



# МЕТАФИЗИКА

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

**В этом номере:**

- Реляционно-статистический подход к природе пространства-времени
- Квантовая теория и бинарная геометрофизика
- Принципы реляционного подхода в физике
- Из наследия прошлого

**2014, №2 (12)**



# **МЕТАФИЗИКА**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

**2014, № 2 (12)**

Основан в 2011 г.

Выходит 4 раза в год

- **РЕЛЯЦИОННО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПРИРОДЕ ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ**
- **КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ И БИНАРНАЯ ГЕОМЕТРОФИЗИКА**
- **ПРИНЦИПЫ РЕЛЯЦИОННОГО ПОДХОДА В ФИЗИКЕ**
- **ИЗ НАСЛЕДИЯ ПРОШЛОГО**

# **METAFIZIKA**

**(Metaphysics)**

SCIENTIFIC JOURNAL

**No. 2 (12), 2014**

**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

**2014, № 2 (12)**

**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
<b>RELATIONAL-STATISTICAL APPROACH TO THE SPACE-TIME NATURE</b>	
<i>Vladimirov Yu.S.</i> Ideas of relational-statistical approach to nature of space-time .....	10
<i>Bolokhov S.V.</i> Some aspects of the relational approach to physics .....	29
<i>Zhilkin A.G.</i> Relational physics from the viewpoint of metaphysics .....	49
<i>Vekshenov S.A.</i> Mathematical paradigm of binary system of complex relationship ...	68
<b>QUANTUM THEORY AND BINARY GEOMETROPHYSICS</b>	
<i>Sevalnikov A.Yu.</i> Ontology of quantum mechanics, or from physics to philosophy ....	77
<i>Solovyov A.V.</i> Relational foundations of Finslerian spinors .....	100
<i>Poroikov S.Yu.</i> Binary nature of quantum mechanics .....	106
<b>THE PRINCIPLES OF RELATIONAL APPROACH IN PHYSICS</b>	
<i>Sadykov B.S.</i> Toward the Mach's principle of relativity and inertia .....	111
<i>Krugly A.L.</i> Base ideas of causal set hypothesis in quantum gravity .....	126
<i>Levich A.P.</i> Relational and substantial concepts in solving problems of studying time and space .....	146
<b>THOUGHTS FROM THE PAST</b>	
<i>Frenkel Ya.I.</i> Speech at the debate «Nature of electric current» .....	156
<i>Kulakov Yu.I.</i> The origins of the theory of physical structures .....	164
<i>Tamm I.E.</i> Review article Yu.I. Kulakov «Methodological introduction to the theory of physical structures» .....	169
<b>OUR AUTHORS</b> .....	173

© Metafizika. Authors. Editorial Board.  
Editor-in-Chief Yu.S. Vladimirov, 2014  
© Peoples' Friendship University of Russia, Publishing House, 2014

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ОТ РЕДАКЦИИ</b> .....	6
<b>РЕЛЯЦИОННО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПРИРОДЕ ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ</b>	
<i>Владимиров Ю.С.</i> Идеи реляционно-статистического подхода к природе пространства-времени .....	10
<i>Болохов С.В.</i> К некоторым аспектам реляционного подхода в физике .....	29
<i>Жилкин А.Г.</i> Реляционная физика с точки зрения метафизики .....	49
<i>Векшенов С.А.</i> Математическая парадигма бинарной системы комплексных отношений .....	68
<b>КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ И БИНАРНАЯ ГЕОМЕТРОФИЗИКА</b>	
<i>Севальников А.Ю.</i> Онтология квантовой механики, или От физики к философии .....	77
<i>Соловьев А.В.</i> Реляционные основания финслеровых спиноров .....	100
<i>Поройков С.Ю.</i> Бинарный характер квантовой механики .....	106
<b>ПРИНЦИПЫ РЕЛЯЦИОННОГО ПОДХОДА В ФИЗИКЕ</b>	
<i>Садьков Б.С.</i> К принципу Маха и относительности инерции .....	111
<i>Круглый А.Л.</i> Идеи, лежащие в основании гипотезы причинностного множества в квантовой гравитации .....	126
<i>Левич А.П.</i> Реляционная и субстанциональная концепции в решении проблем изучения времени и пространства .....	146
<b>ИЗ НАСЛЕДИЯ ПРОШЛОГО</b>	
<i>Френкель Я.И.</i> Выступление на диспуте «Природа электрического тока» .....	156
<i>Кулаков Ю.И.</i> Истоки теории физических структур .....	164
<i>Тамм И.Е.</i> Рецензия на работу Ю.И. Кулакова «Методологическое введение в теорию физических структур» .....	169
<b>НАШИ АВТОРЫ</b> .....	173

## ОТ РЕДАКЦИИ

Настоящий выпуск журнала «Метафизика» посвящен обсуждению состояния и проблем одного из трех направлений развития фундаментальной теоретической физики – реляционного подхода к природе пространства-времени и физических взаимодействий. Это направление в настоящий момент представляется чрезвычайно важным в связи с тем, что многолетние попытки решения ряда фундаментальных проблем физики, таких как совмещение принципов общей теории относительности и квантовой теории, построение единой теории физических взаимодействий и некоторых других не привели к ожидаемому успеху. Пришлось признать, что для решения этих проблем необходимо существенно изменить наши представления о природе классического пространства-времени.

Более того, все более настойчиво высказывается мысль, что настало время вывода классических пространственно-временных представлений из неких более элементарных закономерностей физики микромира вместо того, чтобы продолжать их подкладывать под все наши теоретические построения. Анализ показывает, что эту задачу невозможно решить ни в рамках ныне доминирующего теоретико-полевого подхода, ни в рамках геометрических представлений, поскольку для использования понятия поля уже необходимо готовое пространственно-временное многообразие. Его постулирование необходимо и для построения теорий в рамках геометрической парадигмы. Эту задачу возможно решить лишь в рамках реляционного подхода к природе пространства-времени и взаимодействий, идеи которого были заложены в трудах Г. Лейбница, Э. Маха и ряда других мыслителей.

Поясним суть реляционного подхода и его соотношение с двумя другими подходами (парадигмами): теоретико-полевым и геометрическим. Анализ показывает, что в основу современных физических теорий и программ так или иначе кладутся три основные физические категории: частицы (тела), пространство-время и поля переносчиков взаимодействий. Принято считать, что тела находятся не иначе как в пространстве-времени и взаимодействуют друг с другом через поля. Теории, основанные на названных трех категориях, естественно отнести к так называемой триалистической парадигме. Таковой является классическая механика, в основе которой лежит трехсимвольный второй закон Ньютона  $ma = F$ , где масса является характеристикой

тел, ускорение относится к категории пространства-времени, а сила определяется полями переносчиков взаимодействий.

В XX в. развитие физики вольно или невольно происходило по пути сокращения числа используемых категорий: вместо трех исходных выбирались так или иначе обобщенные две категории. В общей теории относительности, положившей начало геометрической парадигме, было предложено заменить категории плоского пространства-времени и гравитационного поля на одну обобщенную категорию искривленного пространства-времени. В 5-мерной теории Калуцы геометрический характер приобрело и электромагнитное поле, тогда как категория частиц (тел-источников) представляла собой вторую категорию в геометрической парадигме. Этот факт отражается двумя частями уравнений Эйнштейна: левая часть описывает кривизну пространства-времени, а правая – в виде тензора энергии-импульса – описывает свойства категории частиц-источников.

Теоретико-полевая парадигма, основу которой составляет квантовая теория поля, также была основана на объединении двух исходных категорий, но уже других – частиц и полей переносчиков взаимодействий – в новую обобщенную категорию поля амплитуды вероятности, которая определена на фоне категории пространства-времени – второй категории в этой парадигме.

Казалось бы, осталась незадействованной третья возможность введения новой обобщенной категории – выбора еще одной пары из трех исходных категорий. Однако она также была представлена в теоретической физике, но по ряду причин оказалась на обочине магистрального развития физики в XX в. Речь идет о реляционной парадигме, в которой категории частиц и пространства-времени объединены в новой обобщенной категории отношений. В свое время А. Эйнштейн говорил о Махе, что он является единственным, кто предлагает заменить пространство и время на совокупность отношений между телами.

Интересной особенностью реляционного подхода (парадигмы) является тот факт, что он строится на двух типах отношений: пространственно-временных и токовых, то есть, как и две охарактеризованные выше парадигмы (геометрическая и теоретико-полевая), опирается на две категории, но теперь обе обобщенные. Этот факт отображен в принципе Фоккера – ключевом выражении реляционного подхода, содержащем произведение электрических токов взаимодействующих частиц (токовое отношение) и дельта-функцию от квадрата интервала между взаимодействующими частицами (пространственно-временное отношение). В этой теории среди первичных понятий отсутствуют поля переносчиков взаимодействий. Взаимодействия описываются непосредственно через характеристики частиц.

Следует напомнить, что на протяжении веков продолжается дискуссия о выборе одной из двух концепций пространства и времени: реляционной или субстанциональной. Она отчетливо проявилась в известной дискуссии Лейбница с Кларком, представлявшим взгляды Ньютона. Речь шла о том,

имеет ли пространство и время самостоятельный характер или нет. Лейбниц спрашивал: останется ли пространство, если из него убрать все тела? Согласно воззрениям Ньютона, останется, а Лейбниц считал, что нет, оно потеряет всякий смысл. Эти две точки зрения соответствуют ньютоновскому субстанциональному подходу к природе пространства и времени и лейбницевскому реляционному подходу.

Аналогичная ситуация сложилась и в описании взаимодействий. В физике оказались представленными две концепции: близкодействия и дальнодействия. Концепция близкодействия, соответствующая ныне принятому теоретико-полевому подходу, а также геометрическому, присуща субстанциональному подходу к природе пространства-времени, а концепция дальнодействия соответствует реляционному подходу.

В XX в. случилось так, что первая составляющая реляционного подхода – пространственно-временные отношения – проявилась при создании специальной теории относительности, а затем оказалась в тени и в концептуальном плане практически не использовалась, тогда как вторая составляющая – концепция дальнодействия – довольно активно развивалась рядом авторов: А. Фоккером, Я.И. Френкелем, Р. Фейнманом, Ф. Хойлом, Дж. Нарликарсом и другими, причем без обращения к первой. Развиваемые таким образом теории известны под названием «теории прямого межчастичного взаимодействия» (action-at-a-distance). Они имели эклектический характер, поскольку реляционный подход к описанию взаимодействий (дальнодействие) строился на фоне готового пространства-времени (субстанционального понимания пространства-времени). Это, на наш взгляд, послужило существенной причиной ряда трудностей как в обосновании реляционного подхода, так и в его развитии.

Причиной данного обстоятельства послужило отсутствие достаточно обоснованного математического аппарата для его построения, который появился лишь в конце 60-х гг. XX в. в трудах Ю.И. Кулакова и его учеников: Г.Г. Михайличенко и В.Х. Льва в виде так называемой теории физических структур. Она фактически представляла собой начала универсальной теории отношений и позволила приступить к новому этапу исследований в рамках реляционной картины мира.

В настоящем выпуске журнала помещены статьи ряда авторов, которые развивают обе составляющие реляционного подхода к природе пространства и времени и взаимодействий. Представленные в номере статьи разбиты на четыре части. В первой части изложены основные идеи реляционно-статистического подхода, иначе называемого бинарной геометрофизикой, поскольку опираются на теорию бинарных систем комплексных отношений – своеобразную бинарную геометрию.

Во второй части помещены статьи, в которых обсуждаются принципиально важные применения теории: для новой интерпретации квантовой механики и для построения нового канала обобщения 2-компонентных спиноров – так называемой теории финслеровых спиноров.

В третьей части собраны статьи, в которых излагаются отдельные идеи реляционного подхода: принцип Маха, теория графов, классические аспекты проявления реляционно-статистического подхода, связь с идеями субстанционального подхода.

Наконец, в четвертой части «Из наследия прошлого» помещены, во-первых, фрагменты из выступления Я.И. Френкеля в дискуссии рубежа 1920–1930-х гг. по поводу выбора одной из двух концепций: дальнего действия или ближнего действия. Во-вторых, в этой части содержится фрагмент работы Ю.И. Кулакова, в котором изложены мотивы создания им теории физических структур. Здесь же приведена рецензия Нобелевского лауреата академика И.Е. Тамма на первую работу Ю.И. Кулакова (его ученика) по теории физических структур.

---

---

# РЕЛЯЦИОННО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПРИРОДЕ ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ

---

---

## ИДЕИ РЕЛЯЦИОННО-СТАТИСТИЧЕСКОГО ПОДХОДА К ПРИРОДЕ ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ

Ю.С. Владимиров

*Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова*

Последовательно изложена цепочка идей, позволяющая приступить к конкретной перестройке оснований физики в рамках реляционно-статистического подхода к природе пространства-времени и физических взаимодействий. Эти идеи (звенья единой цепочки) представлены в виде четырех групп: 1) реляционная переформулировка классических пространственно-временных представлений, 2) реляционное описание физики микромира, 3) описание физических взаимодействий в рамках бинарных систем комплексных отношений, 4) реляционно-статистическая природа мироздания.

**Ключевые слова:** реляционная парадигма, отношения, пространство-время, физические взаимодействия, теория систем отношений, бинарные системы комплексных отношений, квантовая теория, теория гравитации.

### Введение

В последнее время все более настойчиво высказывается мысль о необходимости развития реляционно-статистического подхода к природе пространства-времени и физических взаимодействий. Именно этому направлению посвящены многолетние исследования в нашей группе. Они возникли на базе настойчивых попыток построения квантовой теории гравитации, точнее, – попыток совмещения принципов общей теории относительности и квантовой теории [1]. В результате сложилась твердая убежденность в том, что решение этой задачи возможно лишь на базе решения еще более глубокой проблемы – вывода классических пространственно-временных представлений из неких более элементарных физических факторов и закономерностей, вместо того чтобы продолжать подкладывать готовое классическое

пространство-время под все наши физические построения и теории. Есть все основания утверждать, что решение этой проблемы составляет главную задачу фундаментальной теоретической физики первой половины XXI века.

