории, обобщенные теории, физические принципы, принцип геометризации, принцип алгебраизации, «теория всего», концепция наблюдателя, перцептивное пространство, когнитивный полилингвизм, геометрический конвенционализм Пуанкаре, мета-физика.

Вполне возможно, что XXI век принесет еще более удивительные открытия, чем те, которыми нас порадовал XX век. Но чтобы это произошло, необходимы глубокие новые идеи, которые направят нас по существенно иному пути, нежели тот, которым мы идем сейчас. Возможно, главное, что нам требуется, это какое-то тонкое изменение взгляда на мир – что-то такое, что все мы утратили...

*Р. Пенроуз [3. С. 862]*

### 1. «Общие точки»

Субъективной основой любого научного поиска являются *удивление* и *восторг*. В науке способность удивляться трансформируется в способность видеть необычное в обыденном и хотя бы иногда менять точку зрения на привычные вещи, а восторг превращается в яркое ощущение гармонии, которое открывается где-то на конечных стадиях научного исследования. Лично мне в этом отношении повезло, как минимум, трижды. Во-первых, в детстве я впервые услышал удивительную историю про атомы и молекулы – впечатление загадки осталось и по сей день. Во-вторых, с того самого времени я твердо решил заниматься физикой – и имею возможность заниматься ею и по сей день. В-третьих, я имел возможность общаться со многими (очень разными!) интересными людьми науки: иногда я учился у них «делать физику», но чаще просто соприкасался с мирами их научных идей, а в результате находил новые (часто прямо противоположные!) идеи в своем

собственном мире. В этом отношении общение иногда было очень интенсивным: рождались на свет новые мысли, заметки или статьи. Одно из последних ярких соприкосновений подобного рода – это книги сэра Роджера Пенроуза [1, 2, 3] и личный контакт с ним во время его пребывания в России в марте-апреле 2013 г. Упомянутые книги Р. Пенроуза, безусловно, относятся к числу популярных, но они отнюдь не просты: популяризация идей в них достигается не жертвой точностью, а глубоким пониманием проблем и талантом автора как ученого и популяризатора науки. Вместе с тем эти книги написаны так, что любой читатель найдет в них обильную пищу для собственных размышлений: школьник получит массу интересных загадок-стимулов для будущего, студент – в идейном плане – основательное и современное введение в предмет фундаментальной физики и математики, преподаватель – интересный дополнительный материал для занятий, физик – обзор современного состояния физики, математик – обширный перечень приложений различных разделов современной математики для решения актуальных физических проблем. И сам я, начав читать его книги, завел специальный блокнотик, в котором по мере чтения делал наброски будущих лекций для школьников и студентов, научных и научно-методологических статей по тем своим собственным идеям, которые «срезонировали» с материалом книги. Личное знакомство с сэром Роджером Пенроузом только усилило эффект от его книг: его манера держаться, простота в сочетании с глубиной понимания предмета и собеседника, личная скромность и человеческое обаяние создают неизгладимое впечатление цельности его личности и его научной позиции. Я имел дополнительную возможность почувствовать все это, выступая на семинаре с участием Р. Пенроуза 3 апреля 2013 г. в РУДН с изложением общих идей поличисловой теории поля. Видеозапись выступления и комментариев к нему Р. Пенроуза доступны по ссылкам [4; 5] (дополнительные комментарии Р. Пенроуз сделал также на пресс-конференции [6]), печатный вариант этих видеоматериалов (вместе с двумя лекциями самого Пенроуза и докладом С. В. Сипарова) представлен в специальном выпуске журнала «Гиперкомплексные числа в геометрии и физике» [7]. В своем комментарии сэр Роджер Пенроуз, в частности, говорит о том, что «...работа, которой занимаюсь я, идет в некотором смысле в противоположном направлении тому, что делаете Вы... Очень важно, чтобы такие вещи тоже делались, и важно, чтобы была возможность развивать различные направления и получать более общее понимание того, как эти вещи связаны...» После семинара я подошел к нему и спросил:

– Может быть, наши различные пути где-то пересекаются? Или даже ведут к одному и тому же?

Он улыбнулся, помолчал, а потом ответил:

– Да, вполне возможно, что где-то на бесконечности они имеют общую точку и говорят об одном и том же...

Мне представляется, что эта, едва различимая сегодня, тема «общей точки» (или, быть может, «общих точек») как смыслового средоточия раз-

личных направлений мысли современной теоретической физики очень актуальна в контексте колоссальной дифференциации современных разделов физики и математики. В свете этой темы и будет строиться дальнейшее изложение статьи. Многие идеи, представленные в ней, родились в процессе чтения книг Р. Пенроуза и размышлений над ними. Разумеется, тема «общих точек» очень обширна и содержит много ингредиентов. Мы откроем ее с общего обсуждения двух очень разных способов, которыми в принципе могут развиваться физические теории, и подробнее остановимся на одном конкретном примере.

## 2. Обобщение и альтернатива

Для того чтобы вырваться из власти современных идей, рекомендуется знакомиться с историей: жизнь иных народов, в иных странах и в иные времена научает нас понимать, что считающиеся у нас вечными идеи суть только наши заблуждения. Еще один шаг: нужно представить себе человечество живущим не на земле, и все земные вечные идеи потеряют свое обаяние.

*Л. Шестов. Апофеоз беспочвенности*

История физики обнаруживает, что смена физических теорий может происходить по двум различным сценариям. Согласно первому, новая теория приходит на место старой в виде ее обобщения. При этом старая теория получается из новой как некоторый предельный частный случай. Обобщенная теория может выводить нас на новый концептуальный уровень понимания реальности, что требует, вообще говоря, нового понятийного и математического языка. Но при переходе к пределу старой теории новые понятия обобщенной теории трансформируются в понятия старой по правилам, которые достаточно прозрачны и математически легко формализуемы. Таким образом, обобщенные теории можно понимать как определенного рода деформации старых теорий: в качестве «параметра деформации» иногда выступает какая-либо новая физическая величина или даже фундаментальная константа, отражающая те новые свойства физической реальности, на описание которых претендует соответствующее обобщение. Типичными примерами сценариев обобщения являются переходы от механики Ньютона к специальной теории относительности и от специальной к общей теории относительности. В первом случае параметром деформации выступает скорость света  $c$ : нерелятивистскому пределу соответствует переход (иногда требующий осмотрительности)  $c \rightarrow \infty$ . Во втором случае в качестве «параметров деформации» можно рассматривать набор переменных погружения мирового листа Минковского в плоское многомерное пространство-время [8].

Второй сценарий смены физических теорий заключается в кардинальной смене физической парадигмы, которая предполагает описание реально-

сти в рамках и терминах понятий, вообще говоря не сводящихся к понятиям старой теории ни при каком предельном переходе. В данном случае новая теория дает нам принципиально новый язык, который может быть даже отдаленно не похожим на язык старой теории. Тот факт, что альтернативные теории претендуют на описание примерно одной и той же совокупности наблюдаемых явлений, означает, что между их языками должен существовать (вообще говоря, довольно слабый) морфизм: адепты альтернативной теории в принципе должны уметь сформулировать правила перевода своих понятий на язык понятий исходной теории<sup>1</sup>. В этом случае мы, вообще говоря, не имеем возможности рассматривать альтернативную теорию как деформацию старой, понимаемую в каком-либо смысле. В качестве примеров альтернативных теорий приведем дальнедействующую электродинамику Уилера–Фейнмана [9] (альтернатива максвелловской электродинамики), релятивистскую теорию гравитации Логунова [10] (альтернатива эйнштейновской ОТО), теорию суперструн [11] (альтернатива стандартной модели физики элементарных частиц).

Нижеприведенная сравнительная таблица (табл. 1) в сжатом виде отражает характерные особенности обобщенных и альтернативных теорий.

Таблица 1

Характеристики	Обобщенная теория	Альтернативная теория
Мотивация	Расширение границ	Унификация описания
Метод построения	Деформация старой теории	Новые парадигма и язык
Принцип соответствия	Предельная деформация	Словарь морфизмов
Роль эксперимента	Решающая	Косвенная

Следует отметить, что переход к новой теории посредством обобщения можно в определенном смысле рассматривать как «нормальный» сценарий развития физики: он отражает поступательный непрерывный характер развития научного знания, включает принцип преемственности и потому концептуально, технически и даже психологически более комфортен для исследователя. Напротив, сценарий в сторону альтернативной теории отражает скачкообразную составляющую развития, включает принцип преемственности, может быть, лишь в косвенной форме, часто требует новых правил мышления об окружающем мире и новой математики и потому вызывает у большей части исследователей определенный дискомфорт. Роджер Пенроуз в [3] очень аккуратно описывает эту ситуацию следующими словами: «Кажущаяся субъективность, которую мы видим в описанном выше влиянии [научной] моды, вызвана лишь тем, что в своих попытках понять этот мир мы идем ощупью, при этом давление со стороны общественности и финан-

<sup>1</sup> Хотя для практического применения своей теории они могли бы даже не упоминать про старую: правила перевода нужны для лучшего понимания отношения теорий и для успешного убеждения сторонников старой теории, которые, как правило, составляют подавляющее большинство научного сообщества.

сирующих организаций, а также вполне понятные человеческие слабости и естественные ограничения играют важную роль в тех хаотических и зачастую взаимно не согласованных картинах, с которыми мы постоянно сталкиваемся».

Отметим, наконец, что в действительности дилемма «обобщение» – «альтернатива» представляет собой лишь два крайних полюса для сценариев развития событий, которые в чистом виде появляются крайне редко. В реальной исторической перспективе прошлого мы сталкиваемся с теориями, которые по отношению к предшествующим теориям являются своеобразным симбиозом обобщенных и альтернативных теорий. Так, общая теория относительности является не просто обобщением специальной, но и альтернативой к ньютоновской теории тяготения. Действительно, в ОТО вместо гравитационной силы и второго закона Ньютона фигурируют чисто геометрические объекты: метрика, связность и уравнения геодезических. Дальнедействующая электродинамика Уилера-Фейнмана представляет собой одновременно и альтернативу, и обобщение максвелловской электродинамики. Первое связано с тем, что в дальнедействующей формулировке электромагнитное поле является вторичным (вспомогательным) понятием, о котором в рамках этой теории можно даже не упоминать. С другой стороны, электродинамика Уилера-Фейнмана представляет собой целое семейство теорий, которые отличаются друг от друга условиями поглощения на бесконечности: максвелловской причинной электродинамике соответствует абсолютный поглотитель в удаленном будущем.

Пример с электродинамикой Уилера-Фейнмана весьма показателен: он иллюстрирует те характерные проблемы (в том числе психологические), которые связаны с восприятием альтернативных теорий реальности научной общественностью. Обзор [12] содержит популярное изложение основных идей этой теории (она называется далее по именам первооткрывателей – теорией Фоккера-Тетроде) и проблемы, которые возникают при ее разработке. Приведем здесь для наглядности дискуссию трех воображаемых собеседников (взятую из [12] с небольшими сокращениями), которая резюмирует суть характерных проблем. Собеседник А будет адептом теории поля, собеседник В будет выражать позицию автора настоящей статьи, собеседник С – человек со стороны, желающий разобраться с «простым», но необычным вопросом: «Существует ли электромагнитное поле?».

**С:** – Еще со школьных времен я привык думать, что электромагнитное поле – экспериментально доказанный факт. Нам говорили, что на языке электромагнитного поля можно объяснить все электромагнитные явления. Примерно то же самое, ну, может быть, с большим числом деталей, я слышал потом и в вузе. А на днях я вдруг узнаю, что концепция поля не обязательна для таких объяснений. Что же, выходит, нас неправильно учили? Или это мнение ошибочно? Что вы думаете по этому поводу?

**А:** – Я думаю, что здесь какое-то недоразумение. Все электродинамические устройства проектируются и изготавливаются на основе представлений об электромагнитном поле и его свойствах. Напряженности электрических и магнитных полей можно измерить. Скорость распространения электромагнитных волн измерена с большой точностью. А уравнения Максвелла всегда «работают» так же надежно, как и многочисленные устройства, рассчитанные на их основе. На фоне такого огромного количества неопровержимых фактов, свидетельствующих в пользу полевой теории электромагнетизма, попытки объяснить их без понятия поля похожи на попытки дышать в безвоздушном пространстве. Я лично воспринимаю их либо как любопытный научный курьез, либо как абстрактную академическую теорию, не имеющую практического интереса.

**В:** – Я согласен с тем, что известное множество физических явлений можно объяснить на основе концепции поля, подчиняющегося известным уравнениям Максвелла. Я также согласен и с тем, что для подавляющего большинства этот язык привычен и нагляден. Но я не могу согласиться с утверждением, что удобство объяснения является достаточным критерием реальности той сущности, которую выражает используемое понятие. К примеру, деньги не обладают большой самостоятельной ценностью, но они удобны как универсальный количественный эквивалент ценности. Нам удобно исчислять стоимость предприятия в денежном эквиваленте, хотя реальная ценность предприятия будет определяться затраченными материальными средствами и трудом.

**А:** – Это верно. Но я делаю заключение о реальности электромагнитного поля не на основании удобства его использования, а на основании фактов. Чтобы убедиться, что между двумя зарядами действует посредник в виде электромагнитного поля, достаточно поместить между ними детектор. Возмущение одной частицы сначала попадет в детектор, а лишь затем, возможно частично ослабленное, к другой частице. Детекторы можно установить достаточно плотно, и тогда мы, практически, визуализируем электромагнитную волну.

**В:** – А вот здесь стоит разобраться! То же самое я могу объяснить по-другому. Заряженные частицы действуют друг на друга непосредственно без всякого посредника в тот момент, когда они находятся на световых конусах друг друга. Световой конус – это релятивистски инвариантный объект в 4-мерном мире Минковского. Поэтому факт взаимодействия не зависит от системы отсчета, хотя его количественное описание будет зависеть от ее выбора. Сила взаимодействия в теории дальнего действия устроена сложнее, чем закон Кулона: она зависит от ускорений и скоростей и содержит запаздывание (и опережение, если не учитывать поглотитель). На самом деле, именно это выражение и имеет практическое значение. Вспомним, как определяется напряженность электрического поля: это сила, действующая на единичный заряд. Напряженность электрического поля нужна нам лишь для того, чтобы определить электрическую силу:  $\mathbf{F} = q \cdot \mathbf{E}$ . Последняя формула –

это мостик между механикой и электростатикой. Аналогичный силовой смысл имеет и индукция магнитного поля. Все дело в том, что любой эксперимент, связанный с измерением электромагнитного поля, сводится (на языке теории поля) к взаимодействию поля с заряженными частицами: пробными свободными частицами или связанными заряженными частицами регистрирующей части экспериментальной установки. *На опыте мы никогда не имеем дело с самим электромагнитным полем, но всегда только с его действием на пробные заряды.* Поэтому волну возмущения ваших детекторов необязательно истолковывать как электромагнитную волну, хотя, возможно, такое истолкование достаточно наглядно. На языке дальнего действия детекторы реагируют непосредственно на возмущение частицы в тот момент, когда оказываются на световом конусе возмущающей частицы. Поскольку в уравнение светового конуса входит инвариантная скорость света  $c$ , для любого наблюдателя такое непосредственное взаимодействие будет выглядеть как распространяющаяся волна. Но в дальнедействующей формулировке электродинамики мы будем объяснять это явление как результат специфической инвариантной пространственно-временной организации электромагнитного взаимодействия.

**А:** – Возможно, что формально ваши объяснения правильны. Но ведь хорошо известно, что электромагнитное поле переносит энергию и импульс. Импульс электромагнитного поля может передаваться протяженным телам, а энергия поля может совершать работу, как это происходит, например, в конденсаторе. Если электромагнитного поля нет, то как вы ответите на вопрос: где находится энергия частицы, излученная ею в некоторый момент времени, в моменты времени более поздние, но предшествующие актам поглощения этой энергии другими частицами в окружающем пространстве?

**В:** – Я напомню, что в дальнедействующей кулоновской или амперовской формулировке электростатики и магнитостатики энергией обладают лишь заряды и токи. При этом эта энергия складывается из обычной кинетической энергии движения частиц и потенциальной энергии их электростатического или магнитостатического взаимодействия. Носителями этих видов энергии являются сами частицы или токи. Другими словами, можно сказать, что в нерелятивистском варианте дальнедействующей электродинамики (по сути, речь идет лишь об электростатике и магнитостатике) энергия локализована на частицах и токах. В случае электродинамических явлений начинают проявляться релятивистские эффекты запаздывания. В этом случае на языке теории поля мы говорим, что у поля появляются импульс и поток энергии в пространстве. На языке дальнего действия придется пересмотреть определение того, что мы называем энергией и импульсом системы электромагнитно взаимодействующих частиц. На самом деле, важность энергии и импульса определяется фактом их сохранения для замкнутой системы частиц, который, в свою очередь, вытекает общей теоремы Нетер, связывающей законы сохранения с симметриями действия рассматриваемой физической системы. Если теорему Нетер применить к действию Фоккера–Тетроде в теории дальнего действия, то выражения для энергии и импульса системы по-

лучатся нелокальными, то есть содержащими интегралы по отрезкам мировых линий, но, разумеется, не содержащими энергетических характеристик посредника – электромагнитного поля. Если в далекодействующей формулировке пользоваться правильными определениями импульса и энергии, то она воспроизведет те же самые наблюдаемые следствия с пробными частицами, что и полевая электродинамика.

**С:** – Так, где же, все-таки, будет находиться энергия в промежуток времени между актами излучения и поглощения?

**В:** – Вопрос явно навеян полевыми представлениями. Энергия всегда будет «размазана» по мировым линиям взаимодействующих частиц. В энергию системы в данный момент времени дают вклад характеристики мировых линий частиц как в прошлом, так и в будущем, – возможно даже довольно отдаленных.

**А:** – Согласно теории Фоккера–Тетроде, эффективный потенциал электромагнитного поля существует только в тех точках пространства-времени, в которых световые конусы источников пересекают мировые линии других частиц. Но в полевой формулировке потенциалы определены во всем пространстве. Значит, полной эквивалентности между этими теориями нет!

**В:** – Полной эквивалентности, конечно, нет, но по другой причине (например, в случае неполного поглощения, когда проявляются опережающие эффекты). Потенциал теории поля описывает *потенциальное воздействие источника в каждой точке пространства, если бы в эту точку был помещен пробный заряд*. В отличие от этого, эффективный потенциал в теории далекодействия всегда описывает *актуальное действие источника на реальные заряды*. Проверка правильности потенциального полевого описания будет заключаться в помещении в данную точку реального заряда и наблюдении за ним. Но в этой ситуации мы имеем дело с реальным зарядом, который можно описывать эффективным потенциалом далекодействующей формулировки. Поскольку заряд либо есть, либо нет, то две формулировки эквивалентны: в первом случае они дадут одно и то же, во втором – отсутствие эффективного потенциала в свободной от зарядов области пространства в далекодействующей формулировке эквивалентно отсутствию зарядов в полевой. И в том и другом случае мы ничего не наблюдаем!

**А:** – Хорошо, а как быть с самими источниками? В теории Фоккера–Тетроде всякий эффективный потенциал имеет источники, в то время как уравнения Максвелла допускают решение уравнений без источников, например, плоские волны.

**В:** – Все реалистичные решения свободных уравнений Максвелла имеют особенности. Эти особенности и есть источники свободных электромагнитных волн. Решение в виде плоской волны представляет собой физическую идеализацию: не существует никакого реального источника, который мог бы создать такую волну. Впрочем, плоская волна служит хорошим приближением для поля излучения островных систем, рассматриваемого на большом расстоянии от них.

**А:** – Несмотря на кажущуюся убедительность ваших доводов, картина электромагнитных явлений на языке дальнего действия оказывается довольно туманной и запутанной. Кроме того, в ваших аргументах я не нахожу веских причин, по которым я мог бы отказаться от мысли о реальности электромагнитного поля. Есть много понятий, которые используются для обозначения непосредственно ненаблюдаемых сущностей: атомы, ядра, волновая функция. Даже температуру и давление мы измеряем по высоте ртутного столба. Отсюда не следует, что сущностей, которые стоят за этими понятиями, не существует.

**В:** – Необходимо помнить, что физика имеет дело с явлениями и строит свои модели для объяснения явлений. Природа наших научных знаний такова, что «вспомогательные сущности», которые мы вводим для объяснения явления, могут не иметь прямого отношения к действительной сущности явления. Они и не обязаны иметь его, поскольку основная задача физики в ее современном понимании – правильно описать явление. Я проиллюстрирую свою мысль несколько парадоксальным, в свете нашей дискуссии, примером электродинамики, которая, в определенном смысле, антагонистична электродинамике Фоккера–Тетроде, то есть такой, которая формулируется только на языке полей без введения зарядов и токов.

**С:** – А что, есть и такая?

**В:** – Разумеется! В обычной постановке задач стандартной электродинамики мы рассчитываем поля по заданным распределениям зарядов и токов. Рассмотрим обратную задачу: по заданному электромагнитному полю вычислим распределения зарядов и токов. Эта задача в техническом отношении даже проще, чем первая, поскольку сводится к вычислению определенных комбинаций производных поля в соответствии с уравнениями Максвелла, содержащими источники. А теперь пойдем еще дальше и *определим* точечный электрический заряд как поток электрического поля через поверхность, охватывающую его точечную особенность. В такой чисто полевой теории возникнут свои характерные трудности, но ее эквивалентность стандартной электродинамике Максвелла в принципе очевидна. Выбирайте тот подход, который вам больше нравится!

**С:** – Хотелось бы вернуться к статусу электромагнитного поля. Значит, все-таки, электромагнитное поле нельзя считать реальностью?

**В:** – Хорошо. Подведем маленький итог. Мы можем говорить об одних и тех же электромагнитных явлениях на двух разных языках. При этом язык электродинамики Максвелла использует понятие электромагнитного поля, а язык дальнего действия обходится без него, ничего не теряя в смысле информативности и точности описания. Таким образом, нет ничего странного в том, что об одном и том же можно говорить совсем по-разному, хотя правила перевода с одного языка на другой могут быть совсем не простыми. Ситуация с электродинамикой проще и интереснее: *за исключением электромагнитного поля, понятия близкого действующей и дальнего действующей формулировки электродинамики совпадают.* Это означает, что электромагнит-

ное поле – вспомогательная конструкция, удобная для наглядного объяснения и истолкования электромагнитных явлений. Но если роль некоторой предполагаемой «сущности» в физической теории зависит от достаточно произвольного выбора правил нашего мышления о мире, то есть от выбора физических принципов, то эта «сущность», вероятнее всего, не может быть физической реальностью. Во всяком случае, предположение о том, что физическая реальность может зависеть от нашего мировоззрения и личных философских установок выглядит довольно странно. Впрочем, не исключено, что физика будущего приведет нас к необходимости серьезного уточнения того, что мы называем объективной физической реальностью.

**А:** – Но разве простота описания не является желательным и даже необходимым качеством физической теории? Ведь очевидно, что теория электромагнитного поля проще!

**В:** – Концепция электромагнитного поля порождает свои собственные проблемы, связанные с его свойствами: бесконечная собственная энергия электрона и энергия электромагнитного вакуума, расходимости в диаграммах Фейнмана, необходимость квантования электромагнитного поля и т.д. Следует отметить, что некоторые из этих проблем переключиваются и в далекодействующую формулировку в несколько видоизмененной форме, но этих проблем там меньше, поскольку полевые степени свободы отсутствуют. Впрочем, действительно, следует признать, что принцип простоты – один из важных физических принципов. «Бритва Оккама» («*Не следует множить сущее без необходимости*») – это и есть его выражение в науке. Интересно, что сторонники чисто полевой формулировки электродинамики, в которой заряды и токи определяются через поля, могли бы развернуть мои аргументы в противоположную сторону и сказать, что заряды и токи – вспомогательные понятия, которые также не могут иметь статуса объективной реальности. Споры о том, кто здесь прав, скорее всего, будут безрезультатными. Не исключено, что правы обе стороны!

**С:** – И как же прикажете это понимать? И поля и заряды – условность?

**В:** – Нет. Просто можно надеяться, что будущие исследования приведут нас к новой формулировке электродинамики, в которой не будет ни полей, ни зарядов. При этом и те и другие будут возникать как вторичные понятия, вытекающие из более фундаментальных сущностей, не допускающих внутри себя дуализма типа «частицы-поля».

Приведенная воображаемая дискуссия, кроме особенностей альтернативного описания реальности и обсуждения этой реальности на разных языках, затронула много других аспектов методологии и практики научного исследования. Один из них – физические принципы.

### 3. Физические принципы и физические законы

Нужно взрыть убитое и утоптанное поле современной мысли. Потому во всем, на каждом шагу, при случае и без всякого случая, основательно и неосновательно следует осмеивать наиболее принятые суждения и высказывать парадоксы. А там – видно будет.

*Л. Шестов. Апофеоз беспочвенности*

Обсуждая основные этапы эволюции механики, Р. Пенроуз отмечает следующий любопытный факт: «Неудивительно, что Ньютон, формулируя свои законы динамики, был вынужден прибегнуть к описанию, использующему понятие “абсолютного пространства”. На самом деле Ньютон, по крайней мере вначале, был «галилеевским релятивистом» не в меньшей мере, чем сам Галилей. Это ясно видно из того факта, что в своей первоначальной формулировке законов движения он явно провозглашает принцип относительности Галилея как фундаментальный закон...» [3. С. 334]. Действительно, подобные взаимные трансформации принципов в законы и обратно типичны для этапа развития или обобщения любого раздела физики. В этом разделе мы займемся обсуждением ответов на следующие три вопроса: Что такое физические принципы? Какова их роль в структуре физической теории? Чем они отличаются от физических законов?

В лекциях [13] обсуждался статус законов классической механики Ньютона и ее основных динамических понятий – силы и массы, определения которых в рамках классической механики периодически являются предметом дискуссий и споров. В лекциях были высказаны соображения о том, что законы Ньютона не являются положениями, допускающими экспериментальную проверку, свободную от логического круга или методологических неясностей. В связи с этим была предложена точка зрения на законы Ньютона как на принципы – наиболее общие правила нашего мышления об окружающем нас механическом мире, которые устанавливаем мы сами, опираясь на соображения смешанного научно-философского характера. При этом была подчеркнута особая роль первого закона Ньютона, который является ключом к пониманию некоторых геометрических тенденций развития современной физики.

Разумеется, вопрос о соотношении законов и принципов выходит далеко за пределы механики Ньютона, хотя ситуация в ней обладает наибольшей иллюстративностью и наглядностью. В более широком контексте этот вопрос обсуждался в дискуссии [14]. Обобщая ситуацию (и не претендуя на исчерпывающие определения), можно сказать, что *физические принципы – это достаточно общие и достаточно глубоко укорененные в нашем сознании правила наших суждений о мире физических явлений, априори отражающие наши мировоззренческие, философские и даже религиозные установки*. О том, что подобного рода предустановки в области познания суще-

ствуют, методологам науки известно давно. Среди наиболее важных методологических принципов физики, получивших всеобщее признание и широкое освещение в печати, можно выделить принципы: сохранения, симметрии, дополнительности, математизации, соответствия, единства, объяснения, простоты, наблюдаемости [15].

Как и общие методологические принципы науки, законы Ньютона отражают определенную философскую позицию в отношении мира, как объекта познания, и человека – как познающего субъекта. Помимо выражения философии рационального познания мира, законы Ньютона предоставляют нам определенный аппарат и язык, для того чтобы мы могли задавать природе вопросы (ставить эксперименты). При этом все механические эксперименты и их результаты следует понимать и интерпретировать в рамках этого же языка. Конечно, из общих соображений принципы могут быть самыми разными. Но одно из главных требований к ним с точки зрения практики научной работы, которое существенно в контексте нашего обсуждения — это их особая *эпистемологическая гибкость*. Если угодно, эту гибкость можно назвать (вопреки логике рассуждений К. Поппера<sup>2</sup>) их *антиверифицируемостью*. Другими словами, адекватные физические принципы должны предоставлять нам понятийный аппарат и общие правила, достаточно широкие для того, чтобы «вместить», то есть надлежащим образом интерпретировать, широкий спектр потенциальных ситуаций в теории и эксперименте. Напротив, «плохие принципы» очень скоро будут отброшены из-за массы несогласованностей и противоречий, которые будут быстро накапливаться по мере разработки теории и эксперимента. В этом смысле *принципы механики в форме законов Ньютона – это, действительно, ценные и очень мощные принципы, которые позволили механике успешно развиваться вплоть до ее сегодняшнего состояния*.

Разумеется, абсолютно незыблемые физические принципы противоречат духу научного познания. Но, по сравнению с другими составляющими физической теории, ее принципы – самая инертная часть. Это можно наглядно проиллюстрировать на примере принципа относительности. Принцип относительности – это общая стержневая ось классической механики Ньютона и СТО. При переходе от механики Ньютона к СТО принцип относительности остался незыблемым, в то время как геометрия и научная парадигма изменились кардинально. Следует отметить, что *аксиомы физики*, выражающие математическую структуру различных ее разделов, – это составляющая, гораздо более подвижная, чем принципы. Форма, число и содержание аксиом в значительной степени предопределяются общими принципами, лежащими в основе этих разделов. При этом, как и в геометрии, можно иметь дело с различными эквивалентными аксиоматиками в рамках одной и той же системы принципов. Обратной ситуации в истории физики никогда не случалось!

---

<sup>2</sup> Кстати, Пенроуз тоже критикует принцип верифицируемости Поппера с позиций положения дел в современных космологических теориях [1. С. 844].

Что же представляют собой физические законы? Поясним ситуацию с ними снова на примере механики Ньютона. После того как законы-принципы Ньютона зафиксировали правила (силы, массы, ускорения, дифференциальные уравнения и т.д.), необходим эксперимент для того, чтобы придать этим общим правилам конкретный вид в конкретных ситуациях. Так, динамика и смежные разделы физики поставляют нам конкретные выражения для конкретных сил (тяготения, упругости, трения), правила их суперпозиции, способы измерения массы и т.д. При этом, как уже отмечалось выше, мощь принципов Ньютона заключается в том, что практически любым мыслимым результатам экспериментов можно придать математически корректную непротиворечивую запись на языке надлежащих сил, дифференциальных уравнений и их решений. *Конкретные выражения для сил имеют статус законов в классической механике (закон всемирного тяготения, закон трения Кулона–Амонтона, закон Архимеда и т.д.) и именно они должны проверяться и уточняться экспериментально.* Необходимо особо подчеркнуть, что конкретный вид законов существенным образом зависит от используемых принципов. Без законов Ньютона, в частности (и в особенности!) без первого закона, законы для сил нельзя было бы даже записать. Смена же принципов механики Ньютона обязательно приведет к полному или частичному изменению вида законов. Таким образом, резюмируя, можно сказать, что *физические принципы – это положения более фундаментального характера, чем просто аксиомы; они не требуют экспериментальной проверки, а точнее, обязаны быть очень слабо верифицируемыми и слабо фальсифицируемыми. Тем не менее они содержательны: именно принципы определяют выбор математического и понятийного аппарата физической теории, ее верифицируемое ядро, структуру ее законов, интерпретацию результатов и направления дальнейшего развития.*

Среди различных активно работающих сегодня принципов мы остановимся более детально на двух, занимающих особое место в современной теоретической физике.

#### 4. Принципы геометризации и алгебраизации

Естествоиспытатели поняли, что разум видит только то, что сам создает по собственному плану, что он с принципами своих суждений должен идти впереди согласно постоянным законам и заставлять природу отвечать на его вопросы.

*И. Кант* (цит. по [15])

В современных физике и математике можно наблюдать развитие и взаимодействие двух подходов или даже стилей мышления: *геометрического* и *алгебраического*. Как геометрия, так и алгебра начинаются с абстрагирования вполне «элементарных» процедур: опыта визуального пространственного восприятия и счета соответственно. Слово «элементарные» взято в

кавычки неслучайно: анализ, предпринятый математиками, физиками, психологами и философами, обнаруживает довольно сложный и опосредованный характер абстракций геометрии и алгебры. Интересное обсуждение взаимодействия геометрии и опыта можно найти в работах [16] и [17].

Специальная и общая теории относительности привнесли в физику революционный тезис о том, что геометрия является частью физики и предметом опыта, а не априорным средством познания, как считал И. Кант и его последователи<sup>3</sup>. Развивая этот тезис, можно ожидать, что *всякий новый класс объектов (реальных или воображаемых, т. е. используемых для теоретического описания реальных) подразумевает свою собственную «естественную» геометрию, справедливость которой можно установить, экспериментируя с объектами или теоретически исследуя их свойства*. Другими словами, исследователь, принимающийся сегодня за разработку той или иной проблемы, должен быть готов отказаться от привычных геометрических представлений и принять геометрию с весьма необычными свойствами, если она позволяет описать решение проблемы более ясным, содержательным и универсальным языком. Фундаментальная физика XX и XXI вв. дает массу примеров обобщения геометрии по той простой причине, что одним из ее руководящих принципов стал *принцип геометризации физических законов*. Его суть сводится к тому, что ключевое понятие физики – физическое взаимодействие – описывается в терминах той или иной обобщенной геометрии. Можно сказать, что физики XX в. пытаются обойтись без сил, сводя их действие на частицы и тела к некоторым фундаментальным геометрическим характеристикам пространства-времени (кривизна, правило параллельного переноса, дополнительные измерения и т. п.).

Наряду с процессом геометризации необходимо отметить и тесно связанный с ним процесс *алгебраизации* математики и физики. Прежде всего, здесь дело в том, что понятия и концепции современной геометрии часто имеют столь абстрактный характер, что апелляция к наглядным образам и интуитивным геометрическим построениям оказывается ненадежным помощником в решении тех или иных проблем. Рассмотрим, к примеру, следующий вопрос: чему равен объем правильного  $n+1$ -эдра с единичным ребром в  $n$ -мерном евклидовом пространстве? Для  $n=3$  ответ  $2^{1/2}/12$  получается средствами элементарной геометрии. Уже при  $n=4$  геометрические рассуждения требуют весьма развитого многомерного воображения. Перевод же этой задачи на аналитический язык (например, язык многомерной векторной алгебры) позволяет обойтись минимальным числом геометрических рассуждений и получить общий результат для любого  $n$ . В современной физике и математике приходится решать проблемы, связанные с геометрическими объектами, намного «менее наглядными», чем  $n+1$ -эдр в евклидовом пространстве, поэтому алгебраизация геометрических задач в определенном смысле неизбежна.

---

<sup>3</sup> Вопрос оказался не столь простым: уже цитированный нами А. Пуанкаре считал иначе. Мы вернемся к вопросу о соотношении геометрии и опыта в одном из следующих разделов.

Другая группа причин алгебраизации физики связана с алгебраическими структурами, составляющими содержательное ядро универсальных научных программ, в основе которых лежит *принцип алгебраизации*. В рамках этих программ принцип алгебраизации является ключевым инструментом для унифицированного описания пространственно-временных отношений, материи и физических взаимодействий. По существу, этот принцип вошел в физику уже в первой половине XX в. в период разработки основ и приложений квантовой теории, несколько уступая во времени принципу геометризации, лежащему в основе ОТО. В действительности, оба принципа сегодня тесно переплетаются и взаимно дополняют друг друга и иногда (например в теории суперструн) они работают совместно. Это плодотворное единство алгебры и геометрии наводит на мысль о существовании единой алгебро-геометрической основы физической реальности, которая раскрывается с различных сторон в зависимости от выбора точки зрения на реальность и средства ее описания.

Среди алгебро-геометрических подходов к описанию реальности можно отметить теорию суперструн [1, 11], твисторную программу Р. Пенроуза [1, 18], бинарную геометрофизику Ю.С. Владимирова [19], бикватернионную алгебродинамику В.В. Кассандрова [20] и поличисловую теорию поля Д.Г. Павлова [21]. Ввиду относительно слабой освещенности последнего направления в текущей научной и научно-популярной литературе мы остановимся на нем подробнее.

## 5. Поличисловая теория поля

Весь предшествующий опыт убеждает нас в том, что природа представляет собой реализацию простейших математически мыслимых элементов. Я убежден, что посредством чисто математических конструкций мы можем найти те понятия и закономерные связи между ними, которые дадут нам ключ к пониманию явлений природы... Конечно, опыт остается единственным критерием пригодности математических конструкций в физике. Но настоящее творческое начало присуще именно математике. Поэтому я считаю в известной мере оправданной веру древних в то, что чистое мышление в состоянии постигнуть реальность.

*А. Эйнштейн*

На сегодняшний день нам известны все числовые системы, допускающие стандартные арифметические операции: сумму, разность, умножение и деление с привычными свойствами ассоциативности, коммутативности и дистрибутивности. Эти системы получили название *числовых полей*. Все числовые поля изоморфны одному из следующих полей: полю рациональных чисел  $Q$ , полю вещественных чисел  $R$  или полю комплексных чисел  $C$  [22].

Классический анализ, лежащий в основе гладких структур, на которых в основном и строится современная фундаментальная физика, опирается на свойства поля вещественных чисел или его многомерного расширения  $R^n$ . Интересные попытки аксиоматизации квантовой теории опираются на так называемый *p-адический анализ*, который строится на *p-адическом* расширении поля рациональных чисел [23]. Поле комплексных чисел лежит в основе общепринятой аксиоматики квантовой теории и ее многочисленных приложений. Кроме того, множество задач классической физики (электро- и магнитостатики, гидродинамики и теории упругости) эффективно решается с помощью методов комплексного анализа [24]. Последнее обстоятельство обусловлено наличием замечательных дифференциально-аналитических свойств голоморфных функций комплексной переменной, выражающихся так называемыми условиями Коши–Римана. Эти последние принимают вид физических уравнений (условий потенциальности и соленоидальности соответствующих физических полей) и обеспечивают эффективный алгоритм отыскания решений задач двумерной математической физики. Общая теорема алгебры, перечисляющая все числовые поля, закрывает вопрос о коммутативно-ассоциативных числовых полях размерности выше двух. Но так ли существенны все свойства числовых полей для физических приложений? И не могут ли некоторые свойства более общих алгебр отражать важные физические характеристики пространства, времени и физических систем, наблюдаемых в реальности? Поиск ответа на этот вопрос привел к открытию (или в некоторых аспектах переоткрытию) трех взаимосвязанных конструкций: *алгебры поличисел, псевдофинслеровой геометрии пространства Бервальда–Моора и поличисловой  $\hbar$ -голоморфной теории поля* (см. [25–29]).

Алгебра поличисел устроена очень просто: она изоморфна прямой сумме некоторого числа алгебр вещественных чисел<sup>4</sup>. Возможно, именно это послужило причиной слабого интереса к этой алгебре со стороны физиков и математиков. Ее нетривиальные свойства начинают проявляться при обращении к ее геометрическим или аналитическим аспектам. Здесь уместно одно высказывание Р. Пенроуза, касающееся особенностей физических приложений математики: «Те, кто долго и упорно работает с некоторым набором математических идей, могут лучше воспринимать тонкое и зачастую неожиданное единство, лежащее в основе некоторой схемы. Те же, кто пришел «со стороны», порой взирают на эту схему с некоторым замешательством и им нелегко понять, почему такое-то свойство оказывается полезным и почему некоторые стороны теории следует рассматривать как более удивительные (и потому, возможно, более красивые), нежели остальные» [3. С. 840]. Аналогично тому, как алгебра комплексных чисел порождает евклидову геометрию на комплексной плоскости и семейство комплексно-дифференцируемых (голоморфных) функций, алгебра поличисел порождает псевдофинслерову геометрию с метрикой Бервальда–Моора и семейство

---

<sup>4</sup> Это становится очевидным в т.н. изотропном базисе [30].

$h$ -голоморфных функций. Напомним, что финслерова геометрия отличается от обычной римановой тем, что метрика в ней является произвольной (нулевой степени однородности по векторному аргументу) функцией на касательном расслоении (в римановой геометрии метрика зависит только от координат самого многообразия). Небольшой обзор истории, свойств и физических приложений финслеровой геометрии можно найти в работах [31–32]. Обзор определений и свойств  $h$ -голоморфных функций содержится в обобщающей работе [28].

Интересные физические приложения появляются уже у самой простой (после  $\mathbb{R}$ ) алгебры поличисел – алгебры *двойных чисел*  $H$ , в которой квадрат (гиперболической) мнимой единицы  $j$  равен  $+1$ . Двойные числа были известны математикам давно – их начал изучать У. Клиффорд во второй половине XIX в. (см. [33]). Среди хорошо известных геометрических приложений алгебры двойных чисел отметим наиболее важную и очевидную для физики связь алгебры двойных чисел с псевдоевклидовой геометрией 2-мерного пространства-времени Минковского (см. [34]). Оказывается, что дополнение геометрии двойных чисел новыми возможностями, связанными со свойствами голоморфных функций двойной переменной, позволяет сформулировать очень интересную теорию игрушечной 2-мерной вселенной – мы будем называть ее в дальнейшем Гиперлэндом, все «физические свойства» которой вычисляются с помощью относительно простых универсальных правил. Такая игрушечная модель является низкоразмерным пробным вариантом более реалистичных трех- и четырехмерных моделей, опирающихся на алгебры тричисел и квадрочисел соответственно, которые в данный момент находятся в процессе разработки. Далее мы кратко формулируем основные идеи, лежащие в основе 2-числовой теории поля и физики Гиперлэнда.

### 5.1. Конформная теория относительности

Замечательным свойством  $h$ -голоморфных функций, вполне аналогичным свойству голоморфных функций комплексной переменной, является *свойство конформности*: 2-мерная метрика Минковского при отображениях, осуществляемых  $h$ -голоморфными функциями, испытывает конформное преобразование, сохраняющее на плоскости двойной переменной (гиперболические!) углы и множества делителей нуля (1-мерные световые конуса). Это обстоятельство позволяет расширить группу Пуанкаре, действующую на двумерном пространстве-времени, до группы произвольных  $h$ -голоморфных обратимых преобразований, которые действуют на точки-события пространства-времени, как на элементы алгебры  $H$ . Локально каждое такое преобразование  $F=U+jV$  осуществляет преобразования Лоренца, зависящие от точки (поворот на гиперболический угол  $\psi(t,x)$ ), отражения осей времени и пространственной координаты и растяжение квадратов длин векторов (скалярный множитель  $|F|^2(t,x)$ ). Первые два типа преобразований, по существу, рассматриваются и в стандартной версии СТО, поэтому суще-

ственно новыми элементами являются растяжения псевдоевклидовых длин (интервалов). В случае стандартных преобразований Лоренца  $|F|=1$  и конформная степень свободы исчезает.

Физическая интерпретация теории, построенной на такой расширенной (бесконечномерной!) группе преобразований – мы будем называть эту теорию в дальнейшем *конформной теорией относительности* – связана с расширением концепции инерциальной системы отсчета до *обобщенно-инерциальной системы отсчета*, которая определена с точностью до общего масштабного фактора для времени и длины, зависящего от точки. Другими словами, в отличие от СТО и ОТО, диада, задающая систему отсчета, вообще говоря, не является нормированной, хотя остается ортогональной. Таким образом, с каждой  $\hbar$ -голоморфной функцией двойной переменной  $F=U+jV$  ( $\hbar$ -голоморфным или *гиперболическим потенциалом*) можно ассоциировать обобщенную систему отсчета, при этом промежутки времени и пространственные расстояния между событиями определяются как приращения  $\Delta U$  и  $\Delta V$  вещественной и мнимой части гиперболического потенциала. Рассмотрение в рамках такой теории процедуры сравнения хода пары часов, осуществляемой посредством обмена световыми сигналами, приводит к *эффекту конформной деформации относительного хода часов*, зависящему как от характеристик мировых линий часов, так и от гиперболического потенциала. Наличие такого эффекта послужило основой для мотивации экспериментального проекта, осуществляемого НИИ ГСГФ уже на протяжении трех лет [35]. Анализ усредненных разностных спектров пары кварцевых генераторов приводит к обнадеживающему предварительному выводу о том, что *сильно нестационарный локализованный в пространстве и времени процесс* (в реальных экспериментах исследовался удар тяжелой стальной болванки о стальное основание) *может приводить к эффекту конформной деформации пространства-времени в пространственно-временной окрестности этого процесса*.

## **5.2. Алгебраическая теория пространства-времени и материи («Теория всего» в Гиперлэнде)**

Выше мы фактически рассмотрели фрагмент теории гиперболического поля в пустоте, не задаваясь вопросом об источниках этого поля. Вне источников поле гиперболического потенциала является  $\hbar$ -голоморфной функцией, со свойствами и физической интерпретацией, рассмотренными выше. Р. Пенроуз особо отмечает важность концепции комплексной голоморфности: «С моей точки зрения, важная роль комплексных чисел или, точнее, роль голоморфности (комплексной аналитичности), в фундаментальной физике вполне естественна...». И далее он обсуждает природу неголоморфных объектов, которые возникают в квантовой теории при переходе к наблюдаемым [З. С. 855]. Таким образом, *неголоморфные объекты и операции могут отражать важные для физики ситуации, которые невозможно описать, оставаясь в рамках голоморфных объектов*. Возвращаясь к теории Гиперлэн-

да, можно предположить, что в области, занятой источниками (точная природа которых пока неясна), поле  $F$ , вообще говоря, уже не будет являться голоморфной функцией переменной  $h=t+jx$ . Другими словами, область источников поля характеризуется неравенством  $N=\partial F/\partial h^* \neq 0$ , выражающим факт неголоморфности функции  $F$ . В дальнейшем будем называть величину  $N$  *неголоморфностью* гиперкомплексного потенциала  $F$ . Если с источниками гиперболического потенциала ассоциировать вещество, то поле  $F$  становится универсальной функцией, содержащей в себе всю информацию о свойствах пространства-времени и его материальном наполнении. Записывая полевой вариационный принцип в самом общем виде, содержащий потенциал самодействия  $\Pi$ , зависящий от скалярного инварианта  $\|M\|^2$ , и применяя стандартную вариационную процедуру, мы приходим к неоднородному волновому уравнению с источником в правой части, зависящим лишь от неголоморфности  $N$ . Как и следовало ожидать, уравнения поля оказываются нелинейными, поскольку, как это следует из принципов развиваемой теории, поле  $F$  описывает свои источники за счет эффективного самодействия. В этом отношении развиваемая теория примыкает к вариантам единой теории поля Ми.

Замечательным следствием уравнений поля является их первый интеграл, содержащий произвольную антиголоморфную функцию. Условия интегрируемости уравнений ее антиголоморфности имеют важную физическую интерпретацию: *источники (вещество) Гиперлэнда образуют сложные протяженные структуры в пространстве-времени, а не распадаются на изолированные точечные образования.*

Стандартные вычисления компонент тензора энергии-импульса гиперболического поля приводят к конкретным выражениям энергетических и силовых характеристик этого поля – плотности энергии  $\varepsilon$  и давления  $p$  (одномерного), зависящим от производных  $F$  и вида потенциальной функции  $\Pi$ . Простой анализ показывает, что в общем случае эти величины связаны не простым баротропическим уравнением состояния вида  $p=f(\varepsilon)$ , а более общим вида  $p=f(\varepsilon, s)$ , что позволяет с единых алгебро-голоморфных позиций рассматривать и термодинамические аспекты Гиперлэнда.

### 5.3. Экстравариационный принцип

Практически любая физическая теория содержит неопределяемые из самой теории параметры – эмпирические константы модели или фундаментальные физические константы. Так, классическая электродинамика содержит две фундаментальные константы:  $e$  и  $c$ , квантовая электродинамика содержит три константы:  $e$ ,  $c$ , и  $h$ , а единая теория электрослабого взаимодействия – около 20 констант. Ньютоновская теория гравитации содержит одну константу  $G$ , а эйнштейновская ОТО – две константы  $G$  и  $c$ . Механика Ньютона не содержит фундаментальных констант<sup>5</sup>. Следует отметить, что в вы-

<sup>5</sup> Что лишний раз подтверждает тезис о том, что законы механики Ньютона, на самом деле, являются принципами.

числениях константы модели могут группироваться в определенные типичные для данной теории комбинации, которые и определяют экспериментально наблюдаемые величины. Такими комбинациями, к примеру, являются постоянная тонкой структуры  $\alpha=e^2/hc$  в квантовой электродинамике и эйнштейновская гравитационная постоянная  $8\pi G/c^4$  в ОТО. Как правило, константы теории определяются из экспериментальных данных. Такой способ, однако, свидетельствует о принципиальной неполноте рассматриваемой теории. Было бы совершенно естественно ожидать, что полная фундаментальная «Теория Всего» (если она вообще существует!) должна давать средства для вычисления всех своих существенных параметров, т. е. тех, которые определяют экспериментально наблюдаемые величины. Обсуждая роль антропного принципа в физических теориях, Р. Пенроуз пишет: «На мой взгляд, гораздо оптимистичнее [по сравнению с антропными соображениями К.С.С.] выглядит возможность, что фундаментальные константы – это числа, определяемые математически» [3. С. 852]. Можно пойти дальше и потребовать, чтобы фундаментальная теория природы не содержала произвола и в выборе некоторых фундаментальных зависимостей, определяющих динамические уравнения теории: например, вид потенциальной функции или даже вид лагранжиана. Все вышесказанное в полной мере относится и к рассматриваемой нами теории Гиперлэнда. Оказывается, существует некоторое естественное расширение вариационного принципа, которое в некоторых случаях позволяет вычислять лагранжиан теории с точностью до констант интегрирования (играющих роль фундаментальных констант), а затем и некоторые фундаментальные комбинации этих констант. Детали этой процедуры (мы будем далее называть ее *экстравариационным принципом*) изложены в работе [36]. В двух словах его суть при вычислении фундаментальных констант сводится к дополнительной оптимизации действия как функции фундаментальных констант, вычисленной на экстремальных, а при расчете лагранжианов исходная вариационная задача переформулируется относительно неизвестного потенциала с помощью интегралов движения и перехода к новым координатам, часть которых совпадает с полевыми переменными. Здесь уместно отметить, что, как и сам принцип наименьшего действия, экстравариационный принцип является метафизическим: он предполагает, что *Вселенная выбирает минимум не только среди различных законов движения, разворачивающихся в рамках одного мира с фиксированными физическими законами, но и среди миров с различными физическими законами и фундаментальными константами*. Непосредственное применение экстравариационного принципа для потенциала  $\Pi$  к описанной выше общей теории Гиперлэнда приводит к двухпараметрическому семейству потенциалов простого вида (оно содержит логарифм, линейную функцию и два параметра). На рис. 1 представлены две типичные зависимости из этого семейства.

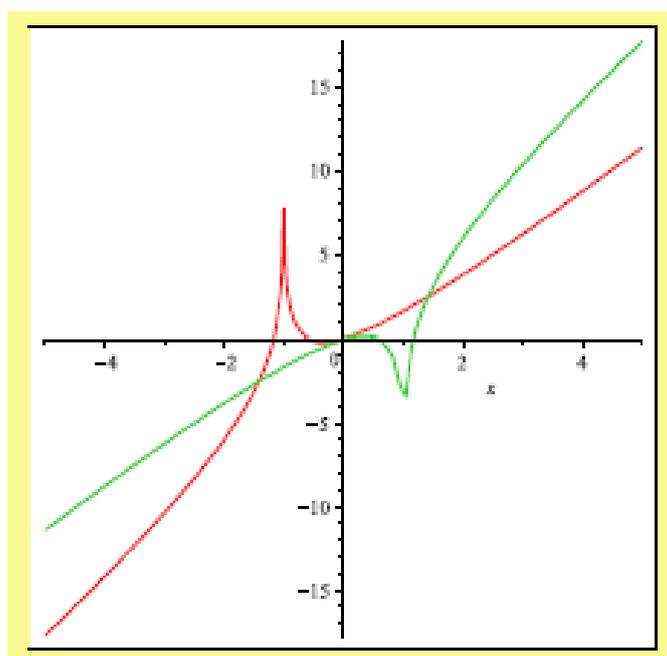


Рис. 1

#### 5.4. Статический Гиперлэнд

Даже у самой простой – статической вселенной Гиперлэнда – имеется целый ряд любопытных свойств, которые делают игрушечную модель Гиперлэнда физически содержательной. В статической модели гиперболический потенциал зависит только от переменной  $x$ . При этом некоторые общие соотношения Гиперлэнда, которые обсуждались выше, приобретают более конкретный вид. В частности, первый интеграл уравнений поля принимает вид кубического многочлена относительно производных потенциала. Оказывается, все многообразие миров статического Гиперлэнда характеризуется небольшим числом параметров (фундаментальных констант), которые собраны ниже в сводной таблице (табл. 2).

Таблица 2

Константа	Физический смысл	Числовое значение
$\Lambda$	Энергия вакуума в единицах $U_1$	? (существенно)
$U_1$	Единица измерения энергии	? (несущественно)
$e$	Форма потенциала	0, +1, -1
$A$	Единица длины	? (несущественно)
$\alpha$	Структурная константа	? (существенно)
$L$	Пространственный размер Гиперлэнда	$\infty$
$T$	Временной размер Гиперлэнда	$\infty$

Как видно из приведенной таблицы, все существенные свойства вселенной Гиперлэнда определяются тремя константами:  $\Lambda$ ,  $\alpha$  и  $e$ , причем последняя может принимать лишь два значения  $\pm 1$ <sup>6</sup>. Применение экстравариации

<sup>6</sup> Случай  $e = 0$  математически возможен, но он приводит к вселенной Гиперлэнда с тривиальными свойствами.

онной процедуры для константы  $\alpha$  дает ее точное значение:  $\alpha^2=27/4$  при  $e = +1$ .

Теперь мы можем достаточно детально описать вещество Гиперлэнда (мы будем далее называть его *даблонной материей* или *даблоном*, помня об его алгебраическом источнике – двойных числах). Прежде всего, следует отметить, что в статическом Гиперлэнде плотность энергии и давления связаны довольно сложным уравнением состояния вида  $p=f(\epsilon)$ . В силу того что интеграл уравнений имеет вид кубического трехчлена, это уравнение определяет три различные ветви с разными свойствами. Эти ветви представлены разными цветами на диаграмме, приведенной на рис. 2.

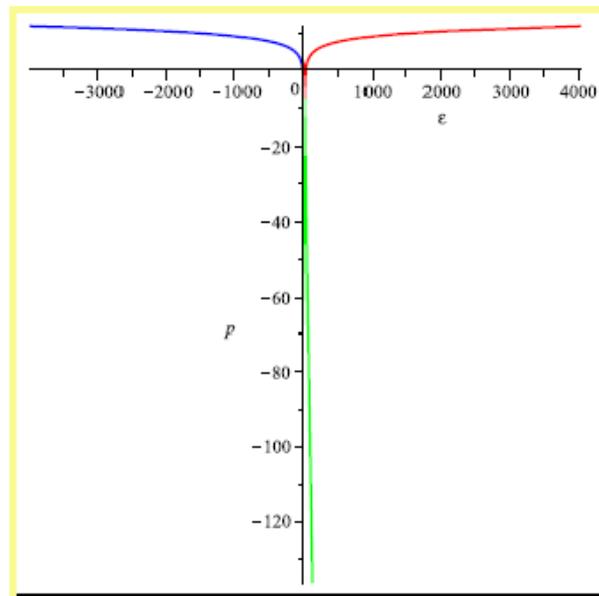


Рис. 2

Чтобы изобразить все три ветви на одном графике, необходимо было выбрать достаточно мелкий масштаб, при котором ускользают некоторые любопытные детали. Зеленая и красная ветви сливаются в одну непрерывную кривую. При выбранном значении энергии вакуума ( $\Lambda=0$ ) она не проходит через ноль, имеет точку максимального приближения к оси давлений, давление на этой ветви состояния всегда больше нуля, плотность энергии на зеленой ветви меньше нуля, а на красной – меняет знак. Синяя ветвь не доходит до нуля. Отметим также, что выделенность значения  $\alpha^2=27/4$ , полученного нами с помощью экстравариационного принципа, проявляется в том, что именно при этом значении зеленая и красная ветви уравнения состояния даблона начинают соприкасаться. Фактически, исходя из очень общих соображений, мы пришли к *трем различным возможным элементарным состояниям вещества Гиперлэнда*. Их некоторые свойства приведены в табл. 3.

Таблица 3

Элементарные состояния	Знак энергии	Знак давления	Характер самодействия	Асимптотика
Синий даблон	—	—	отталкивание	2/г
Красный даблон	+	—	отталкивание	2/г
Зеленый даблон	+	+	притяжение	2-4/г

Мы видим, что статическая вселенная Гиперлэнда достаточно просто и несимметрично структурирована: в ней есть элементарные локализованные состояния даблонной материи с различными свойствами. Если описанные выше даблонные состояния принять за элементарные составляющие статического Гиперлэнда (элементарные частицы? атомы?), то далее возникает естественный вопрос о возможности существования более сложных составных конфигураций элементарных составляющих (химии и физики конденсированного состояния, ядерной физики Гиперлэнда). Предварительный анализ показывает, что эти задачи поддаются решению с помощью одного единственного универсального функционала действия, применимого на всех уровнях организации материи в Гиперлэнде. Сделаем несколько общих замечаний.

**1. Комплексные или двойные числа?** Наличие делителей нуля в алгебре двойных чисел не является серьезным препятствием для их приложений. Более того, именно наличие делителей нуля в этой алгебре в конечном счете обуславливает релятивистский аспект физических приложений (2-мерная СТО и ее конформное расширение). Факт сведения алгебры двойных чисел к прямой сумме двух вещественных алгебр, несомненно, позволяет утверждать, что эта алгебра устроена проще, чем алгебра комплексных чисел. Тем более удивительным становится факт гиперболических аналогов большей части комплексных объектов (гиперболические дробно-линейные преобразования, гиперболические спиноры,  $h$ -голоморфные функции, гиперболические конформные преобразования, гиперболические условия Коши–Римана и гиперболическая гармоничность и т.д.) с аналогичными свойствами. Более того, сама физика Гиперлэнда неожиданным образом подтверждает мысль Р. Пенроуза о том, что комплексные и двойные числа ведут к одной цели: в Гиперлэнде имеется целая «лакуна реальности», которая не описывается действием, построенным на алгебре двойных чисел<sup>7</sup>. Можно сказать, что воображаемые жители Гиперлэнда, исследуя свой мир, могли бы прийти чисто «феноменологическим путем» к алгебре комплексных чисел, исследуя закономерности поведения вещества своей Вселенной. Полная картина возникает только при одновременном использовании алгебр  $S$  и  $H$ .

**2. Конформная теория относительности и физика Гиперлэнда.** Концепция конформной теории относительности занимает промежуточное ме-

<sup>7</sup> Она как раз связана с недостающей частью синей ветви на приведенной выше диаграмме уравнения состояния даблона.

сто между СТО и ОТО. С одной стороны, мы строим теорию поля в плоском двумерном пространстве-времени, с другой – расширяем множество изометрических преобразований до множества конформных преобразований, которые образуют бесконечномерную группу. В ОТО деформации пространства-времени в общем случае связаны с изгибанием пространственно-временной мембраны. Эти деформации приводят к кривизне, в то время как в  $h$ -голоморфном подходе деформация пространственно-временной мембраны сводится к растяжениям-сжатиям, оставляющим внутреннюю кривизну нулевой. Физически гиперболический потенциал проявляет себя в эффектах конформной деформации хроноинтервалов и пространственных длин, принципиально доступных экспериментальному наблюдению. С позиций классической специальной и общей теорий относительности эти эффекты объясняются на геометрическом языке, включающем спецрелятивистские эффекты и кривизну. Вопрос о точном соотношении теории относительности и электродинамики Максвелла с поличисловой теорией требует специального исследования. По всей видимости, поличисловая теория поля является альтернативной теорией и ни одна из известных теорий классических полей не связана с ней каким-либо предельным переходом.

**3. Экстравариационная процедура.** Новые интересные и перспективные возможности построения фундаментальных теорий открывает изложенная нами в общих чертах с одной стороны, она формально применима к любой фундаментальной теории поля. Эта процедура дает принципиальную возможность рассчитать как фундаментальные параметры теории, так и ее фундаментальные зависимости, не выходя за рамки самой теории. С другой стороны, как это показывает более тщательный анализ [36], не для всякой теории поля супервариационный принцип дает содержательные результаты. Отметим также, что в некоторых случаях экстравариационная процедура приводит к дискретным (конечным или бесконечным) семействам решений уравнений экстремума действия. Это обстоятельство обнаруживает мотивы альтернативной процедуры квантования, которые оказываются автоматически включенными в экстравариационную процедуру.

**4. «Математическое чудо».** В разделе «Красота и чудеса» книги [3] Р. Пенроуз обсуждает феномен ощущения «научного чуда»: «На направление теоретических исследований оказывают сильное влияние две мощные внутренние движущие силы, которые, однако, обычно остаются неназванными в серьезных научных трудах... Одна из них – это красота или изящество... Другую, обладающую неодолимым очарованием, часто называют “чудом”; до сих пор я лишь слегка намекал на нее, однако на основании личного опыта могу поручиться, что она действительно оказывает мощное влияние на направление исследований». В случае вселенной Гиперлэнда ощущение чуда связано с возможностью полного и исчерпывающего описания мира (пусть даже пока воображаемого) с интересными и нетривиальными свойствами, которое базируется на нескольких очень простых общих принципах.

Обобщение теории Гиперлэнда в рамках поличисловой теории поля на четыре измерения неизбежно приводит к весьма экзотической геометрии пространств Бервальда–Моора. Теперь уместно обсудить место и роль геометрии в физических теориях с более общих философских позиций.

## 6. Геометрический конвенционализм Пуанкаре и его ограничения

Очень часто мы высказываем представляющееся нам сомнительным суждение в категорической форме и даже настаиваем на его несомненности. Мы хотим посмотреть, в какой степени вызовет оно возражения у людей, – а это можно узнать только в том случае, если суждения предъявляются не как предположения, с которыми никто не считается, а как истина, непререкаемая и общеобязательная. И чем большее значение имеет для нас какое-нибудь предположение, тем тщательнее скрываем мы от других его проблематичность.

*Л. Шестов. Апофеоз беспочвенности*

Как уже отмечалось, суть принципа геометризации заключается в возможности частичного или полного отказа от языка сил и взаимодействий в рамках многообразий, оснащенных дополнительными по сравнению с евклидовой геометрией структурами: обобщенной связностью, кривизной, дополнительными измерениями, структурой расслоения и т.д. Принцип геометризации является неотъемлемой частью современных «теорий всего». При этом в процессе реализации этого принципа расширяются рамки того, что мы называем геометрией. В отличие от стандартных школьных определений, в которых геометрия рассматривается как раздел математики, изучающий свойства точек, линий, поверхностей и отношений между ними, современная геометрия изучает отношения между абстрактными объектами, которые далеко не всегда имеют какой-либо даже отдаленный прообраз в евклидовой геометрии.

Анализируя известные в свое время геометрии, их происхождение и соотношение с опытом, А. Пуанкаре в 1909 г. пришел к тезису о *конвенциональном характере геометрии в физике*. В частности, он писал: «Откуда происходят первоначальные принципы геометрии? Предписываются ли они логикой? Лобачевский, создав неевклидовы геометрии, показал, что нет. Не открываем ли мы пространства при помощи наших чувств? Тоже нет, так как то пространство, которому могут нас научить наши чувства, абсолютно отлично от пространства геометра. Проистекает ли вообще геометрия из опыта? Глубокое исследование покажет нам, что нет. Мы заключим отсюда, что эти принципы суть положения условные... и если бы мы были перенесены в другой мир (я называю его неевклидовым миром и стараюсь изобразить его), то мы остановились бы на других положениях... Если теперь мы обратимся к вопросу, является ли евклидова геометрия истинной, то найдем, что

он не имеет смысла. Это было бы все равно, что спрашивать, какая система истинна – метрическая или же система со старинными мерами, или какие координаты вернее – декартовы или же полярные. Никакая геометрия не может быть более истинна, чем другая; та или иная геометрия может быть только более удобной» [16. С. 10].

Как показывает история науки XX в., тезис Пуанкаре о конвенциональности геометрии намного опередил свое время. В его свете некоторые традиционные вопросы или проблемы теряют актуальность или обретают новые смыслы. Отметим некоторые аспекты принципа геометризации в свете идей Пуанкаре.

1. Анализ Пуанкаре проясняет роль и место геометрии в физике. Ввиду той глубокой аналогии между геометриями и системами координат, на которую указывает Пуанкаре, принцип геометризации теряет какую-либо ограничительную роль как физический принцип и становится общепринятым правилом нашего мышления об окружающем мире: мы «видим» окружающий мир сквозь «очки» наших геометрий и затем описываем его на «полотне», «сотканном» из наших геометрических понятий. При этом теряют смысл «наивные» буквальные споры об «истинной геометрии природы»: все геометрии равноправны в смысле принципиальной возможности их использования для описания любых физических явлений. Речь идет о следующей символической схеме физической теории:

$$\text{ТЕОРИЯ} = \text{ГЕОМЕТРИЯ} + \text{ФИЗИКА} = \text{ГЕОМЕТРИЯ}' + \text{ФИЗИКА}'$$

Два знака равенства здесь подразумевают, что «разложение» теории на геометрические и физические ингредиенты в общем случае неоднозначно: *один и тот же класс явлений можно описывать с помощью различных геометрий, подстраивая надлежащим образом физические законы.* Только совокупность геометрических и физических ингредиентов определяет теорию и подлежит сравнению с экспериментами. Следует заметить, однако, что разные классы явлений будут описываться по-разному в различных геометриях: в одних геометриях это описание будет проще, элегантнее и симметричнее, в других сложнее и запутаннее. Таким образом, упрощение (как один из аспектов удобства) описания за счет замены одной геометрической парадигмы другой становится путеводной нитью в развитии принципа геометризации. Вместе с тем приведенная формула открывает простор для конструирования альтернативных теорий физической реальности, основанных на нетрадиционных геометриях<sup>8</sup>.

2. Аналогично тому, как дифференциальная геометрия позволяет изучать свойства геометрических объектов, которые не зависят от системы координат, можно задаться вопросом: а существуют ли свойства физических объектов (возможно понимаемые в расширенном или абстрактном смысле),

---

<sup>8</sup> Геометрия пространств Бервальда–Моора – один из примеров таких геометрий, который уже упоминался выше.

которые бы вовсе не зависели от выбора геометрии? Для ответа на этот вопрос необходим достаточно общий подход к различным физическим теориям, в рамках которого та или иная геометрия играла бы роль системы координат, а законы и уравнения формулировались бы на некотором надгеометрическом или метагеометрическом языке, инвариантном относительно смены геометрий. В настоящее время сколько-нибудь разработанная версия такого подхода отсутствует. Мы вернемся к этой теме в параграфе 9.

Проиллюстрируем на концептуальном уровне, как работают и к каким выводам приводят надлежащим образом формализованные соображения пункта 1 и частично 2. В работе [37] была предложена концепция *центрогеометрии* – ослабленной версии геометрии, в которой расстояния изначально определяются только между некоторой выделенной точкой и всеми остальными точками многообразия. Концепция центрогеометрии любопытным образом совмещает в себе комплекс идей Пуанкаре. С одной стороны, эта концепция наглядно иллюстрирует «пластичность» метрической геометрии в ее надлежащей формулировке, с другой – описывает физическую концепцию «точечного наблюдателя», которую мы опишем ниже. В статье показано, что для такого точечного наблюдателя все метрические геометрии эквивалентны с точностью до произвольной деформации (калибровки) координатных меток. Имеется, по меньшей мере, одна ситуация, в которой конструкция центрогеометрии является адекватной и, в определенном смысле, даже необходимой. Речь идет о космологических наблюдениях и моделях, построенных на их основе. Специфика космологических наблюдений (при определенных допущениях о законах распространения света и закономерностях свечения космологических объектов) обуславливает наблюдаемость лишь продольных расстояний. Переход от «космологической центрогеометрии» к «космологической геометрии» (скажем, к моделям Фридмана–Робертсона–Уолкера) содержит множество правдоподобных но не доказанных (а возможно и принципиально недоказуемых) предположений физического и геометрического характера. В такой ситуации выводы, основанные на предположениях относительно определенной геометрии Вселенной, представляются в значительной степени условными. Возможно, что именно в космологии было бы более разумно отказаться от попыток отыскать «истинную геометрию» Вселенной и обратиться к тем ее свойствам, которые вовсе не зависят от наших геометрических представлений о ней, либо такая зависимость обнаруживается у них лишь в слабой степени.

В другой работе [38] была выявлена тесная связь между двумя комплексами идей Пуанкаре: упомянутым выше геометрическим конвенционализмом и ролью и местом в физике пространства восприятия – так называемого *перцептивного пространства*. В ОТО последнее формализуется концепцией *системы отсчета* [39]. Наше исследование освещает конвенциональный статус геометрии с другой стороны, связанной с проблемой наблюдаемых в ОТО. Всякие наблюдения проводятся в конкретной системе отсчета, и хорошо разработанные формализмы систем отсчета (монадный, тетрадный,

спинорный и т.д.) дают возможность производить вычисления наблюдаемых эффектов с любой степенью точности при условии, что *геометрия пространства-времени нам известна с такой же степенью точности*. Однако в ситуации, когда геометрия нам неизвестна или известна лишь приближенно, или же в том случае, когда мы становимся на точку зрения А. Пуанкаре и отводим геометрии роль условной конструкции, которую мы вольны выбирать в значительной степени произвольно, методы теории систем отсчета теряют свою предсказательную силу. Можно показать, что любые новые детали наблюдаемых законов движения пробных тел в гравитационных экспериментах всегда можно объяснять двояко: либо путем модификации фоновой геометрии (*геометрический способ*), либо путем модификации характеристик системы отсчета (*кинематический способ*). В истории науки можно найти примеры реализации обеих точек зрения. Пример чисто геометрического решения проблемы движения пробных гравитирующих тел представляет ОТО и вообще любая геометрическая теория гравитации. С другой стороны, теория эпициклов и дифферентов Птолемея, по существу, представляет собой пример реализации чисто кинематического решения проблемы движения на фоне евклидовой геометрии пространства и времени. Наши сегодняшние представления о Вселенной вынуждают нас занимать промежуточную точку зрения на проблему наблюдаемых движений, детали которой с течением времени уточняются. В этой картине как геометрия окружающего пространства-времени, так и кинематика системы отсчета, связанной с Землей, дают одинаково важный вклад в объяснение видимой картины движений. Отметим, однако, что в математическом отношении кинематический и геометрический способы описания движения в большинстве ситуаций эквивалентны.

Тезис Пуанкаре о конвенциональности и удобстве геометрии можно наблюдать в действии и в исторической перспективе отношений кинематики и геометрии. Действительно, смена кинематической парадигмы (т. е. переход из геоцентрической системы в гелиоцентрическую) кардинальным образом упростила описание движений планет и звезд. И совсем не случаен тот исторический факт, что только после открытий Коперника, Браге и Кеплера Ньютон сумел в простых эллиптических траекториях планет Солнечной системы усмотреть очень простой и фундаментальный закон природы – закон всемирного тяготения. Последующий анализ этого закона и его следствий привел к пересмотру геометрической парадигмы (то есть переходу от евклидовой геометрии к римановой), в результате которого все наблюдаемые возмущения кеплеровских эллипсов легко и изящно описываются свойствами геодезических метрик Шварцшильда в рамках ОТО.

Наше (в значительной части математическое) исследование проливает некоторый свет на границы конвенционализма Пуанкаре. Если бы в отношениях геометрии и кинематики господствовал абсолютный конвенционализм и выбор средств описания диктовался бы исключительно соображениями удобства, то сколько-нибудь объективная геометрическая картина мира была бы

невозможной. Оказывается, имеется, по меньшей мере, одно препятствие для такого абсолютного конвенционализма – вращение системы отсчета, которое (в случае, когда оно имеет место) оказывается наиболее жестко согласованным с фоновой геометрией. Сам факт такой согласованности не зависит от конкретного вида метрики, то есть является *метагеометрическим* и потому ограничивает конвенционализм Пуанкаре независимо от степени удобства принимаемой геометрии или системы отсчета с ее характеристиками. По существу, соотношение согласованности вращения с геометрией является единственным чисто математическим препятствием, ограничивающим обсуждаемый нами конвенционализм, которое включает в себя наблюдаемые на опыте величины. С позиций научной философии Пуанкаре именно соотношения подобного рода могут претендовать на роль «законов природы», в значительной степени свободных от конвенционального произвола.

## 7. Концепция наблюдателя

Объективность – не есть бесспорный факт окружающего мира, а лишь только определенное философское правило, компедиум стремлений рациональной европейской цивилизации, нацеленных, в конечном счете, на заточение золотой птицы под названием «истина» в клетку рациональных понятий... Преодоление объективности лишает нас «внешнего авторитета», но при этом мы вынуждены опираться на наши «внутренние авторитеты» (которые нужно еще отыскать). В этом случае наш субъективный выбор и наши решения будут свободными и ответственными. Личная ответственность и личная свобода по природе своей глубоко субъективны...

*С. Неизвестнов. Книга 365 мыслей*

Как уже упоминалось в предыдущем параграфе, глубокий и всесторонний анализ Пуанкаре, проведенный в [16], вскрывает особую роль первичного пространства наших ощущений – перцептивного пространства, связанного с органами чувств и играющего важную (а может быть и определяющую) роль в формировании понятий. В частности, анализируя наши геометрические представления и их инварианты, Пуанкаре приходит к выводу об их органической связи с восприятием и комплексами ощущений (главным образом зрительными и моторными) субъекта познания – человеческого существа. Пуанкаре одним из первых обратил внимание на тот факт, что геометрические понятия, хотя и не являются жестким следствием логического анализа наших ощущений, но существенно опираются на них. При этом эти понятия являются объектами «верхнего этажа» сознания, которые абстрагируют в себе довольно сложные и взаимозависимые комплексы первичных зрительных, моторных, тактильных, слуховых и т.д. ощущений: «Пространство представлений есть только образ геометрического пространства – образ, ви-

доизмененный некоторым родом перспективы; мы не можем представить себе предметы иначе, как подчиняя их законам этой перспективы. Мы не представляем себе, следовательно, внешних тел в геометрическом пространстве, но мы рассуждаем об этих телах, как если бы они были помещены в геометрическом пространстве» [16]. В более широком контексте, который послужил основой научной философии *эмпиризма*, роль комплексов ощущений в формировании физических понятий обсуждал Мах [40]. В 1950–1960 гг. роль восприятия в формировании представлений о мире активно изучалась рядом психологов-исследователей (Ж. Пиаже, Гибсон, Дитчборн и др.) (см. [17]).

Принимая во внимание эти соображения, мы вынуждены констатировать, что, несмотря на объективность физики и ее законов, исходным познающим началом является сам человек с его сознанием и органами чувств. Как его субъективный мир чувств, впечатлений и образов, так и объективный мир, который он «видит» с помощью конструкций сознания в рамках научного метода, в том виде, в котором они представляются нам на сегодняшний день, не существуют без человека и вне его восприятия. Здесь необходимо подчеркнуть, что эта мысль выражает вполне достоверный для каждого факт (каждый «проверяет» его экспериментально на себе ежесекундно!), а не философию солипсизма или субъективизма. В отличие от последних, этот факт является лишь исходной точкой дальнейших построений, а не его конечным результатом. Для иллюстрации этой мысли можно привести следующую аналогию. Компакт-диск, на котором записана музыка Чайковского, – это реальность. Но у этой реальности есть (как минимум) два уровня. Компакт-диск как физическое тело с прожженным рельефом дорожек в принципе доступен для физического контакта и муравью, и слону, и проигрывателю, который «прочитает» запись и передаст ее в одинокую пустоту окружающей Вселенной в виде колебаний среды, и даже молотку незадачливого ученого, который захочет таким образом разобраться с его устройством. Но для адекватного контакта со вторым уровнем необходим слушатель – человек, для которого была написана эта музыка, со своим слухом, впечатлениями и эмоциями. Этот уровень реальности имеет мало общего с уровнем физическим, но смысл компакт-диска заключается именно на этом уровне.

В свете этого можно немного поразмышлять о субъективном и объективном. Конкретные единичные наблюдения всегда субъективны в том смысле, что принадлежат конкретным наблюдателям, даже если последние пользуются специальными экспериментальными комплексами. Колебания стрелок, мелькание цифр на мониторах или накопление битов на носителях информации – это не есть наблюдение. Это – физические процессы. Должен присутствовать кто-то, кто в конце концов посмотрит, прочитает, поймет. Эту же мысль выражает Р. Пенроуз, когда пишет о так называемых R-операциях, связанных с проблемой измерений в квантовой теории: «Фактически почти всякая “стандартная” интерпретация квантовой механики

предполагает наличие “воспринимающего существа”, а значит, требует, чтобы мы знали, что это за существо!» [3. С. 852]. Цепи «искусственного интеллекта» без наблюдателя-человека также можно рассматривать как специфические физические процессы, но не как наблюдения в собственном смысле. Далее, объективность и наука появляются тогда, когда:

- 1) наблюдения в каком-то смысле воспроизводимы;
- 2) они укладываются в какую-то общую логическую схему;
- 3) эта схема отражает текущие мировоззренческие (в широком смысле) установки значительной части ученых.

Таким образом, объективность – это некоторого рода абстракция, которая надстраивается нами над единичными наблюдениями. Главный вопрос, который возникает уже на этом начальном этапе рассуждений: *какова природа самой возможности для объективности?* Или по-другому: *почему разные наблюдатели, как правило, приходят к одной и той же объективной картине?* Сама постановка вопросов свидетельствует о том, что они никоим образом не ставят под сомнение объективность законов физики. Эти вопросы лишь подчеркивают тот факт, что физика является не просто отражением какого-то абсолютно реального объективного мира, существующего независимо от кого бы то ни было. Она отражает довольно сложный комплекс единичных взаимодействий «я + мои всевозможные ощущения», отфильтрованный и рафинированный сознанием, в математические формы «законов» и всевозможных «физических смыслов». Возвращаясь к использованной ранее аналогии, можно сказать, что объективный мир – это компакт-диск с записью музыки Чайковского без слушателя. Разумеется, он (компакт-диск) существует вне зависимости от того, слушают его или нет. Наблюдающий за явлениями окружающего мира человек (не обязательно физик) – это слушающий музыку с компакт-диска, но не знающий о его существовании ничего. А тот, кто пытается по этой музыке догадаться о том, что существует компакт-диск с прожженными дорожками, подчиняющимися математическим закономерностям и коррелирующими с музыкальными тактами, – это и есть физик. Таким образом, компакт-диск (то есть объективная Вселенная) является нам не в своем «настоящем» виде, а в виде образов, впечатлений, ощущений и т.д., и эта опосредованность – фундаментальный факт нашего бытия.

На самом деле, даже беглого взгляда на классические разделы физики (механика, термодинамика; электродинамика, теория гравитации и статфизика с небольшими оговорками) достаточно, чтобы увидеть их «антропоморфный» характер. Радиус-вектор отражает концепцию одиночного наблюдателя, понятия о движении, силе, температуре возникают как абстракции визуальных, моторных и сенсорных ощущений человека. Всевозможные законы сохранения отражают «антропоморфность» более высокого порядка, связанную с нашим мышлением в терминах инвариантов. Геометрические представления возникают как глубокие абстракции всего комплекса ощущений, связанных с физическими объектами самой различной природы. Так, по

мысли Пуанкаре, евклидова геометрия «привязана» к твердым телам, проективная геометрия – к световым лучам, риманова – к деформируемым сплошным средам и т.д. Здесь теория относительности и квантовая теория сознательно не отнесены к «антропоморфным». Одна из причин связана с тем, что обе эти теории в значительной степени расходятся с повседневными опытом, интуицией и иногда здравым смыслом<sup>9</sup>. В свете всего вышесказанного посмотрим на эти теории «с другого конца». И квантовая теория, и теория относительности относятся к числу фундаментальных физических теорий. При этом принято считать, что менее фундаментальные классические теории, которые выше были отнесены мною к числу «антропоморфных», должны выводиться и быть предельными случаями фундаментальных. Теперь еще раз обратимся к нашей аналогии. Если Вселенная – это компакт-диск с музыкой Чайковского, то совершенно ясно, что компакт сделан для музыки, а не музыка для компакта. Другими словами, более фундаментальный или даже объективный физический уровень компакт-диска служит для передачи второго уровня. И это можно (а скорее всего просто необходимо) использовать для адекватного понимания этого фундаментального уровня. Возвращаясь в область физики, можно сформулировать теперь «принцип редукционизма наоборот»: *структура и природа теории относительности, квантовой теории и той реальности, которая стоит за ними, таковы, чтобы на макроуровне, в котором живет и действует человек, воспроизводились все те классические разделы физики со своими привычными логикой и здравым смыслом, с которыми он повседневно имеет дело.*

Необходимость формализации перцептивной составляющей научного исследования, понимаемой в достаточно общем смысле, постепенно осознается физиками: концепция «наблюдателя» возникает в широком контексте проблем ОТО и квантовой теории. В первом случае используется уже упоминавшийся выше формализм теории систем отсчета, во втором – формализм матрицы плотности [41]. Остановимся здесь на двух конкретных версиях, математически по-разному описывающих концепцию наблюдателя. Первая тесно связана с описанной в предыдущем пункте центрогеометрией и концепцией *точечного наблюдателя* [37]. На языке обычной геометрии такой наблюдатель характеризуется тем, что его размеры (или размеры его лаборатории с измерительным оборудованием) много меньше тех расстояний, которые он измеряет. Если точечный наблюдатель обладает устройством, испускающим физические сигналы (не обязательно световые), способные отражаться от предметов и возвращаться обратно, и часами, то, вводя локально произвольную систему «углов», для различения направлений, он может построить центрометрику, связанную с системой тел, которые его окружают. При этом его измерения будут сводиться к измерению промежутков времени и опираться на некоторые предварительные гипотезы о законах распространения сигналов, которые испускает его устройство (в духе хроно-

---

<sup>9</sup> Автор сознает условность этих понятий, но надеется, что будет понят правильно; ему пока не доводилось встречать людей с врожденной квантовой или релятивистской логикой.