В наших работах постепенно вырисовался путь решения этой проблемы на базе реляционно-статистического подхода к природе физического мироздания. В связи с этим напомним, что в настоящее время все основные физические теории и программы в фундаментальной теоретической физике можно разделить на три группы (метафизические парадигмы) [2]: теоретико-полевую, геометрическую и реляционную. Доминирующая ныне теоретико-полевая парадигма, в рамках которой формулируется квантовая теория, опирается на две ключевые категории: априорно заданное пространство-время и на определенное на его фоне поле амплитуды вероятности различных полей, как бозонных, так и фермионных. Геометрическая парадигма, в центре которой находится общая теория относительности, также опирается на две обобщенные физические категории: искривленное (а возможно, и еще более общее) пространство-время и на материальные источники, вложенные в это пространственно-временное многообразие. Наконец, реляционная парадигма опирается на два типа отношений между событиями и материальными объектами: пространственно-временные и токовые. В этом подходе готовое пространство-время заменено системой отношений между событиями. Исследования в этом направлении не так широко известны, как теории из первых двух парадигм и поэтому нуждаются в более подробных пояснениях.

Подчеркнем, что развиваемая в наших работах программа в рамках реляционного подхода всецело опирается на совокупность идей, ранее уже высказывавшихся рядом мыслителей (часто в рамках иных парадигм), причем некоторые из них впервые были высказаны очень давно и неоднократно повторялись в последующем. Наша заслуга состоит главным образом в том, что в рамках реляционного подхода удалось их выстроить в единую самосогласованную цепочку, добавив лишь несколько новых соображений, открывшихся на рубеже XX и XXI вв.

В данной статье изложена последовательность главных идей, позволяющих приступить к конкретному воплощению программы перестройки физики на базе реляционно-статистического подхода к природе пространства-времени и физических взаимодействий. Они представлены в виде своеобразной цепочки звеньев, разбитых на четыре группы.

## **I. Реляционная переформулировка классической физики**

Прежде чем приступить к выводу классических пространственно-временных представлений, необходимо их переформулировать на новой, реляционной основе и затем должным образом их проанализировать. И только после этого можно будет решать задачу построения общепринятой геометрии исходя из неких более элементарных понятий и закономерностей физики микромира, также имеющих реляционный характер.

**1. Идея выбора реляционного подхода к природе пространственно-временных отношений.**

Выбор реляционного подхода к природе классического пространства-времени определяется тем, что ни в теоретико-полевой, ни в геометрической парадигме невозможно решить сформулированную выше задачу. В теоретико-полевой парадигме ключевым понятием является физическое поле, однако для его определения необходимо наличие пространственно-временного континуума. В геометрической парадигме также невозможно приступить к решению поставленной задачи, поскольку в классических геометриях речь идет лишь об изменениях свойств уже имеющегося пространственно-временного многообразия: метрических, топологических или коэффициентов связности.

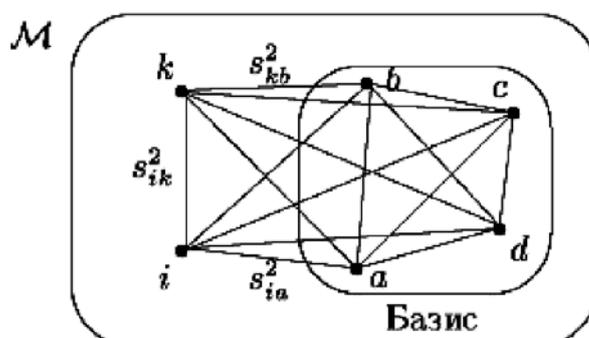
После всего изложенного выше нет нужды подробно напоминать, что идеи реляционного подхода на качественном уровне выдвигались Г. Лейбницем, Д. Юмом, Э. Махом и рядом других мыслителей в разные века (см. в [3]).

**2. Идея использования теории систем отношений как математического аппарата, адекватно описывающего реляционную природу пространства-времени.**

Для построения физических теорий всегда необходимо подобрать под ведущие физические идеи соответствующий им математический аппарат. Так было при построении общей теории относительности и квантовой механики, – это в полной мере относится и к построению реляционной теории классического пространства-времени. Здесь подсказку дают идеи Г. Лейбница и Э. Маха о замене пространственно-временного континуума совокупностью *отношений* между материальными объектами и событиями. *Отношение в виде некой числовой характеристики – вот понятие, являющееся ключевым в реляционной теории.*

Однако содержательная теория возникает лишь после того, как будут сформулированы закономерности, которым удовлетворяют отношения между элементами теории. Это можно осуществить на основе математического аппарата теории физических структур, предложенного во второй половине XX в. в работах Ю.И. Кулакова с сотрудниками [4–6] и одобренного И.Е. Таммом (см. в [7]). Этот аппарат фактически представляет собой основы универсальной алгебраической теории систем отношений. В ней ключевым понятием является *закон*, означающий наличие некоего алгебраического соотношения, т. е. некой равной нулю функции, аргументами которой являются парные числовые отношения между  $r$  элементами некоторого множества  $M$  (рис. 1). Постулируется, что имеет место *условие фундаментальной симметрии*, означающее, что закон системы отношений выполняется для любой выборки из  $r$  элементов рассматриваемого множества. Число элементов  $r$ , содержащихся в законе, называется *рангом*. Наличие закона фундаментальной симметрии и ряда некоторых вспомогательных соображений

позволяет записать систему функционально-дифференциальных уравнений и найти совокупность возможных законов для каждого конкретного ранга  $r$ .



**Рис. 1.** Графическая иллюстрация теории унарных (на одном множестве элементов  $M$ ) систем отношений. Внутренним овалом выделена система эталонных элементов, отношения к которым определяют координаты всех неэталонных элементов

В работах Ю.И. Кулакова и его группы было показано, что известные классические геометрии с симметриями можно понимать как унарные системы вещественных отношений определенных рангов. При этом понятие ранга заменяет общепринятую в геометрии размерность  $n$ . Имеет место соотношение  $n = r - 2$ . В частности, 3-мерные геометрии Евклида, Лобачевского или Римана (пространств постоянной положительной кривизны) можно трактовать как проявления унарных систем вещественных отношений ранга  $r = 5$ . В них законы записываются в виде равенства нулю определителей типа Кэли–Менгера или Грама, построенных из парных отношений между  $r$  элементами.

### **3. Идея использования концепции дальнего действия для построения классической теории физических взаимодействий в реляционном подходе.**

Если избран реляционный подход к природе пространства-времени, то далее для описания физических взаимодействий *необходимо использовать именно концепцию дальнего действия*, так как теперь невозможно ввести переносчики взаимодействия, распространяющиеся по пространственно-временному фону, которого просто нет. Необходимо строить теорию без использования понятия полевых переносчиков взаимодействий в качестве исходной физической категории. Здесь подсказку дает теория прямого межчастичного электромагнитного взаимодействия Фоккера–Фейнмана, опирающаяся на принцип Фоккера, в котором взаимодействие описывается лишь через характеристики взаимодействующих частиц [8].

Поскольку, как уже было отмечено, во второй половине XX в. уже была создана универсальная теория систем отношений, необходимо было только разглядеть в принципе Фоккера наличие двух систем отношений: пространственно-временных и токовых. Пространственно-временные отношения входят в принцип Фоккера в виде дельта-функции от квадрата интервала

между взаимодействующими заряженными частицами, а токовые отношения представлены скалярным произведением электрических токов двух частиц. Закон первого отношения характеризуется равным нулю определителем Кэли–Менгера, а закон второго – равным нулю определителем Грама. Два вида отношений означают дуалистический характер теории прямого межчастичного взаимодействия. В этом смысле данная теория также дуалистична, как и теории геометрической и теоретико-полевой парадигм.

**4. Идея обоснования запаздывающего характера взаимодействий посредством учета принципа Маха.**

Поскольку в теории прямого межчастичного взаимодействия опережающие и запаздывающие взаимодействия выступают на равной ноге, то для обеспечения принципа причинности необходимо использовать принцип Маха, понимаемый как зависимость локальных свойств физических систем от свойств и глобального распределения материи в окружающем мире (Вселенной). Этот результат уже был получен в 1945 г. в работе Р. Фейнмана и Дж. Уилера [9]. Было показано, что при рассмотрении электромагнитного взаимодействия двух заряженных частиц необходимо учитывать вклады от влияния на них со стороны всех других частиц окружающего мира. В итоге оказывается, что опережающие воздействия уничтожаются, а запаздывающие удваиваются.

**5. Идея о вторичном характере гравитационных взаимодействий.**

Существенным новым результатом реляционного подхода к физическим взаимодействиям является тот факт, что гравитационное взаимодействие следует считать не первичным, а следующим из более элементарного электромагнитного взаимодействия. Этот вывод основывается на естественном предположении, что миноры из определителей в законах унарных систем отношений имеют некий геометрический или физический смысл. Именно так обстоит дело в случае пространственно-временных отношений, когда из миноров детерминантов в законе строятся объемы, площади, углы и определяются координаты. Предлагается рассмотреть физический смысл миноров из определителя Грама, характеризующего закон токовых отношений. Запись простейшего диагонального минора второго ранга в тензорном виде приводит к выражению, входящему в обобщение принципа Фоккера для линеаризованной теории гравитации [10], ранее полученного в работах Я.И. Грановского, А.А. Пантюшина [11] и ряда других авторов. Как показано в наших работах, нелинейные слагаемые, соответствующие закономерностям общей теории относительности, описываются диагональными минорами более высокого ранга. Они соответствуют учету кроме 2-частичных еще 3-частичных и 4-частичных взаимодействий. Более подробно эти результаты и ряд следствий из них изложены в наших работах (см. в [12]).

Подчеркнем тот факт, что утверждение о вторичном характере гравитационных взаимодействий не является новым. Ранее, исходя из иных соображений, эту идею выдвигали А.Д. Сахаров [13], С.Л. Адлер и ряд других исследователей.

Исходя из проведенных исследований, можно утверждать, что в рамках классической физики реляционный подход оказывается эквивалентным общепринятой теории поля (электромагнитного и гравитационного), что свидетельствует о его правомерности. Однако это не решает поставленной проблемы вывода классических пространственно-временных отношений из неких более элементарных физических факторов и закономерностей, а лишь имеет подготовительный характер. Для ее решения необходимо перейти от масштабов классической теории к физике микромира.

## II. Реляционное описание физики микромира

Оказывается, реляционный подход к общепринятой геометрии и классической физики можно обобщить и для описания закономерностей физики микромира, в первую очередь для построения новой интерпретации квантовой механики.

**6. *Идея о вторичном характере классических геометрий, которые можно получить посредством квадрирования нового типа геометрий – бинарных.***

Продвинуться в деле реляционного описания закономерностей микромира позволяет открытый Ю.И. Кулаковым [4–6] *класс бинарных систем отношений*, в которых постулируется существование не одного, а двух множеств элементов и наличие отношений между элементами противоположных множеств (см. рис. 2). Теория бинарных систем отношений строится по образу и подобию теории унарных систем отношений, только теперь ранг теории определяется двумя целыми числами ( $r, s$ ), характеризующими количества элементов каждого из двух множеств, входящих в закон бинарной системы отношений. Поскольку из унарных систем отношений следуют общепринятые геометрии, а бинарные системы отношений строятся по тем же правилам, то естественно назвать бинарные системы отношений *новым типом геометрий – бинарных*.

В рамках теории бинарных систем отношений получено несколько принципиально важных результатов. Во-первых, эта теория оказалась значительно проще теории унарных систем вещественных отношений. Для бинарной теории вещественных отношений оказалось возможным найти все возможные законы отношений и указать ранги, для которых отсутствуют решения.

Во-вторых, было показано, что не существует содержательных теорий систем отношений на трех и более множествах (теорема Михайличенко). Таким образом, имеются содержательные теории систем отношений только на одном или на двух множествах элементов.

В-третьих, – что наиболее важно для наших целей, – было показано, что *от теории бинарных систем отношений можно перейти к теории унарных систем отношений путем своеобразной склейки элементов из двух противоположных множеств* (см. рис. 3). При этом отношения между склеенны-

ми элементами одного нового множества строятся из отношений бинарной геометрии. Этот результат позволяет сделать чрезвычайно важный вывод: *общепринятые геометрии на одном множестве элементов (т. е. унарные геометрии) можно считать вторичными образованиями, сконструированными из более элементарных бинарных геометрий.* По образному выражению Кулакова, используемые в общепринятой геометрии точки являются «серыми», образованными склейкой «белых» и «черных точек» бинарной геометрии. Из этого обстоятельства вытекает ряд далеко идущих следствий, чрезвычайно важных для реализации поставленной задачи.