геометрии Синга). Ввиду независимости «продольной» шкалы длин (расстояний центрометрики) и «поперечной» шкалы углов, которая, как было сказано выше, выбирается произвольно и, вообще говоря, независимо от испускающего сигналы устройства, система «углов» как меток для направлений допускает произвольные деформации, которые не будут изменять центрометрики. При этом деформационная эквивалентность различных центрометров отражает возможность наблюдателя изменять гипотезы о законах распространения сигналов. Так, если физическая среда, разделяющая наблюдателя и предметы, обладает анизотропией, наблюдатель с необходимостью придет к анизотропной центрогеометрии, метрические сферы которой отличаются от евклидовых сфер. Принимая во внимание пространственную дисперсию скорости сигнала, наблюдатель придет затем к деформированной центрометрике, которая может оказаться близкой к евклидовой. По всей видимости, без привлечения каких-либо дополнительных соображений фундаментального характера, невозможно ни разделить закономерности распространения сигналов от геометрии, ни ввести понятие обычной двухточечной метрики, которая позволяла бы, скажем, вычислять расстояния между двумя отдаленными от наблюдателя телами.

Другая, более основательная разработка концепции наблюдателя, обобщающая концепцию системы отсчета в ОТО, была предпринята в первой части работы [42]. Каждому наблюдателю здесь сопоставляется отображение (оно называется *отображением Ньютона*) из объективного мира (компакт-диска) в пространство восприятия (музыка Чайковского), имеющего топологическую структуру прямого произведения вещественной прямой на вещественное 3-мерное пространство (субъективные время и пространство), в которых изначально не предполагается никакой геометрии (т.е. метрики). Это отображение сюръективно, то есть у всякого элемента восприятия есть прообраз в объективном мире. На множестве отображений Ньютона действует группа преобразований, которая преобразует их пространства восприятия друг в друга. Эта группа является абстрактным аналогом преобразований Галилея, вращений, преобразований Лоренца или еще каких-нибудь будущих преобразований, связывающих допустимые системы отсчета. (Преобразования, выходящие за пределы этой группы будут формально описывать какую-то аномалию восприятия.) Далее над пространством восприятия строятся более абстрактные пространства, полученные его различными теоретико-множественными деформациями и расширениями. Это – аналог пространств, в которых мы формулируем физические законы (геометрические, конфигурационные, фазовые, всевозможные расслоения и т.д.). Можно рассмотреть теперь отображение объектов из перцептивного пространства в эти абстрактные и рассмотреть представление группы преобразований наблюдателей в них же. Если у некоторого класса объектов в этих абстрактных пространствах существует свойство, инвариантное относительно представления некоторой подгруппы группы преобразования наблюдателей, то мы имеем дело с некоторым *физическим законом* (Р-структурой). Далее акцент пере-

носится на строение группы инвариантности свойства. Если группа имеет инвариантную подгруппу, то из этой группы можно вывести геометрию с вполне конкретной метрикой, инвариантной относительно этой группы. Таким образом, мы приходим к *P-геометрии* (*P* – значит physical – «физический»). В статье в качестве примера выводится класс хроногеометрий (то есть метрик на оси времени, согласованных с нашими самыми общими наблюдениями физических процессов в пространстве). Для надлежащей общности пришлось сформулировать специальную алгебру свойств и использовать язык теории категорий, что в общем, по-видимому, затруднило восприятие статьи физиками (и, в частности, рецензентами). Вторая часть обсуждаемой статьи содержала некоторые результаты экспериментальных исследований некоторых количественных характеристик визуального перцептивного пространства (различных aberrаций восприятия). Философское резюме полученных результатов можно свести к следующим тезисам.

1. Концепция наблюдателя необходима для построения физической картины мира уже на уровне классической физики: она относится к числу основных положений излагаемого подхода. Без наблюдателя (его отображения Ньютона) мировое и перцептивное многообразия остаются абсолютно обособленными. Другими словами, наблюдатель встроен в окружающий мир так, что он является не только (и не столько!) пассивным зрителем, сколько активным участником формирования и действия физических законов. Интересную параллель этого результата можно найти в обсуждении Р. Пенроузом квантовой декогеренции: «Другими словами, поведение вроде бы объективного мира, которое реально воспринимается, зависит от того, как чье-то сознание прокладывает себе путь через мириады альтернатив, образуя квантовую суперпозицию» [3. С. 853].

2. Несмотря на это обстоятельство и несмотря на то что геометрия перцептивного пространства, по всей видимости, должна играть свою роль на любом этапе наших физических исследований, законы природы удастся сформулировать так, как будто бы никакой вездесущей геометрии-посредника не существует вовсе. Например, при выводе метрики хроногеометрии мы использовали на промежуточном этапе рассуждений лишь факт существования некоторой перцептивной геометрии, но ее конкретные свойства оказались совершенно несущественными для вывода результирующей формулы для хронометрики. По всей видимости, такая ситуация типична для всех законов классической физики XIX в., в которой роль наблюдателя замаскирована понятиями абсолютного пространства, времени и ряда других. Определенного рода зависимость физических законов от наблюдателя начинает проявляться в СТО и ОТО – роль наблюдателя в этих теориях играет система отсчета<sup>10</sup>.

---

<sup>10</sup> Концепция системы отсчета СТО и ОТО является частным случаем формализма отображения Ньютона. В СТО и ОТО мы имеем в качестве мирового многообразия касательное (или тензорное) расслоение риманова многообразия, в качестве «наблюдателя» – расслоение ортонормированных реперов (тетрад) над этим многообразием, в качестве отображения

3. В предпринятом исследовании был затронут лишь пространственно-временной аспект перцептивного пространства. Последнее, если иметь в виду полный комплекс ощущений, гораздо шире и включает в себя слуховое, тактильное, моторное, вкусовое, обонятельное, тепловое и ряд других подпространств, которые к тому же связаны друг с другом сложными и, вообще говоря, нефункциональными зависимостями. Здесь можно выразить надежду на то, что совместное изучение перцептивного пространства методами математики, физики и традиционных наук о человеке могло бы послужить надежной базой для построения единого языка описания различных явлений окружающего мира и человека – как его, во многих отношениях, уникального представителя.

## 8. Физика как искусство

Привычка к логическому мышлению убивает фантазию. Человек убеждается, что есть только один путь к истине через логику, и свернуть с него – значит идти наверняка к нелепости. Вне логики все – заблуждение, которое становится тем более роковым, чем ближе мы подходим к последним вопросам бытия. Здесь ариаднин клубок логики уже давно весь размотался, но нить крепко держит человека, не пуская его вперед. Он начинает топтаться на одном месте, нимало не подозревая, что попал в такое глупое положение благодаря принятым им излишним мерам предосторожности. Он боялся заблудиться! Но тогда лучший способ – оставаться дома. Раз вышел в путь, хочешь быть Тезеем и убить Минотавра, нужно перестать слишком дорожить безопасностью и быть готовым никогда не выйти из лабиринта...

*Л. Шестов. Апофеоз беспочвенности*

Существует два очень разных взгляда на науку вообще и физику в частности. Согласно первому, наука – это средство рационального систематизирования фактов окружающего мира. Конечная цель научного знания здесь вполне прагматична: необходимо построить наиболее универсальный и лаконичный каталог законов, обращаясь к которому можно было бы решить любую практически значимую задачу. Вторая точка зрения характеризуется более расплывчато: согласно ей наука представляет собой средство *понимания* окружающего мира. Предположим, что сторонникам первой точки зрения удалось каким-то чудом угадать универсальную формулу Вселенной, которая работала бы всякий раз при решении конкретной задачи, но оставалась бы при этом совершенно необъясненной. Разница между двумя упомя-

---

Ньютона – проектирование физических или геометрических тензоров (объектов тензорного расслоения над данным многообразием) на тетрадные векторы и дуальные им 1-формы.

нутыми точками зрения на науку проявилась бы наиболее рельефно именно по отношению к этой универсальной формуле: согласно первой цель науки достигнута, согласно второй – не сделано ничего. В качестве примера приведем мнение Р. Пенроуза о статусе ОТО и квантовой теории в современной физике: «На этом фоне выделяется общая теория относительности Эйнштейна, которая представляет, на мой взгляд, высшее достижение этого [двадцатого] века. Большинство физиков таковым, по-видимому, считают квантовую физику (и квантовую теорию поля). Я не могу разделить это мнение. Хотя квантовая теория, несомненно, объяснила несравненно больше, чем общая теория относительности, и в гораздо более широком классе явлений, я считаю, что эта теория пока не достигла той степени согласованности, которая необходима для *настоящей* теории» [3. С. 838]. Первая точка зрения тяготеет к прагматизму, позитивизму и английскому стилю науки, о котором писал П. Дюгем [43], вторая – к платонизму и европейскому стилю, хотя эти ассоциации и не исчерпывают в полноте все их особенности. В дальнейшем для определенности мы будем называть первую точку зрения *научным прагматизмом*, а вторую *научным платонизмом*. История научного платонизма в натурфилософии существенно древнее – она восходит к грекам, в то время как научный прагматизм – продукт Нового времени. Обе точки зрения отражают историю развития науки и научной методологии, обе по-разному освещают цель, смысл и мотивацию научных исследований, и, разумеется, обе имеют право на существование. Сегодня в условиях сильной интеграции мирового научного сообщества эти точки зрения относительно мирно сосуществуют, иногда замысловатым образом уживаясь даже в мировоззрении одного и того же ученого. Вот как об этой проблеме пишет Р. Пенроуз: «Современная наука должна проявлять осторожность в попытках ответить на вопросы “почему?” и “что?”. Тем не менее на эти вопросы часто даются ответы...» [3. С. 850].

И все же в целом эти направления характеризуются очень разными типами ученых, которые их представляют. Характерными сильными сторонами научного прагматизма являются склонность к *детальному анализу*, *критический взгляд на результаты научных исследований* и *экспериментальная доминанта*. Эти характеристики можно рассматривать как своеобразный «интеллектуальный иммунитет», который наука приобрела в процессе решения научных и научно-философских проблем, начиная с эпохи Реформации до нашего времени. Характерными сторонами научного платонизма являются склонность к *синтезу* и *концептуальным обобщениям*, *выраженная метафизическая составляющая исследований* и *смысловая доминанта*. Если рассматривать науку как самостоятельный организм, который зарождается и развивается в ноосфере, то научный платонизм представляет собой творческий принцип этого организма, а научный прагматизм – его ограничивающий принцип. Рост и развитие науки происходят при постоянном взаимодействии и определенном равновесии этих принципов. Нарушение равновесия приводит к известным крайностям, которые, увы, встречаются даже в

науке. Несколько другими словами ту же мысль подчеркивает Р. Пенроуз: «Я рассматриваю эстетическую мотивацию как существенную часть развития любых важных новых идей в теоретической науке. Но без ограничений со стороны эксперимента и наблюдений такая мотивация порой уводит теорию далеко от физической реальности» [3. С. 841].

Возвращаясь к фундаментальной физике, следует отметить, что само ее положение и ее задачи изначально предопределяют ее уклон в сторону научного платонизма<sup>11</sup>. И именно здесь в наивысшей степени проявляется аспект физики как искусства, вынесенный в название этого раздела. Прежде всего, физика вместе с математикой представляют собой *язык Природы* – живой и постоянно развивающийся. Он рождается в процессе своеобразного внутреннего диалога исследователя с той проблемой, которую он решает. Этот диалог, протекающий между логосами мира и логосом человека где-то глубоко внутри творческой лаборатории духа, трудно вербализуем, а его общий ход и темп в значительной степени субъективны и слабо прогнозируемы. Объективации вовне в виде выступления на научном семинаре или научной статьи подлечит лишь некоторый итог этого диалога. Если проблема относится к числу частных прикладных задач, то объективация диалога возможна в терминах других, уже известных объективаций, которые были рождены ранее в диалогах других исследователей. Если же проблема относится к разряду фундаментальных, то известных объективаций для ее решения может оказаться недостаточно и в этом случае происходит нечто большее: *рождение новых понятий*.

За каждым новым «законнорожденным» понятием стоит некоторая новая реальность, новое измерение бытия, которые оставались скрытыми от познающего разума, поскольку он просто до сих пор «не умел смотреть в их сторону». Новое понятие всегда рождается раньше его *определения*, которое необходимо нам для выражения нового понятия в терминах привычных старых. Именно здесь – в процессе рождения новых понятий и их использования до (или даже без) формулировки четких определений – физика проявляет себя как очень специфическое искусство. Математика, как правило, может работать только с четкими определениями, физика зачастую может обходиться без них. Более того, как правило, *она вынуждена и даже должна* обходиться без них. Это утверждение звучит несколько парадоксально, но парадокс рассеивается при обращении к практике научной мысли. С одной стороны, философское осмысление достижений физики в той или иной степени приводит нас к тезисам о принципиальной неполноте научного познания, об условности разделения объекта и субъекта и принципиальной разни-

<sup>11</sup> Здесь имеет смысл оговорить, что под «фундаментальной физикой» автор понимает совокупность физических теорий, работающих на уровне «теорий всего» или близких к этому уровню. Иногда исследования по наноматериалам и астрофизике также относят к области фундаментальной физики. По мнению автора, эти разделы было бы более правильно относить к «прикладной фундаментальной физике», поскольку они опираются на существующие фундаментальные теории.

це между физической моделью и физическим явлением и т.д. В совокупности эти тезисы могли бы послужить основой для современного гносеологического пессимизма, если бы актуальная физика не преодолевала их на практике: она «работает» и даже развивается, несмотря на то что «гносеологические ловушки» подстерегают ее на каждом шагу. И дело здесь в преимущественно *символическом смысле физической терминологии и математических формул*, которые выявляются при научно-платонистском подходе к физической теории. Прагматизм и позитивизм по своей природе стремятся к идеалу, свободному от всякого символизма, в котором остается лишь сухой рациональный остаток – научная схема. При этом, однако, в своем стремлении к предельной ясности прагматизм и позитивизм неизбежно наталкивается на стену расселовских парадоксов и геделевских теорем о неполноте. Можно сказать, что это – плата позитивистов за свою «неумеренность желаний». На самом деле, любое понятие в физике (а возможно и в математике) имеет определенный *предел четкости* своего определения – это и есть одна из самых существенных сторон их символизма. *Понятия и язык должны быть в определенной степени нечеткими для того, чтобы они нормально работали.* Разумеется, для науки (и физики в частности) эта нечеткость существенно меньше, чем для повседневных бытовых понятий. В своей реальной работе физики оперируют именно с символами, а не со схемами. И символы, и схемы конечны по форме, но символы, в отличие от схем, позволяют вмещать в свою конечную форму бесконечное содержание. Говоря образно, символы – «живые», а схемы – «мертвые». Реальный язык науки символичен, и именно это его свойство позволяет нам преодолевать гносеологические «провалы» и даже целые «пропасти», зачастую замечая их и говоря о них уже *post factum*. Доказательством тому, что трудности преодолимы, является сам факт существования науки как исторического феномена!

Осознание символической составляющей научного языка позволяет по-новому взглянуть на метафизическую идею *абсолютного знания*, которое традиционно позиционируется как научно недостижимое. Если соотнести идею абсолютного знания с идеей «теории всего», которая свободна от схем и в которой символы «дышат свободно», то пропасть бесконечности, отделяющая относительное знание науки в ее сегодняшнем состоянии и идеал абсолютного знания, может быть, в принципе преодолима. Пользуясь достаточно «просторными» символами, мы можем говорить что-то и об «абсолютном знании». Но правильные «просторные» символы найти совсем не просто. Они, кстати, должны отражать в себе и границы науки. Трудно даже представить себе такую «самоограничивающуюся свободу» понятий!

Подводя некоторый итог, мы можем сказать, что *для формулировки и понимания законов актуально бесконечного (во множестве смыслов) мира мы неформально используем в науке символический язык, позволяющий как-то выразить эту актуальную бесконечность!* Здесь возникает еще один аспект языка науки, связанный с проблемой *понимания*, которая как пробле-

ма возникает лишь в контексте рефлексии научного платонизма. «Понять – это значит запомнить», – скажет старательный ученик. «Понять – это значит уметь применить», – скажет опытный учитель. «Понять – это значит рассказать другому», – скажет психолог. «Понять – это значит простить», – скажет священник. «Понять – это значит вспомнить», – скажет Платон. «Понять – это значит осознать смысл», – скажет современный философ. Все они правы, но вряд ли эти утверждения можно принять за определения понимания. А можно ли вообще определить понимание? Попытки сделать это всегда выглядят как-то неубедительно, и чем основательнее попытки, тем более неубедительно они выглядят. Есть простой факт: иногда происходит чудо, которое люди привыкли называть пониманием. Есть ощущение понимания и разные его градации. Пожалуй, лучше всего это ощущение описывали древние, когда говорили что понимание – это особый род соединения ума с идеей предмета, который ум пытается понять. Логос человека соединяется с логосом вещи или логосом другого человека и появляется понимание как результат этого соединения. Непонимание – это фобия логосов, непонимание – частичное их соединение, а процесс познания в целом – это разновидность общения с окружающим миром.

Замечательно, что окружающий мир в процессе этого общения обнаруживает свойство *полилингвизма*: *он всегда отвечает нам на том языке, на котором мы задаем ему вопрос*. Это обстоятельство важно как для установления междисциплинарных связей (изобразительное искусство, поэзия, наука, философия представляют различные неизоморфные языки общения с окружающим миром), так и для понимания связей различных направлений внутри теоретической физики. Действительно, альтернативные фундаментальные теории природы представляют собой пример различных способов физико-математического прочтения окружающего мира. При этом в разных теориях может использоваться разный алфавит, из которого по различным правилам складываются различные смысловые единицы физической реальности. Поэтому даже наборы ключевых экспериментов, на которых базируются альтернативные теории реальности, могут оказаться различными: эксперименты, которые выявляют некоторые простые ключевые закономерности, выражаемые на языке одной теории, могут иметь очень замысловатое истолкование на языке другой теории, включающее сложный комплекс взаимодействующих простых факторов и механизмов, естественным путем возникающих в рамках этой теории. Это обстоятельство лишний раз подчеркивает контекстную теоретическую обусловленность физических экспериментов, о которой писал П. Фейерабенд [44] и которую отмечает Р. Пенроуз: «Я считаю, что к заявлениям такого рода [о новой фазе инфляции, возникающей в космологических моделях с «квинтэссенцией»] следует относиться с исключительной осторожностью, даже если они вроде бы подтверждаются добротными экспериментами, поскольку последние зачастую анализируются с точки зрения модной теории» [3. С. 847].

Язык науки в контексте когнитивного полилингвизма имеет любопытные параллели с повседневным разговорным языком. У всех индоевропейских языков имеются подобные части речи. Поскольку языки появились раньше науки, а наука в современном ее понимании возникла в просвещенной Европе, можно ожидать, что категории науки нашли свое отражение в общих категориях языка – ведь язык науки базируется на последних. Для физики выстраивается следующая система соответствий (табл. 4):

Таблица 4

Существительные	Материя
Глаголы и глагольные формы	Время
Прилагательные и наречия	Пространство и Число
Предлоги	Взаимодействие
Местоимения	Системы отсчета

Эту таблицу можно читать как слева направо (тогда мы выражаем тот факт, что конструкции языка предопределяют возможности познания – когнитивная лингвистика), так и справа налево (тогда мы фактически принимаем естественную теорию языка). Если принять эту систему соответствий всерьез, то можно задать несколько интересных вопросов, связанных с морфизмами различных языков.

1. Каков естественный язык для описания философско-религиозной категории «вечности»? В вечности нет времени (следовательно, возможно, что и другие категории видоизменяются), значит, как минимум, в «языке вечности» нет глаголов. Если также принять, что в вечности реализуется идея всеединства, то в языке вечности отсутствуют как таковые и местоимения. Во всяком случае, такой язык будет звучать для нас очень непривычно...

2. Как выглядела бы наука, если бы она зародилась внутри культуры, лежащей вне индоевропейских языков (например в Китае)? В этих языках отсутствуют некоторые части речи индоевропейских языков, но зато присутствуют другие языковые категории. Можно ожидать, что соответствующие им общенаучные категории там были бы принципиально другими. Интересные результаты социопсихологических исследований, частично освещающие этот вопрос, приведены в книге Нейсбита [45].

3. Почему психологические науки плохо поддаются формализации? В частности, почему психология столь плохо математизируется? Несмотря на то что имеется целое направление, называемое математической психологией и ряд интересных полученных результатов [46], успехи математики там весьма скромны, а ее возможности остаются ограниченными. По всей видимости, дело здесь, по существу, в пограничности ситуации: внутренний мир человека, который и является главным предметом исследования в психологии, существует где-то на границе между мирами детерминизма и свободы. Проблема здесь в том, что *мир свободы традиционно изучается в рамках категорий мышления, уже изначально приспособленного к исследованию мира детерминизма*. Большинство современных научных психологом сво-

боды имеют дело с обусловленной свободой, субстратом которой, как считается, являются какие-то иные более фундаментальные потенции личности. При этом роль и место свободы в иерархии личности неизбежно становятся либо вторичными, либо случайными, либо обусловленными социально-экономической средой и коллективными моделями поведения. Разумеется, при этом возникает иллюзия возможности определения личности и эта иллюзия разрешается в десятках ее «определений», которые, по сути, остаются онтологически беспомощными. Если принять тезис о том, что личность принципиально неопределима, то нам потребуется новый язык для определений в этой области – язык *метафизики невозможного*. Это – отдельная тема, выходящая за рамки настоящей статьи. Отметим лишь, что определение личности в категориях метафизики невозможного, переведенное на привычный язык метафизики возможного, может выглядеть очень странным или даже противоречивым (логическое противоречие – это норма метафизики невозможного). Одна из формул, отражающая некоторые важные характеристики личности, могла бы выглядеть так:  $A > A$ .

Процесс научного исследования по природе своей является творческим. Другими словами, Эрос (творческое и чувственное начало вещей) и Логос (разумное начало вещей) сосуществуют где-то рядом. Эрос без Логоса – слеп, Логос без Эроса – холоден и безжизнен. Элеаты и платоники считали, что чувства обманывают, а истина лежит в невещественном мире идей, который постигается логикой и интеллектом. Но сегодня мы знаем, что логика, интеллект и идеи – лишь инструменты познания, истина, доступная человеку посредством познания, – это скорее процесс, а не сущность, а первичная материя познания все равно дается в непосредственном ощущении реальности или даже в непосредственном ощущении того, что стоит за нею. Поэт, художник, музыкант, ученый – все говорят об одном и том же, но на разных языках, общаясь с разными сторонами мирового Логоса. Но отнимите у них Эрос, – и стихи поэта превратятся в рифмованный протокол бытия, картины художника станут ручными фотографиями, из музыки исчезнет огонь, а из научной теории – ее смысл, красота и безумие...

## 9. Контуры метафизики «общих точек»

По мере углубления в фундамент физического поведения мы все больше убеждаемся, что это поведение весьма тонко управляется математикой. Более того, математика, как оказывается, имеет характер не просто непосредственных вычислений, – это есть нечто глубинное, со своими тонкостями и красотами, отсутствующими у математики, применяемой на менее фундаментальном уровне физики. В соответствии с этим движение к более глубокому физическому пониманию, если оно не может во всех деталях руководствоваться данными эксперимента, должно, по возможности, прочно опираться на спо-

способность оценивать физическое соответствие и глубину математики и отбирать подходящие идеи на основе эстетических соображений.

Р. Пенроуз [3. С. 849]

Есть интересная аналогия между математическими работами А. Пуанкаре по топологии и метафизикой «общих точек», которая поможет нам лучше сформулировать суть проблемы. Как известно, Пуанкаре является основателем топологии – науки о наиболее общих свойствах геометрических объектов, не изменяющихся при их непрерывных деформациях, которые в топологии называются гомеоморфизмами. С точки зрения топологии все конкретные метрические характеристики объектов (например, их размеры, форма, кривизна) имеют второстепенное значение, поскольку они не сохраняются при гомеоморфизмах. С другой стороны, такие свойства, как топологическая связность, ориентируемость, стягиваемость в точку, с позиций топологии являются существенными. Одна из основных задач топологии – отыскать топологически инвариантные характеристики геометрических объектов, которые в совокупности характеризовали бы их самые существенные и фундаментальные свойства. На протяжении XX–XXI вв. топологические идеи неоднократно находили свои приложения в самых разных разделах физики: механике, физике жидких кристаллов, физике твердого тела, ОТО, квантовой теории поля, теории суперструн и т.д. Для нас сейчас важно отметить, что топология выводит уровень физико-математических исследований на новый уровень абстракции, с позиций которого детали, которые ранее представлялись существенными, часто лишь затемняли суть дела. При этом новый уровень понимания проблемы, который обеспечивают топологические методы, часто приводит к прорыву в понимании единства проблем, считавшихся ранее независимыми.

Если принять всерьез физико-математический полилингвизм природы, который мы обсуждали в предыдущем разделе, то правомерен следующий вопрос: *существуют ли утверждения о природе, суть которых сохранялась бы при смене одного допустимого языка природы на другой, т.е. при смене одной теории реальности другой, ей альтернативной?* Образно говоря, такие утверждения (в случае если они существуют) являлись бы аналогами топологических характеристик, если в качестве аналогов геометрических объектов рассматриваются физические теории. Положительный ответ на вопрос о существовании метагеометрических утверждений (мы обсуждали его в параграфе 6) вселяет некоторую надежду на положительный ответ и на поставленный выше более общий вопрос. Для его надлежащего математического исследования необходимо построить «теорию теорий», то есть теорию, объектами изучения которой являются различные физические теории. Такую теорию было бы естественно называть *мета-физикой*<sup>12</sup>, по аналогии с

---

<sup>12</sup> Мета-физика – далее дефис подчеркивает узкий смысл этого слова в данном контексте («теория теорий»).

*метаматематикой* – общей теорией различных математических структур и отношений между ними. Мета-физика в этом узком смысле – это конкретная математическая (а не философская) теория, в которой формализованы понятия физической теории, отношения обобщения и альтернативы между теориями и вообще морфизма теорий, концепция наблюдателя, отношения «модель-реальность», свойство верифицируемости и эксперимента и т.д. По всей видимости, адекватным средством для этой цели является язык теории категорий, топосов и функторов, которым пользуется метаматематика (см. [47]). Отметим, что попытки категориальной формулировки ОТО и квантовой теории уже предпринимались<sup>13</sup> в [48; 49]. Цель мета-физики – не столько сформулировать на новом необычном языке ту или иную известную теорию, сколько предложить универсальный язык для определения общей структуры любой теории и ее отношения с другими теориями, сформулированными на этом же универсальном языке.

Самый первый вопрос, который возникает на этом пути, очень простой: а возможна ли вообще подобная «теория теорий»? Положительный ответ на этот вопрос очень вероятен по следующим соображениям:

1. Разрозненные элементы мета-физических исследований (хотя и не в столь общей формулировке) уже неоднократно предпринимались [36; 38; 51].

2. На протяжении периода активной разработки единых теорий (XIX–XXI вв.) накоплен значительный «эмпирический материал» для мета-физики: мы имеем множество различных теорий, построенных на основе разных принципов, и множество вариантов их отношений между собой и с экспериментом.

3. При таком обилии теорий (большая часть их живет в прошлом, но это вовсе не означает, что физики больше никогда к ним не вернуться) необходим обстоятельный и объективный путеводитель. Факт существования такого путеводителя для частного класса теорий – теорий гравитации (см. [53]) наводит на мысль о возможности его расширения на основе более общих принципов классификации, построенных с помощью мета-физики.

4. У всех физических теорий, которые когда-либо строились, есть, по меньшей мере, два общих свойства: они (I) создавались человеком (II) для описания природных явлений. Эти обстоятельства наводят на мысль, что, несмотря на кардинальную разницу теорий на «верхнем этаже» принципов, законов и формул, у них есть нечто фундаментально общее, что в конечном счете связано с тезисами I и II. Мета-физика – это и есть средство выявления общего на фоне множества различий.

Приведем здесь также (весьма неполный) перечень тех принципиальных вопросов, для количественного и математически строгого решения которых может быть использована мета-физика:

<sup>13</sup> С другой стороны, цитированные ранее работы [36, 38] по существу проводились в рамках мета-физической программы (в узком смысле) без использования аппарата теории категорий.

1. Что такое физическая теория?
2. Какие бывают общие типы теорий?
3. Что такое физический эксперимент?
4. Что такое физический объект и физическая система?
5. Что такое физические законы и физические принципы?
6. По каким формальным признакам среди множества физических объектов выделяется наблюдатель?
7. Что такое единичный акт наблюдения?
8. Что такое наблюдаемые величины?
9. Какие отношения между различными физическими теориями возможны в принципе?
10. Каковы общие правила построения новых типов теорий?
11. Как описывается множество различных физических теорий, имеющих одинаковую экспериментальную базу?
12. Могут ли у одной и той же физической теории быть разные комплексы верифицирующих экспериментов?
13. Каковы общие признаки «теорий всего»?
14. Как характеризуются теории с некоторым фиксированным одинаковым набором свойств?
15. Что такое квантование с мета-физической точки зрения?
16. Что такое пространство и время?
17. Какова роль геометрии в мета-физических построениях?
18. Каков перечень метагеометрических инвариантов в мета-физике?
19. Существуют ли общие мета-физические инварианты физических теорий и, если да, то при каких условиях?
20. Можно ли в рамках мета-физики формализовать различные онтологии физических теорий?

Положительный ответ на последний вопрос означал бы, что метафизика способна перевести различные метафизические концепции (т.е. чисто философские построения), которые лежат где-то глубоко в основании различных физических теорий, в плоскость математических рассуждений. Другими словами, есть основания полагать, что метафизика в своем сколько-нибудь завершённом варианте позволит различать материалистическую, позитивистскую и, скажем, платонистскую онтологию на достаточно абстрактном математическом языке. При этом споры между физиками, философами и методологами различных направлений вышли бы на качественно новый уровень проблематики, который даже не виден сегодня из-за обилия деталей, значительная часть которых второстепенна или исторически случайна, а граница между физикой и метафизикой приобрела бы более четкие очертания.

## 10. О границах физики

Я не знаю, что скорей заставит человека идти вперед без оглядки – сознание, что за спиной осталась голова Медузы со страшными змеями и опасность обратиться в камень, или уверенность, что за ним та прочность и неизменность, которая обеспечивается законом причинности и современной наукой.

*Л. Шестов. Апофеоз беспочвенности*

Вопрос о границах традиционно относится к числу вопросов метафизических. По иронии судьбы, сами ученые, непосредственно занимающиеся исследованиями в той или иной области физики, обращаются к этому вопросу нечасто. Обычно право рассуждать о том, существуют ли границы и что за ними, оставляют за философами или дилетантами в науке. В первом случае часто (хотя, конечно, не всегда) философская проблематика затеняет физическую и физика остается лишь поводом к разговору о внутренних проблемах самой философии. Во втором случае в его лучшей реализации мы сталкиваемся с разновидностью научной фантастики, что само по себе неплохо, но для профессионального физика несколько легковесно и поверхностно. Между тем у каждого профессионального физика есть свое профессиональное мировоззрение, которое помогает ему «видеть» одни задачи и «не обращать внимания» на другие, ориентироваться в области неизвестных или малоизученных явлений, интерпретировать уравнения и эксперименты и преломлять свои знания в практическую плоскость. По существу, речь идет о некоей «рабочей метафизике». Замечательно, что эта метафизика хотя и подпитывается научной деятельностью ученого, но целиком не определяется ею. Свидетельством тому является ее сугубая индивидуальность. Даже в рамках одной научной группы можно встретить носителей, на первый взгляд, взаимоисключающих рабочих метафизик – например, с материалистической и религиозной окраской. Все это говорит о том, что физики не настолько далеки от метафизики, как это обычно принято считать. И каждый профессиональный физик, немного подумав, может дать какие-то свои ответы на метафизические вопросы.

Интересно, что в зависимости от «рабочей метафизики» находится даже смысл слова «граница» и констатация самой проблемы. Действительно, опираясь на широко распространенные в научной среде мнения, можно обозначить некоторые направления отношений к границам:

- 1) границ нет (и, следовательно, проблемы нет!);
- 2) граница физики – это граница между познанным в ней и непознанным. С течением времени она расширяется, но мир бесконечен и все познано не будет никогда (паскалевский круг познания);
- 3) область физики – это область объективных и воспроизводимых фактов окружающего мира. Все, что за этими пределами, – к физике не относится по определению.

Как нетрудно видеть, три обозначенных направления отличаются не столько по своим ответам на вопрос о границах, сколько по пониманию смысла слова «граница». Значит, проблема начинается уже на уровне понятий.

В дискуссии [50] «О границах физики» был представлен достаточно широкий спектр мнений по вопросу границ физики или даже науки вообще. Участники дискуссии обозначили различные проекции понятия «границ в физике» в соответствии со своим видением проблемы. Все высказанные точки зрения правомерны и интересны. Резюмируя спектр мнений самого первого круга дискуссии, можно выделить следующие потенциальные разновидности границ, которые были озвучены:

- 1) границы актуальные;
- 2) границы прагматические;
- 3) границы этические;
- 4) границы психологические;
- 5) границы методологические;
- 6) границы принципиальные.

Во всяком случае, тезис о том, что какие-то границы науки существуют, был принят всеми участниками. По существу, необходимость границ содержится в возможности определения физики. Не вдаваясь сейчас в детали этого определения, можно сказать, что всякое разумное определение, так или иначе, очерчивает границы определяемого предмета. Проблема возникает в том случае, когда физика рассматривается как фундаментальная наука, лежащая в основании других наук или в основании мировоззрения. С одной стороны, в определении содержатся ограничения («Физика – это раздел науки, изучающий...»). С другой стороны, современная научная методология, в целом построенная на принципе редукционизма или его более современных модификациях, подразумевает, что имеется принципиальная возможность объяснения всех свойств высокоорганизованных структур (атомов, молекул, белков, жизни, информации, сознания) на языке свойств элементарных частиц и нескольких (или даже одного) фундаментального взаимодействия. При этом допускается, что эта принципиальная возможность может оказаться труднореализуемой из-за трудностей чисто технического характера (например ввиду недостатка мощности компьютеров). Совершенно ясно, что перед лицом редукционизма подобного рода, любое определение физики будет выглядеть условным, бесполезным и даже в определенном смысле лицемерным. Автор не является сторонником догматических определений в науке, но определения, отражающие текущий статус и уровень физики, на его взгляд, необходимы. Они позволяют, во-первых, «фильтровать» материал для исследования, во-вторых, формировать и фиксировать общие «правила игры», то есть научную методологию, в-третьих, получать конкретные содержательные утверждения об окружающем мире, доступные логическому анализу и экспериментальной проверке. Не исключено, что границы, содержащиеся в определении, могут как-то эволюционировать с течением време-

ни, но в случае, если определение адекватное, такая эволюция будет происходить не слишком быстро. Можно даже потребовать, чтобы окончательное о-предел-ение физики (если таковое существует хоть в каком-то смысле) подразумевало фундаментальную неизменность ее границ. В этом смысле установление границ физики является необходимым условием ее правильного о-предел-ения.

Парадоксальным образом признание границ физики подразумевает более широкую перспективу научной методологии, чем утверждение об их отсутствии. Действительно, безграничная область является частным (предельным случаем) области с границей. По этой причине можно сказать, что научная методология, настаивающая на отсутствии границ у физики, имеет «меру нуль» среди множества других методологий. Методология с границами менее категорична, а значит, и более гибка и открыта для научной практики, которая в области неизвестного требует определенной «гибкости» применяемой научной методологии.

Если границы у физики есть, то должны существовать «пограничные ситуации», в которых граница применимости как-то проявляет себя. На самом деле, найти или хотя бы описать действительно пограничные ситуации, находящиеся на стыке познаваемого и непознаваемого физическими методами, сложно. По сути, это – то же самое, что найти или как-то обозначить границы. Гораздо проще указать ситуации «заграничные», в которых физическое описание становится очевидно неадекватным. Эта неадекватность может проявляться, например, как *принципиальная невозможность* или *противоречивость* физической картины явления. Рассмотрим в качестве примера невозможности попытку «физически описать» волевой акт внутреннего выбора человека вместе с его внешними проявлениями (например, человек захотел просто так поднять камень и бросить его вперед). Цепочка событий «волевое решение» – «мысленный приказ» – «сигналы нервной системы» – «мышечные сокращения» – «полет камня» целиком принципиально не укладывается в рамки физики и вообще какой-либо науки, если мы принимаем тезис о свободной человеческой воле<sup>14</sup>. Никакое «физическое описание» не срабатывает до уровня сигналов нервной системы, поскольку «физическое описание» всегда является в определенном смысле детерминистичным. Мы снова возвращаемся к проблеме свободы, которой уже касались в несколько другом контексте в предыдущих разделах. Ни язык вероятностей, ни язык хаоса не спасают положения дел. Вероятностные законы статистичны, а каждый акт свободной воли человека уникален и самоценен. Концепция хаоса ни в коей мере не отражает концепцию свободы (хаос – произвол, свобода – разумный выбор). Кроме того, сам хаос познаваем постольку, поскольку в нем проявляются свои внутренние законы. Абсолютный хаос – сущность непознаваемая и, может быть, даже внутренне противоречивая. Разумеется, существует позиция, согласно которой тезис о сво-

<sup>14</sup> Автор статьи принимает этот тезис.

боду воли не принимается. Ее сторонником является Р. Пенроуз, который с помощью механизма объективной редукции (ОР), основанного на закономерностях будущей квантовой теории гравитации и нейронной структуры мозга, пытается объяснить работу сознания. Здесь некоторым «математическим субстратом» свободы является *невыхислимость* механизма ОР. Ответ на вопрос о том, сводится ли свобода воли к невыхислимости или нет, отчасти зависит от выбора научной онтологии. Следует отметить, что с позиций попперовского критерия верифицируемости тезисы о наличии свободы воли и невыхислимости работы сознания в рамках современной научной методологии недоказуемы.

В качестве примера противоречивости картины описания можно рассмотреть попытку привязать ценность того или иного музыкального произведения в обществе любителей музыки к амплитудно-частотным характеристикам фактуры произведения. Трудности и неизбежные противоречия, которые возникают на этом пути, очевидны: корреляции в лучшем случае разобьются на классы, выражающие музыкальные вкусы различных слоев общества (если такие слои вообще сформированы). Таким образом, при попытке ввести физику в качестве инструмента для эстетической оценки мы будем иметь набор различных, вообще говоря, взаимно исключаящих «физических законов» музыкальной красоты.

Теперь можно использовать соображения «непрерывности», развернутые в философском варианте. Если существуют ситуации «дограничные», в которых физика вполне адекватна и работает, и если существуют ситуации «заграничные» (здесь можно дискутировать по поводу приведенных мною примеров, но, наверное, каждый может найти свои более убедительные примеры), то где-то между этими ситуациями должны существовать пограничные ситуации, обозначающие границу.