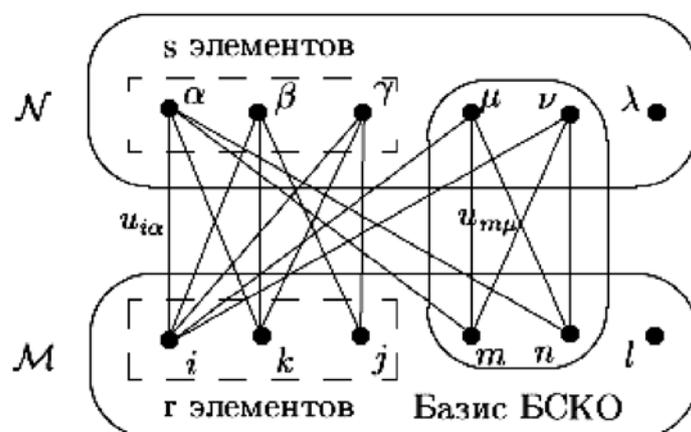


Рис. 2. Графическая иллюстрация бинарных систем отношений, определенных на двух множествах элементов М и N, между которыми определены числовые отношения. Пунктирными линиями выделены элементы, входящие в закон бинарной системы отношений

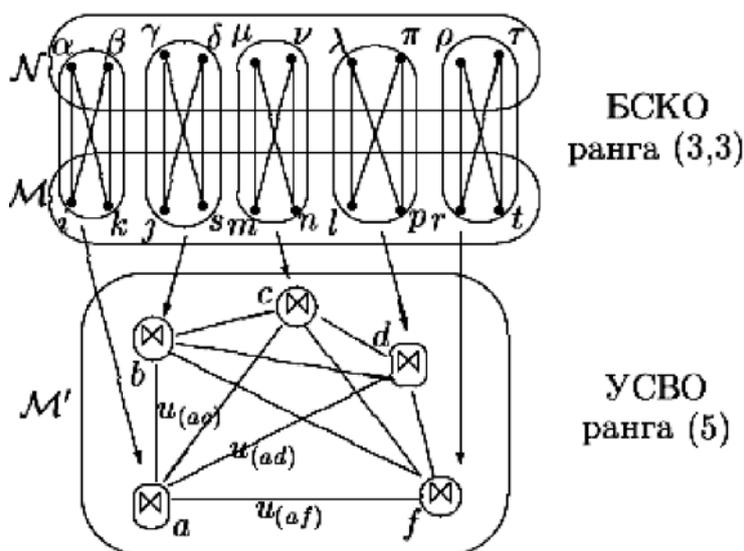


Рис. 3. Переход от бинарной системы отношений к бинарной системе отношений путем своеобразной склейки элементов двух множеств бинарной системы в единые элементы унарной системы отношений

### **7. *Идея перехода от бинарных систем вещественных отношений к теории бинарных систем комплексных отношений.***

Открытие вторичного характера общепринятых унарных геометрий уже подсказывало идею о том, что бинарные геометрии могут соответствовать физике микромира. Однако для реализации этого нужно было учесть, что закономерности микромира описываются *комплексными числами*. На это обращали внимание многие авторы и ставили вопрос: почему микромир описывается именно комплексными числами?

В наших работах [14; 15] было произведено обобщение теории бинарных систем вещественных отношений (БСВО), развитой в группе Ю.И. Кулакова на случай бинарных систем комплексных отношений (БСКО). Этот переход осуществляется без особых затруднений. Законы, найденные в рамках систем вещественных отношений, справедливы и для случая комплексных отношений, поскольку в множестве комплексных чисел имеют место законы коммутативности и ассоциативности.

Исходя из ряда соображений, оказалось естественным ограничиться (по крайней мере на первых порах) рассмотрением бинарных систем комплексных отношений симметричных рангов  $(r,r)$ . При анализе возможных физических приложений таких теорий довольно быстро был получен, на первый взгляд, неожиданный, но чрезвычайно важный результат: оказалось, что *элементы бинарных систем комплексных отношений (БСКО) минимального невырожденного ранга (3,3) описываются 2-компонентными спинорами*, и в данной теории имеет место группа преобразований  $SL(2,C)$ , типичная для квантовой физики [14].

Более того, процедура перехода от этой БСКО ранга (3,3) к унарной системе вещественных отношений путем соответствующей склейки элементов из двух разных множеств приводит к 4-мерной геометрии с сигнатурой  $(+ - - -)$ . Этот факт можно трактовать как объяснение наблюдаемой 4-мерности классического пространства-времени и его сигнатуры фундаментальным характером БСКО ранга (3,3). Таким образом, *данная реляционная теория приводит к решению давно поставленных вопросов о причине наблюдаемой размерности пространства-времени и о причинах спинорного характера элементарных частиц.*

Подчеркнем, что идея о том, что в основание классических пространственно-временных представлений следует класть комплексные числа, а точнее спиноры, высказывалась многими авторами: Р. Пенроузом [16], Д. Финкельштейном, Ю.И. Маниным [17] и другими. Отличие от излагаемого здесь подхода состоит лишь в том, что в работах названных авторов предлагалось начинать со спиноров и группы преобразований  $SL(2,C)$ , тогда как в рамках теории бинарных систем комплексных отношений понятие спиноров возникает автоматически из более глубоких соображений – в случае выбора минимального невырожденного БСКО ранга (3,3).

**8. Идея реинтерпретации квантовой механики на основе бинарной геометрии (бинарных систем комплексных отношений).**

На этом этапе рассуждений встает естественный вопрос: как физически интерпретировать бинарные системы отношений (бинарные геометрии)? Чему соответствуют два множества первичных элементов? Ответ на этот вопрос подсказывает S-матричная формулировка квантовой механики а также аксиоматика квантовой механики, предложенная Дираком, где постулируются два множества векторов «бра» и «кет», а амплитуда перехода из одного состояния в другое строится как отношение между векторами двух видов состояний. Это дает основание физически интерпретировать *два множества элементов как описывающих начальные и конечные состояния некоторых элементарных систем, а саму бинарную геометрию как адекватно описывающую закономерности квантовой теории* [2].

При данной интерпретации элементов двух множеств становится естественным выбор именно симметричных рангов бинарных систем отношений, – это соответствует симметрии прошедшего и будущего, явно отраженного в основаниях общепринятой классической и квантовой физики.

На этом этапе рассуждений уместно вспомнить идею, высказанную де Бройлем [18] и некоторыми другими авторами о том, что квантовая механика должна интерпретироваться в рамках геометрии, отличной от используемой для описания классического пространства-времени. В данном реляционном подходе именно это и предлагается: *квантовая теория должна строиться на базе бинарной геометрии*. Отмеченное созвучно тому факту, что многие понятия квантовой механики (теории) представляют собой квадратный корень из классических понятий: амплитуда вероятности представляет собой корень квадратный из классической вероятности, спиноры, описывающие элементарные частицы, представляют собой корень квадратный из классических векторов, тетрады, позволяющие описать спинорные частицы в искривленном пространстве-времени, являются своеобразными корнями из компонент классического метрического тензора. Отсюда следует, что бинарную геометрию можно трактовать в аналогичном духе – как корень квадратный из общепринятых унарных геометрий. А тот факт, что в современной квантовой теории поля элементарные частицы описываются спинорными волновыми функциями, следует рассматривать как неявное использование бинарной геометрии.

Теперь становится естественной и задача вывода классических пространственно-временных представлений из более элементарных понятий физики микромира. Более того, теперь путь решения этой задачи приобретает конструктивный характер.

### III. Описание физических взаимодействий в рамках бинарных систем комплексных отношений

Далее необходимо в рамках реляционного подхода рассмотреть блок идей, позволяющих описывать закономерности известных видов физических взаимодействий в физике микромира.

#### **9. Идея перестройки теории физических взаимодействий с фона унарной геометрии в рамки бинарных геометрий.**

Если вскрылось, что общепринятые геометрии, и в частности геометрию 4-мерного пространства-времени Минковского, можно рассматривать как вторичные конструкции, выводимые из более элементарных бинарных геометрий, то естественно поставить вопрос: почему мы должны по-прежнему опираться на общепринятую теорию физических взаимодействий на фоне классического (унарного) пространства-времени? Теперь естественно поставить задачу построения более содержательной теории физических взаимодействий на основе именно бинарных систем комплексных отношений (бинарных геометрий).

Конкретно данная постановка задачи ранее не предлагалась из-за отсутствия знания бинарных геометрий, однако в работах ряда авторов настойчиво высказывалась мысль об иных закономерностях в физике микромира, так что данная идея в этой связи представляется довольно естественной.

#### **10. Идея перехода к бинарному многомерию для описания физических взаимодействий.**

При построении теории в рамках реляционного подхода не допускается привлечение каких-либо понятий извне, в отличие от общепринятой теории поля, где понятия поля и зарядов вносятся извне в геометрию. В реляционной теории все должно получаться из отношений между элементами. В этом просматривается тесная аналогия с принципом построения многомерных геометрических моделей физических взаимодействий типа теории Калуцы, где в качестве потенциалов электромагнитного и других полей выступают дополнительные (смешанные) компоненты многомерного метрического тензора, а в качестве зарядов (электрических и иных) – дополнительные компоненты импульсов материальных частиц.

Исходя из данной аналогии, в реляционной теории предлагается описывать связанные состояния взаимодействующих частиц на основе теории бинарных систем комплексных отношений более высокого ранга, нежели  $(3,3)$ , ответственного за 4-мерие. В частности, связанные состояния на основе электромагнитных взаимодействий – атомы – предлагается описывать в рамках простейшего бинарного многомерия, то есть БСКО ранга  $(4,4)$  [19], аналогично тому, как в теории Калуцы электромагнитное взаимодействие описывается в рамках унарной геометрии не четырех, а пяти измерений.

При переходе к БСКО ранга  $(4,4)$  возникает естественное обобщение теории 2-компонентных спиноров, – теперь элементы описываются уже 3-компонентными спинорами, названными финслеровыми [20]. В этой тео-

рии естественным образом (в самом общем случае) возникает группа преобразований  $SL(3, \mathbb{C})$ , относительно которой остается инвариантной кубичная антисимметричная форма из компонент финслеровых спиноров. (Название «финслеровы спиноры» обусловлено тем, что более общие формы задания метрики, нежели квадратичные, рассматриваются в финслеровых геометриях.) В развиваемой на этой основе теории по аналогии с 5-мерием Калуцы выделяется подгруппа  $SL(2, \mathbb{C})$  4-мерных преобразований двух (внешних) компонент спинора, а оставшаяся, третья компонента спинора интерпретируется описывающей электрический заряд элементарной частицы.

Например, простейший атом (связанное состояние из пары электромагнитно взаимодействующих частиц) в этой теории характеризуется двумя парами специальным образом сопряженных элементов как в начальном, так и в конечном состояниях. Их взаимодействие описывается так называемым *базовым  $4 \times 4$ -отношением*, симметричным образом содержащим две пары элементов в начальном состоянии и две пары элементов в конечном состоянии. Это выражение, единственное в своем роде, инвариантно относительно группы преобразований  $SL(3, \mathbb{C})$ . Для физической интерпретации базового  $4 \times 4$ -отношения необходимо произвести процедуру 2+1-расщепления компонент спиноров по образу и подобию 4+1-расщепления в 5-мерной теории Калуцы. Показано, что на основе идей реляционно-статистического подхода и БСКО ранга (4,4) можно построить теорию атома, характеризуемого известными квантовыми числами, не опираясь на представления о классическом пространстве-времени и записанные в нем уравнения Шредингера или Клейна-Фока.

**11. Идея описания электрослабых и сильных взаимодействий в рамках БСКО ранга (6,6).**

В реляционной теории естественным образом строятся аналоги стандартных теорий электрослабых и сильных взаимодействий. Это осуществляется аналогично тому, как это делалось в наших работах по построению многомерных геометрических моделей этих взаимодействий в унарной геометрии типа теории Калуцы. Напомним, в наших работах (см. в [21]) было показано, что в геометрической парадигме можно построить объединенную теорию известных видов физических взаимодействий в рамках 8-мерной римановой геометрии. В реляционной теории эту задачу можно решить на основе *использования БСКО еще более высокого ранга (6,6)* [22; 23].

В теории БСКО ранга (6,6) элементы описываются 5-компонентными финслеровыми спинорами, а сами элементарные частицы должны характеризоваться уже тройками специальным образом сопряженных элементов как в начальном, так и в конечном состояниях. В этой теории аналогично случаю теории БСКО ранга (4,4) строится  $6 \times 6$ -базовое отношение, описывающее процесс взаимодействия двух частиц (рис. 4).

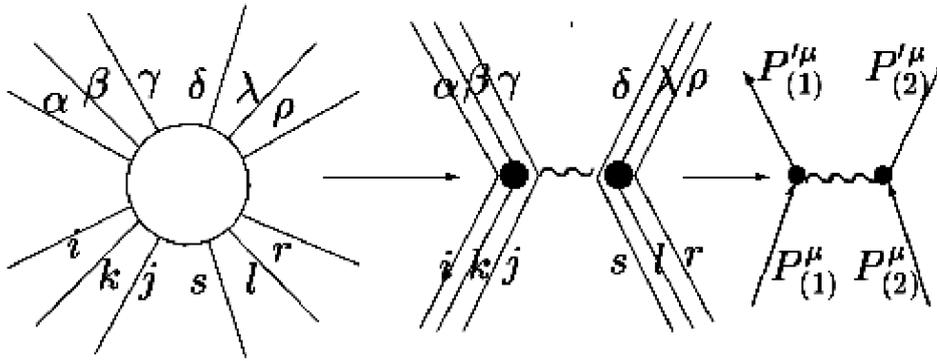


Рис. 4. Графическая иллюстрация процесса сильных взаимодействий двух частиц, описываемых тройками элементов в начальном и конечном состояниях БСКО ранга (6,6)

Этот процесс описывается на основе базового  $6 \times 6$ -отношения.

В этой теории все частицы описываются прямоугольными  $3 \times 5$ -матрицами из элементов финслеровых спиноров, которые после процедуры 2+3-расщепления допускают наглядную физическую интерпретацию: пары первых компонент описывают известные спинорные свойства элементарных частиц, тогда как тройки оставшихся компонент составляют квадратную  $3 \times 3$ -матрицу в которой определена группа внутренних симметрий  $SU(3)$ , соответствующая группе калибровочных преобразований в теории сильных взаимодействий (в хромодинамике). Электрослабые взаимодействия вводятся путем своеобразного усечения прообраза теории сильных взаимодействий.

#### IV. Реляционно-статистическая природа мироздания

Пока все изложенные идеи касались лишь реляционного описания геометрии и физических взаимодействий. К ним нужно добавить идеи статистического характера, т. е. необходимо привлечь влияние на локальные явления со стороны всего окружающего мира. Отчасти этот вопрос уже затрагивался при обсуждении принципа Маха в рамках унарной геометрии.

##### 12. Идея описания электромагнитного излучения через мировые бинарные матрицы.

Для дальнейшего развития данного подхода необходимо описать процессы излучения, главным образом – электромагнитного. Чтобы это сделать, нужно только вспомнить, с чего начиналось развитие квантовой механики – с описания процессов излучения и поглощения квантов электромагнитного поля – фотонов. В общепринятой теории поля полагается, что испущенный фотон волновым образом распространяется по классическому пространству-времени. Но в реляционном подходе готового пространства-времени нет. Тогда как понимать распространение фотона? Очевидно, что это нужно делать на основе концепции дальнего действия, т. е. трактовать процесс излуче-

ния и поглощения через отношения излучателя и возможных поглотителей. В данном случае это означает *задание мировой фотонной матрицы отношений между излучателем и всеми возможными поглотителями*, назначением которой является определение амплитуд вероятности поглощения тем или иным поглотителем.

Данная идея является вполне естественной для реляционного подхода. Она находится в полном соответствии с идеями Э. Маха (о замене пространства-времени матрицей отношений между событиями) и Р. Фейнмана и Дж. Уилера (об абсолютном поглотителе в теории прямого межчастичного электромагнитного взаимодействия).

### **13. Идея о статистической природе классических пространственно-временных отношений.**

На этом этапе развития данной концепции уже можно встроить в цепочку развиваемых реляционных идей чрезвычайно важное звено – *идею о макроскопическом (статистическом) характере классических пространственно-временных отношений*. Как уже отмечалось, эта идея высказывалась рядом авторов: П.К. Рашевским [24], Е. Циммерманом [25], Д. ван Данцигом и другими физиками и математиками. Не указывалось только, каковы те факторы, которые суммируясь должны образовывать классические понятия, и каковы носители этих факторов.

Следует иметь в виду, что в реальном мире имеется громадное море испущенных и еще не поглощенных фотонов, а следовательно, имеется и колоссальное число фотонных матриц отношений. Естественно предположить, что классические пространственно-временные понятия возникают именно из наложения вкладов от моря фотонных матриц.

Вот тут-то опять нужно вернуться к теории бинарных систем комплексных отношений, где два множества элементов фотонной матрицы отношений соответствуют состояниям системы излучателя и приемников до излучения и после излучения. При этом, обладая уже изложенной информацией, естественно положить, что отношения, описываемые фотонными матрицами (в самом упрощенном варианте), удовлетворяют закону БСКО ранга (3,3). Это гарантирует тот факт, что при переходе к унарной геометрии будут возникать закономерности 4-мерного многообразия с сигнатурой (+ - - -).

Таким образом, приходим к выводу, что *классические пространственно-временные понятия и их свойства возникают в результате наложения огромного числа комплексных вкладов в отношения между излучателями и возможными поглотителями* (материальными объектами), т. е. геометрические понятия обусловлены физическими процессами электромагнитного излучения и поглощения в окружающем мире. Другими словами, если бы окружающий мир (Вселенная) не «шумел», то исчезли бы все геометрические понятия, – мир бы «схлопнулся».

#### ***14. Идея о происхождении длин из фазовых фотонных вкладов.***

На этом этапе рассуждений следует уточнить свойства фотонных матриц отношений и вообще свойств БСКО ранга (3,3) (и других рангов). Дело в том, что закон невырожденных бинарных систем отношений допускает так называемые конформные преобразования, состоящие в том, что параметры всех элементов оказываются определенными с точностью до некоего произвольного (комплексного) числа. Наличие дополнительного одного параметра у элементов на языке теории бинарных систем отношений означает наличие второй БСКО минимально возможного ранга (2,2), выступающей в качестве подсистемы исходной БСКО ранга (3,3) [23; 26]. Здесь возникает ситуация, аналогичная теории групп, где группы могут иметь подгруппы.

Таким образом, оказывается, что каждая фотонная матрица несет в себе две БСКО двух минимальных рангов (2,2) и (3,3). Анализ показывает, что для сохранения неких инвариантных понятий необходимо положить, что параметры элементов БСКО ранга (2,2) должны быть по модулю равными единице, т. е. характеризоваться лишь фазовыми значениями в экспонентах. Эти *фазовые вклады несут главную ответственность за появление классических понятий (длин, интервалов)*. Можно сказать, что роли несущей БСКО ранга (3,3) и ее подсистемы в виде БСКО ранга (2,2) разделяются: БСКО ранга (3,3) ответственна за угловые координаты и размерность, тогда как БСКО ранга (2,2) ответственна за понятие длины (метрику).

Данное утверждение в полной мере соответствует предвидению Дж. Уилера, задававшего в своей статье «Центральная роль нейтрино в физике элементарных частиц» [27] вопрос: «Могут ли идеи римановой геометрии и геометродинамики быть переформулированы в таком виде, чтобы концепция относительной «фазы» двух удаленных точек приобрела простой смысл?» Недостаток в рассуждениях Уилера состоял в том, что он спинорные свойства связывал именно с нейтрино и мыслил переход к векторным величинам из слияния нейтрино, тогда как в реляционном подходе спинорные свойства несут фотонные матрицы, а векторные величины возникают при переходе от бинарной геометрии к унарной путем слияния элементов двух противоположных множеств.

#### ***15. Идея перестройки теории атомов в рамках бинарного многомерия ранга (4,4).***

При создании квантовой механики первым шагом было обнаружение квантованного характера электромагнитного излучения, а вторым шагом послужило создание теории атома. Напомним, это делалось с помощью открытия уравнения Шредингера на фоне готового классического пространства-времени. В рамках реляционно-статистической теории эту задачу необходимо решать без обращения к понятиям готового пространства-времени. Как уже отмечалось, это достигается с помощью перехода от БСКО ранга (3,3) к БСКО более высокого ранга (4,4), т. е. путем перехода к простейшему бинарному многомерию.

Для описания электромагнитного взаимодействия двух частиц, в частности образующих атом, необходимо опираться на охарактеризованное выше базовое  $4 \times 4$ -отношение. После проведения упомянутого выше  $2+1$ -расщепления 3-компонентных спиноров из базового  $4 \times 4$ -отношения выделяется совокупность слагаемых, соответствующая ток-токовому отношению (скалярное произведение токов двух взаимодействующих частиц). Такие выражения создаются множеством фотонных матриц, дающих вклады в отношения между данной парой заряженных частиц. Очевидно, что для двух противоположно заряженных частиц, образующих атом, должны быть некие условия стационарности, причем они имеют место как для отношений, создаваемых БСКО ранга (3,3), так и БСКО ранга (2,2). Поскольку фотонных матриц много, то эти условия можно записать в виде некоего дифференциального уравнения, очень напоминающего уравнения, введенные В.А. Фоком [28] при описании  $O(4)$ -симметрии водородоподобных атомов, однако в данном случае имеются существенные отличия от результатов Фока как в самих формулах, так и в их интерпретации. На основании данного подхода оказывается возможным построить теорию атомов, не используя априорно заданные пространственно-временные представления.

Опираясь на полученные результаты, есть основания утверждать [23], что появление связанных состояний (атомов) является ключевым обстоятельством, ответственным в реляционно-статистическом подходе как за возникновение метрических отношений, так и появление понятий координатного пространства.

Если в стандартной квантовой механике, строящейся на фоне классического пространства-времени, объяснение квантованной природы атомов потребовало изменения классической физики в виде квантовых закономерностей, то в данном реляционно-статистическом подходе *ставится обратная задача – исходя из возникающих в теории связанных состояний приступить к построению классических пространственно-временных представлений.*

#### ***16. Идея распространения реляционного подхода на физику мегамира.***

Нам представляется естественным высказать идею, что, исходя из реляционно-статистического подхода к природе пространственных отношений, следует пересмотреть общепринятые представления о свойствах окружающего мира на очень больших расстояниях – в масштабах галактик или Вселенной в целом. Не случайно в работах П.К. Рашевского выдвигались идеи как о статистической природе геометрических понятий, так и о возможном изменении арифметики при очень больших масштабах [29]. Эта идея естественна в связи с найденными проявлениями принципа Маха в рамках реляционного подхода. Однако, видимо, этими проявлениями дело не ограничится – должны вскрыться новые свойства Вселенной в целом.

Первое, что заставляет задуматься, это соотношение координатного и импульсного пространств на больших масштабах. Как известно, уже в классической механике была вскрыта некоторая симметрия координат и импульсов, в квантовой теории она приобрела еще более важное значение. Однако в

пространстве скоростей вскрылось наличие предельного значения скорости – скорости света  $c$ . Возникает естественный вопрос о возможности предельных расстояний (или иных особенностей) в координатном пространстве [30].

Реляционный подход показывает, что пространственно-временные отношения и отношения в пространстве скоростей описываются разными законами. Первые выражаются через определители Кэли-Менгера, а вторые – через определители Грама. В классической теории между двумя типами отношений имеется жесткая связь. В квантовом мире эта связь уже существенно видоизменяется. Исходя из этого можно высказать предположение, что *в мегамире также может нарушиться известная в классике связь между координатным пространством и пространством скоростей*. В наших работах (см., например, [31]) уже высказывалась мысль, что эта идея может помочь в объяснении свойств спиральных галактик, которые ныне разрешаются посредством гипотезы темной материи.

#### ***17. Идея об альтернативном объяснении гравитационного красного смещения.***

Если принять предыдущую идею о нарушении жесткой связи между законами пространственно-временных отношений и отношений в пространстве скоростей, то становится возможной иная интерпретация наблюдаемого красного смещения удаленных галактик. Чтобы это сделать нужно вспомнить о диспутах, которые происходили в ленинградском политехническом институте на рубеже 1920–1930-х гг. между сторонниками концепций близкодействия и дальнодействия. Точнее, следует вспомнить вопрос, который тогда был задан Я.И. Френкелю [32]: если принять концепцию дальнодействия, то где локализована энергия испущенных, но еще не поглощенных фотонов?

Сегодня уже можно ответить на этот вопрос. Поскольку в реляционном подходе излучение фотона означает задание фотонной мировой матрицы, означающей, что фотон как бы находится во всем мире в виде отношений между излучателем и возможными поглотителями, то естественно полагать, что то, что мы привыкли считать его энергией, сосредоточено в характеристиках всех возможных поглотителей. Но фотонов очень много, – много и объектов-поглотителей во Вселенной. Это означает, что *относительно любого наблюдателя окружающие его объекты должны обладать некой дополнительной энергией* (к энергии их пекулярных движений).

Это соображение можно сопоставить с тем фактом, что в рамках общепринятой геометрической парадигмы наблюдаемый эффект космологического красного смещения интерпретируется через эффект Доплера, то есть трактуется как процесс разбегания галактик – расширения Вселенной. Если связать между собой эти два соображения в разных парадигмах, то возникает возможность взглянуть на космологическое красное смещение под иным углом зрения.

### Некоторые выводы и замечания

Исходя из изложенного, можно сделать следующие выводы:

1. Реляционно-статистический подход позволяет под новым углом зрения взглянуть на достаточно широкий круг вопросов об устройстве всего физического мироздания – от закономерностей квантовой теории и физики микромира до свойств мира в целом.

2. В этой статье изложены лишь идеи реляционно-статистического подхода к природе пространства-времени и физических взаимодействий. Соответствующий математический аппарат и уже полученные на его основе конкретные результаты изложены в ряде наших публикаций [15; 22; 23; 26].

3. Особо важно подчеркнуть, что подавляющее большинство ответов на вопросы о свойствах классического пространства-времени, а именно: о размерности, о сигнатуре, о квадратичности мероопределения и других (в наблюдаемом макромире) опирается на наличие и свойства БСКО ранга (3,3) и ее подсистему в виде БСКО ранга (2,2).

4. Особая роль в появлении метрики (расстояний, интервалов) принадлежит БСКО ранга (2,2), то есть фазовым вкладам.

5. При описании микромира в данном подходе следует иметь в виду, что речь шла не о возникновении соответствующих непрерывных групп типа  $SL(2, C)$ ,  $SL(3, C)$  и т. д., а о преобразованиях, принадлежащих этим группам, поскольку суть вводимых в данной теории преобразований основана на изменениях используемых наборов эталонных элементов. Последние же образуют дискретное множество.

6. В рамках современного состояния реляционно-статистической теории показано, что ею могут быть описаны классические эффекты ОТО, однако в самом общем случае должны быть отличия в предсказаниях двух теорий.

7. Особо следует подчеркнуть, что охарактеризованный здесь реляционно-статистический подход не претендует на окончательные ответы на всю совокупность принципиально важных вопросов, обсуждавшихся на протяжении многих лет, однако позволяет существенно продвинуться в их решении.

8. Есть достаточно веские основания надеяться, что продвижение в понимании природы классического пространства-времени на основе реляционно-статистического подхода рано или поздно позволит поставить на повестку дня вопрос о практическом осуществлении влияния человека на пространственно-временные отношения между событиями и материальными объектами, что будет сулить человечеству чрезвычайно важные, а может быть, даже необозримые перспективы.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Владимиров Ю.С.* Квантовая теория гравитации // Эйнштейновский сборник 1972. – М.: Наука, 1974. – С. 280–340.
2. *Владимиров Ю.С.* Метафизика. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2002 (1-е изд.), 2009 (2-е изд.).