Один из аспектов границ физики связан с ограничениями на количество вычислительных операций, сопровождающих расчеты конкретных задач в рамках физических моделей реальности. Р. Пенроуз в своей замечательной книге [2] при обсуждении возможностей современных компьютеров, конечно, всегда имеет в виду это ограничение, но дает фору сторонникам сильной гипотезы искусственного интеллекта. Он не рассматривает ограничения на объем и скорость вычислений в качестве принципиальных и в своих рассуждениях считает компьютеры идеальными универсальными машинами Тьюринга, которые имеют бесконечную память и достаточно большую скорость вычислений. Далее он приводит аргументы в пользу невыхислимости процессов, сопровождающих работу сознания, откуда следует несостоятельность сильной гипотезы искусственного интеллекта и более общей концепции *вычислительного функционализма*. Вслед за Р. Пенроузом отвлечемся от временных экстенсивных трудностей процедуры вычислений и обратимся к другой принципиальной стороне расчетов в рамках физических моделей — *их структурной неустойчивости*. Рассмотрим проблему на конкретном примере стандартной эйнштейновской космологии с «бесконечно малыми

модификациями» [51]. Экспериментальный факт ускорения Вселенной, а также гипотезы о темных материи и энергии приводят к необходимости модификации лагранжиана гравитации и (или) уравнения состояния вещества в область обобщенных теорий или обобщенных уравнений состояния. Если рассмотреть такие обобщенные теории в окрестности эйнштейновской, то есть включить в лагранжиан добавки из обобщенных теорий с бесконечно малыми константами связи, то, несмотря на свою малость, они, как правило, кардинально меняют космологический сценарий и его общепринятый тезаурус. В частности, такая малая модификация в большинстве случаев стирает космологическую сингулярность и значительную часть того, что с ней связано (физика ранней Вселенной). На самом деле, проблема не ограничивается рамками космологии. Любую модель, описываемую дифференциальными уравнениями, можно немного «пошевелить» (эксперимент часто вынуждает нас это делать), так что прежняя картина изменится качественно: некоторые свойства предыдущей модели просто исчезнут, а некоторые (о которых даже не думали) – появятся. Основная гипотеза заключается в том, что *для любой модели найдется такое ее бесконечно малое «шевеление», которое уничтожит любое ее наперед заданное свойство*. Проблема доказательства этой гипотезы включает в себя формальное определение свойств и введение топологии на нем, что остается пока за пределами средств и даже интересов математиков. Если учесть теперь, что физики работают, как правило, с *интегрируемыми* дифференциальными моделями, которые в определенном смысле составляют «множество меры нуль» в классе всех моделей, то (в случае если гипотеза правильна) у них в распоряжении в лучшем случае остается лишь небольшое число моделей, обладающих достаточным «запасом структурной устойчивости». Вопрос об общих характеристиках этих моделей (и даже вопрос о существовании хотя бы одной!) на сегодняшний день остается открытым.

Рассмотрим здесь еще один интересный аспект границ физики, связанный с существованием фундаментальных констант скорости света  $c$  и постоянной Планка  $h$ . Вопреки распространенному утверждению о том, что скорости, превышающие скорость света, запрещены в СТО, положение дел в этой теории обстоит не совсем так. Как досветовые скорости, так и сверхсветовые могут изучаться в рамках СТО теоретически на равных правах. Более точное утверждение, которое действительно вытекает из принципов СТО, звучит так: *ни одно тело конечной массы не может быть из состояния покоя ускорено до скорости света или выше под действием конечной силы за конечное время*. Другими словами, для достижения световой скорости телу необходимо сообщить *бесконечную энергию*. Отсюда следует, что *тело в принципе могло бы иметь сверхсветовую скорость только при условии, что оно имело бы ее с самого начала, с момента своего появления*, таким образом, чтобы не требовалась бесконечная энергия для его помещения в мир сверхсветовых скоростей. Оставаясь в рамках СТО, можно показать, что для переброски такого тела в наш мир досветовых скоростей также по-

требуется бесконечная энергия. Преобразования Лоренца действуют раздельно в субсветовом и сверхсветовом мире, а также и на световом конусе, который их разделяет. Гипотетические частицы, которые обладают сверхсветовыми скоростями, называют в литературе *таххионами*. Одно из самых необычных свойств тахионов – это *возможность с их помощью посылать сигналы в прошлое*. Обычно тахионы исключают из соображений сохранения причинности. Нетрудно показать, что тахионы вместе с причинностью уничтожают и логику, то есть приводят к ситуациям в 4-мерном пространстве-времени, которые логически противоречивы [52]. Пусть два человека по имени Григорий и Семен договариваются между собой провести следующий эксперимент. Григорий (источник) и Семен (приемник) располагают генераторами сверхсветовых сигналов и имеют представление о возможности их путешествия в прошлое. Пусть сначала они обсуждают следующую схему эксперимента (именно такая схема и описывается обычно в литературе): Григорий в 12–00 посылает импульс Семену, который движется на ракете как раз с такой скоростью, чтобы его ответный импульс пришел к Григорию ровно в 11–50 (для посылки сигнала в прошлое приемник должен двигаться с достаточно большой скоростью, которая, однако, меньше скорости света). Григорий, после некоторых раздумий, решает изменить схему эксперимента: «С 11–50 до 12–00 у меня будет достаточно времени, чтобы поразмышлять о парадоксах сверхсветовых сигналов. Ведь сигнал, который придет ко мне от Семена в 11–50, – это сигнал из будущего. Он свидетельствует о том, что согласно нашему плану, я ровно в 12–00 пошлю ему сверхсветовой импульс. И этим свидетельством я буду располагать за десять минут до самого действия. А что если я в этот момент передумаю посылать Семену свой импульс? Ведь будущие события не могут непосредственно влиять на мои мысли и желания? Что если поставить опыт иначе? В том случае, если я получаю импульс от Семена в 11–50, я принимаю решение не посылать свой, а если не получаю, то посылаю!» Нетрудно видеть логический круг, который образуется в подобной схеме эксперимента. Если Григорий получает импульс Семена в 11–50 и принимает решение не посылать свой, то Семен не получает импульса, посланного в 12–00 и, следовательно, сам ничего не посылает. Если же Григорий не получает импульса от Семена в 11–50 (а значит, и Семен не получает импульса от Григория), то Григорий посылает импульс Семену в 12–00 и тот не может его не получить и не ответить. Может показаться, что в этой ситуации ключ для ее объяснения лежит в устройстве той части психики человека, которая отвечает за наши желания – эта сфера, конечно же, выходит за рамки СТО. Но вместо Григория и Семена в эксперименте вполне могли бы участвовать простые устройства, запрограммированные на вполне конкретные действия: устройство «Семен» установлено на ракете и посылает свой сверхсветовой импульс, сразу же когда приходит такой же импульс со стороны (или вообще ничего не делает, если импульс не приходит). Устройство «Григорий», в случае, если импульс приходит в 11–50, не

делает ничего, а если в 11–50 импульса нет – посылает сверхсветовой импульс Семену в 12–00. Пространственно-временная апория остается!

Таким образом, можно сказать, что скорость света – это не просто предел в пространстве скоростей, но и предел применимости логики для описания физических явлений. Алогичный мир теоретически мыслим, но совершенно ясно, что он выходит за пределы физики в самых разных смыслах понимания слова «предел».

Хотелось бы обратить внимание на одну особенность рассмотренного парадокса. Он тесно связан с возможностью организации в пространстве времени замкнутой «информационной петли»: сигнал Григорий-Семен – сигнал Семен-Григорий – отрезок мировой линии Григория между приемом и посылкой тахионных сигналов. Тахионы и нужны для того, чтобы такую петлю организовать. Теоретически любое другое устройство или процесс, с помощью которых можно организовать подобную петлю, приведут к парадоксам такого же рода. В обычном мире досветовых или световых скоростей наблюдатель не может получать свои собственные сигналы до момента их посылки. Основная гипотеза заключается в том, что логические противоречия, возникающие при посылке сигналов самому себе в собственное прошлое имеют ту же природу, что и противоречия, возникающие в результате применения так называемой «диагональной процедуры» Кантора, с помощью которой доказывается несчетность множества вещественных чисел и теорема Геделя.

Рассмотрим теперь роль постоянной Планка  $h$  в нашем описании окружающего мира. В основе научной методологии классической физики лежит принцип независимости субъекта и объекта. Согласно этому принципу, объект познания существует независимо от субъекта, что позволяет рассматривать законы, которым подчиняется объект, как законы объективные. Собственно, вся концепция объективной реальности зиждется на этом принципе или его модификациях. Выдерживают ли принцип независимости субъекта и объекта и классическая концепция объективной реальности испытание на прочность в микромире? Нет! Действительно, при попытке использовать классическое координатно-импульсное описание по отношению к микрообъектам мы сталкиваемся с известным соотношением неопределенностей. Вообще, аналогичное соотношение возникает всякий раз при попытке использовать сопряженные гамильтоновы переменные в микромире. Все попытки обойти соотношение неопределенностей за счет ухищрений с экспериментальными ситуациями и установками, используемыми в них, никогда не приводят к успеху. Попытка наблюдателя локализовать одну переменную всегда вызывает цепочку влияний (неконтролируемых взаимодействий) – иногда довольно замысловатую – которая стирает определенную часть информации о другой переменной. Сегодня уже нет нужды всякий раз явно отыскивать эту цепочку – соотношение неопределенностей заложено в принципы квантовой теории посредством коммутационных соотношений, но при желании эту цепочку можно восстановить. Всякий раз, отыскивая

такую цепочку, мы фактически предлагаем некий динамический механизм реализации соотношения неопределенностей в терминах неконтролируемых или неустранимых взаимодействий наблюдателя с микрообъектом. Можно предложить и несколько иную точку зрения на эти факты: уровень постоянной Планка – это уровень, на котором субъект и объект исследований неразделимы. Другими словами, это уровень, на котором классическая концепция объективной реальности не работает. Язык «взаимодействия объекта и наблюдателя» в такой ситуации становится просто не вполне адекватным: если на уровне постоянной Планка между объектом и субъектом имеется принципиально неустранимое взаимодействие, то на таком уровне субъект и объект представляют собой единую систему, в принципе неразделимую на части. Таким образом, существование ненулевой постоянной Планка ограничивает наши возможности объективации исследуемых объектов. Изучая микрообъекты, мы, грубо говоря, изучаем не только их, но и свое «отражение» в них. Это отражение проявляется в виде зависимости формы ответов объекта от формы наших к нему вопросов. Совершенно ясно с одной стороны, что за пределами объективации нет физики и вообще науки, поэтому *постоянная Планка в этом контексте имеет прямое отношение именно и главным образом к границам физики, а не к рецептам вычислений в микромире или решению каких-то частных проблем классической физики*. Последние, кстати, приобретают в свете вышесказанного новый смысл. Мир, в котором объективация не имеет предела (то есть постоянная Планка равна нулю), не будет «устойчивым», поскольку в нем произойдут все классические «катастрофы», нависшие над физикой в конце XIX века. Таким образом, можно сформулировать парадоксальный тезис: *устойчивость мира тесно связана с существованием границ нашего познания*. Можно поставить интересный вопрос о том, что причина, а что следствие: мир устойчив, потому что есть границы его познания или границы познания являются необходимым следствием устойчивости мира? И тот и другой ответ приводят к интересным и неожиданным связям и ассоциациям. Возможно, что устойчивость и границы – это проявления чего-то третьего, что лежит в основе квантовой механики и что еще предстоит выяснить. Теперь становится немного понятнее, какова природа мнения о том, почему квантовую механику никто не понимает: просто законы квантовой механики «прописаны» на границе нашего понимания и вообще на границе «законности».

Хотелось бы подчеркнуть еще один важный момент. Если в классической физике сознание наблюдателя в принципе устранимо (под наблюдателем можно понимать компьютер или любое следящее устройство, не обладающее сознанием), то в микромире сознание наблюдателя отличает последнего от всех остальных чисто физических бессознательных систем. В связи с этим Р. Пенроуз пишет: «Напомним, что копенгагенская интерпретация... рассматривает волновую функцию не как реальную физическую сущность, а как нечто, существующее в “сознании наблюдателя”. Более того, по крайней мере в одном из своих проявлений, эта интерпретация требу-

ет, чтобы измерение было “наблюдением”, то есть проводилось в конечном счете разумным существом, хотя на практике оно выполняется “классической” измерительной аппаратурой. Эта зависимость от классической аппаратуры имеет, однако, лишь преходящее значение, поскольку любой кусок аппаратуры сделан из квантовых элементов и в действительности он не будет, даже приближенно, вести себя классическим образом, если он следует стандартной квантовой U-эволюции» [3. С. 852]. Соотношение неопределенностей проявляется именно: а) в ситуациях определенных «вопросов» микросистеме со стороны сознания наблюдателя; б) при считывании ответа сознанием наблюдателя. Ни а), ни б) не могут выполняться бессознательно.

Разумеется, все высказанные здесь идеи требуют конкретной разработки. В частности, в соотношении неопределенности снова видятся следы теоремы Геделя в физическом преломлении: возможно, что конфликт измеримости дополнительных некоммутирующих переменных в квантовой механике и конфликт между полнотой и непротиворечивостью формальных систем, выражающий суть теоремы Геделя, – это один и тот же конфликт!

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Пенроуз Р.* Новый ум короля. – М.: УРСС, 2005.
2. *Пенроуз Р.* Тени разума. – М.: УРСС, 2005.
3. *Пенроуз Р.* Путь к реальности, или Законы, управляющие вселенной. – М.-Ижевск: РХД, 2007.
4. *Кокарев С.С.* Видеовыступление «Поличисловая теория поля» на семинаре 3.04.2013 в РУДН. URL: <http://www.youtube.com/watch?NR=1&v=NY7L7MRKIXo&feature=endscreen>
5. *Пенроуз Р.* Комментарии к «Поличисловой теории поля» 03.04.2013 в РУДН. URL: [http://www.youtube.com/watch?v=9agj1R\\_rX8Q](http://www.youtube.com/watch?v=9agj1R_rX8Q)
6. Пресс-конференция РИА Новости. Сэр Роджер Пенроуз. URL: <http://www.youtube.com/watch?v=v1XKae83LOk>
7. Гиперкомплексные числа в геометрии и физике (специальный выпуск, посвященный приезду Р. Пенроуза в Россию в марте-апреле 2013 года). – 2013. – 1 (19). – Т. 10.
8. *Kokarev S.S.* Space-time as multidimensional elastic plate // *Nuovo Cimento*. – 1998. – B113. – P. 1339–1350.
9. *Владимиров Ю.С., Турыгин А.Ю.* Теория прямого межчастичного взаимодействия. – М.: Энергоиздат, 1986.
10. *Логунов А.А.* Лекции по теории относительности и гравитации: Современный анализ проблемы. – М.: Наука, 2005.
11. *Мецаев Р.Р.* Теории струн как основа для единой теории поля и описания режима сильной связи калибровочных теорий // Сб. трудов семинара И.Е. Тамма / под ред. М.Р. Васильева, Л.В. Келдыша, А.М. Селихатова. – М.: Научный мир, 2007. – С. 5–52.
12. *Кокарев С.С.* Близкодействие против дальнего действия: окончательна ли победа? // Сб. трудов РНОЦ «Логос». – Ярославль. – 2007. – Вып. 2. – С. 21–128.
13. *Кокарев С.С.* Три лекции о законах Ньютона // Сб. трудов РНОЦ «Логос». – Ярославль. – 2006. – Вып. 1. – С. 45–72. URL: [http://samlib.ru/k/kokarew\\_s\\_s/inert.shtml](http://samlib.ru/k/kokarew_s_s/inert.shtml)
14. *Голодняк М., Кокарев С.* Дискуссия о законах Ньютона // Сб. трудов РНОЦ «Логос». – Ярославль. – 2008. – Вып. 3. – С. 9–80. URL: [http://znaemfiz.ru/files/138426/neuton\\_disc.pdf](http://znaemfiz.ru/files/138426/neuton_disc.pdf)

15. Овчинников Н.Ф. Методологические принципы в истории научной мысли // УРСС. – 2003.
16. Пуанкаре А. Наука и гипотеза // Сб. статей «О науке». – М.: Наука, 1991.
17. Бом Д. Специальная теория относительности (приложение «Физика и восприятие»). – М.: Мир, 1967.
18. Пенроуз Р., Риндлер В. Спиноры и пространство-время: в 2 т. – М.: Мир, 1987–1988.
19. Владимиров Ю.С. Геометрофизика. – М.: Бином, 2010.
20. Кассандров В.В. Алгебраическая структура пространства-времени и алгебродинамика. – М., 1992.
21. Павлов Д.Г., Кокарев С.С. Алгебра, геометрия и физика двойных чисел, Гиперкомплексные числа в геометрии и физике (специальный выпуск, посвященный приезду Р. Пенроуза в Россию в марте-апреле 2013 года). – 2013. – 1 (19). – Т. 10. – С. 87–160.
22. Варден Б.Л. ван дер. Алгебра. – М.: Наука, 1979.
23. Zelenov E. p-Adic mathematical physics and space-time, Grav. & Cosm. – 1995. – V. 1. – № 3. – P. 243–246.
24. Лаврентьев М.А., Шабат Б.О. Проблемы гидродинамики и их математические модели. – М.: Наука, 1977.
25. Павлов Д.Г., Кокарев С.С. h-голоморфные функции двойной переменной и их приложения // Гиперкомплексные числа в геометрии и физике. – 2010. – 13. – С. 44–77.
26. Павлов Д.Г., Кокарев С.С. Гиперболическая теория поля на плоскости двойной переменной // Гиперкомплексные числа в геометрии и физике. – 2010. – 13. – С. 78–127.
27. Павлов Д.Г., Кокарев С.С. Алгебраическая единая теория пространства-времени и материи на плоскости двойной переменной // Гиперкомплексные числа в геометрии и физике. – 2010. – 14. – С. 11–37.
28. Павлов Д.Г., Кокарев С.С. Аналитические, дифференциально-геометрические и алгебраические свойства гладких функций поличисловой переменной // Гиперкомплексные числа в геометрии и физике. – 2011. – 16. – С. 4–53.
29. Павлов Д.Г., Кокарев С.С. Некоторые задачи математической физики в поличисловой теории поля // Гиперкомплексные числа в геометрии и физике. – 2012. – 18. – С. 200–255.
30. Кокарев С.С. Лекции по финслеровой геометрии и гиперкомплексным числам // Сб. трудов РНОЦ «Логос». – 2010. – Вып. 5. – С. 19–121.
31. Богословский Г.Ю. Финслерова геометрия и теория относительности // Сб. трудов РНОЦ «Логос». – 2009. – Вып. 4. – С. 169–177.
32. Balan V., Bogoslovskiy G.Yu., Kokarev S.S., Pavlov D.G., Siparov S.V., Voicu N. Geometrical Models of the Locally Anisotropic Space-Time, Journal of Modern Physics. – 2012. – 3. – P. 1314–1335.
33. Kisil V.V. Erlangen Programme at large: an overview. URL: <http://arxiv.org/pdf/1106.1686.pdf>
34. Яглом И.М. Принцип относительности Галилея и неевклидова геометрия. – М.: Наука, 1969.
35. Павлов Д.Г., Панчелюга М.С., Панчелюга В.А. Поисковые исследования пространственно-временных эффектов гиперболических полей. Предварительные результаты // ГЧГФ. – 2012. – (1)172, 9. – С. 162–175.
36. Кокарев С.С. Экстравариационный принцип в теории поля // Сб. трудов РНОЦ «Логос». – Вып. 6. – М., 2011. – С. 123–146.
37. Kokarev S.S. Are different geometries really that different? In Proc. of PIRT-2009. – Moscow, BSTU. URL: <http://arxiv.org/pdf/0906.2921.pdf>
38. Kokarev S.S. Complementarity of kinematics and geometry in General Relativity // Gravitation & Cosmology. – 2011. – 4 (68). – P. 292–307. URL: <http://arxiv.org/pdf/1011.4933.pdf>

39. *Владимиров Ю.С.* Системы отсчета в теории гравитации. – М.: Энергоиздат, 1982.
40. *Мах Э.* Познание и заблуждение. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2003.
41. *Гриб А.А.* Нарушение неравенств Белла и проблема измерения в квантовой теории // ОИЯИ. – Дубна, 1992.
42. *Кокарев С.С., Астахова А.* Р-структуры, Р-геометрия и перцептивное пространство наблюдателя // Сб. трудов РНОЦ «Логос». – 2006. – Вып. 1. – С. 73–106.
43. *Дюгем П.* Физическая теория: ее цель и строение. – М.: УРСС, 2011.
44. *Фейерабенд П.* Против метода. – М.: АСТ, Астрель, 2010.
45. *Нейсбит Р.* География мысли. – М.: Астрель, 2012.
46. *Крылов В.Ю.* Геометрическое представление данных в психологических исследованиях. – М.: Наука, 1990.
47. *Голдблатт Р.* Топосы. Категорный анализ логики. – М.: Мир, 1983.
48. *Guts A.K., Grinkevich E.B.* Toposes in General Theory of Relativity // arXiv:gr-qc/9610073
49. *Isham C.G.* Topos Methods in the Foundations of Physics. URL: <http://arxiv.org/pdf/1004.3564.pdf>
50. *Асадов В., Голодняк М., Кокарев С., Ольчак А., Сипаров С., Соловьева А.* Дискуссия «О границах физики» // Сб. трудов РНОЦ «Логос». – Ярославль. – Вып. 4. – С. 317–410.
51. *Kokarev S.S.* Structural Instability of Friedmann-Robertson-Walker Cosmological Models, *Gen.Rel.Grav.* 41, pp.1777-1794 (2009) // (русская версия в сб. трудов РНОЦ Логос. – Ярославль. – 2009. – Вып. 4. – С. 197–223). URL: <http://arxiv.org/pdf/0810.5080.pdf>
52. *Кокарев С.С.* Введение в общую теорию относительности. – Ярославль: ЯрГУ, 2009.
53. *Уилл К.* Теория и эксперимент в гравитационной физике. – М.: Энергоатомиздат, 1985.

## **MODERN NATURAL PHILOSOPHY: PERSPECTIVES IN THE FOCUS OF UNITY**

**S.S. Kokarev**

The article examines some characteristic general structural elements and trends of modern physical theories and their potential role in building a future physical “theory of everything.” Special attention is given to the principles of algebraization and geometrization and the status of the latter in the light of Poincaré’s geometrical conventionalism. One of the essentials discussed is the concept of meta-physics – the general mathematical “theory of physics theories,” within the framework of which the correspondence of different physics theories to one another and their relations with experiments and metaphysical principles. Also discussed is the status and place of the bounds of physics in the modern physical picture of the world.

**Key words:** alternative theories, generalized theories, physical principles, principle of geometrization, principle of algebraization, “theory of everything,” observer’s concept, perceptual space, cognitive polylinguism, Poincaré’s geometrical conventionalism, meta-physics.

---

---

# ПРОБЛЕМА СОЗНАНИЯ В ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКЕ

---

---

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИНГУЛЯРНОСТЬ, ТЕОРЕМА ПЕНРОУЗА ОБ ИСКУССТВЕННОМ ИНТЕЛЛЕКТЕ И КВАНТОВАЯ ПРИРОДА СОЗНАНИЯ

А.Д. Панов

*Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына  
Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова*

В статье критически анализируются прогнозы в отношении возможности создания сильного искусственного интеллекта (ИИ) в ближайшие десятилетия. Показано, что эти прогнозы основаны на трех плохо обоснованных предположениях и одном практически полностью непонятом обстоятельстве. Плохо обоснованными предположениями являются: 1) возможность создания сильного ИИ определяется наличием компьютеров достаточной мощности; 2) вычислительная мощность мозга определяется суммарным быстродействием синаптических связей; 3) вычислительная мощность мозга вообще может оцениваться на основе аналогии «мозг – это классический компьютер». Полностью непонятым обстоятельством является аргументация, связанная с теоремой Пенроуза об искусственном интеллекте, которая запрещает создание компьютера, обладающего всеми способностями человека, на основе архитектуры классического конечного автомата. Дается критический анализ всех этих трех предположений, теоремы Пенроуза, а также анализа следствий из теоремы Пенроуза, представленного самим Роджером Пенроузом. Выводы Пенроуза оцениваются как излишне пессимистические.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, технологическая сингулярность, теорема Гёделя–Тьюринга, конечный автомат, квантовый компьютер, вычислимость.

### Введение

#### Искусственный интеллект и технологическая сингулярность

Проблема искусственного интеллекта (ИИ) оказалась в центре внимания общества вместе с возникновением первых компьютеров в начале 50-х гг. XX в., продолжает оставаться актуальной и сейчас, и ничто не предвещает изменения этого положения в обозримом будущем. Отношение к перспективам создания ИИ было разным. С одной стороны, всегда имелось

достаточное количество оптимистов, которые считали, что создание ИИ является чисто технической задачей, решение которой будет обеспечено ростом мощности вычислительной техники. С другой стороны, многим постепенно стало понятно, что создание ИИ не является чисто технической задачей, но является чрезвычайно сложной междисциплинарной проблемой, затрагивающей в высшей степени фундаментальные проблемы бытия. К этой последней партии принадлежит и автор настоящей статьи, по мнению которого, мы не приблизились не только к решению задачи создания настоящего сильного ИИ, но даже к внятной формулировке проблемы, которую хотим решить.

В настоящее время поляризация мнений в отношении перспектив ИИ нарастает и представлена в форме существования двух, в каком-то смысле крайних, направлений. Одно из них представлено сторонниками так называемой технологической сингулярности (ТС, подробно обсуждается ниже), другое – преимущественно Роджером Пенроузом и его последователями. Существенная неприятность текущего момента состоит в том, что между сторонниками этих крайних направлений диалог практически отсутствует. В частности, можно утверждать, что аргументы Роджера Пенроуза не поняты или даже не услышаны сторонниками ТС. Это приводит к тому, что, во-первых, аргументация сторонников ТС остается поверхностной, во-вторых, выводы самого Роджера Пенроуза остаются без адекватного критического анализа. В настоящей статье мы постараемся отчасти закрыть эту брешь, подвергнув критике, с единой (авторской) точки зрения, оба крайних направления. Анализ концепции ТС будет основан в основном на книге Рэя Курцвейла [1], анализ представлений Роджера Пенроуза на его книгах [2; 3]. Забегая вперед, отметим, что точка зрения сторонников ТС, по нашему мнению, страдает чрезмерным оптимизмом, в то время как выводы Пенроуза представляются излишне пессимистическими. В ходе анализа нам придется коснуться и некоторых проблем, которые прямо не были рассмотрены ни в рамках концепции ТС, ни в рамках концепции Пенроуза. Среди таких дополнительных вопросов следует выделить: 1) связь понятия квантовой реальности с вычислениями и с представлением вычислений компьютером; 2) вопрос о природе квантовой информации; 3) вопрос о природе «мышления» индивидуальной живой клетки и связь такого индивидуального клеточного «мышления» с работой мозга и сознанием. Разброс научных дисциплин, с которыми приходится иметь дело, как видно, очень велик, что и отражает существенно междисциплинарный характер проблемы ИИ.

Начнем с определений, или, точнее, с неформального разъяснения смысла используемых терминов. Под системами искусственного интеллекта будут пониматься автономные искусственные устройства, способные выполнять интеллектуальные функции. В этом «определении» буквально каждое слово требует уточнения и разъяснения. Например, что значит «искусственный»? Устройство, созданное другим устройством, следует ли считать искусственным? Что значит «устройство»? Является ли «устройством» ис-

кусственный геном, собранный из обычных нуклеотидов? И так далее. Мы, однако, не будем пытаться входить во все эти детали, так как, повторим, разъяснение носит неформальный характер. Главной же функцией данного определения является противопоставление искусственного интеллекта инструментальным системам, которые являются лишь средствами усиления естественного человеческого интеллекта и не могут работать автономно. Типичными примерами инструментальных систем являются компьютерные системы автоматического проектирования (САПР), различные программы компьютерной графики, редакторы текстов, базы данных и т.д. Но инструментальными системами являются также и обычный листок бумаги с карандашом, который позволяет нам провести сложные вычисления, которые мы не можем выполнить в уме; или обыкновенная книга, которая позволяет использовать огромные объемы информации, которые мы не в состоянии помнить. В этом смысле человеческий интеллект давно уже не является вполне «естественным» – он является инструментальным, но, не будучи «естественным», он не является «искусственным» в том смысле, в котором ИИ понимается в данной статье. Надо также отметить, что резкую границу между искусственным и инструментальным интеллектом провести невозможно. Инструментальная компьютерная система в некоторых фазах своего функционирования может выполнять столь большие объемы интеллектуальной работы, что приобретает в это время свойства автономного ИИ. Так что точные определения искусственного или инструментального интеллекта давать, пожалуй, бесполезно. Это напоминает абсолютно бесплодную попытку точно указать место на эволюционной лестнице, где проходит точная граница между неразумной человекообразной обезьяной и разумным человеком. Различие инструментального и автономного искусственного интеллекта – скорее количественный, но не качественный вопрос.

Под сильным искусственным интеллектом в этой статье будет пониматься такой ИИ, который превосходит человека или, по крайней мере, не уступает ему по всем интеллектуальным функциям во всех отношениях. Здесь, однако, снова требуются разъяснения и уточнения. Какой именно конкретный человек имеется в виду? Типичный? Но что это такое? Все люди разные, обладают разными интеллектуальными возможностями, при этом иных людей превзойти не так уж трудно, и по всем параметрам сразу. Для того чтобы придать дефиниции определенность, можно в отношении того уровня каждой из способностей людей, которую требуется превзойти, подразумевать максимальный уровень соответствующей способности, который можно обнаружить во всем человечестве. Чисто логическим путем приходим отсюда к тому, что под сильным ИИ следует понимать такой ИИ, который превосходит совокупную интеллектуальную мощь всего человечества по всем параметрам. Автору не приходилось видеть где-нибудь столь прямолинейной формулировки понятия сильного ИИ или какого-либо эквивалентного понятия, но, фактически, сторонники ТС неявно придерживаются именно такого определения. Заметим, что используемое здесь понятие

сильного ИИ хотя и похоже на распространенное определение [4] или на оригинальное определение Джона Сёрла [5], но является более узким и более сильным, чем это обычно принимается. Такое понятие более адекватно представлению о ТС.

Предположим теперь, что сильный ИИ в описанном выше смысле действительно будет когда-нибудь создан. Тогда в принципе люди окажутся более ненужными для дальнейшего саморазвития такого ИИ. В самом деле, для чего они, если ИИ по своим интеллектуальным возможностям превосходит все, что доступно людям? Более того, сильный ИИ может начать саморазвитие со столь высокой скоростью, что люди не только окажутся лишними в этом процессе, но и принципиально не смогут за ним уследить и понять происходящее. Будущее для людей становится полностью непонятным и непредсказуемым. Эта ситуация и называется технологической сингулярностью [1]. Термин был введен Вернором Винджем в 1993 г. [6], хотя похожие идеи высказывались неоднократно и раньше (см. для обзора [1, 6]). Ожидание технологической сингулярности порождает тревожные настроения, получившие отражение в различных публикациях, как, например, в статье Билла Джоя с характерным названием «Why the future doesn't need us» [7].

Не следует путать технологическую сингулярность с эволюционными сингулярностями разных типов. Под эволюционными сингулярностями понимаются различные (довольно многочисленные) ситуации, когда некоторый эволюционный параметр в зависимости от времени меняется в так называемом режиме с обострением: попытка экстраполяции кривой в будущее приводит за конечное время к бесконечному значению. Наиболее известна демографическая сингулярность, которая еще в 60-х годах прошлого века была обнаружена рядом авторов: Х. фон Форстером и др. [8], И.С. Шкловским [9] и др. Кривая роста народонаселения Земли до примерно 1970-го года оказывается приблизительно гиперболой, уходящей в бесконечность между 2025 и 2030 годами. Другие эволюционные кривые с обострением, приводящие к сингулярностям, тоже обычно описываются гиперболами с различными показателями. В отличие от таких эволюционных сингулярностей, технологическая сингулярность прямо ни с какими бесконечностями не связана. Термин «сингулярность» в последнем случае является метафорой и означает скорее весьма критическую ситуацию, в которой может оказаться человечество, если сильный ИИ реально когда-нибудь появится.

Основной вопрос, который возникает в связи с концепцией ТС, состоит в том, когда можно ожидать ее появления и из каких соображений надо определять эту дату. В работе Р. Курцвейла [1] дается следующий ответ на этот вопрос, который разделяют и другие сторонники ТС: как только мощность коммерческих компьютеров, выраженная в операциях в секунду (в оригинале – количество операций в секунду за одну тысячу долларов), превзойдет совокупную вычислительную мощность мозга всего человечества, сильный ИИ будет создан и технологическая сингулярность станет реальностью. Нетрудно видеть, что эта идея адресует вычислительную мощность не

отдельно взятого человеческого мозга, а именно всего человечества, что коррелирует с определением сильного ИИ, которого мы придерживаемся в статье. Для того чтобы довести этот подход до реального числа, остается ответить на два частных вопроса: 1) как будет расти вычислительная мощность коммерческих компьютеров; 2) какова вычислительная мощность мозга. Совокупная вычислительная мощность всего человечества тогда определяется просто как произведение мощности отдельного мозга на число людей, а точка пересечения кривой роста мощности компьютеров и совокупного мышления человечества (если таковая обнаружится) даст момент появления технологической сингулярности.

Для прогноза мощности компьютеров Рэй Курцвейл [1] использует так называемый закон Мура, в соответствии с которым вычислительная мощность компьютеров удваивается каждые полтора-два года. Вычислительную мощность мозга Курцвейл оценивает следующим несложным образом. Количество нейронов мозга, порядка  $10^{11}$ , умножается на количество синаптических связей одного нейрона, масштаба тысячи, и на частоту срабатывания одной синаптической связи, около сотни Гц. Получается порядка  $10^{16}$  операций в секунду на один мозг. Если население Земли оценить как десять миллиардов, то результирующая вычислительная мощность всего человечества будет порядка  $10^{26}$ . Эта величина и сравнивается с кривой Мура. Точка пересечения падает приблизительно на 2045 г. – это и есть прогноз даты технологической сингулярности от Рэя Курцвейла.

Насколько обоснованным является такой прогноз? Не вполне очевидно, что закон Мура сохранит свою силу в течение достаточно длительного времени, хотя пока новые точки хорошо ложатся на кривые, использованные Курцвейлом в 2005 г., когда писалась книга [1]. Однако не закон Мура является самым слабым местом в предсказании ТС. Следует обратить внимание как минимум на три плохо обоснованных предположения и одно полностью непонятое обстоятельство. Среди плохо обоснованных предположений можно назвать следующие:

1. Возможность создания сильного ИИ определяется наличием компьютеров достаточной мощности.
2. Вычислительная мощность мозга определяется совокупным быстродействием синаптических связей нейронной сети.
3. Вычислительная мощность мозга вообще может оцениваться на основе аналогии «мозг – это классический компьютер».

До сих пор полностью непонятым обстоятельством остается теорема Пенроуза об искусственном интеллекте, которая вообще запрещает реализацию всех без исключения ментальных способностей человека на базе архитектуры классического компьютера. В последующих разделах статьи мы подробно обсудим все эти слабые места в аргументации сторонников сильного ИИ и ТС, причем особое внимание уделим разъяснению смысла теоремы Пенроуза, после чего критически рассмотрим интерпретацию следствий теоремы Пенроуза, предложенную самим Роджером Пенроузом.

## **1. Недооценка фактора программного обеспечения в создании сильного ИИ**

«За прошедшие 15 лет “разум” наших электронных вычислительных машин улучшился в миллион раз... В течение нескольких следующих десятилетий следует ожидать увеличения характеристик “разума” машин еще по крайней мере в несколько десятков тысяч раз. “Разум” таких машин по основным параметрам будет заведомо превосходить разум человека». Звучит очень современно, не правда ли? И вполне воспроизводит суть аргументации сторонников ТС. Однако написано это было Иосифом Самуиловичем Шкловским в его знаменитой книге «Вселенная, жизнь, разум» издания 1965 г. С тех пор прошло почти 40 лет, и мощность компьютеров за это время возросла вовсе не в несколько десятков тысяч раз, о чем писал Шкловский, а более чем в миллиард (!) раз (от машин серии БЭСМ–6 и Эльбрус и их зарубежных аналогов со скоростью до  $10^7$  флоп до самой мощной современной супер-ЭВМ Titan, имеющей скорость  $1.8 \cdot 10^{16}$  флоп, флоп – количество операций с плавающей запятой в секунду). Но где же машины, «заведомо превосходящие человеческий разум по основным параметрам»? Их нет; нет даже ничего похожего. Очевидно, что понимание ситуации было в чем-то фундаментально неверным, остается оно фундаментально неверным и сейчас. Где же ошибка?

Дело в том, что для того чтобы создать сильный ИИ, мало иметь достаточно мощное компьютерное железо. Надо знать, как это сделать. Нужны соответствующие методы, программное обеспечение, понимание того, какую именно задачу надо решить для создания сильного ИИ. Но программное обеспечение гораздо более консервативно, чем аппаратное обеспечение. Ничего похожего на закон Мура здесь нет.

Что же происходит в последние десятилетия с программным обеспечением, которое могло бы иметь отношение к созданию ИИ? В принципе, имеется два принципиально разных направления, в которых можно ожидать решения задачи. Первое направление можно назвать синтетическим. Это разработка программ, где интеллектуальные функции реализуются в основном независимо от того, как они реализованы в мозге. Они реализуются способом, наиболее адекватным архитектуре современных компьютеров. Другое направление называется обратной инженерией мозга. Здесь основная надежда возлагается на то, что, просто скопировав «в железе» функциональную структуру мозга, искусственный интеллект возникнет «сам собой». Посмотрим, какие имеются достижения в каждом из направлений.

### ***1.1. Синтетическое направление в разработке ИИ***

Состояние синтетического направления характеризуют несколько ярких примеров.

Программы для проведения аналитических вычислений (системы компьютерной алгебры) являются типичным примером современных систем ис-

искусственного интеллекта. Одной из лучших таких современных систем является программа *Mathima*. Более того, ряд других известных систем компьютерной алгебры, такие как *Mathematica*, *Maple* имеют то же самое интеллектуальное ядро. При этом первые версии программы *Mathima* (тогда она называлась *Macsuma*) были разработаны еще в 1972 г., и основное вычислительное ядро системы с тех пор практически не менялось. Расширялся в основном набор библиотек, совместимых с этой системой. За время существования программы мощность компьютеров возросла более чем в миллиард раз, но система *Mathima* как была лучшей 40 лет назад, такой и осталась. Ничего существенно нового в этой области за 40 лет создано не было.

Windows-версия популярного текстового процессора *Microsoft Word* появилась в 1989 году, 23 года назад. Компьютеры за это время стали почти в миллион раз быстрее, но функциональность *Word* практически не изменилась. Словари стали чуть полнее, да пользовательский интерфейс поменялся (по личному мнению автора – не в лучшую сторону, раньше был проще, логичнее и удобнее). Почти за 25 лет прогресса можно было бы ожидать появления чего-нибудь вроде интеллектуальных роботов – секретарей-помощников, но где они?

В начале 1990-х гг. получили широкое распространение программы-переводчики, которые, однако, переводили очень плохо. Но и современные их наследники переводят ненамного лучше. Разница состоит в основном в том, что выдается не один плохой перевод, а несколько вариантов плохих переводов, да программа размещается в Интернете, а не на дискете.

В популярных изданиях или в сети нередко можно встретить заголовки вроде «Робот-учёный делает открытия без помощи человека» (см., например, [10]). Это сильное преувеличение. Во всех таких случаях речь идет о хорошо поставленной комбинаторной задаче, для решения которой не требуются творческие способности. Творческие способности аккумулирует в себе программист, который ставит задачу и определяет, как ее надо решать.

Пожалуй, действительный прогресс наблюдается в направлении, которое известно как «искусственная жизнь – адаптивное поведение (аниматы)» (см., например, [11]). Однако и здесь результаты пока довольно ограниченные, и ни один серьезный исследователь в этой области не утверждает, что в каком-либо обозримом будущем это направление может привести к созданию сильного ИИ.

Нетрудно видеть, что стремительно возрастающее совершенство компьютерной техники, выражаемое кривой Мура, расходуется пока почти исключительно на развитие пользовательского интерфейса, миниатюризацию и телекоммуникации. В начале 1990-х персональный компьютер помещался на столе и управлялся мышью и клавиатурой, теперь он помещается в дужке очков, управляется наклоном головы и постоянно подключен к Интернету. Но интеллектуальные возможности у обоих устройств качественно не различаются. Нет сомнений, что интерфейс человек-компьютер и миниатюризация будут развиваться и дальше, но это ведет лишь к созданию человеко-

машинных инструментальных систем, в которых человек является неотъемлемой частью. Создание сильного ИИ такое развитие вовсе не приближает. Прогресс в области телекоммуникаций ведет к развитию таких новых направлений, как распределенные вычисления, чрезвычайно сильно влияет на уровень интеграции общества, но и здесь не видно никакой прямой связи с перспективами создания сильного ИИ. Скорее, люди изменяются под давлением этих новых обстоятельств. Все эти направления развития программного обеспечения не затрагивают фундаментальный вопрос о том, как должен работать сильный ИИ.

Еще одной бедой является почти катастрофический рост объема (в байтах, в строках программного кода) программного обеспечения без радикального роста его интеллектуальности (достаточно сравнить первые версии Microsoft Word, которые «весили» 1–2 мегабайта с современными мультигигабайтными дистрибутивами). Это говорит о том, что даже небольшое продвижение в интеллектуальности оплачивается экспоненциальным ростом объемов кода программ.

### ***1.2. Обратная инженерия мозга***

Хотя в направлении обратной инженерии мозга ведется реальная работа, в частности в России под руководством В.Л. Дунина-Барковского в Лаборатории обратного конструирования мозга имени Дэвида Марра [12], задача кажется очень сложной и перспективы этого направления не вполне ясны. Пессимизм вызывают результаты работ по моделированию нервной системы нематоды *Caenorhabditis elegans* (сокращенно *C. elegans*) [13].

Нематода *C. elegans* – крохотный червячок с длиной тела всего около миллиметра, причем *C. elegans* представлен особями трех полов: мужскими, женскими и гермафродитами. Мужские и женские особи имеют нервную систему, состоящую примерно из тысячи нейронов, но нервная система гермафродитов состоит из 302 нейронов. При всей простоте нервной системы нематода демонстрирует сложный репертуар поведений: навигация, поиск пищи, спаривание, обучение, социальное поведение, сон. Гермафродитные особи *C. elegans* являются очень удобным объектом для изучения и моделирования работы нервной системы. Вся нервная система *C. elegans* полностью и точно картирована, каждый нейрон имеет свое имя, причем для моделирования нервной системы, состоящей всего из 302 нейронов, проблема мощности компьютера заведомо не играет никакой роли. Однако, несмотря на то что работы по моделированию нервной системы *C. elegans* ведутся с начала 1990-х гг., результаты крайне ограничены. Ничего похожего на полноценную работающую модель нейронной системы *C. elegans* до сих пор получить не удалось, имеются только некоторые ограниченные результаты в моделировании управления движением тела нематоды. О моделировании всего репертуара поведения речи пока нет и перспективы решения этой задачи достаточно туманны.

Интересно отметить, какие именно характерные трудности встали на пути решения задачи. Во-первых, оказалось, что даже самого полного картирования нейронной системы мало. Нужно знать силу синаптических связей (пороги возбуждения каждого нейрона через каждую синаптическую связь), но они остаются неизвестными и измерить их пока не удастся. Во-вторых, мало моделировать нервную систему. Чтобы понять, насколько полноценно и адекватно работает модель, нужно либо создать полноценного робота *C. elegans*, либо полную компьютерную модель тела (и вообще всего организма) *C. elegans*, чтобы наблюдать результаты работы нервной системы. В работе [13] и некоторых других статьях по этой тематике исследователи пошли по пути создания компьютерной модели тела. Но, однако, и этого оказалось мало. Тело должно существовать в среде обитания, и ее тоже нужно моделировать. В [13] с помощью уравнения Навье-Стокса моделировались жидкие среды разной вязкости. Ясно, что попытка моделирования полного репертуара поведений *C. elegans* встретит на этом пути огромные трудности.

Мозг человека содержит порядка ста миллиардов нейронов вместо 302 нейронов *C. elegans*, поэтому задача обратного конструирования мозга должна быть на много порядков сложнее. При этом имеется также задача сопряжения компьютерной модели мозга либо с телом робота-андроида, представляющего полноценную модель тела человека, либо с компьютерной моделью тела, но тогда и с компьютерной моделью всей среды обитания, которой для человека является вся Вселенная. Последний вариант показывает, что моделирование процессов одного мозга неожиданно оказывается эквивалентным моделированию всей Вселенной, что вряд ли возможно. В варианте сопряжения модели мозга с телом робота-андроида придется еще решить вопрос о мотивах поведения и вообще существования для такого моделированного мозга. Мотивами поведения нормального человека является его чувственно-эмоциональная сфера и ощущение себя частью социума. Если перенести полностью такие мотивации на робота, то результатом будет просто искусственный человек, который вынужден будет жить в реальном времени, в контакте с реальными людьми. Как удастся такому искусственному человеку примириться с наличием своих сверхспособностей? Сверхбыстрое мышление будет ему только мешать, так как выведет из мира нормальных людей. Все эти странные проблемы вместе с опытом моделирования нервной системы *C. elegans* не обещают решения задачи обратного конструирования человеческого мозга в обозримом будущем. Нельзя, конечно, совершенно исключить, что на этом пути еще будут найдены какие-то совсем неожиданные решения. В любом случае, опыт работы с *C. elegans* однозначно показывает, что на пути обратного конструирования мозга проблема отнюдь не сводится к недостаточной мощности имеющихся компьютеров, как это предполагают сторонники сильного ИИ.

Таким образом, как опыт развития синтетического направления конструирования ИИ, так и опыт обратной инженерии мозга показывает, что про-

блема состоит не только, и даже не столько в том, что для создания сильного ИИ не хватает вычислительных ресурсов, сколько в том, что непонятно, как решать задачу. И даже, собственно, непонятно, какую задачу надо решать, поскольку мы не знаем, что такое чисто человеческая способность к пониманию, что такое свобода воли – то есть непонятно, что именно нужно перенести в компьютер.

## 2. Цитозтология и быстродействие мозга

Как уже отмечалось, прогнозы Рэя Курцвейла в отношении даты наступления ТС основаны на оценке быстродействия мозга просто как суммарной максимальной скорости срабатывания всех синаптических связей мозга. Между тем это есть характеристика скорости только одного из видов активности, реализуемой мозгом. Процессы, отвечающие этому виду активности, известны как быстрые процессы, и этот вид активности отвечает работе мозга как нейронной сети. Убеждение, согласно которому работа мозга как нейронной сети в основном и исчерпывает все основные функции, которые реализует мозг, называется нейронной парадигмой. С точки зрения этой парадигмы, для того чтобы смоделировать работу мозга, достаточно смоделировать работу нейронной сети мозга. Однако мозг реализует еще один (как минимум) вид активности, который отвечает не за работу нейронной сети мозга, а за модификацию структуры этой нейронной сети. Наиболее очевидными процессами этого типа являются возникновение и исчезновение синаптических связей. Процессы этого сорта называются медленными, и в настоящее время неизвестно, на каком уровне и как в мозге осуществляется управление медленными процессами. Между тем медленные процессы исключительно важны. Нет особенных сомнений в том, что быстрые процессы управляют моторикой тела, вовлечены в такие важные высшие психические функции, как речь, однако медленные процессы играют ведущую роль в обучении и других высших формах мышления, когда человек создает для себя какое-то новое понимание.

Оценка Рэя Курцвейла предполагает, что с медленными процессами в мозге вообще не связано никакое быстродействие, нуль операций в секунду. Это есть гипотеза, которая, однако, может оказаться очень далекой от истины. На то, что с медленными процессами связана чрезвычайно сложная система управления, не имеющая ничего общего с нейросетевой активностью, указывают наблюдения очень сложного поведения одноклеточных существ.

Примеров такого сложного поведения известно довольно много, и один из недавно обсуждавшихся в литературе относится к слизевикам – одноклеточному колониальному существу [14]. Слизевик демонстрирует разные виды «интеллектуального поведения», среди которых, в частности, можно отметить способность проходить лабиринты, оптимизировать геометрическую форму колонии для достижения определенных целей и др. Но, пожалуй, самой удивительной оказывается способность к обучению (выработке услов-

ного рефлекса). Слизевики способны медленно перемещаться (подобно амебам), и было обнаружено, что влажный воздух заставляет их двигаться быстрее, а сухой – наоборот, замедляет перемещение. Чередую поток влажного и сухого воздуха с определенным периодом, была обнаружена интересная особенность: перед очередной подачей сухого воздуха слизевики снижали скорость. При периодической смене влажного и сухого воздуха колония запоминала последовательность этих перемен и продолжала ее помнить несколько периодов, даже если смена потоков прекращалась. Считается, что мозг для запоминания информации использует изменение силы синаптических связей нейронной сети. Но чем запоминает слизевик, если у него вовсе нет нервной системы? Все сложное поведение слизевика, особенно описанный опыт с обучением, показывают, что существуют сложные внутриклеточные механизмы обработки информации, включая возможность обучения на основе использования внутриклеточной памяти. Этот круг явлений настолько богат и своеобразен, настолько отличается от того, что изучается стандартно понимаемой цитологией и любой другой наукой, имеющей отношение к биологии, биохимии или биофизике клетки, что его должна изучать новая, практически еще не оформившаяся наука, которую можно назвать цитоэтологией. Термин был введен В. Я. Александровым в статье [15].

Биологическая эволюция устроена таким образом, что раз обретенные находки и решения не теряются, но оказываются встроенными в весь последующий эволюционный процесс. Генетический код, появившийся у бактерий, без всяких изменений используют и высшие животные; многоклеточные живые организмы есть не что иное, как сложно организованные колонии узкоспециализированных одноклеточных организмов – клеток и т.д. Это свойство эволюционного процесса связано с такими понятиями, как аддитивность и консерватизм эволюции [16. С. 27]. Поэтому следует ожидать, что механизмы внутриклеточного управления, соответствующие уровню цитоэтологии, появившись в одноклеточном мире, унаследованы и клетками высших многоклеточных организмов. В частности, они в какой-то форме должны быть представлены в нейронах. «Аргумент от эволюции» предсказывает, что индивидуальные нейроны должны проявлять сложные формы поведения, не сводящиеся только лишь к функции нейрона как порогового переключателя в нейронной сети.

Действительно, такие виды активности, оказывается, уже давно были открыты. В статье Б.Г. Режабека [17] в эксперименте над нейрорецептором растяжения речного рака было убедительно показано, что одиночный изолированный нейрон способен к обучению. Нейрорецептор растяжения рака является чрезвычайно удобным объектом для таких опытов, так как единственный нейрон этого рецептора не связан синаптическими связями ни с одним другим нейроном и проявляет свою индивидуальную активность в очень чистом виде. Примечательно не только то, что одиночный нейрон способен обучаться, но ситуация, в которой происходило обучение нейрона в опытах Б.Г. Режабека [17], имеет очень мало общего с реальными жизнен-

ными ситуациями, с которыми приходится сталкиваться нейрону. Поэтому, помимо способности к обучению, в этих опытах была продемонстрирована еще и удивительная гибкость поведения нейрона. Хотя статья [17] – далеко не единственная, где было продемонстрировано сложное поведение индивидуального нейрона<sup>16</sup>, но пока таких работ еще очень мало, что и говорит о самом начале становления науки – цитоэтологии. Тем не менее само существование такого сложного поведения отдельных нейронов уже практически не вызывает сомнений.

Поведение нейрона при формировании новых синапсов очень напоминает движение амебообразных одноклеточных, решающих какие-то свои собственные задачи, поэтому тот тип внутриклеточного управления, который обнаруживает себя в опытах со слизевиками [14], в опытах с единственным нейроном [17], вполне может отвечать за упомянутые выше медленные процессы мозга. Возникает естественный вопрос: какая же эффективная скорость вычислений, выраженная в операциях в секунду, может отвечать этим внутринейронным процессам управления? Чтобы ответить на этот вопрос нужно, естественно, понимать, где на субклеточном уровне может помещаться механизм «внутриклеточного сознания».

Этот важный вопрос тоже должна изучать новая наука – цитоэтология, или, точнее, молекулярная цитоэтология, но пока однозначного ответа, к сожалению, нет. По этому поводу существуют разные идеи, но мы не будем стараться дать здесь их полный обзор. Остановимся вместо этого на одной из наиболее широко обсуждаемых возможностей – системе так называемых микротрубочек, из которых построена значительная часть цитоскелета клетки. Мы будем опираться в основном на книги Роджера Пенроуза [2, 3] и его же недавнюю статью [18], написанную совместно со Стюартом Хамероффом.

Цитоскелет клетки представляет собой систему тонких белковых волокон, пронизывающих всю клетку. Функции цитоскелета в клетке невероятно сложны и разнообразны и, по всей видимости, изучены далеко не полностью. Цитоскелет – динамичная, изменяющаяся структура, в функции которой входит поддержание и адаптация формы клетки к внешним воздействиям, экзо- и эндоцитоз, обеспечение движения клетки как целого, активный внутриклеточный транспорт и клеточное деление [19]. Заметим, что экзоцитоз имеет непосредственное отношение к управлению синаптическими связями нейронов. Цитоскелет сложен структурами нескольких типов, для нас основной интерес представляют так называемые микротрубочки. Часть цитоскелета состоит из пучков таких микротрубочек. Каждая микротрубочка представляет собой, действительно, полую трубку с внешним диаметром около 25 нм, стенки ее сложены ровно из 13 рядов молекул белка-тубулина, причем молекулы в стенке уложены в правильную кристаллическую структуру. Каждая молекула тубулина представляет собой димер, состоящий из

<sup>16</sup> Мы не будем давать обзор работ этого направления, который сам требует отдельной статьи.

двух частей, называемых  $\alpha$ -тубулином и  $\beta$ -тубулином. Молекула тубулина может находиться в двух конформациях, различающихся расстоянием между  $\alpha$ - и  $\beta$ -тубулином и имеющих разный дипольный электрический момент. По этой причине молекулы тубулина могут играть роль битов с двумя состояниями. Более того, соседние молекулы тубулина в микротрубочке взаимодействуют между собой своими электрическими моментами, и благодаря правильной кристаллической структуре всей системы микротрубочка чрезвычайно напоминает клеточный автомат. Клеточный автомат, в свою очередь, может быть универсальным средством вычисления и управления (имеются доказательства возможности эмуляции универсальной машины Тьюринга клеточным автоматом). Следовательно, микротрубочки вполне могут оказаться тем универсальным вычислительным устройством, которое отвечает за сложное поведение клеток или автономных одноклеточных существ. Этим возможности микротрубочек, как носителей информации, не исчерпываются [20], но мы не имеем возможности обсуждать здесь дальнейшие детали. Какова могла бы оказаться скорость вычислений, обеспечиваемая этим устройством?

В статье [18] на основе обзора нескольких исследований утверждается, что микротрубочки демонстрируют набор резонансных частот, которые можно наблюдать в спектрах поглощения и излучения электромагнитных волн, в диапазоне от нескольких кГц до примерно  $10^7$  Гц. При этом именно наивысшая частота  $10^7$  Гц больше всего похожа на основную частоту колебаний дипольного момента молекулы тубулина, входящей в состав кристаллической решетки микротрубочки<sup>17</sup>. В этом случае  $10^7$  Гц и есть скорость срабатывания одной ячейки клеточного автомата, а быстродействие всего автомата можно получить умножив эту частоту на количество ячеек в нем. Поскольку один нейрон в составе микротрубочек содержит порядка  $10^8$  молекул тубулина, то полное быстродействие одного нейрона в этих терминах оказывается  $10^{15}$  операций в секунду, а быстродействие всего мозга с его сотней миллиардов нейронов оказывается  $10^{26}$  операций в секунду. Это на десять порядков превышает оценку быстродействия мозга, предлагаемую Рэем Курцвейлом для прогноза даты ТС, и вызывает очень большие сомнения, что закон Мура будет исправно действовать вплоть до столь огромных величин.

Естественно, речь пока не идет о том, что наличие такой скорости обработки информации внутри нейрона доказано, и не доказана даже локализация процесса внутринейронной обработки информации в микротрубочках. Однако очевидно, что возможности для огромных скоростей обработки информации внутри нейрона имеются, и они должны учитываться и очень серьезно изучаться. Надо также учитывать, что помимо микротрубочек в

<sup>17</sup> Альтернативным объяснением частоты  $10^7$  Гц является основная частота системы молекул тубулина как квантовой системы – Бозе-конденсата, что означало бы, что микротрубочка является не классическим клеточным автоматом, но квантовым клеточным автоматом, см. следующий раздел.

клетке имеются и другие кандидаты на локализацию информационных процессов. Поэтому основная оценка быстродействия мозга ( $10^{16}$  операций в секунду) представляется обоснованной очень слабо.

### 3. Аналогия мозг-компьютер и квантовые моды работы мозга

Методика прогноза даты появления ТС недвусмысленно подразумевает, что быстродействие компьютеров и мозга вообще можно сравнивать, то есть что мозг можно рассматривать как обычный классический компьютер, быстродействие которого может быть выражено в количестве операций в секунду. Между тем, если на некотором уровне (пусть даже весьма глубоко) в мозге происходит обработка информации в квантовом режиме, подобно тому, как это делается в квантовом компьютере, то такое сопоставление полностью утрачивает смысл.

Основное возражение против такой возможности со стороны Рэя Курцвейла состоит в том, что мозг – это место, которое очень плохо подходит для существования так называемой квантовой когерентности, необходимой для проведения квантовых вычислений. Он цитирует слова Сета Ллойда (Seth Lloyd), известного специалиста по квантовой теории и квантовой информатике, из его интервью электронному журналу *Nano Magazine*: «Мозг – это теплое и влажное место. Это очень неудачное окружение для использования квантовой когерентности»<sup>18</sup>.

Аргумент Р. Курцвейла основан на неявной аналогии между опытом создания первых квантовых вычислительных устройств с квантовыми вычислителями, которые могли бы существовать в мозге. Действительно, большинство существующих прототипов квантовых компьютеров требуют для своей работы экстремально низкотемпературных условий и высокой степени изоляции устройства от окружения, и эту особенность конструкции Курцвейл неявно переносит на все вообще возможные устройства этого класса. Но такая экстраполяция вовсе не является оправданной и обоснованной.

Большинство современных прототипов квантовых компьютеров используют либо манипуляцию спиновыми состояниями (спинтроника) либо сверхпроводящие элементы. Спиновые состояния, как правило, являются очень хрупкими (подвержены декогеренции), так как отделены от окружения лишь очень малой энергетической щелью (либо не отделены практически вовсе). Поэтому сохранение таких состояний, вообще говоря, требует очень низких температур и высокой изоляции от окружения. Сверхпроводящие элементы нуждаются в низкотемпературных условиях по той простой причине, что настоящая высокотемпературная сверхпроводимость (при комнатной температуре) пока неизвестна. Однако элементы квантовых вычислительных устройств могут использовать совсем другие физические

---

<sup>18</sup> The brain is a hot, wet place. It is not a very favorable environment for exploiting quantum coherence.

принципы, которые позволят обходиться без криогеники для сохранения квантовой когерентности. Более того, недавно уже было продемонстрировано двухкубитное квантовое вычислительное устройство, хоть и являющееся спинтронным, но работающее при комнатной температуре [21]. В этом случае для борьбы с декогеренцией была использована (и впервые продемонстрирована на практике) активная квантовая коррекция квантовых операций, но и без такой активной квантовой коррекции устойчивое существование квантово-перепутанных состояний при нормальных условиях вовсе не является чем-то необычным. Приведем несколько примеров.

Тривиальный пример представляет атом гелия. Нижняя оболочка атома заселена двумя электронами, но состояние каждого из этих электронов не описывается какой-то определенной волновой функцией. Волновую функцию имеют только оба электрона вместе, и такая волновая функция является перепутанным квантовым состоянием двух электронов. Это перепутанное состояние без всяких проблем существует не только при комнатной температуре, но и приблизительно до двадцати пяти тысяч градусов, когда электроны начинают переходить в возбужденное состояние и может произойти ионизация атома.

Менее тривиальный пример представляют молекулы красителей. Этот пример был использован Ричардом Фейнманом для иллюстрации фундаментальных положений квантовой механики в его знаменитом курсе лекций [22. С. 195–196]. На рис. 1 показана структурная формула молекулы красителя фуксина, которая может находиться в двух конформациях, в которых дипольный момент молекулы ориентирован в противоположных направлениях ( $|1\rangle$  и  $|2\rangle$  на рис. 1). Эти две различные конформации, хоть и имеют определенные структуры в смысле расположения химических связей, но не имеют определенной энергии. Это значит, что эти состояния нестабильны, и в данном случае нестабильность связана с возможностью спонтанного перехода конформаций друг в друга. Стационарными же состояниями оказываются два других состояния, которые представляются квантовыми суперпозициями состояний

$$|I\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|1\rangle + |2\rangle); \quad |II\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|1\rangle - |2\rangle). \quad (1)$$

Однако, в отличие от состояний  $|1\rangle$  и  $|2\rangle$ , которые имеют хоть и не определенную точно, но в среднем одинаковую энергию, энергия состояний  $|I\rangle$  и  $|II\rangle$  отличается на некоторую величину  $E$ , которая соответствует энергии электромагнитного кванта оптического диапазона. На этой частоте молекула красителя чрезвычайно активно поглощает свет (это связано с большим дипольным моментом молекулы фуксина), что и является основой действия этого вещества в качестве красителя. А само явление поглощения света является доказательством того, что молекула фуксина пребывает не в одном из состояний  $|1\rangle$  и  $|2\rangle$  с определенной структурной формулой, а в одной из квантово-когерентных суперпозиций этих состояний  $|I\rangle$  и  $|II\rangle$ . Более то-

го, если внимательно посмотреть на структуру молекулы фуксина, то нетрудно обнаружить, что состояния  $|I\rangle$  и  $|II\rangle$  имеют структуру так называемых состояний Белла, которые иначе называются также парами Эйнштейна–Подольского–Розена (ЭПР). Именно такие состояния и их обобщения на большее число частиц играют основную роль в квантовых вычислениях, в квантовой телепортации, и служат стандартным объектом для демонстрации парадоксов квантовой механики. Если левую кольцевую структуру обозначить буквой  $A$ , правую – буквой  $B$ , то нетрудно видеть, что разные конформации отличаются числом двойных связей в этих структурах. Обозначив вариант  $A$  с двумя и тремя связями как  $|A2\rangle$  и  $|A3\rangle$  и, аналогично, для кольца  $B$ , то состояния  $|I\rangle$  и  $|II\rangle$  можно записать как

$$|I\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|A3\rangle|B2\rangle + |A2\rangle|B3\rangle); \quad |II\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|A3\rangle|B2\rangle - |A2\rangle|B3\rangle). \quad (2)$$

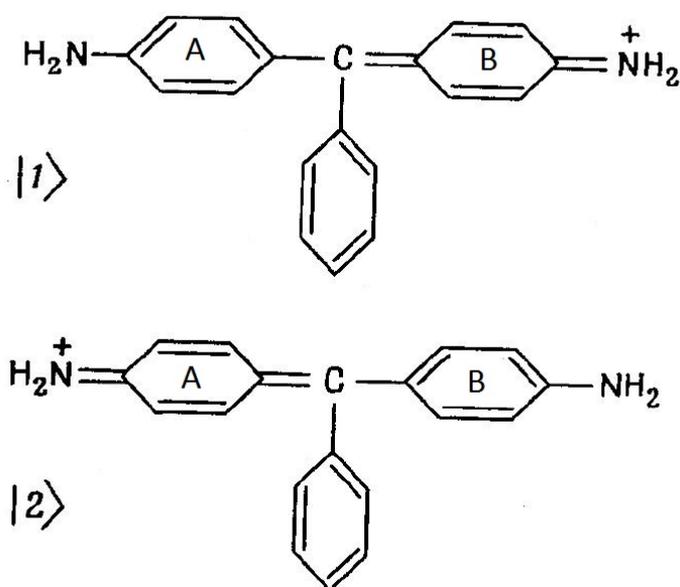


Рис. 1. Две конформации (два базисных состояния) молекулы красителя фуксина

В формуле (2) без труда узнаются скоррелированные ЭПР-пары. Для простоты мы опустили в записи состояний общий множитель, соответствующий неизменной части молекулы. Краситель фуксин прекрасно выполняет свою работу и в растворе, и в твердом состоянии, при комнатной и даже при повышенной температуре. Это означает, что в этих «неблагоприятных» условиях вполне устойчиво существуют когерентные квантово-механические суперпозиции, представляющие собой пары перепутанных состояний макромолекул.

Таким образом, в существовании квантовой спутанности даже для макромолекул при нормальных условиях, в растворе или в составе твердого тела, нет ничего необычного и, тем более, невозможного. Эволюция вполне могла бы найти способ использования таких состояний внутри живой клет-

ки, если бы только это давало какие-то селективные преимущества. Не следует недооценивать изощренность эволюции.

Можно ли указать место в нейроне, где могли бы существовать и как-то использоваться такие квантово-перепутанные состояния? Все те же упомянутые выше микротрубочки являются одним из вполне разумных кандидатов на эту роль [2; 3; 18]. Микротрубочки не просто погружены в цитоплазму клетки, но стенка микротрубочки внутри и снаружи покрыта пленкой воды, причем такой воды, которая находится в состоянии, близком к кристаллическому. Эта пленка кристаллической воды очень хорошо изолирует стенку микротрубочки, сложенную молекулами тубулина, от внешнего окружения. Поэтому нет ничего невозможного в том, что молекулы тубулина существуют не просто в одной из двух своих возможных конформаций, но в когерентной суперпозиции обеих конформаций, при этом соседние тубулины могут образовывать еще и перепутанные состояния. Тогда клеточный автомат микротрубочки будет квантовым клеточным автоматом, который может реализовать квантовый уровень управления нейрона. Есть и другие места в клетке, которые могут служить кандидатами на локализацию квантово-информационных процессов.

Таким образом, существование квантовых процессов обработки информации в мозге вовсе не исключено, хотя и не доказано прямыми наблюдениями. Однако, как мы увидим ниже, не прямое доказательство большой роли квантово-информационных процессов в работе мозга существует и связано с теоремой Пенроуза об ИИ. Если, действительно, мозг в ходе своей работы реализует что-то подобное квантовым вычислениям, то для того, чтобы превзойти мозг просто по скорости обработки информации, нужен не компьютер в обычном понимании, а некоторое устройство, в состав которого входят модули квантовых вычислений. Сколь угодно мощный классический компьютер не может симулировать и, тем более, превзойти квантовое вычислительное устройство (это будет подробнее обсуждаться ниже). Однако перспективы создания квантовых компьютеров пока не вполне ясны, хотя имеются некоторые обнадеживающие результаты: наконец, после почти тридцати лет развития идеи квантового компьютеринга, создано первое полнофункциональное квантовое вычислительное устройство, поддерживающее алгоритмы квантовой коррекции кода, которые позволяют бороться с декогеренцией. Хотя устройство это состоит всего из двух кубитов [21], может быть, эти первые два кубита положат начало кривой Мура в отношении квантовых компьютеров.

В заключение этого параграфа сформулируем еще одну мысль. Как показывает проведенное выше обсуждение, нейросетевая парадигма работы мозга совсем не обязательно является истиной в последней инстанции. Это есть только одна из крайних возможностей, которые должны обсуждаться, и для полноты картины нужно сформулировать также другой предельный случай. Противоположная крайность состоит в том, что нейросетевая активность не есть носитель сознания, но есть лишь инструмент сознания, интер-

фейс, связывающий сознание с окружающей действительностью. «Само» сознание (или его жизненно важные компоненты) живет на некоторых более глубоких (субнейронных, квантовых?) уровнях организации мозга. Возможно, истина лежит где-то посередине, но ни одну из возможностей между этими двумя крайностями пока исключить нельзя.

Наконец заметим, что возможное наличие субнейронных уровней обработки информации очевидным образом резко усложняет задачу обратного конструирования мозга, в особенности если на этих уровнях присутствует квантовая обработка информации.

#### 4. «No-go» теорема Роджера Пенроуза об искусственном интеллекте

Как мы старались показать выше, некоторые предположения, лежащие в основе прогноза появления сильного ИИ в обозримом будущем, примерно в середине XXI в., являются в лучшем случае не очень хорошо обоснованными. Но теорема Пенроуза об ИИ, которую мы обсудим ниже, предоставляет гораздо более серьезное возражение таким прогнозам.

Закон сохранения энергии (первое начало термодинамики) запрещает создание вечного двигателя первого рода. Второе начало термодинамики запрещает создание вечного двигателя второго рода. Сколь бы изощренными ни были наши технологии, устройства этого типа не могут быть созданы, так как упомянутые законы имеют характер фундаментальных запретов. Очень похоже, что роль, аналогичную первому и второму началам термодинамики в отношении вечных двигателей, относительно возможностей ИИ играет теорема Пенроуза об искусственном интеллекте.

Содержание теоремы сводится к утверждению, что какой бы мощностью ни обладало устройство, имеющее архитектуру конечного автомата (компьютера в современном понимании), человеческое мышление имеет некоторые возможности, недоступные такому устройству. Следовательно, при обсуждении возможности для ИИ превзойти человека во всех отношениях, вопрос о мощности компьютеров вообще не имеет отношения к делу до тех пор, пока мы говорим о компьютерах в современном понимании. Ни один компьютер не может превзойти мышление человека во всех отношениях независимо от его мощности, так как теорема говорит о том, что в некотором отношении человеческое мышление обязательно будет сильнее. Сосредоточимся на смысле теоремы Пенроуза, которая, как упоминалось во введении, осталась совершенно непонятой сторонниками сильного ИИ и ТС.

Начать нужно с первой теоремы Гёделя о неполноте (см., например, [23. С. 188]), на которую часто ссылаются просто как на теорему Гёделя. Смысл теоремы состоит в следующем. Пусть имеется любая непротиворечивая аксиоматическая система, содержащая в себе формальную арифметику. Тогда в этой системе существует осмысленное утверждение, которое нельзя ни доказать, ни опровергнуть средствами этой системы. Более того, доказательство теоремы имеет конструктивный характер в том смысле, что

это утверждение строится в явном виде и является истинным по построению (на метаматематическом уровне, см. [23. С. 188]). Таким образом, для любой достаточно мощной аксиоматической системы можно явно указать утверждение, про которое мы точно знаем, что оно истинно, но доказать которое в рамках этой системы невозможно. Для доказательства теоремы используются две фундаментальные идеи: так называемая Гёделевская нумерация и диагональный метод Кантора. Сама теорема Гёделя в высшей степени нетривиальна, содержит в себе множество тонкостей (некоторые детали обсуждаются в нашей статье [24]), но к настоящему времени чрезвычайно подробно исследована и не вызывает никаких сомнений. Так что она является вполне надежным исходным пунктом для рассуждений.

Структура любого конечного автомата (компьютера) может быть описана конечным образом просто в силу конечности этого устройства. Это описание аналогично конечному набору аксиом некоторой формальной системы. Предполагается также, что автомат реализует обоснованные процедуры, то есть такие процедуры, которые дают правильные ответы либо не дают ответа вовсе. Это означает, что если автомат вычисляет, например,  $A + B$  и получает  $C$ , значит, так оно и есть, этот ответ правильный. Отсутствие ответа означает, что автомат не может завершить процедуру, впадая в какую-то разновидность бесконечного цикла. Обоснованность процедур играет для конечного автомата ту же роль, что непротиворечивость для системы аксиом. Требуется также, чтобы автомат был настолько гибким и сильным, чтобы в нем можно было реализовать алгоритм, предназначенный для анализа других алгоритмов той же машины на предмет их остановки (не впадают ли в бесконечный цикл). Это требование аналогично требованию достаточной силы аксиоматической системы в теореме Гёделя. С точки зрения последующего сопоставления возможностей машины и человека в этом требовании нет ничего противоестественного. Действительно, человек может ставить перед собой такие проблемы и разрешать их. Если машина этого не может, то она заведомо слабее человека и просто не представляет интереса для анализа. Всем этим требованиям удовлетворяет универсальная машина Тьюринга и любое эквивалентное ей устройство. В частности, обычные наши вычислительные машины, которые имеют архитектуру фон Неймана, функционально эквивалентны универсальной машине Тьюринга, то есть заведомо входят в область анализа.

Как и следует ожидать, в полной аналогии с теоремой Гёделя, для такой системы (машины) можно явно построить некоторое истинное утверждение, истинность которого не может быть доказана (точнее говоря, вычислена) данным конечным автоматом. В этом заключается смысл теоремы Гёделя–Тьюринга для конечных автоматов. Как и теорема Гёделя, теорема Гёделя–Тьюринга доказывается с использованием метода, очень похожего на Гёделевскую нумерацию, и с использованием диагонального метода Кантора. То есть имеет место полная аналогия с теоремой Гёделя даже в деталях доказательства, и существование самой теоремы Гёделя–Тьюринга о конечных ав-

томатах не вызывает никакого удивления. Подобно доказательству теоремы Гёделя, доказательство теоремы Гёделя–Тьюринга тоже является конструктивным. Утверждение, истинность которого не может быть проверена конечным автоматом, строится в явном виде для любого конечного автомата и является истинным по построению. Собственно говоря, теорема Гёделя–Тьюринга и является просто теоремой Гёделя, переформулированной для конечных автоматов. Существование теоремы, аналогичной теореме Гёделя, но для конечных автоматов, а не для формальных систем, можно было предвидеть заранее, так как универсальная машина Тьюринга представляет собой, по построению, универсальное средство формализации любых вычислений, поэтому она в каком-то смысле эквивалентна полной арифметике, и все теоремы арифметики будут справедливы в отношении универсальной машины Тьюринга в надлежащей переформулировке. Таким образом, теорема Гёделя–Тьюринга, как и теорема Гёделя, является очень надежным шагом в анализе. С деталями доказательства теоремы Гёделя–Тьюринга можно ознакомиться по книгам Роджера Пенроуза [2; 3] и по специальной литературе, но эти детали не играют существенной роли в нашем изложении.

Чрезвычайно важно, что из одной только теоремы Гёделя–Тьюринга о конечных автоматах невозможно сделать прямых выводов о сопоставлении возможностей ИИ и интеллекта человека. Теорема Гёделя–Тьюринга ничего не говорит об интеллектуальных возможностях человека. Именно это обстоятельство не понято сторонниками сильного ИИ (см. обсуждение в конце этого параграфа). Здесь необходим еще один весьма нетривиальный шаг, и Роджер Пенроуз этот шаг делает. Подчеркнем еще раз, что этот последний шаг был сформулирован именно Роджером Пенроузом, он не тождествен теореме Гёделя–Тьюринга; это нечто существенно большее, при всей кажущейся простоте этого последнего шага.

Рассуждение Пенроуза представляет собой доказательство от противного. Предположим, что создан суперкомпьютер, имеющий архитектуру конечного автомата, который реализует как минимум все методы математических рассуждений, которыми владеет человечество (сильный математический ИИ). Однако, в силу теоремы Гёделя–Тьюринга, для данного суперкомпьютера, как и для любого конечного автомата, любой человек, понимающий теорему Гёделя–Тьюринга, используя математическое рассуждение, зафиксированное в этой теореме, может явно построить утверждение, про которое ему будет точно известно, что оно истинно (по построению), хотя для данного суперкомпьютера его истинность недоступна. Мы получили противоречие: предположив, что суперкомпьютер владеет всеми методами математических рассуждений, которыми владеют люди, мы немедленно указали математическое рассуждение, которое доступно любому человеку, понимающему теорему Гёделя–Тьюринга, но недоступно этому компьютеру. То есть мы доказали, что компьютер владеет не всеми методами математических рассуждений людей. Противоречие доказывает, что исходное предположение было неверным, следовательно, суперкомпьютер, владею-

щий всеми математическими способностями людей, невозможен, тем самым некоторые способности людей остаются за пределами достижимости любого вычислительного устройства – конечного автомата. Сильный ИИ невозможен ни для каких компьютеров на основе архитектуры конечного автомата.

В последнем абзаце доказательство Пенроуза приведено полностью. Краткость и простота доказательства являются обманчивыми, здесь есть несколько тонкостей, которые необходимо сразу отметить и обсудить.

Во-первых, какова природа теоремы Пенроуза? Является ли она математической теоремой в точном смысле слова? Если нет, то чем именно она является? Настораживает то, что теорема оперирует таким, например, явно не математическим понятием, как «все человечество». Каким образом «все человечество» может быть элементом математического рассуждения, если нормальные математические доказательства адресуют абстрактные математические объекты?

Если все люди смертны и Сократ – человек, то Сократ смертен. Сократ не является абстрактным математическим объектом, однако приведенное рассуждение является правильным математическим доказательством. К какой же области математики относится такое доказательство? Это рассуждение относится к математической логике, которая является разделом математики, который изучает отношения между высказываниями произвольной природы, полностью абстрагируясь от природы объектов, к которым относятся эти высказывания. Роль играет только их структура. Именно с этой точки зрения легко может быть проанализирована теорема Пенроуза. Пусть  $x$  означает «способ математических рассуждений, доступный кому-то из людей», предикат  $P(x)$  означает « $x$  может быть воспроизведен компьютером». Тогда нетрудно понять, что, в стандартных обозначениях математической логики, все доказательство Пенроуза может быть представлено короткой формулой

$$(\forall xP(x) \Rightarrow \exists y\neg P(y)) \Rightarrow \neg(\forall xP(x)) \quad (3)$$

Эта формула представляет собой теорему математической логики (тавтологию), которая является истинной совершенно независимо от семантики, которая вкладывается в символы  $x$ ,  $y$ ,  $P$ . То, что в семантике возникает довольно сложное понятие «человечество», не играет роли с точки зрения истинности всего вывода. Так что на природу теоремы Пенроуза возможен взгляд как на теорему математической логики или просто как на правильный математический силлогизм.

Второй тонкий момент заключается в том, что теорема Гёделя–Тьюринга, строго говоря, адресует не реальные вычислительные машины, а абстрактные конечные автоматы – машины Тьюринга (это очень распространенный аргумент противников теоремы Гёделя–Тьюринга). Поэтому получается, что теорема Гёделя–Тьюринга как бы вовсе и не имеет отношения к реальной вычислительной технике, а имеет отношение только к каким-

то абстрактным математическим объектам. Теорема Пенроуза тогда наследует этот недостаток.

В этом рассуждении имеется методическая ошибка. Действительно, абстрактные машины Тьюринга не являются реальными вычислительными устройствами, но являются только идеальными моделями таких устройств. С другой стороны, если мы хотим оставаться в рамках науки, то надо ясно понимать, что у нас нет иного пути изучения реальности, кроме как на языке идеальных математических моделей. Если вы хотите иметь дело с реальностью напрямую, то вам не остается ничего иного, кроме молчаливого созерцания в духе буддизма. Поэтому использование идеальной модели для понимания работы реальных вычислительных машин не является чем-то необычным или неправильным. Другое дело, что кто-нибудь может сказать, что машина Тьюринга является недостаточно хорошей моделью реальных машин в контексте данной задачи. Реальные машины дают сбои, могут вовсе сломаться, обладают только конечной памятью и т.д. Но если такой недовольный захочет доказать свою правоту, то ему придется построить модель машины, которая работает со сбоями и ошибками (снова идеальную), и с использованием этой модели показать, например, что такая машина может решить задачи, недоступные машине, которая работает идеально правильно. Интересно было бы увидеть такое доказательство.

Следует отметить, что теорема Пенроуза существенно опирается на метод доказательства от противного (что, впрочем, можно сказать и о теоремах Гёделя и Гёделя–Тьюринга, что прямо видно из их доказательств). Этот метод принят в основной части нормальной математики, и огромное количество результатов находится от него в прямой зависимости. Однако не все исследователи оснований математики его принимают. Они, в частности, будут настаивать, на том, что если существование некоторого объекта приводит к противоречию, то это не означает автоматически, что объект не существует. Несуществование некоторого объекта должно быть доказано явным перечислением всех объектов того же типа, которые существуют, и отсутствием среди них искомого. Такое направление в основаниях математики известно как интуиционизм или конструктивизм (это практически синонимы). В конструктивной и интуиционистской логике формула (3) не является истинной теоремой. С точки зрения конструктивной математики, для доказательства теоремы Пенроуза нужно было бы представить список всех возможных конечных автоматов и явно указать, что ни один из них не превосходит все математические способности людей. Вряд ли такое доказательство возможно. Таким образом, теорема Пенроуза существенным образом является теоремой обычной математики (точнее – обычной математической логики, см. выше), но не конструктивной или интуиционистской математики. Если кто-то критикует теорему Пенроуза на основании того, что она использует метод доказательства от противного, то он примыкает к лагерю конструктивистов, и, будучи последовательным, должен отбросить существенную часть всей современной математики (в частности, почти весь математический анализ).

Из теоремы Гёделя–Тьюринга следует также, что мозг человека, способного понять теорему Гёделя–Тьюринга (назовем такого человека математиком), сам не является конечным автоматом. Действительно, предположим, что мозг математика – это некоторый конечный автомат. Тогда, используя теорему Гёделя–Тьюринга, математик может построить истинное утверждение, истинность которого он не может установить с использованием его собственного мозга как конечного автомата. Тем самым такой математик понимает то, что он понять не может. Противоречие доказывает, что исходное предположение было неверным и мозг математика не является конечным автоматом. Следовательно, аналогия «мозг – это компьютер» неверна для мозга любого отдельно взятого математика. Это утверждение можно рассматривать как альтернативную формулировку теоремы Пенроуза.