3. Владимирова Ю.С. Между физикой и метафизикой. Кн. 4: Вслед за Лейбницем и Махом. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012. – 272 с.
4. Кулаков Ю.И. Элементы теории физических структур. (Дополнение Г.Г. Михайличенко). – Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. ун-та, 1968.
5. Кулаков Ю.И. Теория физических структур. – М.: 2004.
6. Михайличенко Г.Г. Математические основы и результаты теории физических структур. – Горно-Алтайск, РИО ГАГУ, 2012. – 146 с.
7. Кулаков Ю.И., Владимирова Ю.С., Карнаухов А.В. Введение в теорию физических структур и бинарную геометрофизику. – М.: Изд-во «Архимед», 1991.
8. Владимирова Ю.С., Турыгин А.Ю. Теория прямого межчастичного взаимодействия. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
9. Wheeler J.A., Feynman R.P. Interaction with absorber as the mechanism of radiation // Rev. Mod. Phys. – 1945. – Vol. 17. – P. 157–181.
10. Vladimirov Yu.S. Gravitation interaction in the relational approach // Gravitation and Cosmology. Vol. 14. – 2008. – N. 1(53). – P. 41–52.
11. Грановский Я.И., Пантюшин А.А. К релятивистской теории тяготения // Изв. АН Каз. ССР, сер. Физ.-мат. – 1965. – № 2. – С. 65–69.
12. Bolokhov S.V., Klenitsky A.N. On the construction of effective metrics in a relational model of space-time // Gravitation and Cosmology. – 2013. – Vol. 19. – No. 1. – P. 35–41.
13. Сахаров А.Д. Научные труды. – М.: АОЗТ «Изд-во ЦентрКом», 1995.
14. Владимирова Ю.С. Биспиноры и физическая структура ранга (3,3) // Вычислительные системы. № 125. – Новосибирск: Изд-во Института математики СО АН СССР, 1988. – С. 42–60.
15. Владимирова Ю.С. Физика дальнего действия: Природа пространства-времени. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012. – 224 с.
16. Пенроуз Р. Путь к реальности, или Законы, управляющие Вселенной. – М.-Ижевск: Изд-во НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2007.
17. Манин Ю.И. Математика как метафора. – М.: Изд-во МЦНМО, 2010.
18. Бройль Л. де. Революция в физике. – М.: Госатомиздат, 1963.
19. Владимирова Ю.С. Описание взаимодействий в рамках теории бинарных физических структур // Вычислительные системы. № 125. – Новосибирск: Изд-во Института математики СО АН СССР, 1988. – С. 61–87.
20. Владимирова Ю.С., Соловьев А.В. Физическая структура ранга (4,4;6) и трехкомпонентные спиноры // Вычислительные системы. № 135. – Новосибирск: Изд-во Института математики СО АН СССР, 1990. – С. 44–66.
21. Владимирова Ю.С. Геометрофизика. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005 (1-е изд.), 2010 (2-е изд.).
22. Владимирова Ю.С. Реляционная теория пространства-времени и взаимодействий. Ч. 2: Теория физических взаимодействий. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998.
23. Владимирова Ю.С. Основания физики. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008.
24. Раишевский П.К. Риманова геометрия и тензорный анализ. – М.: Наука, 1967.
25. Zimmerman E.J. The macroscopic nature of space-time // Amer. J. Phys. – 1962. – Vol. 30. – P. 97–105.
26. Владимирова Ю.С. Реляционная теория пространства-времени и взаимодействий. Ч. 1: Теория систем отношений. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1996.
27. Уилер Дж. Гравитация, нейтрино и Вселенная. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1962.
28. Фок В.А. Атом водорода и неевклидова геометрия // Известия АН СССР. – 1935. – Т. 2. – С. 169–184.

29. *Раишевский П.К.* О догмате натурального ряда // Альманах «Метафизика. Век XXI». Вып. 4: Метафизика и математика. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – С. 77–84.
30. *Рвачев В.Л.* Релятивистский взгляд на развитие конструктивных средств математики. – Харьков: Препринт Института проблем машиностроения АН УССР. – 1990.
31. *Владимиров Ю.С., Ромашика М.Ю.* Модифицированная ньютоновская динамика (MOND) и ее возможные интерпретации // *Пространство, время и фундаментальные взаимодействия*. – 2013. – № 1. – С. 64–77.
32. *Природа электрического тока (Стенограмма бесед-диспутов в Ленинградском политехническом институте)*. – М.-Л.: Изд-во Всесоюзного электротехнического общества. – 1930.

## IDEAS OF RELATIONAL-STATISTICAL APPROACH TO NATURE OF SPACE-TIME

Yu.S. Vladimirov

Consistently outlined a chain of ideas that allows to start a specific restructuring physics bases within the relational-statistical approach to the nature of space-time and physical interactions. These ideas (links in a single chain) are presented in the form of four groups: 1) relational reformulation of classical space-time concepts, 2) relational description of the microcosm physics, 3) a description of the physical interactions within the binary systems of complex relationships, 4) relational-statistical nature of the universe.

**Key words:** relational paradigm, relations, space-time, physical interactions, systems of reference, binary systems of complex relations, quantum theory, theory of gravitation.

---

## К НЕКОТОРЫМ АСПЕКТАМ РЕЛЯЦИОННОГО ПОДХОДА В ФИЗИКЕ

С.В. Болохов

*Российский университет дружбы народов*

Рассматривается ряд аспектов реляционного подхода к построению теории пространства-времени и физических взаимодействий. Обсуждается круг вопросов, связанных с трактовкой базовых понятий и предпосылок данного подхода. Дается краткий обзор результатов и возможных дальнейших перспектив реляционной теории. Проводится ряд параллелей и аналогий с другими существующими подходами.

**Ключевые слова:** реляционный подход, пространство-время, гравитация, фундаментальные взаимодействия.

### 1. Исторический аспект

На рубеже XIX и XX столетий физическая наука претерпела существенный концептуальный перелом, ознаменовавшийся появлением двух главенствующих фундаментальных теорий – квантовой механики и теории относительности, под знаком которых происходило всё дальнейшее развитие теоретической физики в течение последующего столетия. Развитие формализма квантовой теории поля, в конечном итоге приведшее к формулировке Стандартной модели в физике элементарных частиц, позволило достичь существенного прогресса в понимании и описании фундаментальных взаимодействий в масштабах микромира, равно как и успехи специальной и общей теории относительности позволили обнаружить и описать нетривиальные свойства пространства-времени на макро- и мега-(космологических) масштабах.

На волне развития квантовых и релятивистских представлений физика подошла практически вплотную к тому, чтобы содержательным образом поставить вопрос о генезисе пространства-времени и его глубинной связи со структурой физических взаимодействий. Важным шагом на этом пути оказалась идея построения объединенных теорий, в которых все известные виды физических взаимодействий<sup>1</sup> оказались бы предельными случаями некоторой обобщенной конструкции – «единого взаимодействия», будучи частными формами его проявления на тех или иных энергетических и пространственно-временных масштабах.

Первоначально данная идея зародилась в 20-х гг. XX в. в рамках попыток объединения гравитации и электромагнетизма. Речь здесь идет в первую

---

<sup>1</sup> Исходно подразделяемые на 4 вида: электромагнитное, слабое, сильное и гравитационное.

очередь о 5-мерной теории Калуцы (и более поздних моделях типа Калуцы–Клейна). Данная теория легла в основу так называемого геометрического подхода к объединению взаимодействий на основе многомерной гравитации, что соответствует расширению парадигмы общей теории относительности на случай негравитационных взаимодействий. Другая линия построения объединенных моделей, восходящая к теоретико-полевой парадигме, – так называемый калибровочный подход – получила развитие во второй половине XX в. с созданием неабелевых калибровочных теорий Янга–Миллса, кульминацией чего явилось построение Стандартной модели сильных и электрослабых взаимодействий Вайнберга–Салама–Глэшоу, основанной на так называемой минимальной калибровочной группе  $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ . Отметим, что получившие в настоящее время большую популярность теория суперструн и М-теория в контексте задачи объединения взаимодействий могут рассматриваться как своеобразные попытки синтеза идей и принципов геометрического и калибровочного подходов.

Отмеченные успехи в развитии парадигмы квантовой теории поля (КТП) и общей теории относительности (ОТО) привели в то же время к более рельефному осознанию ряда концептуальных проблем, присущих этим теориям. Из исторически наиболее значимых трудностей назовем две: проблема расходимостей в КТП, частично решаемая в рамках процедуры перенормировок, а также проблема квантования гравитации, связанная с невозможностью полноценного и самосогласованного применения к ней стандартной рецептуры квантования, хорошо работающей в отношении других видов взаимодействий.

В настоящее время всё большее число ученых склоняется к выводу, что многолетние безуспешные попытки разрешения указанных вопросов в рамках стандартного квантового теоретико-полевого подхода и парадигмы ОТО указывают на то, что мы вплотную приблизились к границам применимости этих теорий. По-видимому, в первую очередь это связано с необходимостью переосмысления традиционных представлений о природе и сущности пространства-времени на микро- (а возможно, и макро-) масштабах.

Идея неприменимости классического понятия пространства-времени в микромире высказывалась достаточно давно [1–3]. Распространенным аспектом этой идеи является понятие планковских масштабов ( $10^{-33}$  см,  $10^{-43}$  с), на которых, как считается, классическое понимание пространства-времени как непрерывно-гладкого фонового многообразия теряет смысл из-за присущих ему квантовых флуктуаций, уступая место таким гипотетическим конструкциям, как графы, спиновые сети, пространственно-временная пена и др.

Отметим, что трудности с классическим пространством-временем в микромире начинаются еще до планковских масштабов, уже на уровне попыток приписать элементарным частицам пространственно-временную локализацию. Так, сочетание принципа неопределенности Гейзенберга с релятивистскими ограничениями по скорости света и возможностью спонтанно-

го рождения пар приводит к невозможности приписать универсальный и операционально разумный смысл понятию координаты электрона и фотона [2].

Трудности с диаграммными расходимостями в КТП являются в определенном смысле обратной стороной существенно *локального* формализма данной теории, формулируемого на непрерывном пространственно-временном фоне и вследствие этого содержащего в структуре петлевых диаграмм члены, отвечающие фурье-образам формально бесконечных произведений сингулярных обобщенных функций в совпадающих точках пространства-времени [4].

В связи с этим отметим, что представление о сугубо локальном характере взаимодействий, по-видимому, также требует определенного переосмысления ввиду экспериментально открытых и теоретически обоснованных эффектов квантовой нелокальности (квантовые корреляции, парадокс Эйнштейна–Подольского–Розена, эффект Ааронова–Бома и др.).

Таким образом, в спектре проблем современной теоретической физики уже достаточно давно назрел вопрос о природе и сущности пространства-времени, возможностях его квантования и выявления пределов применимости традиционных пространственно-временных представлений, опирающихся на геометрию гладких римановых многообразий, при изучении микромира.

## 2. Реляционный подход: общая проблематика

### 2.1. Реляция и субстанция

Сложившаяся традиция рассматривать физическое пространство-время как некоторый непрерывный фон, на котором развёртывается динамическая эволюция погруженных в него физических систем, исторически соответствует так называемой *субстанциальной трактовке* пространства-времени. При этом пространство-время мыслится в качестве некоторой онтологически самостоятельной категории (субстанции) – «вместилища» материи и полей. Наиболее четкое воплощение эта идея получила в рамках ньютоновской концепции абсолютного пространства и времени, и позднее, несколько ослабившись и преломившись в релятивистской картине мира, была так или иначе унаследована как в теоретико-полевой, так и в геометрической парадигме (классическая и квантовая теория поля, общая теория относительности, теория суперструн, супергравитация, М-теория и др.).

Иной взгляд, исторически восходящий, в частности, к Лейбницу, предписывает мыслить пространство-время как некоторую специфическую *систему отношений* (relations) между материальными объектами. Данный подход именуется *реляционной трактовкой* пространства-времени. Согласно ей пространство-время уже не является онтологически независимой от материи категорией; оно представляет собой, скорее, некоторый эмерджентный феномен, порождаемый всей совокупностью взаимодействующих материаль-

ных систем. Правда, в такой обобщенно-философской формулировке кроется некоторая проблема, связанная с необходимостью четкого определения понятия материи и его дефинитивного отграничения от того, *что* оно призвано порождать. В рамках физических теорий данная трудность может быть обойдена путем конкретного постулирования перечислимого множества исходных «материальных» элементов (например, систем элементарных частиц) и конструктивным предъявлением механизма, порождающего пространственно-временные характеристики в ансамблях соответствующих систем в некотором усредненно-статистическом пределе, аналогично тому, как в термодинамических системах возникает понятие температуры.

Стоит отметить, что уже в ходе создания специальной теории относительности прослеживается некоторый крен (не тотальный) в сторону реляционного понимания пространства-времени. СТО строится на операционалистской методологии, придавая всем пространственно-временным понятиям (таким как отношение одновременности, расстояния и промежутки времени и т.п.) определенный смысл в рамках конкретных измерительных процедур на множестве событий или материальных объектов, имеющих в рамках заданной системы отсчета наблюдателя. А в общей теории относительности уже появляется идея прямого влияния материи на геометрию пространства-времени, которое, впрочем, пока еще мыслится как гладкое псевдориманово многообразие со своей внутренней кривизной и динамическими степенями свободы. Здесь необходимо также отметить существенную роль принципа Маха, которым руководствовался Эйнштейн при создании ОТО. Напомним, что принцип Маха в одной из его классических формулировок состоит в утверждении, что инертно-гравитационные свойства материальных тел обусловлены влиянием всей остальной материи во Вселенной.

Несмотря на отдельные всплески интереса к реляционной идеологии в разные периоды развития физики, в исторической ретроспективе последовательное и строгое воплощение реляционного подхода к пространству-времени оказывалось затруднительным, уступая позиции субстанциальному подходу. В его рамках достаточно продуктивным показало себя понятие *поля* и сопутствующей ему концепции близкодействия, на основе которой удалось применить мощный аппарат математического анализа и дифференциальных уравнений для построения эффективных физических теорий. Тем не менее на современном витке эволюции научных представлений ввиду вышеописанных концептуальных проблем дальнейшее развитие этих теорий, по-видимому, должно столкнуться с необходимостью учета ряда аспектов реляционной парадигмы.

## 2.2. Дискретность

Интересным вопросом является то, влечет ли реляционный подход в самой общей постановке, описанной выше, с необходимостью *дискрет-*

ность пространства-времени на микромасштабах?<sup>2</sup> Возможно, интуитивно ответ на этот вопрос может показаться положительным. Однако внимательный анализ обнаруживает, что здесь возможны варианты.

Если пространство-время объявляется некоторой совокупностью отношений на порождающем множестве объектов (условно названных «материальными»), то вопрос сводится к тому, какого рода независимые комбинации свойств, элементов или подмножеств данного материального множества могут быть расценены как «отношения», релевантные идее пространства-времени и конституирующие его на макроуровне. Неоднозначность в трактовке термина «отношение» порождает здесь целый набор спекулятивных возможностей. Допустим, что множество «материальных объектов» счетно, а понятия «точек» пространства-времени возникают из некоторой процедуры, вовлекающей в себя произвольное подмножество данного материального множества. Известно, что семейство таких подмножеств образует континуум. В итоге мы приходим к логически непротиворечивой картине, когда счетное множество «материальных» объектов, исходя из системы внутренних отношений между совокупностями всех своих подмножеств, порождает континуально-непрерывную структуру под условным названием «пространство-время».