Интересно, что этим способом невозможно доказать, что мозг любого наперед заданного человека не является конечным автоматом. Теорема справедлива только либо в отношении математической способности всех людей, вместе взятых (среди которых есть, разумеется, и математики), либо в отношении отдельных личностей, понимающих или способных понять теорему Гёделя–Тьюринга. Но дальше логика Роджера Пенроуза такова. Математические способности людей представляют только частный случай способностей мозга, отличающийся от других способностей тем, что здесь анализ соотношения способностей мозга и компьютера удается абсолютно строго довести до конца. Поскольку в отношении математических способностей точно доказано превосходство человека над машиной, то, по аналогии, человек может обладать и другими способностями, недоступными конечному автомату. Просто анализ в других случаях довести до конца труднее, и, скорее всего, источник всех этих «невычислимых» способностей один. Действительно, многое указывает на существование таких способностей, и Роджер Пенроуз приводит множество примеров, причем не он первый это делает. Качественный анализ этого типа проводился и задолго до книг Пенроуза, например в книге Х. Дрейфуса [25] (конец 60-х гг. XX в.).

Таким образом, человек – не компьютер не только в смысле его математических способностей (что фактически доказано), но и во многих других отношениях. Проще говоря, самое главное, что недоступно компьютеру, это чисто человеческая универсальная способность к пониманию и придумыванию, которая, действительно, упорно не поддается формализации. Как написали братья Стругацкие в повести «Беспокойство»: «...все фундаментальные идеи выдумываются... они не висят на концах логических цепочек». Теорема Пенроуза указывает на то, что эта универсальная способность людей выдумывать не может быть формализована на основе архитектуры конечного автомата. Автоматы ходят только вдоль логических цепочек, поэтому новые фундаментальные идеи, которые не висят на их концах, им недостижимы. Но где они висят, эти фундаментальные идеи, как люди до них добираются? Мы этого не знаем.

Чтобы проиллюстрировать силу теоремы Пенроуза, приведем пару примеров, имеющих вид возражений против этой теоремы, и ответов на них.

*Возражение 1.* Если внимательно посмотреть на способ доказательства теоремы Гёделя–Тьюринга, то можно усмотреть, что способ генерации гёделевского утверждения сам имеет «механический» характер и может быть алгоритмизован. Пусть алгоритм, который генерирует гёделевское утверждение, включен в описание суперкомпьютера, о котором идет речь в доказательстве теоремы Пенроуза. Тогда он сможет самостоятельно сгенерировать гёделевское утверждение, якобы доступное только людям, но не этому компьютеру.

*Ответ.* Даже если алгоритм генерации гёделевских утверждений будет включен в описание суперкомпьютера, суперкомпьютер останется конечным автоматом, и на него по-прежнему будет распространяться теорема Гёделя–Тьюринга. Следовательно, и для обновленной конфигурации можно построить новое гёделевское утверждение, которое ему будет недоступно. Новое утверждение снова может быть включено в описание компьютера и т.д. Даже при неограниченной цепочке таких итераций компьютер останется конечным автоматом, следовательно, снова найдется хотя бы одно гёделевское утверждение, которое ему недоступно, но которое понимает математик-человек (по причине конструктивности этого утверждения).

*Возражение 2.* Выпишем все возможные способы математических рассуждений людей и заставим компьютер прочитать этот список. Тогда, очевидно, компьютеру станет доступно все, что доступно и людям.

*Ответ.* Выше было показано, что человек-математик не является конечным автоматом, следовательно, не является конечным автоматом и вся совокупность людей. Поэтому нельзя ожидать, что существует какой-то конечный список способов математических рассуждений, доступный людям. Список, вообще говоря, бесконечен, поэтому даже не может быть подготовлен для последующего прочтения.

В «Тенях разума» Роджер Пенроуз разбирает еще 18 разных возражений. Из двух возражений, разобранных выше, приведенный выше ответ на первое возражение следует Роджеру Пенроузу, на второе возражение мы здесь ответили по-другому.

Надо отметить, что анализ книги Рэя Курцвейла о технологической сингулярности [1] не идет дальше теоремы Гёделя–Тьюринга. Имя Пенроуза в контексте теоремы Гёделя–Тьюринга здесь даже не упоминается, и это при том, что с книгами Роджера Пенроуза Рэй Курцвейл точно знаком (что видно по обильному цитированию по другим поводам в других местах книги [1]). Это означает, что теорема Пенроуза просто не была понята. Например, в разделе «The Criticism from the Church-Turing Thesis» в книге [1] можно встретить следующее рассуждение (не дословно): компьютер – конечный автомат, поэтому для него существуют гёделевские утверждения. Это – несомненно. Но и мозг – тоже конечный автомат (это для Рэя Курцвейла ясно), поэтому и для него тоже существуют гёделевские утверждения. В этом

смысле компьютеры ничуть не хуже мозга, поэтому нет ничего удивительного в том, что компьютер может полностью воспроизвести работу мозга.

Следующий шаг от теоремы Гёделя–Тьюринга, который приводит к выводу о том, что мозг не может быть конечным автоматом, Рэй Курцвейл не сделал сам и не увидел его у Роджера Пенроуза.

Напротив, в книге Хьюберта Дрейфуса «Чего не могут вычислительные машины» [25] представлено ясное понимание того, что мозг не может быть просто компьютером. Собственно, в этом и состоит основной смысл книги. Интересен ответ на вопрос о том, почему мозг может не быть компьютером. Хьюберт Дрейфус формулирует его примерно так: машины обрабатывают информацию, а человек работает со смыслами. Вовсе не очевидно, что человеческие смыслы, чем бы они ни были на самом деле, могут быть закодированы информацией. Поэтому, возможно, мысль – не вычисление в обычном смысле. Как мы увидим ниже, Дрейфус мог оказаться очень близок к истине.

## **5. Природа невычислительной активности мозга по Роджеру Пенроузу**

Тот тип способностей человека, который выходит за пределы вычислительных возможностей любого конечного автомата и существование которого доказывается теоремой Пенроуза, сам он называет невычислительной или невычислимой активностью мозга. Следующий вопрос, который обсуждает Пенроуз, состоит в следующем: что же в мозге человека содержится такого, что превращает его во что-то существенно отличное от любого вычислительного устройства в обычном понимании? Если мозг – не компьютер, то что это? В чем физически заключается корень невычислительной активности мозга?

Прежде всего Пенроуз показывает, что архитектура мозга как нейронной сети не имеет отношения к делу. Этот аспект проблемы связан с различием «нисходящих» и «восходящих» способов программирования. Под нисходящими способами понимаются традиционные методы, основанные на процедурном программировании, когда сначала пишется головная процедура программы, она обращается к подпрограммам, те обращаются к подпрограммам более низкого уровня и т.д., пока алгоритм не будет полностью детализирован вплоть до уровня машинных команд, не требующих дальнейшей детализации. Большинство программных систем до сих пор создаются именно этим способом. Восходящее программирование характерно для систем, в которых реализуется та или иная форма «обучения», и, на первый взгляд, какой-либо заранее определенный жесткий алгоритм, предназначенный для решения определенной группы задач, отсутствует. Наиболее типичным примером этого типа программирования являются искусственные нейронные сети. Однако отсутствие жесткого алгоритма в системе в этом случае является иллюзией. В действительности любая такая система может быть разложена на данные, которые могут представлять, например, структуру нейронной сети вместе с ее текущим состоянием и жесткое ядро алго-

ритма, который обрабатывает эти данные. Ядро управляет «обучением» системы и ее последующей «работой», просто модифицируя эти данные и интерпретируя их специальным способом. На фундаментальном теоретико-алгоритмическом уровне это есть просто особый сорт обработки данных конечным автоматом, и само ядро такой самообучающейся системы всегда имеет самую обыкновенную жесткую структуру, запрограммированную нисходящим способом. Такое ядро иногда может быть реализовано не программным путем, а «в железе», но это совершенно не меняет сути дела. В любой самообучающейся искусственной системе (из числа известных в настоящее время) может быть найдено жесткое алгоритмическое ядро. Так что использование искусственных нейронных сетей какой угодно сложности и любых других методов восходящего программирования вовсе не выводит за пределы понятия конечного автомата, и нейросетевая структура мозга, взятая сама по себе, тоже не имеет отношения к его невычислительной активности.

Значит, причину невычислительной активности мозга надо искать в чем-то другом. Логически остаются две возможности: либо этим чем-то может быть особая физика, управляющая работой мозга, либо источник невычислительной активности лежит вне мозга и соответствующая способность мозга является следствием того, что мозг является открытой системой. Обе эти возможности рассматриваются Роджером Пенроузом (то, что способность к невычислительной активности имеет «сверхъестественное» или «нематериальное» происхождение, Пенроуз не рассматривает в качестве варианта, который имеет смысл обсуждать).

На идею о том, что причина невычислительной активности мозга может быть следствием открытости мозга как системы и может лежать за пределами самого мозга, Пенроуз возражает двумя способами. Во-первых, если только предполагать, что любой конечный фрагмент окружения человека описывается вычислимой физикой, то он, формально говоря, может быть отображен на работу конечного автомата, поэтому ничего невычислимого в нем не найдется. В этом смысле невычислимости вне мозга просто неоткуда взяться. Никакие контакты мозга с окружением к невычислимости тогда не приведут. Во-вторых, если мы предполагаем, что вне человека всё-таки есть что-то, имеющее невычислимый характер, то мы, очевидно, соглашаемся, что невычислимые процессы в природе существуют, хотя бы в принципе. Но тогда нелепо предполагать, что они локализуются в каком-то месте, отличном от самого мозга, так как именно мозг является самой сложной из известных нам природных систем. То есть источник невычислительной активности мозга нужно искать только внутри мозга, никак не снаружи.

Далее Пенроуз детально рассматривает разные типы физических процессов в качестве потенциальной основы невычислительной активности внутри мозга (этому посвящена вторая половина каждой из книг [2; 3]). Его цель – найти невычислимую физику, так как такая физика автоматически могла бы привести и к невычислимому поведению мозга. Пенроуз приводит

несколько примеров, из которых следует, что в такой физике в принципе нет ничего невозможного. Например, если бы некоторая теория существенным образом использовала перечисление всех возможных топологий некоторого многомерного многообразия (например, в качестве индекса при суммировании какого-то ряда), то такая теория была бы невычислимой, так как доказано, что задача перечисления всех таких топологий алгоритмически неразрешима. Пенроуз рассматривает и другие «игрушечные» примеры невычислимой динамики.

Затем Пенроуз тщательно пересматривает в поисках невычислимости всю известную физику. Сначала он исключает классическую механику и классическую теорию поля, включая теорию гравитации (общую теорию относительности, ОТО). Все эти теории имеют простую динамическую природу и математически представляются либо задачей Коши для систем дифференциальных уравнений (обыкновенных или в частных производных), либо вариационными задачами для хорошо определенных функционалов. Здесь нет места невычислимости. Затем он рассматривает классическую статистическую физику. Для систем статистической физики не требуется вычислять частные динамические траектории, но требуется вычислять типичное поведение. Иными словами, задача сводится к моделированию ансамблей. Это снова не приводит к каким-либо принципиальным проблемам, связанным с вычислимостью. Ансамбли можно моделировать с использованием программных генераторов случайных чисел, которые могут следовать чисто случайному поведению с практически сколь угодно высокой точностью. Таким образом, вся классическая физика, как обыкновенная, так и статистическая, исключается полностью.

На этом этапе возникает, ни много ни мало, не прямое доказательство того, что мозг в процессе мышления существенным образом использует квантовые процессы. Действительно, если вся классическая физика, как источник невычислительной активности мозга, исключена, то остается искать такую активность в квантовой физике (как минимум). Это очень сильный вывод, который находится в глубоком противоречии с прогнозами Рэя Курцвейла и других приверженцев появления сильного ИИ в обозримом будущем. Такое доказательство существования квантовой активности мозга несколько напоминает доказательство существования гравитационного излучения по ускорению взаимного вращения в системах двойных пульсаров. Наблюдаемое ускорение находится в точном соответствии с предсказанием ОТО, основанном на квадрупольном излучении гравитационных волн, но сами гравитационные волны до сих пор не обнаружены в прямых экспериментах, поэтому нет полной уверенности в правильности интерпретации явления. В случае квантовой активности мозга тоже требуется ее прямое обнаружение, одного только доказательства через теорему Пенроуза не достаточно.

После классической физики Роджер Пенроуз рассматривает квантовую физику и снова не обнаруживает здесь ничего невычислимого. Этот его вы-

вод мы будем подробно обсуждать ниже, здесь же пока примем его и проследим дальнейшую логику. Получается, что никакая вообще известная физика к невычислимому поведению, которое демонстрирует мозг, привести не может, так как классическая и квантовая физика вместе исчерпывают вообще всю известную физику. Даже если мозг – не классический, а квантовый компьютер в современном понимании этого термина, это никак не может объяснить его невычислительную активность. Мозгу мало быть просто квантовым компьютером, нужно нечто большее. В основе работы мозга должна лежать еще неизвестная невычислимая физика, ничего другого не остается! Таков вывод Роджера Пенроуза. Сам Пенроуз спекулирует о том, что эта неизвестная физика может быть напрямую связана с квантовой гравитацией, которая до сих пор является камнем преткновения фундаментальной науки. То есть мозг является не квантовым компьютером, но «квантово-гравитационным компьютером».

Этот вывод Роджера Пенроуза понимается очень плохо, как и теорема Пенроуза об ИИ. В частности, неверное понимание продемонстрировано в книге Рэя Курцвейла [1]. Курцвейл предполагает, что Пенроуз считает мозг квантовым компьютером в обычном современном понимании, и с этой позиции Курцвейл разворачивает свою критику (кстати, тоже не вполне адекватную, о чем мы уже упоминали в параграфе 3). Истинная позиция Пенроуза осталась Курцвейлом непонятой, так как осталась непонятой и вся линия его рассуждений, начиная с доказательства по-го теоремы об ИИ.

Окончательный вывод Роджера Пенроуза о необходимости новой физики для понимания работы мозга кажется более чем поразительным. Получается, что в новую физику (квантовую гравитацию?) может вести не только создание гигантских коллайдеров для исследования физики микрочастиц или лишь ненамного менее гигантских и сложных телескопов для исследований в области космологии ранней Вселенной, гамма-барстеров и др., но наука о сознании. Мозг может быть таким же пробным камнем в поисках фундаментальной физики, как упомянутые ускорители и телескопы. И это есть мнение вполне прагматически и рационально настроенного ученого с мировым именем, сэра Роджера Пенроуза, но отнюдь не мистика-эзотерика. Надо, конечно же, отметить, что Пенроуз среди ученых вовсе не одинок в предположении, что наука о сознании, так или иначе, должна занять важное место в фундаментальной объединяющей физической теории. Хорошо известны исследования М.Б. Менского в этом направлении [26; 27; 28], недвусмысленно в этом же духе высказался Андрей Линде в недавнем интервью по случаю получения им премии Fundamental Physics Prize Юрия Мильнера [29]. Хотя, быть может, вывод Пенроуза и не столь уж удивителен. Действительно, физика элементарных частиц адресуется экстремально мелкие пространственные масштабы, космология – Вселенную в целом, то есть экстремально большие масштабы, а мозг представляет самую сложную известную структуру – то есть экстремальную сложность.

Однако если вернуться к аргументам и выводам Роджера Пенроуза, касающимся интерпретации его no-go теоремы об ИИ, здесь хотелось бы дать некоторые уточнения, дополнения и поставить несколько вопросов. Они рассмотрены в следующих разделах статьи.

## **6. Невычислительная активность Вселенной в целом**

Первое уточнение имеет довольно тривиальный характер и относится к утверждению Роджера Пенроуза, что вне мозга не надо искать невычислительную активность. Невычислительная активность, существующая вне мозга и не связанная прямо с чьей-либо еще мыслительной активностью, очевидным образом существует. Это активность Вселенной в целом. Активность Вселенной в целом принципиально не может быть «вычислена» конечным автоматом, так как для этого потребовался бы автомат (компьютер), заведомо превосходящий Вселенную в размере, что невозможно, так как он сам должен быть частью Вселенной. Активность Вселенной в целом невычислима.

Однако может ли этот сорт невычислимости быть причиной невычислительной активности мозга типа той, о которой идет речь в теореме Пенроуза? Вообще говоря, для сознания может быть существенно, что Вселенная, в силу своей практически актуальной бесконечности и невычислимости, является неисчерпаемой и для познания. Мы постоянно ожидаем и должны ожидать от природы чего-то, что абсолютно невозможно предсказать. Это обстоятельство вполне может каким-то образом стимулировать мыслительную активность и влиять на формы деятельности мозга. Но вряд ли бесконечность и невычислимость этого сорта имеет отношение к способности математика построить невыводимое для конечного автомата утверждение с использованием гёделевской нумерации и диагонального метода Кантора. В этой способности не просматривается какое-либо влияние актуальной бесконечности Вселенной. Хотя строго доказать, что такая связь отсутствует, вряд ли возможно, но она выглядит очень неправдоподобной или, как минимум, не первостепенной. Поэтому, как нам представляется, хоть аргумент о невычислимости бесконечной Вселенной и надо иметь в виду, но он не может повлиять на выводы Роджера Пенроуза.

## **7. Квантовая реальность: вычислимость и симулируемость**

### **7.1. Вычислимость квантовой теории – «наивный» подход**

Вывод Роджера Пенроуза о том, что вся классическая физика, включая классическую теорию поля и все разделы классической статистической физики, является существенно вычислимой и не может быть источником невычислительной активности мозга, представляется нам совершенно несомненным, и мы не будем здесь его подробно обсуждать. За деталями отсылаем к

книгам Пенроуза [2; 3]. На первый взгляд, вывод о том, что вся квантовая физика является вычислимой, тоже не вызывает никаких сомнений.

Действительно, состояния квантовых систем представляются векторами в гильбертовом пространстве. Вектор в гильбертовом пространстве – хорошо понятный объект, который в принципе может быть представлен в компьютере с любой заданной точностью, даже в том случае, если гильбертово пространство бесконечномерно. В принципе здесь ситуация весьма напоминает представление в компьютере обычных непрерывных классических полей с необходимой заданной точностью. С формальной точки зрения, вектор гильбертова пространства для компьютера – это просто цепочка комплексных чисел.

Эволюция систем в квантовой теории представляется унитарными преобразованиями состояний систем – векторов гильбертова пространства. С формальной точки зрения, такое унитарное преобразование есть либо умножение вектор-столбца, представляющего состояние системы, на унитарную матрицу, являющуюся преобразованием, отвечающим эволюции, либо результат решения некоторого линейного дифференциального уравнения с начальными условиями. В проведении таких операций для обычного компьютера нет ничего невозможного.

Наконец, третьим и последним компонентом квантовой теории являются измерения. Измерения характеризуются вероятностями получения на выходе измерительной процедуры тех или иных значений наблюдаемых величин, а сами вероятности определяются проекционным постулатом Борна – фон Неймана. Для вычисления вероятностей не требуется вычислять ничего более сложного, чем скалярные произведения векторов гильбертова пространства, и это, опять-таки, является алгоритмической процедурой, легко выполнимой на компьютере. Эти вероятности можно не только вычислить, но, при необходимости, даже симулировать соответствующее вероятностное поведение исхода измерения с использованием датчиков случайных чисел.

Таким образом, все вычисления, необходимые для предсказания поведения квантовых систем, формально говоря, можно выполнить на обычном классическом компьютере. Например, по этой причине можно поведение квантового компьютера полностью симулировать классическим конечным автоматом. Более того, такие программы-симуляторы существуют [30]. Философски говоря, квантовая реальность допускает исчерпывающее представление в классических вычислительных системах – компьютерах. Более точно можно говорить о принципиальной возможности изоморфизма фрагментов квантовой реальности и компьютерных (вычислительных) моделей этих фрагментов реальности.

### ***7.2. Изоморфизм квантовой реальности и ее симуляции классическим конечным автоматом***

Сформулированное выше представление о вычислимости квантовой теории приводит к некоторым не совсем тривиальным вопросам. Если кван-

товый процесс можно взаимно однозначно отобразить на функционирование классического конечного автомата, то, с точностью до изоморфизма, квантовый процесс – это просто и есть определенный способ работы конечного автомата. Но куда же тогда исчезает вся таинственность квантового мира? Где квантовые парадоксы, о которых столько сказано? Конечный автомат сводит квантовое поведение к чему-то простому и классическому, в чем ничего таинственного нет. Программа для компьютера не может быть таинственной. Более того, не имеем ли мы противоречия с доказанными теоремами о невозможности существования классических скрытых параметров в квантовой механике?

Действительно, любой классический компьютер представляет собой устройство, описываемое локальными параметрами, которые можно рассматривать и как скрытые параметры по отношению к моделируемой системе. Ячейки памяти – триггеры компьютера – представляют собой обычные классические системы, обладающие четкой локализацией в пространстве и времени. Состояния триггеров тоже полностью локализованы в пространстве-времени и соответствуют представлению о локальных классических переменных. И тем не менее, система, составленная из таких классических устройств, сама являющаяся классической и локальной, демонстрирует квантовое поведение. Как такое может быть? Что здесь не так?

Для того чтобы разобраться с этим вопросом, полезно иметь перед глазами пример простейшей нетривиальной системы, поведение которой, как это принято считать, прямо противоречит наличию классических скрытых параметров. Это ЭПР-пара скоррелированных частиц со спином  $1/2$ . Для такой системы справедлива теорема Белла [31], которая говорит о том, что если в основе поведения системы лежат локальные скрытые параметры, то при измерении проекций спинов частиц должны выполняться определенные неравенства, которые называются неравенствами Белла. Реальные же квантовые ЭПР-пары нарушают эти неравенства, что прямо противоречит существованию локальных классических скрытых параметров.

Для дальнейшего обсуждения необходимы некоторые детали. В упомянутом эксперименте в начальном состоянии готовится пара частиц  $A$  и  $B$  со спинами  $1/2$  так, что спины частиц направлены точно в противоположные стороны, поэтому полный спин пары частиц равен нулю. Ничто другое про состояние системы неизвестно; такое состояние называется спиновым синглетом. После приготовления частицы могут быть разведены на произвольно большое расстояние или не разведены вовсе – это не имеет принципиального значения. Сам эксперимент состоит в том, что измеряются проекции спинов частиц  $A$  и  $B$  на различные направления. Для каждой частицы каждое измерение имеет всего два возможных исхода – либо спин направлен по выбранному направлению, либо против (это связано с тем, что спин частиц равен  $1/2$ . Для больших значений спина количество исходов было бы больше). Если спин направлен по выбранному направлению, то результату измерения приписывается  $+1$ , если против, то  $-1$ . Измеряются корреляции результатов

измерений направлений спинов частиц  $A$  и  $B$  на разные направления. В данном случае эти корреляции представляют собой не что иное, как средние значения произведений результатов измерений.

Пусть для измерения проекций спинов используются две системы координат  $(X, Y, Z)$  и  $(X', Y', Z')$ , причем система координат  $(X', Y', Z')$  повернута относительно системы  $(X, Y, Z)$  на угол  $\Theta$  против часовой стрелки вокруг оси  $Y$ , а направления осей  $Y$  и  $Y'$  совпадают. Пусть  $S_Z^A$  означает результат измерения спина частицы  $A$  вдоль направления  $Z$  и т. д. Тогда теорема Белла утверждает, что если результаты измерений определяются локальными скрытыми параметрами, то должно выполняться неравенство:

$$|C| = |\langle S_Z^A S_{Z'}^B \rangle + \langle S_X^A S_{X'}^B \rangle + \langle S_X^A S_{Z'}^B \rangle - \langle S_Z^A S_{X'}^B \rangle| \leq 2, \quad (4)$$

где угловые скобки означают усреднение (корреляцию результатов измерений). Квантовая механика предписывает для величины  $C$  в уравнении (4) следующий результат:

$$C(\Theta) = 2\sqrt{2} \sin(\Theta - \pi/4). \quad (5)$$

Очевидно, что при некоторых углах  $\Theta$  величина  $C(\Theta)$  по модулю превышает двойку – неравенство (4) нарушается.

То, что классический компьютер вычислимым образом предсказывает нарушение неравенства Белла для ЭПР-пары, ясно уже из формулы (5). Эта формула является простым результатом применения проекционного постулата, и, конечно же, для компьютера не составляет проблемы вычислить значение корреляции для любого угла  $\Theta$  с использованием этой формулы. Однако в связи с проблемой ИИ представляет интерес вопрос, может ли искусственное устройство симулировать работу мозга. Поэтому нас будет интересовать не просто вычислимость результата квантовой теории, но можно ли компьютер заставить работать как квантовую систему, то есть не предсказывать, а симулировать поведение квантовой системы. Ведь и теорема Белла говорит о том, что именно поведение системы с локальными скрытыми переменными не может нарушать неравенство [4].

Чтобы понять в деталях, как нарушение неравенства Белла может быть согласовано с поведением обычного классического компьютера, мы написали простую программу, которая должна симулировать поведение скоррелированной ЭПР-пары. Логически программа представляет собой структуру клиент-сервер (рис. 2). Сервером является та часть программы, в которой хранится состояние ЭПР-пары и в которой физически реализованы процедуры, связанные с преобразованием состояния при проведении некоторого измерения над этим состоянием. Два клиента  $A$  и  $B$  представляют измерения спинов, проводимые над частицами  $A$  и  $B$ . Технические подробности реализации сервера, «клиентов», и связи между ними мы опускаем, так как эти детали не играют роли в обсуждении.



Рис. 2. Структура программы, симулирующей измерение спинов над скоррелированной ЭПР-парой

Программа работает следующим образом. Сначала готовится начальное синглетное состояние ЭПР-пары, которое записывается в сервер, и сервер посылает сигнал готовности состояния в «клиенты». Это действие симулирует достижение частицами измерительных устройств. Получив сигнал, каждое из устройств должно провести измерение над состоянием объединенной системы двух частиц, которое хранится в сервере в единственном экземпляре. Очевидно, клиент должен обратиться к серверу за состоянием. Для этого каждый из клиентов посылает в сервер сигнал-запрос на измерение состояния частицы. Этот сигнал содержит информацию о том, для какой частицы и вдоль какой оси проводится измерение спина. Сервер обрабатывает этот сигнал в соответствии с проекционным постулатом. Для текущего состояния системы, записанного в сервере, он, используя датчик случайных чисел, генерирует результат измерения и, в соответствии с полученным результатом, проводит необходимое преобразование состояния системы (проектирование). Затем сервер возвращает результат измерения в тот клиент, который выдал запрос на измерение. Это есть завершение процедуры измерения спина – измерительное устройство получает результат измерения. Для каждого подготовленного состояния ЭПР-пары каждый клиент-измеритель обращается к серверу независимо от другого. Процедура повторяется многократно, так накапливается статистика для вычисления корреляций результатов измерений.

Сервер может обрабатывать запросы клиентов *A* и *B* только по очереди, так как сервер содержит единственный экземпляр состояния системы. Если программа правильно симулирует поведение ЭПР-пары, то результат симуляции (корреляции) не должен зависеть от порядка обработки запросов клиентов, так как в реальности этой зависимости нет и, более того, этот порядок, вообще говоря, даже не имеет физического смысла, так как измерения спинов могут быть разделены пространственно-подобным интервалом и иметь разную последовательность во времени для разных систем отсчета. Для того чтобы проверить независимость результата от порядка измерений, в программе предусмотрены три режима работы: сначала *A*, потом *B*; сначала *B*, потом *A*; случайный порядок. И, разумеется, никакой зависимости результатов измерений от их порядка, действительно, нет (вплоть до воспроизведения точного распределения статистики результатов измерений корреляций, если использовать одну и ту же последовательность случайных чисел).

В отношении измерения корреляций компьютерная модель ведет себя в точности как реальная ЭПР-пара (рис. 3). Неравенство Белла нарушено. Результаты «измерений» следуют предсказанной квантовой кривой [5] с ожидаемыми статистическими флуктуациями, связанными с ограниченным числом симуляций. Всё как в натурном эксперименте. Возникает два вопроса.

Q1 Получили ли мы противоречие с теоремой Белла, симулировав поведение квантовой скоррелированной пары классическим локальным устройством?

Q2 Получили ли мы на самом деле исчерпывающую симуляцию ЭПР-пары?

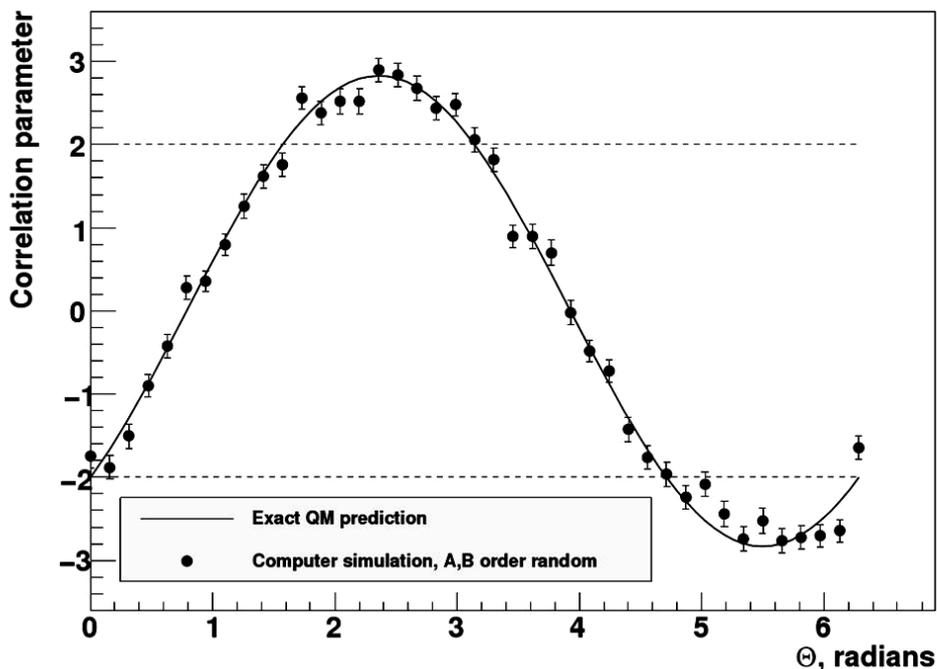


Рис. 3. Результат симуляции поведения ЭПР-пары компьютерной программой.

Для каждого значения угла было симулировано по 100 измерений значений спинов. Горизонтальные пунктирные прямые представляют ограничения на величину корреляций, следующие из неравенства Белла. Видно, что неравенство Белла нарушено для некоторых углов и находится в точном соответствии с предсказанием

На вопрос Q1 можно уверенно дать отрицательный ответ. Никаких противоречий здесь нет. Всё дело в том, как в точности понимает локальные классические скрытые параметры теорема Белла. В доказательстве теоремы Белла (см. [31]) центральным пунктом является предположение, что акты измерения могут быть разделены пространственно-подобным интервалом, следовательно, они не могут оказывать причинное влияние друг на друга. Пусть  $a$  и  $b$  – направления, вдоль которых проводится измерение спина частиц, соответственно  $A$  и  $B$ . Тогда из причинной независимости результатов измерений следует, что направление  $b$  не может оказать влияние на резуль-

тат измерения  $A$ , и наоборот. Технически это соответствует тому, что при наличии локальных скрытых параметров в вычислении корреляций, как бы они ни считались, измерение  $A$  будет представлено некоторой функцией  $A(a, \lambda)$ , а измерение  $B$  – некоторой функцией  $B(b, \lambda)$ , но никак не функциями  $A(a, b, \lambda)$  и  $B(a, b, \lambda)$ . Здесь  $\lambda$  обозначает скрытые переменные. В компьютерной модели роль скрытых переменных  $\lambda$  играет генератор случайных чисел. В нашей компьютерной модели это условие белловской локальности определенно не выполняется. Когда сервер выполняет запрос клиента  $A$  на измерение, он модифицирует состояние системы способом, зависимым от направления  $a$ , вдоль которого проводилось измерение спина  $A$ . Соответственно, когда обрабатывается последующий запрос на измерение  $B$ , то в состоянии системы уже зафиксировано влияние направления  $a$ , поэтому измерению  $B$  будет соответствовать функция вида  $B(a, b, \lambda)$ , но не  $B(b, \lambda)$ , как того требует теорема Белла. Акты измерения в компьютерной модели ЭПР-пары оказываются причинно-зависимыми, что не соответствует представлению о локальных скрытых переменных теоремы Белла. Таким образом, теорема Белла не запрещает существование классических скрытых параметров как таковых, но запрещает существование скрытых параметров, локализованных в областях, разделенных пространственно-подобными интервалами. Поэтому существование локальной классической компьютерной модели, нарушающей неравенства Белла, не противоречит теореме Белла.

Заметим, что понятие вычисления или эквивалентное ему понятие машины Тьюринга вообще никаким способом не адресует какие-либо пространственно-временные соотношения (кроме наивного представления о причинной связи последовательных шагов любого вычисления), поэтому заранее можно было бы догадаться, что теорема Белла не может иметь никакого отношения к функционированию какого-либо вычислительного устройства в обычном понимании. Однако пройденный нами путь полезен, так как приводит к детальному пониманию того, как именно и в каком смысле классическое устройство может симулировать «квантовую реальность». И, кстати, здесь немедленно возникает новый вопрос. Раз пространственно-временные связи и соотношения вообще нерелевантны понятию конечного автомата, но, очевидным образом, имеют самое прямое отношение к поведению реальных квантовых объектов вроде ЭПР-пар, разнесенных на пространственно-подобные интервалы, то, значит, представленная вычислительная реализация «квантовой реальности» упускает что-то очень существенное. Что именно?

Действительно, в реальном пространстве-времени вычислительными средствами симулировать пространственно-временное поведение квантовых систем, вообще говоря, невозможно (при том, что нарушение неравенства Белла возможно). Это легко понять, если сравнить пространственно-временную диаграмму поведения нашей компьютерной программы, симулирующей ЭПР-пару, и пространственно-временную диаграмму для реальной ЭПР-пары (рис. 4).

Представим себе, что система клиент-сервер, представленная на рис. 2, реально разнесена в пространстве, и расстояние между сервером (размерами которого мы пренебрегаем) и клиентами, представляющими измерения, одинаково для обоих клиентов и равно  $L$ . Никаких проблем в практической реализации такой системы нет. Для сравнения рассматриваем измерение спинов над ЭПР-парой на том же расстоянии  $L$  от места формирования исходного синглетного состояния пары. На обеих диаграммах начало координат соответствует пространственно-временной точке формирования ЭПР-пары (или состояния этой пары в компьютере). Для простоты будем предполагать, что все сигналы и частицы – компоненты ЭПР-пары – перемещаются с максимально возможной скоростью – со скоростью света. Начальная часть обеих диаграмм (стрелки из начала координат налево и направо вверх) представляет перемещение частиц от места рождения до приборов (реальная ЭПР-пара) и передачу сигнала готовности к измерителям (симуляция). В случае реальной ЭПР-пары измерение спинов происходит «мгновенно» (в пределе длительность может быть как угодно мала по сравнению с временами перемещения частиц). Напротив, в компьютерной симуляции время измерения принципиально конечно: «клиент-измеритель» должен отправить запрос к «серверу-состоянию», сервер должен отправить ответ «клиенту» и «клиент» должен ответ получить. Ответ на вопрос Q2 отрицательный: исчерпывающую симуляцию ЭПР-пары мы не получили. Пространственно-временные соотношения, характерные для реальной ЭПР-пары, в нашей модели нарушены.

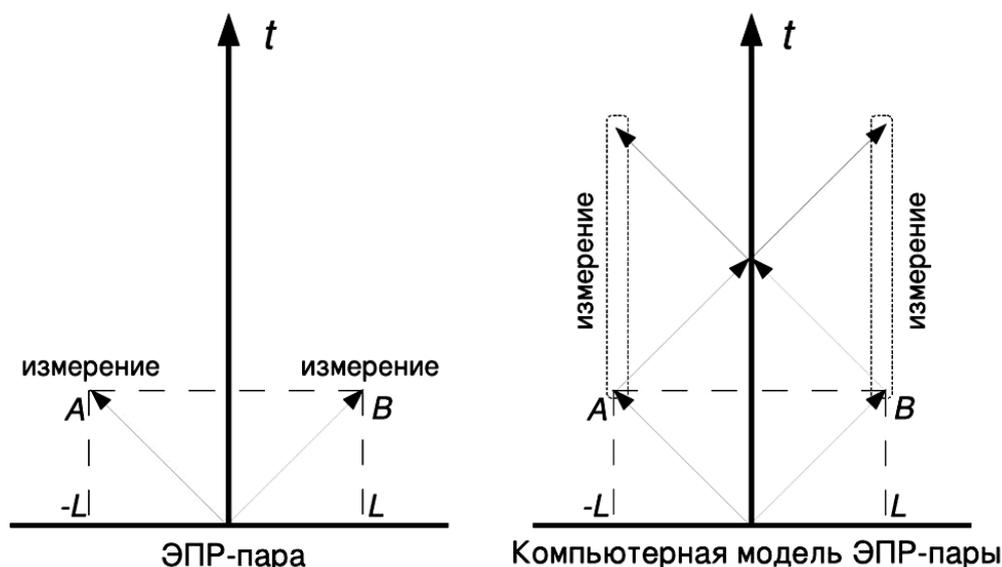


Рис. 4. Пространственно-временные диаграммы измерений спинов для реальной ЭПР-пары и для компьютерной системы, симулирующей измерение

Хотя была рассмотрена очень частная компьютерная модель, результат является вполне общим: никакая (распределенная) компьютерная система в реальном пространстве-времени в общем случае не может симулировать по-

ведение распределенной квантовой системы. То есть симулируемость поведения квантовых систем в реальном пространстве-времени не сводится к вычислимости квантовой теории.

Но что же тогда означает «полная вычислимость квантовой теории», о которой говорилось в 7.1, в отношении возможности симуляции квантовых систем, распределенных в пространстве-времени? Ответ очень простой: для полной симуляции таких систем само пространство-время принципиально может быть только виртуальным, симулированным. Невозможно классическую вычислительную систему заставить вести себя в реальном пространстве полностью как существенно распределенный в пространстве квантовый объект.

Покажем, как должна была бы быть устроена компьютерная программа, исчерпывающим образом симулирующая поведение ЭПР-пары, включая и все пространственно-временные связи. В такой модели, прежде всего, должна быть реализована модель реального (3+1)-мерного пространства-времени, в котором существуют приборы, измеряющие спины частиц, при этом сами классические измерительные приборы должны быть описаны достаточно детально (магнитное поле в установке Штерна–Герлаха, экраны или детекторы, фиксирующие появление частиц). Кроме того, модель должна содержать описание 6-мерного конфигурационного пространства (с учетом, кроме того, и спиновых переменных, на чем мы детально не останавливаемся), в котором совершают движение скоррелированные частицы ЭПР-пары (фактически – 6-мерный волновой пакет объединенного перепутанного состояния двух частиц). Заметим, что это 6-мерное пространство – не то же самое, что симулированное физическое пространство<sup>19</sup>. В этом контексте должно решаться уравнение Шредингера, описывающее распространение 6-мерного волнового пакета в конфигурационном пространстве. Когда по этому решению понятно, что частицы достигли зоны экранов или детекторов, применяется проекционный постулат, который порождает ответ в виртуальном трехмерном пространстве, моделирующем реальное пространство. Если использовалась установка типа Штерна–Герлаха, то проекционный постулат даст координату частицы на экране, по которой определяется и значение

<sup>19</sup> Полезно заметить, что даже при рассмотрении движения единственной точечной квантовой частицы, когда конфигурационное пространство является трехмерным, это конфигурационное пространство – не то же самое, что физическое трехмерное пространство. Это лишь частный случай общего  $3N$  мерного конфигурационного пространства для  $N$  частиц при  $N=1$ . Волновая функция даже единственной точечной частицы не является волной, распространяющейся в физическом пространстве, как это часто наивно представляется! Поэтому нет никакого парадокса в том, что при измерении координат и сопровождающем его коллапсе, волновая функция частицы в конфигурационном пространстве схлопывается с бесконечной скоростью: это движение не происходит в физическом пространстве, где сверхсветовые скорости запрещены. Схлопывание происходит в конфигурационном пространстве, где скорость в обычном смысле вообще нельзя определить, так как мы не можем проникнуть в него с жесткими линейками и часами. «Появление прибора» в таком пространстве приводит к тому, что пространство становится другим (содержит описание степеней свободы прибора).