Более того, опираясь всего лишь на *конечное* множество порождающих элементов, но включив в понятие «отношение» их произвольные счетно-бесконечные комбинации, можно сформировать структуру, изоморфную континууму<sup>3</sup>. Таким образом, одна лишь ничем не ограниченная идея порождения пространства-времени некоторыми мыслимыми конструкциями на множествах материальных объектов, строго говоря, еще не влечет автоматически его дискретности. О таковой можно говорить лишь после конкретизации термина «отношение» и спецификации порождающего множества.

Однако в силу отмеченных выше проблем, связанных с трудностями локальных теорий поля, измеримостью и точечной локализацией элементарных частиц, вероятным существованием планковского предела и т.д., представляется методологически разумным при построении фундаментальной теории абстрагироваться от слишком сильного требования свойства гладкости (континуальности) пространственно-временного многообразия, сосредоточившись на поиске такого класса реляционных моделей, в которых бы указанное свойство не являлось априорным допущением или неизбежным

---

<sup>2</sup> В данном случае под дискретностью понимается возможность представить пространство-время как некоторое множество «точек» с мощностью, не большей мощности счетного множества. Иногда термин «дискретность» понимают как синоним квантованности, что, в свою очередь, в применении к пространству-времени трактуют как ситуацию наличия некоторой минимальной измеримой (фундаментальной) длины; этот случай здесь не анализируется.

<sup>3</sup> Здесь имеется непосредственная аналогия с тем, что любое вещественное число (каковых, как известно, континуум) можно выразить некоторой в общем случае счетно-бесконечной последовательностью всего лишь из нескольких различных цифр, количество которых определяется основанием системы счисления.

логическим следствием. Это соответствует переориентации на построение *фоново-независимых* физических теорий, не подразумевающих в своих логических основаниях постулата об изначальном наличии пространственно-временного фона (но, возможно, восстанавливающих его в рамках предельных статистических процедур).

Представляется, что термин «реляционный подход» приобретает содержательное смысловое отличие от субстанциального подхода в контексте поиска именно такого рода фоново-независимых теорий.

### 2.3. Поля

Отказ от априорного наличия гладкого пространственно-временного многообразия влечет необходимость переосмысления понятия классического *поля-переносчика* взаимодействия как непрерывной функции на точках данного многообразия, а вместе с ним и концепции *близкодействия*, неразрывно связанной с представлением о характере распространения взаимодействий через ряд бесконечно близких точек пространственно-временного континуума.

Здесь, однако, также есть свой нюанс. С формально-математической точки зрения понятие *непрерывности* (точнее, непрерывных отображений, частным случаем которых являются полевые функции) можно формулировать для произвольных топологических пространств вне зависимости от того, являются ли они гомеоморфным евклидовым пространством  $R^n$  (континуумам) или нет. Известно также, что для задания непрерывной числовой функции достаточно определить её на всюду плотном множестве точек (например, рациональных), которое может быть всего лишь счетным, не образуя континуума.

Поэтому отказ от свойства континуальности пространственно-временного фона, строго говоря, еще не влечет отказа от возможности построения на нем теоретико-полевых конструкций, апеллирующих к языку непрерывных отображений. Кроме того, выглядит допустимой возможность построения варианта теории поля в рамках *конструктивистского* направления математики, не предполагающего актуальное существование континуума. Наконец, на примере так называемой квантовой теории поля на решетке можно проследить достаточно эффективное использование теоретико-полевых представлений в рамках некоторых дискретных аппроксимаций пространства-времени.

Поэтому следует подчеркнуть, что отмеченная необходимость переосмыслить в рамках реляционной парадигмы понятие классического поля-переносчика взаимодействий носит *методологический* характер, будучи сопряженной с назревшей идеей переосмысления всего совокупного контекста физических представлений и теорий XX столетия, опирающихся в своей основе на традиционный формализм классической теории поля на гладких многообразиях. Ключевой установкой при этом должно являться очерчивание границ применимости данного формализма и его возможных расшире-

ний или модификаций на пути к построению фоново-независимой фундаментальной теории.

В этой связи отмеченные выше возможные способы сохранить (наряду с отказом от континуального пространственно-временного фона) стандартные теоретико-полевые конструкции на чисто формальных основаниях, связанные с топологической трактовкой понятия непрерывности, ограничением на счетные множества, привнесением конструктивистских мотивов и т.д., представляются родом спекулятивных приемов, неоправданно сильно ограничивающих потенциальные возможности реляционной парадигмы. Её учет был бы при этом чисто номинальным, во всех же прочих интенциях и следствиях сохранялся бы дух субстанциального подхода с органически присущими ему теоретико-полевыми понятиями, не содержащими существенной концептуальной новизны. Тогда как последовательное раскрытие возможностей реляционного подхода видится прежде всего в таком переосмыслении и модификации теоретико-полевых конструкций, которые бы отвечали центральной идее данного подхода – идее статистической порождённости макроскопических феноменов некоторой фундаментальной системой отношений между элементами взаимодействующих микроскопических систем. Концепция классического поля при этом не является исключением: в последовательном реляционном подходе поле следует трактовать как *вторичный* объект наряду с вторичностью его носителя – пространства-времени. При этом традиционное понятие поля должно восстанавливаться в ходе некоторой предельной статистической процедуры вместе с макроскопическим пространством-временем.

Таким образом, в реляционном подходе на смену понятию классического поля как непрерывной функции точек пространства-времени приходит понятие *эффektivного* поля как функции некоторой системы отношений между взаимодействующими материальными объектами, обретающей привычный полевой смысл лишь в континуально-статистическом пределе. Подчеркнем, что в данном случае речь идет в первую очередь о классических бозонных *полях-переносчиках взаимодействий* (квантами которых являются, например, фотоны, глюоны и калибровочные  $W^\pm$  и  $Z^0$ -бозоны). Отмечая этот факт, мы тем самым на данном этапе обходим одну тонкость, состоящую в том, *что* понимать под упомянутыми выше «взаимодействующими материальными объектами». Ведь, к примеру, в рамках стандартного теоретико-полевого подхода не только взаимодействия, но и вообще *всякая* материя есть поле (в частности, электроны суть проявление фермионного поля Дирака). Поэтому с точки зрения КТП попытка представить поле *вообще* как нечто, вторично порожденное системой отношений внутри «материи», которая при этом тоже является полем, выглядела бы тавтологичной. Это вполне отвечает тому, что в квантово-полевой парадигме понятие поля является фундаментальной первичной категорией. Всё это означает, что последовательная реляционная трактовка полей и материи должна строиться на независимых от теоретико-полевого подхода основаниях.

#### 2.4. Теория Фоккера–Фейнмана–Уилера

По-видимому, исторически первой успешной попыткой реализовать идею эффективного поля, совместимую с требованием релятивистской инвариантности, стал подход *прямого межчастичного (электромагнитного) взаимодействия*, предложенный в ранних работах Тетроде, Фоккера, Шварцшильда и позже усовершенствованный Фейнманом и Уилером [5, 6]. В рамках данного подхода в качестве лагранжевого функционала действия для пары взаимодействующих точечных заряженных частиц  $i$  и  $k$  берется величина, пропорциональная интегралу от произведения  $u_{\mu(i)}u^{\mu(k)}$  4-скоростей этих частиц, умноженных на дельта-функцию Дирака  $\delta(s_{ik}^2)$  от квадрата релятивистского интервала  $s_{ik}^2$  между точками мировых линий этих частиц. Интегрирование ведется по элементам  $ds_i, ds_k$  мировых линий выбранной пары частиц в пространстве Минковского. Произведение 4-скоростей является отражением известной в физике идеи ток-токового взаимодействия<sup>4</sup>, а роль дельта-функции состоит в ограничении взаимодействия нулевой поверхностью светового конуса, что обеспечивает релятивистскую инвариантность теории и учет эффектов запаздывания, отвечающих «распространению» электромагнитного влияния с конечной скоростью света. Однако подчеркнем, что данная теория принадлежит к классу теорий *прямого* межчастичного взаимодействия, не содержащих в своей структуре независимого понятия поля как локального посредника между взаимодействующими частицами (как это имеет место в концепции близкодействия). Вместо этого в данном классе теорий имеет место своеобразное дальнодействие – прямое влияние удаленных частиц друг на друга, описываемое релятивистски-инвариантным ток-токовым взаимодействием в лагранжиане.

Здесь необходимо особо подчеркнуть, что термин «дальнодействие» в данном случае следует трактовать не в смысле какого-либо мгновенного действия на расстоянии (что противоречило бы релятивистской причинности), а в смысле дальнодействия *на световом конусе*. Актам взаимодействия отвечают лишь те точки-события на мировых линиях частиц, которые находятся в релятивистском «контакте», то есть квадрат пространственно-временного интервала между ними равен нулю:  $ds^2 = 0$ . Здесь имеется некоторая аналогия с принципом близкодействия, согласно которому акт передачи взаимодействия осуществляется последовательно между точками с бесконечно малым (в пределе нулевым) пространственным расстоянием  $dl = 0$ . Можно было бы даже теорию прямого межчастичного взаимодействия формально причислить к разряду теорий близкодействия в обобщенном 4-мерном смысле. Однако термин «дальнодействие» здесь всё же является существенным. И не только потому, что релятивистский контакт  $ds^2 = 0$  допускает сколь угодно большую пространственную разделённость частиц. Дело еще и в том, что в отличие от отношения пространственного контакта

<sup>4</sup> Название обусловлено тем, что релятивистская плотность 4-тока заряженной частицы  $j_{\mu}$  содержит её 4-скорость.

точек, обладающего свойствами транзитивности и отвечающего хорошо определенной окрестностной структуре и топологическому пониманию пространственной близости, отношение релятивистского контакта не обладает данными свойствами из-за псевдоевклидова характера метрики Минковского и поэтому «контактом» может быть названо лишь фигурально.

Можно показать, что функционал действия теории Фоккера, будучи дополненным так называемой теорией абсолютного поглотителя, развитой в работах Фейнмана и Уилера, допускает строгий переход к классической электродинамике Максвелла [7; 9]. При этом роль электромагнитного поля берет на себя определенная конструкция, включающая в себя 4-токи частиц. Важно подчеркнуть, что в рамках этой теории бессмысленно говорить о наличии какого-либо самостоятельного электромагнитного поля в тех точках, где отсутствуют частицы. Тем не менее теория в наблюдательном отношении эквивалентна электродинамике Максвелла, поскольку все утверждения последней (включая утверждения о распределении электромагнитного поля в пространстве, а также присущем ему импульсе, спине и энергии) операционально сводятся к наблюдению за движением отдельных заряженных частиц – и лишь по данной информации только и может быть восстановлена картина классического «поля». И ровно эта информация содержится в действии Фоккера.

В дальнейшем было показано, что весьма широкий класс классических линейных полевых теорий допускает эквивалентную фоккеровскую формулировку. С определенными усилиями это можно сделать и для некоторых нелинейных теорий, в частности для гравитации. Линеаризованное гравитационное взаимодействие может быть записано в фоккеровской форме на основе работ Пантюшина и Грановского [8]. Нелинейная гравитация, отвечающая эйнштейновской ОТО, может быть описана в рамках итерационно-пертурбативной фоккеровской схемы, предложенной Владимировым и Турьгиным [9] на основе разложения по константе  $G$ . При этом уравнения Эйнштейна эффективно воспроизводятся в любом нужном порядке точности. Пример еще одного варианта обобщенного функционала Фоккера для гравитации, получаемого из предпосылок некоторого варианта реляционной модели пространства-времени, рассматривался в [10; 11].

Несмотря на успехи подхода Фоккера–Фейнмана–Уилера, у него имеется и ряд трудностей. Оставляя в стороне технические вопросы (например, проблема квантования), укажем на более серьезную концептуальную трудность. Неся в себе очевидную реляционную интенцию, принцип Фоккера является в то же время достаточно эклектичным, поскольку соответствующий ток-токовый лагранжиан записывается в готовом пространстве-времени Минковского и, таким образом, не является отражением последовательно проведенной реляционной парадигмы.

Вместе с тем важность теорий прямого межчастичного взаимодействия состоит в их роли возможного *промежуточного звена* на пути к построению искомой фоново-независимой реляционной теории: в качестве первого шага

они, хоть и не устраняя самого пространства-времени, элиминируют, тем не менее, понятие классического поля-переносчика взаимодействий, сводя его к эквивалентному (эффективному) полю. Можно ожидать, что воспроизведение на каком-то этапе ток-токовой структуры действия Фоккера из гипотетических конструкций реляционной теории может представлять собой шаг к реализации принципа соответствия со стандартной моделью полевых взаимодействий.

### 3. Реляционная модель пространства-времени и взаимодействий

#### 3.1. Системы отношений

До сих пор, говоря о реляционном подходе, мы не конкретизировали само понятие отношений и исходного множества, на котором задается данная структура отношений. Как было отмечено выше, различная трактовка этих исходных понятий может привести к весьма широкому классу мыслимых моделей. Ниже мы рассмотрим более подробно некоторые аспекты реляционной модели пространства-времени и взаимодействий, развиваемой в работах Ю.С. Владимирова [7].

В рамках данной модели в качестве исходного множества рассматривается некоторое, вообще говоря, дискретное универсальное множество  $M$  (либо пара множеств  $M$  и  $N$ ; о различиях см. ниже) некоторых абстрактных элементов. Физический смысл и интерпретация данных элементов могут меняться в зависимости от контекста. Это могут быть, к примеру, точки пространства, события, элементарные частицы, векторы in- и out-состояний квантовой системы и т.п. Неизменным остается правило, согласно которому все фундаментальные конструкции теории должны быть выразимы в терминах отношений между теми или иными её элементами. Данное правило задает общий концептуальный каркас реляционной схемы, а её физическая реализация в рамках конкретной модели зависит от выбора и интерпретации универсального множества.

Под *отношением* в самом общем случае можно было бы понимать некоторую характеристику на произвольных подмножествах элементов множества  $M$  («находящихся в отношении»). В рамках рассматриваемой реляционной модели берется наиболее простой вариант, когда в роли отношения выступает вещественное или комплексное число  $u_{ik}$ , ставящееся в соответствие любой *паре* элементов  $i, k$  (так называемое *парное отношение*). В зависимости от того, принадлежат ли эти элементы одному и тому же универсальному множеству  $M$  или двум разным множествам  $M$  и  $N$ , говорят об унарной и бинарной системе отношений соответственно. Для простоты парное отношение  $u_{ik}$  полагается симметричным:  $u_{ik} = u_{ki}$ .