проекции спина (если частица ушла в одну сторону, то проекция спина +1, если в противоположную сторону, то -1). Измеренные значения спинов привязаны к точкам, разделенным пространственно-подобным интервалом виртуального пространства. Хотя логически состояние объединенной системы частиц и в такой модели должно храниться на некотором единственном локальном центральном сервере, но здесь не требуется никаких временных задержек (точнее, симуляции задержек) на общение между клиентами (приборами) и сервером, так как в виртуальном пространстве можно смоделировать бесконечно быстрое обращение к серверу. Мы не связаны предельной скоростью распространения сигнала, которая имеет отношение только к реальному пространству. Симуляция ЭПР-пары получается полной, но не в реальном, а в виртуальном пространстве-времени.

Мозг, если он действительно опирается в своей работе на квантовые процессы (что кажется неизбежным по теореме Пенроуза), вполне может являться распределенной квантовой системой, подобной ЭПР-паре (но в миллиарды раз сложнее). Поэтому для того, чтобы говорить о вычислимости квантовых процессов мозга, надо представлять себе реализацию модели мозга не в реальном, а в виртуальном пространстве-времени, подобно тому как это было описано выше для ЭПР-пары. Но при этом модель мозга должна обрабатывать сигналы из реального пространства времени и «жить» в реальном пространстве-времени, чтобы иметь какую-то связь с действительностью. Как это возможно? Для такого мозга должно быть два пространства-времени – внутреннее, виртуальное, в котором моделируются квантовые корреляции, и внешнее, реальное, в котором мозг «живет». Не возникнет ли неустранимых противоречий в попытке совместить эти две вещи в одной модели? Например, какое пространство-время должны адресовать модели внутренних сенсоров мозга, сигнализирующих о головной боли (и должна ли у компьютерной модели мозга болеть голова, если она представляет мозг, страдающий головной болью?). Как классические подсистемы мозга (вроде внешнего поведения нейронной сети как системы классических пороговых переключателей) в модели должны взаимодействовать с виртуальным пространством, в котором описываются корреляции? Впрочем, как мы видели, все эти вопросы не уникальны именно для модели квантового поведения мозга. Вопрос о виртуальном пространстве возникал уже при попытке симуляции нервной системы *C. elegans* на чисто классическом уровне (см. 2.2). Для квантового мозга все эти вопросы только многократно усложняются.

### ***7.3. Неинформационная природа квантовых состояний***

Как уже упоминалось, Хьюберт Дрейфус писал [25], что смыслы, которыми оперирует человеческое сознание, могут не иметь простой информационной природы. Как такое может случиться, Дрейфус не объяснил, поэтому это предположение осталось в рамках его книги абстрактной возможностью. Однако нетрудно понять, как такое может быть на самом деле.

Из теоремы Пенроуза и анализа вычислимости классической физики следует, что в классической (неквантовой) физике источник невычислимой активности мозга найти невозможно. Следовательно, приходится предполагать, что в активности мозга существенную роль играют, как минимум, обычные квантовые процессы (если не квантово-гравитационные, как предполагает Пенроуз). С этой логикой довольно трудно спорить. Далее, так как невычислительная активность мозга существенным образом сказывается на поведении человека, что опять-таки следует из теоремы Пенроуза, то следует ожидать, что квантовые процессы играют существенную роль в формировании смыслов, которые и определяют поведение.

Центральным действующим лицом любого квантового процесса является квантовое состояние – именно оно изменяется со временем. Но квантовое состояние не кодирует информацию. Действительно, одним из важнейших свойств информации является то, что ее можно «прочитать» и создать с использованием этой прочитанной информации любое число копий оригинала. С квантовым состоянием это сделать принципиально невозможно. Существует так называемая теорема о невозможности квантового клонирования (см. напр. [27. С. 301–304]), которая говорит о том, что заранее неизвестное квантовое состояние не может быть скопировано на другую систему без разрушения состояния исходной системы. Квантовые состояния нельзя копировать, тем самым квантовые состояния не обладают одним из важнейших свойств, которым обязана обладать информация, и сами не кодируют информацию.

При этом есть нечто, присущее квантовым состояниям, что очень напоминает информацию. Одним из важнейших свойств обычной информации является то, что одна и та же информация может быть представлена разными способами, на разных носителях. Точно так же квантовое состояние, имеющее одну и ту же структуру, могут иметь квантовые системы совершенно разной природы. Например, состояние двухуровневой квантовой системы с амплитудами  $(\sqrt{1/3}, \sqrt{2/3})$  может быть и спиновым состоянием относительно некоторого заданного направления, и состоянием частицы в двухъямном потенциале. Независимо от природы систем, их состояния здесь имеют что-то общее, подобно тому, как, например, текст на экране компьютера и лежащем рядом клочке бумажки может иметь одинаковое информационное содержание. То общее, что может объединять квантовые состояния систем разной природы, логично назвать квантовой информацией. Но термин не должен вводить в заблуждение: квантовая информация не является информацией в обычном смысле, так как принципиально не допускает копирования.

Коль скоро мозг существенным образом использует квантовые процессы для формирования и обработки смыслов, то и смыслы, о которых писал Дрейфус, по крайней мере частично, связаны с квантовыми состояниями и не имеют простой информационной природы. Скорее всего, смыслы могут иметь смешанную информационно-квантовоинформационную природу.

Обычные компьютеры обрабатывают только информацию в обычном понимании, поэтому мозг, обрабатывая и квантовую информацию, уже только по этой причине не является обычным компьютером.

Квантовые состояния нельзя копировать, но можно переносить в единственном экземпляре с одной системы на другую похожую систему (с той же размерностью гильбертова пространства состояний). Такой перенос можно осуществить с помощью процесса квантовой телепортации [27. С. 309–315]. В частности, если в основе феномена сознания лежат квантовые процессы, то состояние сознания принципиально невозможно «скопировать» на искусственный носитель, оставив «оригинал» сознания в целостности и сохранности. Это запрещает теорема о невозможности квантового клонирования. Можно сделать лишь одно из двух. Либо скопировать «устройство» мозга на искусственный носитель, но при этом будет скопирована лишь мертвая оболочка сознания, не само сознание. Либо можно телепортировать сознание на правильно подготовленный искусственный носитель, но тогда оригинальный носитель сознания автоматически окажется в «бессознательном» состоянии, так как все квантовые состояния, важные для содержания сознания, в нем будут разрушены. Надо также заметить, что процесс такой телепортации представляется невероятно сложным, единственная ошибка испортит все дело (проблема в квантовой когерентности), поэтому вряд ли такой процесс удастся осуществить в обозримом будущем.

#### ***7.4. Парадокс квантовой информации и «чудо клонирования»***

Представление о неинформационной природе квантового состояния немедленно приводит к новой загадке. Действительно, в реальном мире квантовое состояние нельзя скопировать никакими силами. Однако, предположим, мы создали точную вычислительную модель некоторой квантовой системы, включая симуляцию физического пространства, в котором «живет» квантовая система. Это возможно в силу вычислимости квантовой теории. Как уже говорилось, квантовая система и ее вычислительная модель в классическом компьютере – это, с точностью до изоморфизма, одно и то же. Но в вычислительной модели, в отличие от реальной квантовой системы, квантовые состояния уже имеют ясную информационную природу. Это просто последовательности чисел, кодированные битами компьютерной памяти, которые представляют векторы гильбертова пространства (см. 7.1). Очевидно, что можно создать сколько угодно копий такого объекта (хотя копии невозможно будет создать только средствами, формализованными внутри модели). Почему в компьютерной симуляции квантовое состояние представляет собой информацию, а в оригинале квантовой системы – нет? Не противоречит ли обычная информационная природа симулированного квантового состояния неинформационной природе реальных квантовых состояний?

Нам представляется, что противоречие, действительно, есть и оно очень серьезно. По нашему мнению, наличие этого противоречия означает, что оригинальная квантовая система и ее даже очень совершенная вычислитель-

ная модель на классическом компьютере, – в действительности не одно и то же с точностью до изоморфизма, в отличие от того, что предполагалось при постановке вопроса (предыдущий абзац). Мы ясно понимаем, что возможен также иной взгляд на вещи. А именно можно заключить, что информационная природа компьютерной модели квантового состояния указывает на то, что и реальные квантовые состояния имеют информационную природу, несмотря на существование теоремы о запрете клонирования. Нам, однако, представляется, что эта точка зрения неверна. Она неверна, в частности, потому, что существенно обедняет понятие квантовой реальности. Однако, и мы должны это явно признать, мы не можем более точно сформулировать, в чем же состоит порок упомянутого выше «изоморфизма»; порок настолько серьезный, что отношение между даже самыми простыми квантовыми системами и их совершенными компьютерными моделями нельзя считать тождеством с точностью до изоморфизма.

Можно также заметить, что квантовое состояние и симуляция квантового состояния классическим компьютером представляют разные типы реальности. Как подробно обсуждается в нашей статье [24], достаточным критерием объективного существования некоторого объекта является возможность получения о нем воспроизводимых данных воспроизводимыми методами. Одиночное квантовое состояние не удовлетворяет этому критерию: воспроизводимая методика измерений (например измерение спина в установке Штерна–Герлаха) приводит, вообще говоря, к невозпроизводимым результатам (непредсказуемое направление проекции спина). Напротив, симуляция квантового состояния на классическом компьютере вполне удовлетворяет критерию объективной реальности. В отличие от одиночного квантового состояния, критерию объективной реальности удовлетворяет также ансамбль систем, представляющий квантовое состояние. Для ансамбля состояний воспроизводимые измерения приводят к воспроизводимым результатам в отношении различных распределений вероятности, а использование методов квантовой томографии позволяет полностью восстановить квантовое состояние, соответствующее ансамблю. Восстановив же это состояние, его можно скопировать на состояние другой квантовой системы с той же размерностью гильбертова пространства состояний или просто записать на классический носитель информации для последующего использования. То есть, в отличие от одиночного квантового состояния, ансамбль квантовых состояний является информационным понятием в том смысле, что в нем может быть закодирована информация в обычном смысле.

Парадоксальное противоречие между неинформационной природой квантового состояния и информационной природой симуляции квантового состояния можно превратить в еще более сильный парадокс. Предположим, что на классическом компьютере удалось очень точно смоделировать настолько большой фрагмент квантовой реальности, что он может включать в себя разумного наблюдателя. Если симуляция достаточно точна, то такой виртуальный наблюдатель не сможет заметить, что он живет в виртуальном,

а не в реальном мире. Но теперь мы в нашей компьютерной симуляции начнем создавать копии состояний некоторых квантовых систем, которые наблюдатель способен исследовать. Для нас («программистов») здесь нет никакой проблемы, так как в компьютерной модели квантовые состояния – это просто классические цепочки бит. Однако наблюдателю известна теорема о запрете клонирования состояний и он должен будет расценить «феномен клонирования», происходящий у него на глазах как чудо, нарушение законов природы. Более того, ничто не мешает в этой компьютерной симуляции реализовать модуль, который будет отслеживать состояние сознания наблюдателя (которое тоже есть не более, чем цепочка бит), и если в сознании будет обнаружено достаточно сильное желание обнаружить чудо клонирования, то этот программный модуль немедленно и представит его взору наблюдателя. Тогда, субъективно, наблюдатель будет сам вызывать чудо клонирования в ответ на «молитву».

Эта ситуация выглядит и вовсе абсурдной. В следующем параграфе мы покажем, как можно снять хотя бы сильную форму парадокса квантовой информации в форме «чуда клонирования».

### **7.5. Космологический горизонт вычислимости**

Возможность разрешения парадокса «чуда клонирования» кроется в критическом анализе понятия вычислимости по отношению к квантовой теории. Фактически для вычисления поведения некоторых практически важных квантовых систем требуются такие мощности классического компьютера или такие объемы вычислений, которые нельзя реализовать не только практически, но и принципиально, так как для вычислений будет необходимо время, превышающее возраст Вселенной, или размер компьютера будет таков, что его нельзя будет уместить внутри космологического горизонта событий. Вот простейший пример. Для того чтобы с использованием квантового алгоритма Шора разложить на простые множители 1000-значное двоичное число (обычная задача для перспективных квантовых компьютеров), квантовому компьютеру требуется память всего в тысячу квантовых ячеек памяти – кубитов<sup>20</sup>, в то время как классическому компьютеру для представления состояния такого квантового компьютера потребуется память  $2^{1000} \approx 10^{300}$  комплексных чисел. Это на много порядков больше объема информации, которая может быть записана во всем обычном веществе видимой части Вселенной ( $\sim 10^{90}$  бит, [32]). Даже если внутри видимого космологического горизонта попытаться разместить по одному биту информации в каждой планковской ячейке пространства (объемом порядка  $10^{-99}$  см<sup>3</sup>), то всего поместится порядка  $10^{183}$  бит, что все еще почти на 120 порядков меньше необходимого. Квантовую систему, отвечающую 1000-кубитному квантовому компьютеру, принципиально невозможно симулировать на классическом компьютере, поэтому, в частности, реальные классические

<sup>20</sup> Фактически может потребоваться и несколько тысяч ячеек для реализации алгоритмов квантовой коррекции кода, но это несущественно для наших оценок.

компьютерные симуляторы квантовых вычислений могут работать только с очень малоразмерными системами.

Этот пример представляет очень общую проблему. Точное решение практически любой нетривиальной многочастичной проблемы в квантовой теории требует сверхкосмологически больших вычислительных ресурсов. По этой причине, например, принципиально неразрешима проблема точного вычисления спектров возбуждений атомных ядер, состоящих больше чем из нескольких нуклонов и т.д.

Подчеркнем, что ограничение на возможность симуляции сложных (многочастичных) квантовых систем имеет принципиальный характер. Это ограничение связано, как мы видели, с фундаментальными характеристиками Вселенной, в которой мы обитаем (космологический горизонт событий, связанный с конечным возрастом Вселенной), и его уместно назвать космологическим горизонтом вычислимости. Он столь же фундаментален и непреодолим, как космологический горизонт событий. Понятие вычислимости в отношении сложных многочастичных квантовых систем лишено физического смысла, если необходимые ресурсы классического компьютера выходят за космологический горизонт вычислимости. Такие системы не могут быть исчерпывающим образом симулированы классическим компьютером в нашей Вселенной. Но, поскольку нам доступна единственная Вселенная, следует считать, что они вообще не допускают симуляции классическими средствами, не являются вычислимыми в смысле космологического горизонта. Такая невычислимость имеет статус закона природы. Это очень существенная модификация «наивного» представления о вычислимости квантовой теории, представленного в 7.1.

Понятие космологического горизонта вычислимости позволяет снять парадокс «чуда клонирования». Любые достаточно большие фрагменты квантовой реальности, очевидным образом, невычислимы в смысле космологического горизонта. Симулированного наблюдателя невозможно поместить в квантовую реальность, симулированную на классическом компьютере так, чтобы он этого не заметил, даже в том случае, если сознание наблюдателя имеет чисто классическую природу. Внимательно изучив поведение многочастичных квантовых систем, симулированный наблюдатель обязательно обнаружит обман, так как точная симуляция таких систем классическим компьютером невозможна. А если сознание имеет квантовую природу, то тогда и просто адекватная симуляция самого наблюдателя будет невозможной. В любом случае, с использованием классического компьютера ситуацию, в которой имеет место «чудо клонирования», создать принципиально невозможно. В принципе большие фрагменты квантовой реальности могут быть симулированы квантовым компьютером, но в квантовом компьютере уже невозможно произвольное копирование информации в силу теоремы о запрете квантового клонирования и квантовой природы самого компьютера. Парадокс снимается полностью.

## 8. Космологический горизонт вычислимости, перспективы симуляции мышления и природа теоремы Пенроуза

Если работа мозга на некотором фундаментальном уровне опирается на что-то похожее на квантовые вычисления, то размерность соответствующей квантовой системы (или систем) будет столь высока, что ее физика заведомо будет невычислимой в смысле космологического горизонта вычислимости. Говорить о вычислимости поведения квантового мозга физически бессмысленно. Однако физика мозга все еще сохраняет свою алгоритмически разрешимую (вычислимую) природу в чисто математическом смысле. Вопрос состоит в том, должны ли мы считать квантовую активность мозга вычислимой или нет, если она невычислима с физической, но вычислима с математической точки зрения?

С нашей точки зрения, этот вопрос настолько сложен, что следует признать, что на него пока невозможно дать вполне определенный ответ. В то же время идея Роджера Пенроуза искать природу невычислимой активности мозга в еще неизвестной физике основана на определенном ответе «да» на этот вопрос. Представляется, что такая определенность является несколько преждевременной, поэтому возможность симулировать мышление человека не выходя за пределы квантовых вычислений не кажется закрытой.

Понятие космологического горизонта вычислимости позволяет несколько по-новому взглянуть на саму теорему Пенроуза. Доказательство Пенроуза апеллирует к теореме Гёделя–Тьюринга, а теорема Гёделя–Тьюринга использует представление о завершающихся и незавершающихся алгоритмах. Когда речь идет о завершающихся алгоритмах, то нигде в теореме, конечно, не затрагивается вопрос о том, как быстро они завершаются. Важна только «принципиальная» завершаемость. Роджер Пенроуз поясняет эту мысль следующим примером. Он рассматривает следующую задачу для компьютера: «распечатать последовательность  $2^{2^{65536}}$  единиц, после чего остановиться» [3. С 141]. Пенроуз считает, что такую задачу следует считать завершающейся (вычислимой), несмотря на то, что необходимое время на такое вычисление превышает космологический горизонт вычислимости. Поэтому теорема Гёделя–Тьюринга, а следовательно, и теорема Пенроуза, явно оперируют вычислимостью и невычислимостью чисто математического типа, независимого от космологического горизонта вычислимости.

Здесь возникает одна тонкость. Объект, невычислимый в обычном смысле, является невычислимым и в смысле космологического горизонта, здесь нет проблем. Однако объект, вычислимый в чисто математическом смысле, может в смысле космологического горизонта быть невычислимым. Теорема Гёделя–Тьюринга, на которую опирается теорема Пенроуза, утверждает, что гёделевское утверждение для любого конечного автомата может быть построено в принципе (само оно вычислимо в математическом смысле), но, однако, не гарантирует, что такое построение окажется в рамках космологического горизонта вычислимости. Это является просто следствием

природы математики, в которую понятие космологического горизонта вычислимости не входит.

Между тем доказательство теоремы Пенроуза подразумевает, что для любого конечного автомата мы можем продемонстрировать гёделевское утверждение явно. Это означает, что мы имеем в руках утверждение, истинность которого нам ясна, но машина при попытке определить его истинность обязательно зациклится. Это и понимается под невычислимой природой нашего суждения. Однако реальность может быть такова, что гёделевское утверждение мы принципиально не можем «иметь в руках» по той причине, что возможности генерации этого утверждения окажутся за пределами космологического горизонта вычислимости. Может быть, это и не произойдет, но доказательство теоремы нам ничего в этом смысле не гарантирует. Таким образом, строго говоря, это суждение, вообще говоря, не может быть сформулировано в нашей Вселенной, а машину даже не удастся запустить для проверки истинности этого суждения. Поэтому мы не сможем продемонстрировать превосходство нашего мышления над машиной «практически», причем причины этой невозможности очень фундаментальны. Однако правдой остается то, что нам всегда известен путь, по которому нужно двигаться, чтобы такое суждение сгенерировать. Эквивалентно ли это тому, что нам указанное суждение доступно с точки зрения процедуры доказательства теорем Гёделя–Тьюринга и Пенроуза? Не означает ли это, что уже теорема Гёделя–Тьюринга лишена физического смысла? И допустимо ли понятие физического смысла распространять на математические теоремы? Но ведь вопрос о создании сильного ИИ – это практический, а не абстрактно-математический вопрос. Мы не готовы ответить на эти вопросы, они требуют дальнейших размышлений. Как нам представляется, самое сложное в этих вопросах – это понять, какой методикой надо вооружиться для ответа на них.

### Резюме

Очевидным выводом из аргументации, приведенной в данной статье, является то, что основным препятствием на пути создания сильного ИИ является вовсе не недостаточная мощность современных компьютеров, а множество принципиальных нерешенных проблем, не все из которых даже удастся аккуратно сформулировать. Причем проблемы эти относятся к самым разным научным направлениям, начиная с биологии клетки и кончая, как ни странно, космологией и фундаментальными вопросам, касающимися природы реальности. Последнее обстоятельство, впрочем, не является новостью, оно было прекрасно понято Роджером Пенроузом и отражено в его книгах. По мнению автора, число этих проблем столь велико, и они настолько трудны, что создание сильного ИИ в ближайшие десятилетия представляется очень маловероятным.

Что касается теоремы Пенроуза об искусственном интеллекте, то при всей ее невероятной силе, которую автор признает и всячески старался подчеркнуть в статье, в ней остаются тонкие и не вполне ясные места. В частности, как нам представляется, следствия из теоремы не исключают однозначно возможность реализации сильного ИИ на основе только квантовых вычислительных устройств в обычном понимании, в отличие от того, что предполагает Роджер Пенроуз. Необходимость новой физики для понимания работы мозга не кажется пока совершенно неизбежной. Не вполне понятно также отношение природы теоремы Пенроуза к введенному в статье понятию космологического горизонта вычислимости. Все эти вопросы требуют дальнейшей работы. Интересно и полезно то, что анализ теоремы стимулирует новый взгляд на старые проблемы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Kurzweil R.* The singularity is near: when humans transcend biology / R. Kurzweil. – USA: Viking Penguin, 2005.
2. *Пенроуз Р.* Новый ум короля / Р. Пенроуз. – М.: УРСС, 2003.
3. *Пенроуз Р.* Тени разума: В поисках науки о сознании / Р. Пенроуз. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2005.
4. Artificial intelligence (AI) // Encyclopedia Britannica. – Режим доступа: <http://global.britannica.com/EBchecked/topic/37146/artificial-intelligence-AI>
5. Searle J. Minds, Brains and Programs / J. Searle // Behavioral and Brain Sciences. – 1980. – Т. 3. – № 3. – С. 417–427.
6. *Vernor Vinge V.* The Coming Technological Singularity: How to Survive in the Post-Human Era / V. Vinge // VISION – 21 Symposium sponsored by NASA Lewis Research Center and the Ohio Aerospace Institute, March 30–31 – 1993. – Режим доступа: <http://www.rohan.sdsu.edu/faculty/vinge/misc/singularity.html>
7. *Joy B.* Why the future doesn't need us / B. Joy // Wired – April 2000. – P. 238–262.
8. *Forster H.* Doomsday: Friday, 13, November, A.D. 2026. / H. Forster, P. Mora, L. W. Amiot. // Science. – V. 132. – 1960. – P. 1291–1295.
9. *Шкловский И.С.* Вселенная, жизнь, разум / И.С. Шкловский. – М.: Наука, 1965.
10. Робот-учёный делает открытия без помощи человека. – Режим доступа: <http://www.infuture.ru/article/1917>
11. *Редько В.Г.* Эволюция, нейронные сети, интеллект. Модели и концепции эволюционной кибернетики / В.Г. Редько. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013.
12. *Дунин-Барковский В.Л.* К вопросу об обратном конструировании мозга / В.Л. Дунин-Барковский // Глобальное будущее 2045. Конвергентные технологии и трансгуманистическая эволюция / под ред. проф. Д. И. Дубровского. – М.: ООО «Издательство МБА», 2013. – С. 150–157.
13. *Boyle J.H.* C. elegans locomotion: an integrated approach / J.H. Boyle. PhD thesis. – The University of Leeds School of Computing, 2009.
14. Слизовики – «разумные» простейшие. – Режим доступа: <http://lostlab.ru/forum/topic432.html>
15. *Александров В.Я.* Проблемы поведения на клеточном уровне – цитозтология / В.Я. Александров // Успехи современной биологии. – 1970. – Т. 69. – № 2. – С. 220–240.
16. *Панов А.Д.* Универсальная эволюция и проблема поиска внеземного разума (SETI) / А.Д. Панов. – М.: ЛКИ (URSS), 2008.

17. Режабек Б.Г. О поведении механорецепторного нейрона в условиях замыкания его цепью искусственной обратной связи / Б. Г. Режабек // ДАН СССР. – 1971. – Т. 198 – № 4. – С. 981–984.
18. Penrose R. Consciousness in the Universe: Neuroscience, Quantum Space Time Geometry and Orch OR Theory / Roger Penrose, Stuart Hameroff // Journal of Cosmology. – Vol. 14. – 2011. Режим доступа: <http://journalofcosmology.com/Consciousness160.html>
19. Cytoskeleton // Encyclopedia Britannica. – Режим доступа: <http://global.britannica.com/EBchecked/topic/148990/cytoskeleton>
20. Craddock T.J.A. Cytoskeletal Signaling: Is Memory Encoded in Microtubule Lattices by CaMKII Phosphorylation? / T.J.A. Craddock, J.A. Tuszyński, S. Hameroff // PLOS Comput Biol. – V. 8 (3). – 2012. – e1002421.
21. T. van der Sar T. Decoherence-protected quantum gates for a hybrid solid-state spin register / T. van der Sar, Z. H. Wang, M. S. Blok, H. Bernien, T. H. Taminiau, D. M. Toyli, D. A. Lidar, D. D. Awschalom, R. Hanson, V. V. Dobrovitski // Nature. – 2012. – V. 484. – P. 82–86.
22. Фейнман Р. Фейнмановские лекции по физике. – Т. 8 / Р. Фейнман, Р. Лейнтон, М. Сэндс. – М.: Мир, 1966.
23. Клини С.К. Введение в метаматематику / С. К. Клини. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1957.
24. Панов А.Д. Природа математики, космология и структура реальности: объективность мира математических форм / А.Д. Панов // Космология, физика, культура. – М.: ИФРАН, 2011 – С. 191–219.
25. Дрейфус Х. Чего не могут вычислительные машины / Х. Дрейфус. – Изд. 2-е. – М.: ЛИБРОКОМ (URSS), 2010.
26. Менский М.Б. Концепция сознания в контексте квантовой механики / М.Б. Менский // Успехи Физических Наук. – 2005. – Т. 175. – № 4. – С. 413–435.
27. Менский М.Б. Человек и квантовый мир / М. Б. Менский. – Фрязино: Век 2, 2007.
28. Менский М.Б. Сознание и квантовая механика. Жизнь в параллельных мирах (Чудеса сознания – из квантовой реальности) / М.Б. Менский. – Фрязино: Век 2, 2011.
29. Линде А.Д. Интервью для журнала «Вокруг Света» (Сергей Добрынин) / А.Д. Линде // Вокруг Света. – 2012. – № 10 (2865). – С. 139–148.
30. Julia-Daz B. Qdensity – a Mathematica quantum computer simulation / B. Julia-Daz, J.M. Burdis, and F. Tabakin. // arXiv:quant-ph/0508101 – 2005.
31. Гриб А.А. Неравенства Белла и экспериментальная проверка квантовых корреляций на макроскопических расстояниях / А. А. Гриб // Успехи физических наук. – 1984. – Т. 142 – С. 619–634.
32. Гуревич И.М. Информация – всеобщее свойство материи: Характеристики, оценки, ограничения / И.М. Гуревич, У.А. Урсул. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ» (URSS), 2012.

## THE TECHNOLOGICAL SINGULARITY, PENROSE THEOREM ABOUT ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND QUANTUM NATURE OF CONSCIOUSNESS

A.D. Panov

The predictions related to possibility of the strong artificial intelligence creation in the nearest decades are critically discussed. It is argued that the predictions are based on three weakly-based assumptions and on one completely misunderstood issue. The three weakly-based assumptions are: 1) the possibility of creation of strong artificial intelligence is determined by availability of sufficiently powerful computers; 2) the brain capacity is determined by the overall capacity of

synaptic connections; 3) the brain capacity can be estimated on the base of the analogy 'brain is a classical computer'. The completely misunderstood issue is the arguments related to the Penrose theorem about artificial intelligence which forbids the creation of a computer in possession of all human capabilities on the base of the architecture of a finite machine. The critical analysis of all these three assumptions, the Penrose theorem, and the corollaries from the theorem deduced by Rodger Penrose himself is given. The Penrose' conclusions are estimated to be too pessimistic.

**Key words:** artificial intelligence, technological singularity, Goedel-Turing theorem, finite state machine, quantum computer, computability.

---

## ТАЙНЫ СОЗНАНИЯ – ИЗ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ

М.Б. Менский

*Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН  
Москва, Россия*

Некоторые аспекты феномена сознания, в том числе способность человека к интуитивным прозрениям, для которых нет основания в имеющейся информации, трудно объяснить в рамках привычных научных подходов. Существует точка зрения, что для их объяснения необходимо привлечь квантовую механику. В статье сравниваются два подхода к созданию «квантовой теории сознания», принадлежащие известному математику Роджеру Пенроузу и автору настоящей статьи. Первый из этих подходов апеллирует к квантовым процессам, которые могут идти в некоторых структурах мозга. Второй использует лишь логическую структуру квантовой механики в интерпретации Эверетта и вводит сознание в рамках психофизического параллелизма.

**Ключевые слова:** Квантовая теория сознания, интуиция, интерпретация Эверетта квантовой механики.

Весной 2013 г. в нашу страну приехал Роджер Пенроуз – английский математик и физик. В Петербурге он прочел двухчасовую лекцию о своих соображениях по поводу квантовой теории сознания ([http://vk.com/psy\\_spbgu?w=wall-465\\_2090](http://vk.com/psy_spbgu?w=wall-465_2090)). В Москве рассказывал о предложенной им космологической гипотезе, согласно которой Большой Взрыв не был единственным, но периоды от большого взрыва до глобального коллапса постоянно сменяют друг друга ([http://www.youtube.com/watch?feature=player\\_embedded&v=kuyAUG6dVIE#!](http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=kuyAUG6dVIE#!)). Однако начался визит Пенроуза в Москву с круглого стола в Институте философии РАН на тему «Квантовая механика и сознание» ([http://iph.ras.ru/new\\_phys.htm](http://iph.ras.ru/new_phys.htm)).

В своем выступлении на Круглом столе Пенроуз подчеркнул, что, во-первых, он считает необходимым привлечение квантовой механики для объяснения феномена сознания и, во-вторых, скорее всего, для решения проблемы сознания недостаточно той физики, которую мы уже знаем, но нужна какая-то *новая физика*. Кроме Пенроуза, на Круглом столе в ИФРАН выступили пять российских ученых: физики А.Д. Панов и М.Б. Менский, философ В.А. Лекторский, биологи Т.В. Черниговская и К.В. Анохин. Все выступавшие подчеркивали междисциплинарный характер проблемы сознания и необходимость всестороннего обсуждения и уточнения самого понятия сознания и феномена сознания.

В числе выступавших был и автор настоящей статьи, ранее предложивший свою *Квантовую концепцию сознания* (другое название – *Расширенная концепция Эверетта*). Так в чем же состоит проблема, которую иногда для краткости называют «квантовое сознание», и в чем сходства и различия между подходом к этой проблеме Роджера Пенроуза и нашим подходом?

Из наших современников никто не сделал больше для популяризации идеи «квантового сознания», чем Роджер Пенроуз, написавший на эту тему две книги [1; 2] и много раз выступавший с лекциями, разъяснявшими вопрос для широкой публики. Однако сама проблема была сформулирована еще в 30-х годах прошлого века, в период становления квантовой механики, учеником Фрейда психологом Карлом Густавом Юнгом в сотрудничестве с физиком Вольфгангом Паули, который впоследствии стал нобелевским лауреатом. Юнг и Паули считали, что физическое и психическое неразделимы. Паули пытался найти формализм, адекватно выражавший единую психофизическую реальность. Юнг выделял в духовной сфере человека (psyche) три слоя: сознание, персональное бессознательное и коллективное бессознательное.

Для Юнга одним из важных исходных пунктов в этом направлении его работы было многократное наблюдение им таких проявлений сознания, которые не поддаются рациональному объяснению, в том числе тех, которые были названы синхронизмами (synchronicities). Юнг говорил о случае синхронизма, если по времени совпадало некоторое количество событий, которые были связаны друг с другом общей идеей или общим для них ключевым словом, но никакой физической причины для их одновременного появления не могло быть. В случае синхронизма вероятность простого совпадения мала, а общая физическая причина отсутствует. Возникает ощущение, что объяснить происходящее невозможно. Паули надеялся, что подобные странные явления удастся объяснить, привлекая квантовую механику, которая уже привела к тому времени ко многим неожиданным и парадоксальным выводам.

Во время Паули и Юнга квантовая механика еще не выработала некоторых важных для нее концептуальных инструментов (таких как теорема Белла). Не были в достаточной мере поняты отличия квантовой реальности от классической, не существовала интерпретация Эверетта. Поэтому Паули и Юнг не смогли серьезно продвинуться в объяснении феномена сознания на основе квантовой механики, хотя сама постановка ими этой задачи была, как сейчас очевидно, гениальным достижением. После них эта задача была надолго забыта. Но в последние десятилетия интерес к ней возродился на более широкой основе. Одним из адептов и пропагандистов родившегося таким образом направления исследований является Роджер Пенроуз. Главным мотивом для него стал общеизвестный факт поразительных прозрений, на которые способен человек.

Будучи математиком, Пенроуз сформулировал этот феномен как способность людей (математиков) решать такие математические задачи, решение которых не может быть сведено к некоторому алгоритму и которые, следовательно, не могут быть решены вычислительным устройством. Сознание, в отличие от компьютера, выходит за пределы формальной логики. Не может ли квантовая механика объяснить этот феномен? Пенроуз попытался наметить ключевые пункты для ответа на этот вопрос.

Менее формализуемым, но еще более странным и идейно близким является удивительный феномен интуитивных прозрений, которые случаются как с великими учеными, так и с талантливыми людьми в других областях жизни. В случае таких прозрений решение, к которому приходит человек, не может быть получено на основе логического анализа информации, которой он владеет. Тем не менее некоторым людям в такой ситуации решение все же приходит. Это происходит спонтанно, как правило, не во время работы над соответствующей проблемой, иногда даже во сне или сразу после него. «Информация» приходит как бы ниоткуда, для нее нет рационального основания. При этом, как свидетельствуют пережившие такое состояние ученые (в том числе Эйнштейн), человек ощущает необыкновенный всплеск эмоций и абсолютную уверенность, что найденное таким образом решение правильно. Будущее, иногда через много лет, но неизменно, подтверждает его истинность.

Именно такого рода факты необъяснимых прозрений (прежде всего научных) были основой для формулировки Квантовой концепции сознания (ККС), или Расширенной концепции Эверетта (РКЭ), предложенной автором данной статьи. Концепция была предложена в 2000 г. и сформулирована детально в ряде статей и двух книгах [4–10].

Несмотря на общность цели, подходы к построению квантовой теории сознания, предложенные Пенроузом и в наших работах, существенно различаются как по методам построения, так и по окончательным выводам.

В теории, к которой склоняется Пенроуз, редукция состояния при измерении (коллапс волновой функции) отождествляется с актом осознания. В статьях, написанных Пенроузом в соавторстве со Стюартом Хамероффом (Stuart Hameroff), существенную роль играет анализ работы мозга. Главная идея состоит в том, что в работе мозга как некоторого вычислительного устройства существенны квантовые эффекты. Делается предположение, что некоторые микроскопические структуры в мозге, так называемые микротрубочки (microtubules), работают в квантово-когерентном режиме, то есть не подвергаются декогеренции за счет неконтролируемого взаимодействия с окружением. Отсутствие декогеренции на стадии вычисления характерно для квантовых компьютеров, поэтому упрощенно можно сказать, что согласно гипотезе Пенроуза–Хамерофа мозг работает скорее как квантовое, чем как классическое вычислительное устройство.

Предполагается, что квантовый характер мозга как вычислительного устройства объясняет как сам феномен сознания, так и те его черты, которые кажутся необъяснимыми, когда мы анализируем их в рамках обычной классической логики. Удастся ли авторам достичь этой цели, не очевидно, и в литературе высказываются по этому поводу различные мнения. Во всяком случае в работах Пенроуза и Хамерофа нет окончательных ответов на все поставленные в самом начале и возникающие в ходе исследования вопросы. Остается не вполне ясным, почему микротрубочки не подвергаются декоге-

ренции и почему учет квантовых процессов в мозге может объяснить феномен, называемый сознанием.

Заметим, что для нахождения связи между сознанием и квантовой механикой Пенроуз и Хамероф идут по пути, который для физиков является не только типичным, но часто представляется единственно возможным. Этот путь состоит в том, чтобы выделить некоторую материальную систему, которая существенна для изучаемого явления, проанализировать поведение этой системы в соответствии с известными физическими законами и вывести все черты изучаемого явления из поведения данной системы. В данном случае ставится цель вывести все черты сознания из поведения мозга (точнее, микротрубочек) как квантовой материальной системы.

Однако такой способ рассуждения, отвечающий на типичные вопросы физиков, по отношению к сознанию оказывается, по-видимому, недостаточным. Причина этого очевидна. Она в том, что сам феномен сознания лежит в центре до сих пор не решенной концептуальной проблемы квантовой механики, *проблемы квантового измерения*. Эта проблема приводит к известным квантовым парадоксам и окружает квантовую механику ореолом таинственности, который не рассеялся до сих пор (заметим, что никакой таинственности нет, если мы интересуемся лишь вероятностными расчетами, сделанными на основе квантовой механики).

При построении ККС вместо обычного для физиков способа рассуждений (от анализа материальной системы – к объяснению порождаемых ею феноменов) был избран обходной путь. Вместо свойств материи (в частности мозга) анализировалась *логика теории*, описывающей материю. С помощью этого анализа формулировалось понятие сознания и выводились важнейшие его свойства. Сознание, таким образом, определялось не как функция мозга, а как независимое понятие, необходимое для логической полноты теории. Дальнейший анализ показывает, что так определенное (и должным образом обобщенное) сознание – это некоторое свойство, присущее феномену жизни. Мозг в такой теории играет роль интерфейса между сознанием и телом.

Если говорить более конкретно, логическая структура исследуемого феномена (сознания) сопоставлялась с логической структурой квантовой физики, а точнее – с логической схемой квантового измерения. При этом для представления квантового измерения использовалась единственная, на наш взгляд, корректная интерпретация квантовой механики, а именно – *интерпретация Эверетта* (которую часто, но скорее неудачно, называют многомировой интерпретацией).

В некоторых своих работах (в частности в книге [3]) Пенроуз затрагивает вопрос об онтологии квантовой механики, то есть о различных ее интерпретациях. При этом он высказывает мнение, что судить об интерпретации Эверетта можно лишь после того, как будет построена теория сознания. Но с нашей точки зрения, эта позиция неэффективна, так как не позволяет окончательно решить ни одну из двух задач (построение теории сознания и

оценка интерпретации Эверетта). Наоборот, опыт построения ККС показывает, на наш взгляд, что, приняв интерпретацию Эверетта и опираясь на нее, можно построить и теорию сознания.

Более того, при таком способе рассуждения возникающая концепция сознания объясняет и *роль бессознательного* и тем самым оказывается более глубокой, чем то, чего мы хотели при постановке задачи. Объясняются не только те явления, которые заведомо включены в феномен сознания, но и те, которые порождаются бессознательным. Некоторые из этих явлений считаются мистическими и часто вообще не рассматриваются, хотя свидетельства такого рода явлений существовали всегда, а в наше время накапливаются систематически и вряд ли могут игнорироваться. Главное из них в рамках ККС было названо *сверхинтуицией*. По существу, оно представляет собой *прямое видение истины*.

Эти выводы стали неожиданными, ничего подобного нельзя было предвидеть, когда ставилась задача объяснить сознание на основе квантовой механики. Тем не менее эти выводы естественным образом следовали из логики ККС. И поскольку предсказанные таким образом явления подтверждаются тысячелетним опытом человечества, это стало дополнительным подтверждением справедливости ККС. При этом возникают и интересные философские обобщения, которые делают всю конструкцию весьма правдоподобной и достойной дальнейшего изучения. И наконец, синхронизмы Юнга получают, наконец, в этой концепции свое объяснение [9].

Изложим, по необходимости очень кратко, логическую схему, составляющую суть Квантовой концепции сознания, или Расширенной концепции Эверетта.

В квантовой механике, в отличие от классической физики, состояния любой физической системы являются элементами линейного (векторного) пространства. Это значит, что два состояния можно сложить, как складываются векторы, получив при этом новое состояние (кроме этого, каждое состояние, как и обычный вектор, можно умножить на число, но это для нас сейчас несущественно). Такое свойство состояний с трудом принимается нашей интуицией. Например, точечная частица (скажем, электрон) может находиться в точке А. Это состояние электрона описывается некоторым вектором состояния  $\psi_A$ . Если электрон находится в точке В, то его состояние описывается вектором состояния  $\psi_B$ . Но в квантовой механике векторы состояния можно складывать, поэтому существует и такое состояние электрона, которое представляется вектором  $\psi = \psi_A + \psi_B$ . В этом случае говорят, что состояние  $\psi$  является суперпозицией состояний  $\psi_A$  и  $\psi_B$  (каждый вектор-слагаемое можно еще умножить на комплексное число, тогда суперпозиция имеет вид  $\psi = \alpha\psi_A + \beta\psi_B$ ). В какой же точке находится электрон, если его состояние описывается вектором  $\psi$ ? В каком-то смысле – одновременно в обеих точках А и В, и это несмотря на то, что электрон – точечная частица (не имеет размера, или, более точно, этот размер чрезвычайно мал), а точки А и В могут быть как угодно далеко друг от друга.

Когда физики столкнулись с этим свойством микроскопических систем, им пришлось серьезно изменить свое мировоззрение, но это было сделано, потому что иначе не удавалось объяснить эксперименты. Согласно экспериментам, необычными свойствами (скажем, способностью находиться одновременно в разных точках) обладали микроскопические объекты.

Что касается макроскопических систем, то опытов, которые могли бы доказать или опровергнуть аналогичные свойства этих систем, быть не может (для этого понадобились бы приборы, которые могут следить за всеми степенями свободы макроскопических тел, а число таких степеней свободы имеет порядок  $10^{23}$ ). Однако можно показать, что для логической полноты всей теории необходимо предположить, что и макроскопические системы могут находиться не только в привычных «классических» состояниях, но и в состояниях, которые являются суперпозициями различных классических состояний. Американский физик Эверетт был достаточно смел, чтобы предположить, что к доводам логики следует прислушаться серьезно, и стал рассматривать *суперпозиции состояний макроскопических систем*.

Итак, согласно интерпретации Эверетта, квантовый мир может находиться в одном из классических состояний  $\Psi_1, \Psi_2, \dots, \Psi_n, \dots$ , но может быть и в состоянии  $\Psi = \Psi_1 + \Psi_2 + \dots + \Psi_n + \dots$ . В этом случае можно сказать, что «классические реальности»  $\Psi_1, \Psi_2, \dots, \Psi_n, \dots$  *сосуществуют*.

Но почему же мы видим лишь одну классическую реальность? Обычно адепты интерпретации Эверетта отвечают, что  $\Psi_1, \Psi_2, \dots, \Psi_n, \dots$  – это различные «миры Эверетта», в каждом из которых имеется «клон» или «двойник» каждого наблюдателя (отсюда другой термин – многомировая интерпретация). Такая словесная формулировка интерпретации Эверетта была предложена известным физиком ДеВиттом.

Однако, с нашей точки зрения, эта словесная формулировка неудачна и ведет к недоразумениям. Например, приходится говорить, что при измерении происходит «расщепление» одного мира на множество миров. Это лишь вводит в заблуждение, так как квантовый мир един, и лишь его состояние может иметь сложную структуру, быть суперпозицией многих классических состояний.

В работе [4] была предложена словесная формулировка, лишенная этого недостатка. Было предложено

1) называть компоненты суперпозиции  $\Psi = \Psi_1 + \Psi_2 + \dots + \Psi_n + \dots$  *альтернативными классическими реальностями*, или просто *альтернативами*, и говорить, что квантовая реальность  $\Psi$  описывается лишь совокупностью всех альтернативных классических реальностей (альтернатив)  $\{\Psi_1, \Psi_2, \dots, \Psi_n, \dots\}$  ;

2) говорить, что согласно интерпретации Эверетта классические реальности  $\Psi_1, \Psi_2, \dots, \Psi_n, \dots$  объективно сосуществуют, но *разделяются в сознании*.

В результате, субъективно воспринимая одну из этих реальностей, наблюдатель не воспринимает остальные, и у него создается *иллюзия*, что существует лишь одна классическая реальность.

Отсюда остается один шаг до формулировки Расширенной концепции Эверетта (РКЭ), или Квантовой концепции сознания (ККС). Вместо предположения, что альтернативы, или альтернативные классические реальности, разделяются в сознании, примем предположение, что *сознание – это разделение альтернатив*. Это предположение упрощает логическую конструкцию теории, так как вместо двух первичных (не сводимых к более простым) понятий, «сознание» и «разделение альтернатив», остается лишь одно (*сознание = разделение альтернатив*), к тому же смысл этого понятия теперь разъясняется с двух различных точек зрения – с точки зрения психологии (сознание) и с точки зрения квантовой физики (разделение альтернатив). Но самое главное – это предположение позволяет сделать следующий, и уже гораздо более важный шаг.

Если сознание есть разделение альтернатив, то мы можем ответить на вопрос, что произойдет, если мы выключим сознание (во сне, трансе, медитации). В этом случае выключается разделение альтернатив, то есть возникает *доступ ко всем альтернативам* (или по крайней мере более чем к одной альтернативе). Вывод состоит в том, что при (полном или частичном) выключении сознания возникает *доступ к той информации, которая недоступна в обычном сознательном состоянии*. Таким образом, на основе квантовой механики объясняется *роль бессознательного*, давно, со времен Юнга, замеченная психологами.

Можно показать, что при выключении сознания доступной становится *информация из всех альтернатив во все моменты времени*. Это связано с тем, что если известно полное квантовое состояние мира  $\Psi = \Psi_1 + \Psi_2 + \dots + \Psi_n + \dots$  в некоторый момент времени, то законом квантовой эволюции оно однозначно определяется и в любой другой момент. В результате информация, содержащаяся в этом полном квантовом состоянии, по существу носит *вневременной* характер.

Возможность доступа к такой *расширенной информации* можно назвать *сверхсознанием*. Стало быть, выключение сознания, то есть переход к «чистому существованию», означает появление сверхсознания. При выключении сознания доступная информация не уменьшается, а невероятно увеличивается. Понятно, что так определенное сверхсознание вполне может быть источником не просто интуиции в обычном смысле слова, но источником *сверхинтуиции*, то есть знания о том, что является истиной, хотя не может быть выведено из всего объема информации, доступной человеку в сознательном состоянии.

Этот вывод, который совершенно естественно возникает в рамках Квантовой концепции сознания (Расширенной концепции Эверетта), является очень необычным, так как позволяет не только сблизить, но и объединить в единое целое *два направления познания*, которые многими считаются взаим-

но исключаящими. Первое из этих направлений – это *естествознание*, или наука, а второе можно охарактеризовать как мистический путь познания, или *метафизику*.

Первое направление развивается в рамках материализма, а второе, казалось бы, выводит за рамки материализма, то есть представляет собой пример идеалистического мировоззрения. Однако при рассмотрении в рамках ККС оказывается, что эти два направления не только совместимы, но нуждаются друг в друге. Как ни странно, рассмотрение такой необычной отрасли (материалистической) науки, как квантовая механика, не удастся сделать логически полным без включения в нее понятия или феномена сознания, что фактически означает апелляцию к идеализму. Более того, логика квантовой механики приводит к тому, что понятие «сферы сознания» расширяется, в него включаются явления сверхсознания и сверхинтуиции (прямого видения истины), которые находят свое подтверждение в человеческом опыте, но обычно трактуются как мистические.

Результатом анализа понимаемой в таком расширительном плане «сферы сознания» оказывается вывод, что *материализм неизбежно приходится расширить* таким образом, что он включает некоторые элементы, традиционно рассматриваемые в рамках идеализма. Такого рода тенденции в науке, которые представлены не только Расширенной концепцией Эверетта, но и другими подходами, связывающими сознание с квантовой механикой, по видимому, указывают на то, что на наших глазах происходит *новая научная революция*, которая наконец решает пресловутую «проблему измерения» в квантовой механике и делает эту науку логически полной. Однако «платой» (а скорее наградой) за это является отказ от узкого материалистического (фактически вульгарно-материалистического) мировоззрения. Принятие материализма, понимаемого расширительно, означает включение в него не только законов, управляющих эволюцией материи, но и законов, характеризующих феномен сознания и, более широко, феномен жизни.

До сих пор, говоря о ККС, мы опирались на логический анализ квантовой теории измерений и из него выводили характерные черты феномена сознания. При этом сознание рассматривалось не как функция мозга, а как нечто независимое. Мозг (или некоторые его специфические структуры) играет при этом роль интерфейса между сознанием и телом. Этот способ построения теории сознания можно считать вариантом *психофизического параллелизма*, концепции, которая появилась еще в период становления квантовой механики.

А что же можно сказать об обычной для физиков линии рассуждения, от материальной системы – к порождаемым ею феноменам? Можно ли переформулировать ККС таким образом, чтобы отказаться от обходного пути (который мы описали выше), перейти к прямому пути, определяя сознание (и сверхсознание) как функцию некоторых материальных систем? Можно ли вывести феномен сознания напрямую из законов материи?

По-видимому, это возможно, однако для этого саму квантовую механику придется рассматривать на более глубоком уровне, когда рассматриваемые явления не нарушают квантовой когерентности. Это возможно лишь в том случае, если рассматриваются не только ограниченные физические системы, но в рассмотрение включается также весь мир как одна из систем [10]. При этом концепция сверхсознания становится версией известной философской идеи *микрокосма*. Сознание персонально, а глубокое сверхсознание вне-персонально. На уровне сверхсознания «Я» = «весь мир».

Кстати, такое углубление квантовой физики, которое включает весь мир как одну из систем, на самом деле уже существует, хотя и не может пока считаться законченной теорией. Это *квантовая космология*, которая является частью *квантовой гравитации*. Интересно, что эти выводы перекликаются с мнением Пенроуза, который считает, что для теории сознания следует привлечь квантовую гравитацию и что для полного понимания феномена сознания все же нужна новая физика.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пенроуз Р. Новый ум короля. О компьютерах, мышлении и законах физики = The Emperor's New Mind. Concerning Computers, Minds and The Laws of Physics / пер. с англ. под общ. ред. В. О. Малышенко. – 4-е изд. – М.: УРСС, ЛКИ, 2011. – 402 с. – (Синергетика: от прошлого к будущему). – ISBN 978-5-382-01266-7
2. Пенроуз Р. Тени разума: В поисках науки о сознании = Shadows of the Mind: A Search for the Missing Science of Consciousness / пер. с англ. А. Р. Логунова, Н. А. Зубченко. – М.–Ижевск: ИКИ, 2011. – 688 с. – 1500 экз. – ISBN 5-93972-457-4 («The Large, the Small and the Human Mind»). Cambridge University Press. Retrieved July 28, 2012.
3. Пенроуз Р. Путь к реальности, или Законы, управляющие Вселенной: Полный путеводитель = The Road to Reality: A Complete Guide to the Laws of the Universe / пер. с англ. А. Р. Логунова, Э. М. Эпштейна. – М.–Ижевск: ИКИ, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2007. – 912 с. – ISBN 978-5-93972-618-4
4. Менский М.Б. Квантовая механика: новые эксперименты, новые приложения и новые формулировки старых вопросов, УФН 170, 631–648 (2000). English translation: M.V. Menskii, Physics-Uspekhi 43, 585–600 (2000).
5. Менский М.Б. Понятие сознания в контексте квантовой механики, УФН 175, 413–435 (2005). English translation: M.V. Menskii. Concept of consciousness in the context of quantum mechanics, Physics-Uspekhi 48(4) 389–409 (2005).
6. Менский М.Б. Квантовые измерения, феномен жизни и стрела времени: связи между «тремя великими проблемами» (по терминологии Гинзбурга), Успехи Физических Наук, 177, 415–425 (2007). English translation: M.V. Menskii. Quantum measurements, the phenomenon of life, and time arrow: three great problems of physics (in Ginzburg's terminology) and their interrelation, Physics-Uspekhi, 50 (4) 397–407 (2007).
7. Менский М.Б. Человек и квантовый мир (Странности квантового мира и тайна сознания). – Фрязино: Век 2, 2005.
8. Mensky M.B. Consciousness and Quantum Mechanics: Life in Parallel Worlds (Miracles of Consciousness from Quantum Mechanics), World Scientific Publishing Co., 2010. Русский перевод: М.Б. Менский. Сознание и квантовая механика: Жизнь в параллельных мирах (Чудеса сознания – из квантовой механики). – «Век 2», 2011.

9. *Mensky M.B.* Synchronicities of Carl Jung interpreted in Quantum Concept of Consciousness // *NeuroQuantology*. 10, 468–481 (2012). URL: <http://www.neuroquantology.com/index.php/journal/article/view/593>.
10. *Mensky M.B.* Everett Interpretation and Quantum Concept of Consciousness // *NeuroQuantology*. 11, 85–96 (2013). URL: <http://www.neuroquantology.com/index.php/journal/article/view/635>.

## **MYSTERIES OF CONSCIOUSNESS – FROM QUANTUM MECHANICS**

**M.B. Mensky**

It is difficult to explain certain aspects of the phenomenon of consciousness in the framework of conventional scientific approaches. Among them, one of the most astonishing is human ability to intuitive insights, even those which have no foundation in available information. There is a view that in order to explain such phenomena, one has to attract quantum mechanics. We shall compare two approaches to creation of “quantum theory of consciousness”: one, proposed by the famous mathematician Roger Penrose, and another, suggested by the present author. The first of these approaches appeals to quantum processes that hypothetically take place in some structures of brain. The second makes use of only logical structure of quantum mechanics in Everett’s interpretation, while consciousness is introduced in the framework of psycho-physical parallelism.

**Key words:** Quantum theory of consciousness, intuition, Everett’s interpretation of quantum mechanics.

---

## Р. ПЕНРОУЗ О СОЗНАНИИ: АПОФАТИЧЕСКИЙ ПОДХОД?

В.Д. Захаров

*Всероссийский институт научной и технической информации  
(ВИНИТИ)*

Раскрывается суть полемики Р. Пенроуза с его критиками (Хоукингом, Серлом, Шимони и др.) по вопросу о природе сознания. Я показываю, что объяснение сознания на физическом пути невозможно, и результаты Пенроуза можно истолковать только на пути апофатизма («учёного незнания» Н. Кузанского).

**Ключевые слова:** сознание, личность, физикализм, вычислимость, эйдосы, платонизм, истина, апофатическое познание, миф.

Тайна – это правда, и скрывают её потому,  
что принимают всерьёз.

*Г.К. Честертон*

После выхода в свет двух монографий Роджера Пенроуза [1, 2] по теме сознания на их автора обрушился шквал неприятия и критики, которые, например, отражены в обзорной публикации [3]. Протестовали все: не только философы, но и биологи, и физики (дискуссия Р. Пенроуза с его критиками С. Хоукингом, Н. Картрайт, А. Шимони представлена в сборнике [4]). Что, Пенроуз в чём-то крупно ошибался? Тогда о чём шум? Ведь на ошибки достаточно лишь указать и больше к ним не возвращаться. Зачем же поднимать ажиотаж и изводить столько бумаги? Может быть, аргументация такого крупного мыслителя, как математик и философ Пенроуз, оказалась слишком неубедительной? Я постараюсь показать, что аргументы его критиков гораздо слабее, а главное – идеи Пенроуза оказались слишком необычными. Они шли вразрез с представлениями абсолютного большинства учёных, занимавшихся проблемой сознания, – вот откуда их столь гневная реакция. Я дам свою собственную интерпретацию идей Пенроуза, которую, я уверен, тоже не примет не только вся армия его критиков, но, вполне вероятно, и сам Пенроуз.

Почему, собственно, возникает «проблема сознания»? Казалось бы, что может быть для нашего разума проще нашего собственного сознания, проявления которого мы ощущаем на каждом шагу в собственных мыслях и представлениях? Раз есть проявления, то они должны иметь и причину. Так как всё на свете есть «природа», вне которой ничто не существует, то эта причина должна быть *естественной*, то есть принадлежать природному миру. Поэтому ещё «Век просвещения» самоуверенно провозгласил, что для человеческого разума в природе нет тайн, и если для всякого явления природы может быть найдено причинное объяснение, то и такое «явление природы», как человек и его сознание, должно быть объяснено естественной

причинностью. Идея эта лишь укрепилась в XX веке с проникновением науки в тайны микромира. Абсолютное большинство и физиков, и философов уверены, что, поскольку квантовая механика описывает свойства самых элементарных «кирпичиков» мироздания, то она описывает *всё* во Вселенной – может ли от неё укрыться сознание?

На мой взгляд, по-настоящему сознание стало проблемой лишь в XX веке, когда нашлись мыслители, которые посмели усомниться: а можно ли человеческое сознание рассматривать как явление природного мира? Вначале ими были Вл. Соловьёв и Н. Бердяев, а затем М. Хайдеггер.

Когда речь заходит о человеческом сознании, сразу возникает вопрос о нашем Я (мире внутреннем) и не-Я (мире внешнем для нас и являющемся предметом нашего «познания»). Как разъясняется в предыдущей публикации [5. С. 3–7], соотношение Я и не-Я настолько нетривиально, что мы, строго говоря, не имеем формального правила для различения мира внешнего и мира внутреннего (на это впервые указал Вл. Соловьёв [6]). Поэтому мы смешиваем наше «сознание» («consciousness») с «познанием» (cognition), с «самосознанием» (self-consciousness) или даже с «совестью» (conscience). М. Хайдеггер прямо ставит вопрос: а умеем ли мы вообще мыслить и что это такое – мышление? [7].

Согласно Хайдеггеру, мы не умеем мыслить потому, что наше целостное бытийное Я само отвернулось от испытующего разума. Сам человек не доступен его собственному мыслящему разуму, не может быть постигнут на путях естественной причинности, потому что его Я находится вне этой причинности. «Проблема человека совершенно неразрешима, если его рассматривать из природы и лишь в соотношении с природой, – пишет Н. Бердяев [8]. – Самый факт существования человека есть разрыв в природном мире...». Человек своим существованием свидетельствует, что природа не самодостаточна, не замкнута сама в себе сплошной причинной связью, а имеет «окна» в мир свободы, и одно из этих «окон» – человек.

Далее Н. Бердяев развивает мысль о связи человека и его сознания. Наше бытийное Я есть *личность*. Она выше всяких форм познания и *ни из чего не выводима*. В то же время личность из своей таинственной глубины создает своё сознание, с помощью которого она утверждает себя, выделяя себя из смешения и хаоса феноменов [9]. Не умея определить личность как бытийное Я, мы не можем определить и обусловленное ею познающее сознание. По этой причине Вл. Соловьёв называл наше мыслящее сознание непонятным термином «становящаяся разумность». «Становящаяся» означает: никогда не данная нам как завершённое целое и потому неопределимая. Один из маститых современных исследователей сознания Дж. Сёрл [10] вынужден признать, что, «несмотря на обоснованность и универсальность нашей науки, мы... сбиты с толку и погружены в разногласия по вопросам о том, в чём заключается существо умственной деятельности». Зато Сёрл уверен в том, что мы нечто всё же знаем о сознании: «...мы знаем, что внутри нашего черепа – мозг... и процессы в мозге обуславливают сознание во всех

его проявлениях». Для разрешения этого вопроса мы должны призвать Р. Пенроуза, который получил результаты, фактически опровергающие этот тезис.

Пенроуз подошёл к вопросу о сознании как физикалист, верящий, подобно Сёрлу, что именно физические процессы в мозге обуславливают сознание («мы обязаны познать мысленный мир на основе физического... я по-прежнему остаюсь сторонником так называемого физикализма», сб. [4]). Только, в отличие от Сёрла, который ограничивается лишь расплывчатыми представлениями о субъективных состояниях сознания, он определяет эти состояния квантово-механически, в соответствии с идеей Дж. Уилера о роли наблюдателя в формировании результата квантового измерения. А именно: проявления сознания понимаются как *крупномасштабная квантовая когерентность*, состоящая в усилении микромасштабных квантовых эффектов до классического уровня, на котором мы и воспринимаем нашим сознанием мир. Когерентность объясняется тем, что квантовое состояние в момент измерения оказывается «запутанным» с окружением. Это обуславливает переход на классический уровень в соответствии со стандартной *R-процедурой* (редукцией вектора состояния, означающей мгновенный конец когерентности). Результатом измерения является то, что Пенроуз обозначает как *OR-переход* (objective reduction – восстановление объективной картины).

Физикалистский поиск истоков сознания неизбежно приводит к вопросу: где обитает сознание? Пенроуз тщательно обследует все микроканалы нейронов мозга, которые могли бы быть ответственны за квантово-механические проявления сознания (OR-переходы): гиппокамп, эпиталамус, область ретикулярной формации, наконец, саму кору головного мозга. Пользуясь помощью нейрофизиолога С. Хамерхоффа, Пенроуз ищет участки мозга, производящие такие проявления сознания, и нигде не находит их. Он делает вывод: «...нет таких ключевых процессов в мозге, которые бы непосредственно определялись квантово-механическими эффектами». Так, R-процедура может выполняться задолго до того, как наблюдатель зарегистрирует факт измерения: «Для редукции вектора состояния наше сознание не требуется!» «Приходится констатировать, – заключает Пенроуз, – что на сегодняшний день общепринятый критерий проявления сознания отсутствует» [1].

Если бы сознание определялось только физическими процессами, то состояния сознания, как причинно обусловленные, были бы полностью алгоритмируемыми. Это значит, что они были бы *вычислимы*, то есть переводимы на язык компьютеров. Физикализм основан на естественной, то есть *алгоритмируемой* каузальности, тогда как, по Пенроузу, «в процессе (сознательного) мышления участвует существенная неалгоритмическая составляющая» [1].

Это – знаменитая теорема по-го Р. Пенроуза об искусственном интеллекте, доказанная им в монографии [2]. Эта теорема похоронила идею «технологической сингулярности», согласно которой развитие возможностей ис-

кусственного интеллекта может привести к полному подчинению человека «машинной цивилизации». Теорема по-go говорит, что, какой бы мощностью ни обладал конечный автомат (компьютер в современном понимании), он не может превзойти человеческое мышление *во всех отношениях*. Доказательство основано на том же принципе, что и доказательство известной теоремы Гёделя о неполноте. Эта теорема утверждает, что в любой непротиворечивой аксиоматической системе, содержащей в себе формальную арифметику, существует утверждение, которое нельзя ни доказать, ни опровергнуть средствами этой системы. Само это утверждение конструктивно – строится в явном виде и по построению является истинным. Пенроуз рассматривает любой конечный автомат как модель конечного набора аксиом некоторой формальной системы. В полной аналогии с теоремой Гёделя для такой системы можно явно построить некоторое истинное утверждение, истинность которого не может быть доказана (*вычислена*) данным конечным автоматом. Предположим от противного, что создан суперкомпьютер, который реализует как минимум все методы математических рассуждений человека (математика). В силу доказанного Пенроузом математик может явно построить истинное математическое утверждение, истинность которого этот же суперкомпьютер не может ни доказать, ни опровергнуть. Полученное противоречие доказывает теорему по-go: никакой компьютер не может превзойти человека *во всех* математических рассуждениях. А поскольку математические способности людей – только частный случай способностей человеческого разума, то отсюда следует, что человеческая способность *понимания* не может быть превзойдена никаким компьютером: она не поддается формализации. Этот тип способностей человека, который выходит за пределы возможностей любого конечного автомата, Пенроуз называет *невычислительной активностью мозга*.

И всё-таки мозга! Пенроуз и тут хочет оставаться физикалистом, он хочет лишь найти, что же в такой физической системе, как мозг, превращает эту физическую систему во что-то отличное от любого вычислительного устройства. Его цель – найти физику, имеющую невычислительный характер. Однако, рассматривая всю известную физику, как классическую, так и стандартную квантовую, он показывает, что вся вообще известная физика имеет вычислительный характер. Даже если мозг – не классический, а квантовый компьютер, то и это не может объяснить его невычислительную активность.

Открыв «невычислительную активность мозга», Пенроуз подорвал те интерпретации квантовой механики, которые предлагают включить в состав этой науки «сознание наблюдателя». Ведь «сознание» наблюдателя осуществляет сугубо механическую, то есть вполне вычислимую функцию. «Наблюдатель» в физике – это вообще не человек, а некий идеальный элемент, вводимый в теорию для интерпретации результата измерения.

Отрицательный результат Пенроуза свидетельствовал против физикализма. Тем не менее сам он упорно хочет оставаться физикалистом, а не ме-

тафизиком. Самую открытую им невычислительную активность человека, само неалгоритмическое построение суждений он приписывает мозгу, и эту «невычислительную активность мозга» он склонен считать главным проявлением со-знания.

Заключение это странное. Почему вычислительные процедуры (уже отличающие человека от животных) должны быть исключены из сферы сознательных функций? Это явное противоречие наталкивает нас на иную интерпретацию результатов Пенроуза. Мне кажется, он стремится объяснить не сознание, а *человека*, хотя и не отдаёт себе в этом различии ясного отчёта. Сознательные функции – лишь производная от человеческой личности. Всё, что в действительности делает Пенроуз, сводится к тому, чтобы отстоять примат человеческой личности перед её сознанием. Мыслит не мозг, а наша личность с помощью мозга. Для этого Пенроуз и показывает, что человек не может быть исчерпан такой *сознательной* его функцией, как вычислительная активность. На этом пути он идёт ещё дальше и хочет показать, что *невычислительная* активность человека связана с его способностью непосредственно *видеть* математические истины. Непосредственно – это значит вне логики и причинных связей. Здесь он уже не физикалист (хотя и упорно желает им оставаться), а настоящий метафизик, потому что способность человека непосредственно воспринимать истины он рассматривает как способность «осуществлять прямой контакт с миром математических идей Платона» [1].

Тут обнаруживается принципиальное различие в понимании сущности математики метафизиком Пенроузом и редуccionистами типа Хоукинга или Сёрла. С. Хоукинг прямо высказывается: «Я убеждённый редуccionист... я отношу себя к позитивистам и уверен, что физические теории являются всего лишь *создаваемыми нами* (курсив наш. – В.З.) математическими моделями, вследствие чего вообще не имеет смысла говорить о соответствии теории и реальности. Теории следует оценивать лишь по их способности предсказывать наблюдаемые явления» [4]. Таким образом, реальность для Хоукинга – нечто несущественное и ненужное: теории создаются не для познания реальности. Для позитивиста Хоукинга математические истины лишь *изобретаются* человеком как некая его умственная модель. Для реалиста Пенроуза истины в математике не создаются человеком, а существуют вечно и вне человека: человек лишь *открывает* для себя их существование, и не в своём мозгу, а в идеальном платоновском мире. Это и есть реализм в его классическом противопоставлении с номинализмом. Зачем всё-таки нужен реализм? На этот вопрос образно и метафорически отвечает Г.К. Честертон [11]: «Если разум механичен, думать неинтересно, а если мир нереален, думать не о чем».

Возникает лишь вопрос: каким образом математические идеи открываются человеком? Пенроуз, как это видно из его ответов критикам, не может указать какого-либо человеческого способа восприятия математических идей. Он говорит лишь о непонятной способности человека проникать в мир

платоновских эйдосов, ссылаясь при этом на нечто труднообъяснимое – на свой личный «математический опыт».

Однако критики Пенроуза мало обращают внимание на проблему связи человека с платоновскими эйдосами. Они – физикалисты и вообще не верят в эйдосы. Их цель – разоблачить Пенроуза как физикалиста, и, в частности, Хоукинг, а также и Д. Чалмерс [12] не принимают такое физическое истолкование проявлений сознания, которое использует Пенроуз, – OR-переходы. Отвергнув же их, Хоукинг и Чалмерс всё равно не предлагают взамен ничего лучшего, так что их критика остаётся бесплодной. Я же предпочитаю остановиться именно на проблеме эйдосов и показать уязвимость концепции Пенроуза в этом пункте. Это выведет нас на совершенно иной подход в понимании концепции Пенроуза.

Допустим, Пенроуз прав, и математик черпает свои идеи из платоновского мира. Идеи, по Пенроузу, вечны и неизменны, а поскольку они проникают в сознание математика *непосредственно*, то являются к нему в готовом виде, как некий чудесный дар от платоновских «небес» в виде каких-то абсолютных истин.

Тут возникают сразу два вопроса, на которые совершенно не обращают внимания критики Пенроуза. Первый: математические «истины» – это истины о чём и к чему они относятся? У Пенроуза есть на это ответ: они относятся к «физическому миру», который, по его представлению, полностью описывается математикой (см. схему миров Пенроуза – физического, мысленного и платоновского, – например, в [3]). Однако с ним не согласился бы А. Эйнштейн, который сказал: теоремы математики *не точны*, если они применяются к действительному физическому миру; они точны, только когда не прилагаются к действительности. Другой известный физик высказался ещё категоричнее: это несчастье для физики, что она не может обойтись без математики.

Второй вопрос: есть ли вообще истина в математике? У древних греков истина была абсолютной и выражалась математически, в соответствии с аристотелевой теорией доказательства. Истины у греков относились к их Космосу («физическому миру»). Так, у Платона (в «Тимее») Демиург конструирует мир по строгому геометрическому плану в соответствии с единой, считавшейся абсолютной, геометрией. Сами платоновские эйдосы не отделены от мира непроницаемой стеной, но являются порождающими элементами Космоса (ещё пифагорейцы такими порождающими элементами считали числа).

А что же считается истиной в математике в наши дни после кризиса её оснований начала XX века? Абсолютная истина давно покинула как учение о пространстве (с возникновением неевклидовых геометрий), так и учение о числе (с теоремой Гёделя). С обрушением фундамента математики ни одна математическая теорема не может считаться строго доказанной, так как само понятие доказательства утратило строгий (абсолютный) смысл (см. [13. С. 36–47]).

С утратой строгости уже нельзя утверждать (как это делает Пенроуз), что математика имеет дело с платоновыми абсолютами. Можно только верить в их существование, но вера – это уже не знание. А. Лосев например, считал, что ни философия, ни тем более наука не могут доказать существование универсалий (общих идей) – это вопрос веры, а верить можно только в то, чего мы не знаем. Эйдосы не познаваемы мыслью: Платон тоже считал, что они не доступны человеческому познанию.

Эйдосы не доступны знанию – означает ли это, что они не существуют? Так ведь и человек недоступен своему же знанию. Означает ли это, что мы не существуем? Я хочу указать путь, по которому мог пойти Пенроуз для утверждения существования эйдосов. Это есть особый путь познания, на который ступил ещё Сократ, и я продемонстрирую его сначала на задаче познания человеческой личности.

Если нечто недоступно знанию – означает ли это, что оно никак не может быть познано? Вот Сократ говорил, что он ничего не знает, но считал своё незнание весьма полезным для себя, потому что оно позволяло ему разоблачить многие предрассудки «знающих». Спустя почти два тысячелетия Николай Кузанский разъяснил нам, какую пользу может приносить незнание, создав свою философию «учёного незнания» [14]. Само название указывает на то, что незнание может чему-то научить. Примером является так называемая «отрицательная теология». Что мы можем «знать» о Боге? Только то, чем Он не является: Бог *не есть* камень (идол), *не есть* огонь, не есть вообще природа. Разве это не приближает нас к богопознанию, хотя Бог так и остаётся для нас тайной? Ещё пример: «Древние знали о грехопадении, даже если они ни о чём не знали» [11]. Такого рода «познание» стало называться *апофатическим*.

Я думаю, апофатическое познание очень применимо к постижению такого существа, как человек. Убедил меня в этом наш отечественный философ и физик В. Налимов. Его книга [15] прямо носит подзаголовок «смысловая архитектура личности». В. Налимов хочет постигнуть личность через её смыслы, а эти смыслы, как он утверждает, раскрываются через незнание, ибо «незнание всегда богаче нашего знания». Сам смысл человеческого существования состоит «в расширении горизонта нашего незнания» относительно Мира и самого себя. Наше знание всегда нас обманывает относительно подлинного бытия. Сводя «познание» к разделению субъекта и объекта, оно отождествляет бытие с миром объектов знания. Объекты же знания – не бытие, и ещё Кант назвал такое отождествление бытия и мира объектов иллюзией нашего разума (Бердяев потом назовёт эту иллюзию *объективацией*). Напротив, незнание стирает границу между субъектом и объектом, между рациональным и иррациональным, приобщая нас к бытию, в котором укоренено наше Я. Модель человека, основанная на незнании, предполагает предельные вопросы, на которые нет и не может быть ответов. Прежде всего, вопросы: что есть личность? и как идентифицировать человека? Это означает, что *человек есть тайна*, и тайна должна быть признана

частью естественного порядка вещей. Тайна более естественна, чем любые попытки вывести сознание как продукт «высокоорганизованной материи»: «Неестественно видеть в человеке естественное порождение природы» (Честертон [11]).

Это апофатическое знание (как незнание) раскрывает тот образ личности, который нашему сознанию представляется как *миф*. Миф повествует о нашей семантической (смысловой) реальности, и вся история человеческой культуры есть история развития мифов о личности. Только через миф познаётся реальность.

В. Налимов приводит много мифов о человеке с древнейших времён до Нового времени. Из мифов мы узнаём, что в человеческом Я исконно внедрено представление о высшем бытии – Боге. С этим связан тот миф о человеке, которого придерживались философы Фр. Шеллинг и Вл. Соловьёв. Согласно этому мифу, первоначальное человечество обладало единой верой в единого Бога и в этой слитности с единым Богом не нуждалось в познании и даже в осознании своего Я. То, что мы называем сознанием, появилось лишь вследствие утраты единого Бога. Пока человек не отпал от единого Бога, он не нуждался даже в религии и не имел храмов (это отражено в рассказе Ф. Достоевского «Сон смешного человека»). Утрата же единого Бога явилась утратой бытия, собственного Я, прежде укоренённого в Боге. Сознание появилось у человека как восприятие происшедшей с ним катастрофы – отпадения от бытия в Боге. Лишь утратив Бога, человек воззвал к Богу – появились религии. С тех пор человек тщетно ищет своё утраченное бытийное Я. Стремясь к своей индивидуальной обособленности, он утверждает в себе лишь ложное, небытийное Я, которое и называет своим сознанием.

Этот экскурс в область апофатического познания понадобился мне, чтобы продемонстрировать, что концепция сознания, развитая Пенроузом, – это чистой воды апофатика! В самом деле, суть человеческого сознания у него есть невычислительная способность человека проникать в мир эйдосов. *Знать* о них нам не дано: мы даже не знаем, как они могут существовать, потому что не знаем, что такое есть существование вне времени. Эйдосы непознаваемы, а значит, непознаваемо и определяемое таким образом сознание. Следует прямо признать, что это не есть *знание* о сознании, а это есть *незнание*, которое, однако, приближает нас к проникновению в тайну связи человека с эйдосами (в осознание того, что человек – тайна). В тайне заключена правда, и здесь сбывается то, о чём говорит Н. Кузанский: *самим непостижением постигается непостижимое*.

Вряд ли Пенроуз согласится признать свою концепцию апофатической: апофатика ведёт к мифу, а миф разрушает физикализм, которого Пенроуз продолжает держаться. Однако он не может объяснить на физическом пути общение человека с миром эйдосов. Поэтому ему приходится придумывать небылицы вроде той, что любой ребёнок уже имеет заложенное в его сознание понятие о целых числах. Каким образом? Это никак не объясняется. Пенроуз сам признаётся, что для него это есть тайна. Тем не менее его

цель – любой ценой сохранить физикалистский подход к человеку. Каким образом? Тут Пенроуз проявляет чудеса уловок и изворотливости.

Хотя «невычислительная активность мозга» не может быть описана современной физикой (в том числе и квантовой), Пенроуз хочет уверить себя и нас, что *грядущая* физика позволит объяснить её. Тут он – необыкновенный оптимист: верит в будущую Окончательную теорию всех физических взаимодействий, а для объяснения невычислительной активности он согласен удовлетвориться квантовой гравитацией, которая пока тоже не создана. Пенроуз и тут ничего не может доказать, но лишь подставляет себя под стрелы его критиков. Хоукинг справедливо указывает ему, что квантовая гравитация не в большей степени сможет прояснить существование ОР-переходов в микроканалах мозга, чем стандартная квантовая механика.

Пенроуз мог бы отказаться от физикализма и перейти на почву метафизики. Ведь *объективно*, получая отрицательные результаты относительно проявлений сознания в мозге, он работает именно на апофатическое незнание, следовательно, на миф. Только он ни за что в этом не признается – настолько сильна его вера в возможности научного *знания*. Он не допускает даже возможности апофатики, и всякий отказ от знания («отрицательные» аргументы) рассматривает лишь как капитулянтский отказ от «более серьёзных исследований нейрофизиологии и других биологических характеристик мозга». Это обрекает его на дальнейшие бесплодные состязания со своими критиками.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пенроуз Р. Новый ум короля. О компьютерах, мышлении и законах физики. – М.: ЛКИ/URSS, 2008.
2. Пенроуз Р. Тени разума. В поисках науки о сознании. – Москва-Ижевск: РХД, 2003.
3. Юлина Н.С. Роджер Пенроуз: Поиски локуса ментальности в квантовом микромире // Вопросы философии. – 2012. – № 6. – С. 116–129.
4. Большое, малое и человеческий разум. Спор о физическом мире и мире идей: сборник статей. – СПб.: Амфора, 2008.
5. Захаров В.Д. Как квантовая механика «объясняет» сознание (критика многомировой интерпретации и её «расширенного» варианта) // Метафизика. – 2012. – № 3 (5). – С. 3–23.
6. Соловьёв В.С. Теоретическая философия // Соч.: в 10 т. – Т. 9. – СПб., 1911.
7. Хайдеггер М. Что значит мыслить? // Разговор на просёлочной дороге: сборник статей. – М.: Высш. шк., 1991.
8. Бердяев Н.А. О назначении человека. – Париж: YMCA – PRESS, 1939.
9. Бердяев Н.А. О рабстве и свободе человека (опыт персоналистической философии). – Париж. YMCA-PRESS. 1939.
10. Сёрл Дж. Открывая сознание заново. – М.: Идея-Пресс, 2002.
11. Честертон Г. К. Вечный человек. – М.: Изд-во политической литературы, 1991.
12. Чалмерс Д. Сознательный ум в поисках фундаментальной теории. – М.: ЛКИ/URSS, 2013.
13. Захаров В.Д. Физика как философия природы. – М.: ЛКИ/URSS, 2010.
14. Кузанский Н. Об учёном незнании: соч.: в 2 т. – Т. 1. – М.: Мысль, 1979.
15. Налимов В.В. Спонтанность сознания. – М.: Прометей, 1989.

## **R. PENROSE'S IDEAS ABOUT THE CONSCIOUSNESS: AN APOPHATIC APPROACH?**

**V.D. Zakharov**

The essence of R. Penrose's controversy with his critics on the occasion of the consciousness nature is revealed. I show that the explanation of the consciousness is impossible on the physical way and Penrose's results are well interpreted only on the apophatic way ("learned ignorance" of N. Kuzansky).

**Key words:** consciousness, person, physicalism, calculability, ideas, platonism, verity, apophatic cognition, myth.

---

---

## НАШИ АВТОРЫ

---

---

**БЕШЕНКОВ Алексей Сергеевич** – аспирант, Российская академия образования.

**ВЕКШЕНОВ Сергей Александрович** – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией Российской академии образования.

**ВЛАДИМИРОВ Юрий Сергеевич** – доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической физики физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, профессор Института гравитации и космологии Российского университета дружбы народов, академик РАН.

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

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

**КОКАРЕВ Сергей Сергеевич** – кандидат физико-математических наук, директор Регионального научно-образовательного центра «Логос» (Ярославль), научный сотрудник НИИ Гиперкомплексных систем в геометрии и физике (Фрязино).

**МЕНСКИЙ Михаил Борисович** – доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Физического института им. Л.Н. Лебедева РАН.

**ПАНОВ Александр Дмитриевич** – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д. В. Скобельцына Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова.

**СЭР РОДЖЕР ПЕНРОУЗ** (англ. Roger **Penrose**; род. 8 августа 1931, Колчестер, Англия) – английский учёный, активно работающий в различных областях математики, общей теории относительности и квантовой теории; автор теории твисторов.

# МЕТАФИЗИКА

Российский университет  
дружбы народов

Научный журнал

2013, № 3 (9)

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 26.09.2013 г. Формат 60×84/8.  
Печать офсетная. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Усл. печ. л. 24,65. Тираж 500 экз. Заказ 1308.

---

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 проводимости<sup>1</sup> 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.

<sup>1</sup> 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