Можно было бы аналогичным образом рассматривать отношения типа  $u_{ikl}, u_{iklm}$  между тремя, четырьмя и т.д. элементами. Ограничение лишь парными отношениями не является принципиальным, но на первых порах вы-

глядит естественным, тем более что уже в его рамках можно прийти к достаточно нетривиальным конструкциям.

Ограничение области значений парных отношений вещественными или комплексными числами также представляется достаточно естественным базовым допущением, если учесть, что данные числовые множества в силу теоремы Фробениуса являются единственными хорошо определенными алгебраическими полями без делителей нуля, повсеместно используемыми в классической и квантовой теории. Вместе с тем системы отношений со значениями в множестве, например, гиперкомплексных чисел (включая кватернионы, двойные и дуальные числа и т.д.) или в множестве элементов каких-либо иных абстрактных алгебр также могут представлять физический интерес.

Подчеркнем, что введенный выше термин «парное отношение», фактически представляющий собой функционал на декартовом произведении множеств  $M \times M$  (или  $M \times N$ ) со значениями в поле вещественных или комплексных чисел, следует отличать от общепринятого в математике термина «бинарное отношение на множестве», которое есть просто подмножество декартова квадрата данного множества.

Постулирование одного лишь факта наличия множеств и парных отношений между их элементами еще не делает теорию содержательной. Разумно ввести какие-либо ограничения на свойства этих отношений. Желательно также, чтобы ввиду изначального равноправия абстрактных элементов искомые ограничения имели бы вид некоторого универсального закона, не привязанного к отдельным выбранным элементам. Одним из весьма сильных по своим содержательным следствиям ограничений является требование наличия алгебраической *связи* между набором всевозможных парных отношений внутри некоторой произвольной выборки фиксированного количества элементов.

Математически это означает, что постулируется существование не равной тождественно нулю функции  $\Phi_r$  подходящего числа аргументов, которая обращается в нуль при подстановке в нее набора парных отношений, имеющихся внутри произвольной выборки из  $r$  шт. элементов универсального множества  $M$  (в случае унарной системы отношений)<sup>5</sup>. Ввиду произвольности фигурирующих здесь выборок  $r$ -элементных подмножеств данное свойство сохраняется при действии группы перестановок на множестве  $M$ . Возникающий при этом тип групповой симметрии именуется в реляционной теории *фундаментальной симметрией*.

Конструкция, состоящая из универсального множества  $M$ , семейства парных отношений  $u_{ik}$  между любыми парами элементов  $i, k$  данного множества, а также функции  $\Phi_r$ , удовлетворяющей свойству фундаментальной симметрии, называется *унарной системой отношений ранга  $r$  на множестве*

---

<sup>5</sup> В случае бинарных систем отношений берется функция  $\Phi_{r,s}$  на множестве всевозможных парных отношений между  $r$  элементами из  $M$  и  $s$  элементами  $N$ .

М. Равенство  $\Phi_r = 0$  при этом именуется *законом* данной системы отношений<sup>6</sup>.

Возникающая при этом задача поиска наиболее общих классов функций  $\Phi_r$  (или  $\Phi_{r,s}$ ) в случае вещественнозначных парных отношений первоначально исследовалась в 60–70-х гг. XX в. в новосибирской группе математиков под руководством Ю.И. Кулакова на чисто математических основаниях, безотносительно к реляционному подходу [12]. Такие классы были найдены. При этом оказалось, что содержательные решения получаются лишь на одном или на двух множествах элементов, отвечающих случаю унарных и бинарных систем отношений соответственно.

Дальнейшее приложение этого формализма к физике в рамках реляционного подхода к пространству-времени и описанию взаимодействий (включая комплексификацию унарных и бинарных систем отношений) рассматривается в работах группы Ю.С. Владимирова [7].

Было также показано, что бинарные системы отношений в некотором смысле более фундаментальны, чем унарные, поскольку допускают переход к последним через надлежащую процедуру топологической склейки элементов исходных множеств  $M$  и  $N$ .

### 3.2. Геометрическая интерпретация

Если программой-максимумом реляционного подхода является построение теории, в рамках которой макроскопическое пространство-время *выводится* как следствие некоторых фундаментальных систем отношений в микромире, то программа-минимум состоит в установлении принципиальной возможности хотя бы феноменологического *описания* готового пространства-времени (и, возможно, взаимодействий) на основе подходящих реляционных конструкций.

Хорошим иллюстративным примером вышеописанной теории унарных систем отношений здесь может являться так называемая геометрия расстояний [13]. В качестве универсального множества берется произвольное (непрерывное или дискретное) множество  $M$  точек евклидова пространства произвольной размерности  $n$ , а в качестве отношений  $u_{ik}$  – квадраты евклидовых расстояний  $(l_{ik})^2$  между любой парой точек  $i, k$ . Принцип фундаментальной симметрии при этом приобретает наглядную геометрическую интерпретацию.

Заметим, что площадь треугольника, построенного на трех точках, обращается в нуль, если эти точки лежат на 2-мерной евклидовой прямой. Аналогично объем тетраэдра на любых четырех точках обратится в нуль, если эти три точки лежат на 2-мерной евклидовой плоскости. Рассуждая по индукции, легко получить закономерность: объем симплекса<sup>7</sup> на любых

<sup>6</sup> Аналогичная конструкция на парах множеств  $M, N$  именуется бинарной системой отношений ранга  $(r, s)$ .

<sup>7</sup> Симплекс –  $n$ -мерный тетраэдр, обобщающий понятие треугольника и обычного 3-мерного тетраэдра на случай произвольной размерности. Объем симплекса здесь понима-

$n+2$  вершинах равен нулю, если они лежат в  $n$ -мерном евклидовом пространстве. Взяв в качестве функции  $\Phi_r$  квадрат объема данного симплекса, выраженный через попарные квадраты расстояний  $(l_{ik})^2$  между его вершинами<sup>8</sup>, а в качестве ранга  $r$  – количество вершин  $(n+2)$ , мы в точности получим реализацию принципа фундаментальной симметрии: имеется функция  $\Phi_r$ , которая обращается в нуль на наборе парных отношений внутри произвольной выборки  $n+2$  точек (элементов) множества  $M$ . Это означает, что на множестве точек  $n$ -мерного евклидова пространства задана *унарная система вещественных отношений ранга  $n + 2$* .

Данный факт в принципе может быть положен в основу определения размерности плоского пространства в духе реляционного подхода. Заметим, что данная конструкция легко переносится на случай плоских псевдоевклидовых пространств произвольной сигнатуры с соответствующей заменой  $l_{ik}$  на псевдоевклидовы расстояния. В случае 4-мерного пространства-времени Минковского речь будет идти о квадратах релятивистского интервала  $(s_{ik})^2$  между точками-событиями, образующими 6-симплекс.

Примечательно, что в терминах геометрии расстояний в принципе можно описывать не только объемы симплексов, но и строить полноценную геометрию со всеми присущими ей понятиями углов, площадей и длин, вводить систему координат и даже делать выводы о характере неевклидовости пространства.

Классы функций  $\Phi_r$ , первоначально найденные в группе Кулакова для абстрактных унарных систем отношений, содержали в себе как описанные выше определители типа Кэли–Менгера, так и конструкции, отвечающие известным геометриям Римана и Лобачевского (постоянной положительной и отрицательной кривизны), симплектическим геометриям и некоторым другим.

Геометрическая интерпретация унарных систем отношений в реляционной теории переносится и на случай бинарных систем отношений. Опираясь на одну из возможных реализаций такой системы для случая симметричного ранга  $(r, r)$ , элементам двух множеств  $M$  и  $N$  можно придать, например, смысл векторов в дуально сопряженных линейных пространствах, а парным отношениям – смысл скалярных произведений этих векторов (при условии задания метрики и установления изоморфизма между дуальными пространствами). При этом вместо определителей Кэли–Менгера в качестве функций  $\Phi_{r,r}$  будут фигурировать определители Грама, описывающие квадраты объемов  $n$ -мерных параллелепипедов (сводящихся к объемам симплексов) на се-

---

ется в обобщенном (многомерном) смысле; в двумерном случае такой объем именуется площадью.

<sup>8</sup> Квадрат объема симплекса выражается через расстояния между его вершинами с помощью определителя Кэли–Менгера, представляющего собой не что иное, как многомерное обобщение известной формулы Герона, выражающей площадь треугольника (2-мерного симплекса) через набор расстояний между тремя его вершинами.

мействах соответствующих векторов и обращающиеся в нуль в случае линейной зависимости последних.

Рассматриваемая в таком ракурсе, развиваемая реляционная модель фактически реализует идею описания характеристик физических систем в унарной или бинарной геометрии через некоторые геометрические инварианты – объемы симплексов в абстрактных линейных пространствах подходящей размерности.

### 3.3. Пространство-время и взаимодействия

В рамках упрощенной теории унарных вещественных систем отношений рассмотренные конструкции позволяют феноменологически описывать структуру пространства-времени Минковского, вводить реляционный аналог лоренцевых систем отсчета через понятие *эталонного базиса* системы отношений [14], а также вводить прообраз<sup>9</sup> фоккер-фейнмановского действия для электромагнетизма и эффективной гравитации в низших порядках по  $G$  [10; 11] с соблюдением принципа соответствия с выводами ОТО и классической электродинамики в рамках принятых модельных упрощений.

Случаю унарных вещественных систем отношений отвечает классический уровень описания физических явлений. Для обращения к уровню квантовых явлений микромира в рамках рассматриваемой реляционной схемы осуществляется переход к *бинарным* системам комплексных отношений. При этом «элементам» двух универсальных множеств  $M$  и  $N$  вновь может придаваться различный смысл в зависимости от ранга используемой системы отношений. Это могут быть: множества начального и конечного состояний квантовой системы в духе теории  $S$ -матрицы; прообразы векторов импульсного или координатного пространства; векторы состояний элементарных частиц в обычном или изотопическом пространстве; двух- или многокомпонентные спиноры;  $L$ - и  $R$ -компоненты дираковских фермионов; компоненты мультиплетов и др.

Если придать элементам бинарной системы комплексных отношений ранга  $(n+1, n+1)$  смысл векторов  $n$ -мерного линейного комплексного пространства и ввести на нем действие линейной группы  $SL(n, C)$ , оставляющей инвариантными некоторые характерные детерминанты, то оказывается возможным прийти к понятию так называемых *финслеровых* спиноров [15], обобщающих понятие 2-компонентного картановского спинора на  $n$ -компонентный случай<sup>10</sup>. Данные объекты используются в реляционной модели при описании пространства внутренних изотопических состояний частиц. При этом минимальный невырожденный ранг (3,3) порождает обыч-

<sup>9</sup> Фактически члены ток-токового взаимодействия, фигурирующие в действии Фоккера, можно описать в терминах некоторых объемов – миноров определителя Грама на скалярных произведениях 4-скоростей частиц. А дельта-функция от квадрата интервала, входящая в интеграл действия, уже представляет собой функцию парного отношения между событиями.

<sup>10</sup> Этот путь отличен от стандартного канала обобщения спиноров, основанного на свойствах алгебры Клиффорда и процедуре блочного удвоения.

ные релятивистские 2-спиноры, отвечающие псевдоевклидовой сигнатуре пространства Минковского  $(+, -, -, -)$ .

Увеличение ранга бинарной системы отношений до  $(4,4)$  или  $(6,6)$  позволяет перейти к описанию электрослабых и сильных взаимодействий путем выписывания специальной конструкции – так называемого базового  $4 \times 4$ - (или  $6 \times 6$ -) отношения, которому можно придать смысл некоторой формы объема а бинарной геометрии. Данная конструкция является прообразом функционала действия Стандартной модели, записанного в фоккер-фейнмановском представлении. Термин «прообраз» здесь указывает на то, что полноценное действие в форме Фоккера может быть получено лишь после процедуры перехода к статистическому пределу, в котором воспроизводится макроскопический пространственно-временной фон. Кроме того, на данном этапе развития модели еще предстоит разработать последовательный учет нелинейных членов взаимодействия в неабелевом секторе.

#### 4. Квантовые аспекты и связь с ОТО

Интересным вопросом является то, предполагает ли реляционный подход наряду с выводом закономерностей классического макроскопического пространства-времени также автоматический учет квантовых свойств микромира на основе одних лишь свойств систем отношений. По-видимому, ответ здесь отрицательный. Представляется, что ряд квантовых свойств (таких, как вероятность или принцип суперпозиции) является фундаментальной чертой реальности, не редуцируемой к чему-либо более первичному и в известной мере независимой: в наиболее общих предпосылках реляционного подхода квантовая природа реальности не содержится как неизбежный логический элемент.

Сказанное означает, что реляционное описание пространства-времени и взаимодействий не является априори квантовым до тех пор, пока отдельные конструкты реляционной теории не будут постулативным образом наделены квантовомеханической интерпретацией (например, через трактовку элементов бинарной системы комплексных отношений как элементов гильбертова пространства состояний, а самих парных отношений – как прообразов амплитуд вероятности квантовых переходов).

Отметим, что реляционный подход, по-видимому, должен предоставлять весьма богатые возможности для объяснения и описания тех квантовых эффектов, в которых существенную роль играет макроскопическая геометрия опыта, то есть специфический характер вложения квантовых систем в пространство-время. Речь здесь, прежде всего, идет о феноменах квантовой нелокальности (ЭПР-эффекты, квантовая телепортация) и об эффектах, в которых существенную роль играет фаза (Ааронов–Бом). Реляционная схема, не ограниченная постулатом об априорном наличии пространственно-временного фона, может способствовать более глубокому пониманию

нелокального характера взаимной соотнесенности пространственно распределенных квантовых систем.

Интерференционно-фазовые квантовые эффекты теоретически допускают учет в рамках вырожденной бинарной системы комплексных отношений ранга (2,2). С этим связан также один из возможных путей к построению реляционной интерпретации квантовой механики, основанный на воспроизведении конструкции фейнмановского интеграла по путям как совокупности определенных фазовых вкладов в ансамблях систем ранга (2,2).

Обсудив соотнесенность реляционного подхода с квантовой механикой, обратимся к проблематике общей теории относительности. В реляционной теории пространственно-временное многообразие (а значит, и гравитация, если отождествлять ее с кривизной пространства-времени) не является самостоятельной физической сущностью, несущей динамические степени свободы. Поэтому согласование реляционной модели с выводами ОТО представляет собой нетривиальную задачу, заключающуюся в получении эффективной псевдоримановой метрики. В рамках упрощенной реляционной схемы, опирающейся на теорию прямого межчастичного взаимодействия Фоккера–Фейнмана–Уилера, был сформулирован ряд возможных путей решения данной задачи, включая итерационную процедуру разложения по константе  $G$  [9], а также метод, основанный на композиции унарных систем отношений [10; 11]. В рамках последнего был указан пример построения приближенной эффективной метрики для простейшего случая сферически-симметричной гравитирующей конфигурации, согласующийся в рамках выбранных модельных приближений с постньютоновским пределом в метрике Шварцшильда.

Однако, как было отмечено ранее, сама по себе теория прямого межчастичного взаимодействия является эклектичной, предполагая уже наличие фонового пространства Минковского. Таким образом, данные результаты следует рассматривать лишь как промежуточный этап на пути дальнейшего поиска последовательной реляционной схемы, в рамках которой либо будет выводиться само фоновое пространство Минковского, либо, минуя данную стадию, из первых принципов независимым образом будет конструироваться эффективная псевдориманова метрика. Последняя возможность в рамках бинарной системы ранга (4,4) была намечена в [16].

Затронем еще один существенный момент, связанный со статусом так называемых вакуумных решений в ОТО, отвечающих отсутствию классической материи, описываемой тензором энергии-импульса в правой части уравнений Эйнштейна. Если в рамках эйнштейновского подхода абсолютно пустое пространство-время является вполне законным решением уравнений гравитации, то в реляционном подходе говорить о пространстве-времени в отсутствие материи, строго говоря, бессмысленно. Это, на первый взгляд, означает, что для довольно широкого класса риччи-плоских решений ОТО, включая даже решение Шварцшильда, в реляционной модели утрачивается осмысленный физический аналог.

На данное обстоятельство можно смотреть либо как на парадигмальное преимущество последовательного реляционного подхода (дающее дополнительный критерий отбора «нефизических» решений ОТО), либо как на удручающую курьезную особенность в сравнении с геометрической парадигмой.

Описанное парадигмальное противоречие можно в некотором смысле снять, если привлечь квантовые соображения, согласно которым *вакуум* на самом деле не является полным отсутствием материи, а, скорее, отвечает некоторому специфическому модусу её существования в форме флуктуирующего моря виртуальных частиц. Надо сказать, что последовательная реляционная теория избегает прямого заимствования квантовополевых понятий наподобие вакуума. С другой стороны, некоторый реляционный аналог последнего всё же должен присутствовать в теории хотя бы в силу необходимости интерпретировать такие физические эффекты (традиционно связываемые с вакуумом), как спонтанное рождение пар, эффект Казимира, лэмбовский сдвиг, поляризация вакуума, эффект Унру, излучение Хокинга и т.д. Но тогда не исключено, что соответствующее реляционное описание «вакуумного» модуса материи приведет к представлению о таких специфических системах отношений в микромире, которые в макроскопическом пределе будут отвечать классическим вакуумным решениям ОТО.

## 5. Параллели

В заключительном разделе кратко затронем идейные параллели, которые имеет реляционный подход<sup>11</sup> с некоторыми существующими физическими теориями и представлениями.

С формальной точки зрения, реляционные мотивы можно усмотреть даже в рамках квантово-полевой парадигмы. Прежде всего, это преимущественный отход от координатного представления в пользу импульсного в задачах описания квантовых процессов рассеяния и расчете соответствующих сечений. Фейнмановская диаграммная техника может быть реинтерпретирована в реляционном духе, если, к примеру, характеристики вершин считать «элементами», а пропагаторы внутренних линий – родом «отношений» между ними. В этом случае дискретный граф, реализующий фейнмановскую диаграмму, можно интерпретировать как своеобразную систему отношений в импульсном пространстве, порождающую наблюдаемые характеристики сечений, минуя координатное представление. Подчеркнем, однако, что такая реляционная интерпретация является достаточно формальной, не устраняя присущие данной схеме расходимости, проистекаю-

---

<sup>11</sup> В этом пункте реляционный подход понимается в обобщенном смысле как методологическая установка на описание пространственно-временных характеристик физических систем, а также их взаимодействий на основе некоторых более первичных конструкций, отражающих наличие тех или иных классов отношений между отдельными элементами или подсистемами данных систем.

щие из неявной отсылки к существованию координатного пространства, концепции близкодействия и принципам локальных теорий поля.

Дальнейший уклон в сторону реляционных мотивов прослеживается в популярной в 60-х гг. прошлого века идее S-матричного подхода, в котором вся динамика квантовой системы заключена в отношении между её начальным и конечным состояниями на бесконечности, осуществляемом посредством матрицы рассеяния. Элементы данного подхода частично наследуются в реляционной теории пространства-времени [7], где одна из возможных трактовок множеств  $M$  и  $N$  бинарной системы комплексных отношений состоит в придании им смысла множеств  $in$ - и  $out$ -состояний квантовой системы, в то время как совокупность парных отношений между элементами этих множеств призвана описывать соответствующие S-матричные амплитуды переходов.

К идеям, имеющим несомненное реляционное звучание, следует отнести известный принцип Маха, в обобщенном смысле понимаемый как обусловленность локальных свойств физических систем влиянием их глобального окружения, а также идею А.Д. Сахарова о вторичной (индуцированной) природе гравитации. Данные идеи получили свое отражение в рамках обобщенной трактовки гравитации и электромагнетизма на основе теории унарных систем отношений в работе [10].

Идеологически близко к реляционному подходу стоит твисторная программа Пенроуза, также изначально нацеленная на описание структуры пространства-времени, исходя из некоторых первичных математических конструкций твисторной алгебры. Следует отметить, что пространство твисторов с группой  $SU(2,2)$  является частным случаем конструкции финслеровых 4-спиноров [15], порожденных бинарной системой комплексных отношений ранга (5,5) с определенным усеченным подклассом групповых преобразований.

Следует также упомянуть концепцию причинностных множеств (causal sets), в рамках которых пространство-время мыслится как структура частичного порядка, порождаемого отношением причинной связности на дискретных подмножествах событий [17]. В близком к этому направлении лежат работы А. Круглого по динамике дискретных пространственно-временных графов [21].

Среди отечественных исследователей, работающих в русле реляционной парадигмы, упомянем также статистический подход В. Аристова.

Весьма сильное созвучие с принципами реляционной теории пространства-времени обнаруживается в так называемой «механике инвариантности» (Invariance mechanics) [18], суть которой состоит в требовании записи всех физических законов (в частности, соотношений квантовой теории поля, включая амплитуды рассеяния, функции Грина и т.д.), в терминах некоторого конечного набора релятивистских инвариантов, составленных из пространственно-временных или импульсных характеристик взаимодействующих частиц. Как частный случай здесь используется рассмотренная ранее

геометрия расстояний и конструкции определителей Кэли–Менгера, которым придается смысл объемов некоторых симплексов, участвующих в расчете амплитуд рассеяния или в формировании ячеек микроскопической дискретной структуры пространства-времени.

Геометрическая трактовка амплитуд рассеяния как своеобразных объемов в некоторых абстрактных пространствах нашла также свое отражение в относительно недавнем подходе к расчетам процессов в суперсимметричных теориях Янга–Миллса (см. [19]), где для вычисления искомой амплитуды вводится некоторый геометрический объект под названием «амплитуэдр» (Amplituhedron), определяемый в терминах абстрактных грассмановых многообразий. Существенным звеном при этом является использование теории твисторов.

Наиболее масштабная программа по построению фоново-независимой фундаментальной теории разворачивается в последние годы в рамках направления петлевой квантовой гравитации («Loop Quantum Gravity», К. Ровелли, Ли Смолин и др.). В деталях данная теория весьма сложна, однако в ее основе лежит достаточно близкая к реляционному подходу идея, согласно которой гладкое макроскопическое пространство-время есть усредненный предел некоторой первичной порождающей конструкции, представляющей собой дискретный граф на планковских масштабах. Конкретной реализацией такой конструкции является так называемая спиновая сеть (происхождение термина приписывается Р. Пенроузу), определяющая квантовые состояния 3-мерного пространства. В рамках данной конструкции производится квантование площадей и объемов. Реляционная аналогия здесь состоит также в ориентации теории на анализ алгебраических и комбинаторных связей, формирующих структуру эволюционирующей спиновой сети.

В заключение отметим примечательный факт, что один из авторов петлевой квантовой гравитации К. Ровелли является также создателем реляционной интерпретации квантовой механики (Relational quantum mechanics) [20], в рамках которой он в полном соответствии с духом реляционного подхода прямо утверждает: «Квантовая теория – это теория, отвечающая описанию одних физических систем в их отношении к другим системам, и это есть полное описание мира»<sup>12</sup>.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Блохинцев Д.И. Пространство и время в микромире. – М.: Наука, 1982.
2. Берестецкий В. Б., Лифшиц Е. М., Питаевский Л. П. Теоретическая физика. IV. Квантовая электродинамика. – М.: Наука, 1974.
3. Chew G. F. The dubious role of the space-time continuum in microscopic physics // Science Progress. – 1963. – Vol. LI. – No. 204. – P. 529–539.
4. Боголюбов Н. Н., Ширков Д. В. Квантовые поля. – М.: Физматлит, 2005.

---

<sup>12</sup> Оригинал: «Quantum mechanics is a theory about the physical description of physical systems relative to other systems, and this is a complete description of the world».

5. *Wheeler J.A., Feynmann R.P.* Classical electrodynamics in terms of direct interparticle action // *Rev. Mod. Phys.* – 1949. – V. 24. – P. 425–433.
6. *Wheeler J.A., Feynmann R.P.* Interaction with the absorber as the mechanism of radiation // *Rev. Mod. Phys.* – 1945. – V. 17. – P. 157–181.
7. *Владимиров Ю.С.* Основания физики – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008.
8. *Грановский Я.И., Пантюшин А.А.* К релятивистской теории тяготения // *Изв. АН Каз. ССР, сер. физ.-мат.* – 1965. – No. 2. – С. 65–69.
9. *Владимиров Ю.С., Турыгин А.Ю.* Теория прямого межчастичного взаимодействия. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
10. *Vladimirov Yu.S.* Gravitational Interaction in the Relational Approach // *Grav. Cosmol.* – 2008. – Vol. 14. – P. 41–52.
11. *Bolokhov S.V., Klenitsky A.N.* On the Construction of Effective Metrics in a Relational Model of Space-Time // *Grav. Cosmol.* – 2013. – Vol. 19. – P. 35–41.
12. *Михайличенко Г.Г.* Математический аппарат теории физических структур. – Изд-во Горноалтайского гос. ун-та, 1997.
13. *Blumenthal L.M.* Theory and Applications of Distance Geometry. – Oxford: Clarendon Press, 1953.
14. *Bolokhov S.V.* On the Description of Lorentz Reference Frames in a Relational Model of Space-Time // *Grav. Cosmol.* – 2009. – V. 15. – P. 28–31.
15. *Solov'yov A.V., Vladimirov Yu.S.* Finslerian N-Spinors: Algebra // *Int. J. Theor. Phys.* – 2001. – V. 40(8). – P. 1511–1523.
16. *Владимиров Ю.С.* Реляционная теория пространства-времени и взаимодействий. – Ч. 2: Теория физических взаимодействий. – М.: МГУ, 1998.
17. *Bombelli L., Lee J., Meyer D., Sorkin R.D.* Spacetime as a causal set // *Phys. Rev. Lett.* 59: 521-524 (1987)
18. *Bird P.* Invariance Mechanics – a new direction for quantum gravity. URL: arXiv:0705.2558v2.
19. *Arkani-Hamed et al.* Scattering Amplitudes and the Positive Grassmannian. URL: arXiv 1212.5605.
20. *Rovelli C.* Relational quantum mechanics // *Int. J. Theor. Phys.* – 1996. – V. 35. – No. 8. – P. 1637–1678.
21. *Круглый А.Л.* Модель динамики дискретного пространства-времени. – М.: Монолог, 2000.

## SOME ASPECTS OF THE RELATIONAL APPROACH TO PHYSICS

S.V. Bolokhov

The article describes a number of aspects of the relational approach to the construction of the theory of space-time and physical interactions. Some issues related to the interpretation of the basic concepts and prerequisites of this approach is discussed. A brief overview of the results and possible further prospects of the relational theory is given. Carried out a number of parallels and analogies with other existing approaches.

**Key words:** relational approach, space-time, gravity, the fundamental interactions.

---

## РЕЛЯЦИОННАЯ ФИЗИКА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ МЕТАФИЗИКИ

А.Г. Жилкин

*Институт астрономии РАН*

На основе соображений метафизического характера проводится сравнительный анализ основных парадигм теоретической физики. Особое внимание уделено дуалистическим парадигмам, реализованным в общей теории относительности и квантовой теории. Обращается внимание на необходимость развития третьей дуалистической парадигмы, соответствующей реляционной теории. Обсуждаются возможные следствия, вытекающие из реляционной физики.

**Ключевые слова:** общая теория относительности, квантовая теория, реляционная теория, пространство-время, взаимодействия.

### Введение

Основу современной теоретической физики составляют *общая теория относительности* и *квантовая теория*. Они почти одновременно появились на свет в начале XX в. и существенно изменили сложившиеся к тому времени и казавшиеся незыблемыми классические представления о Природе. Дальнейшее развитие этих двух теорий позволило уточнить их основополагающие принципы, разработать математический аппарат и провести сравнение с экспериментом. В настоящее время эти теории представляют собой мощные инструменты для познания мира и описания наблюдаемой физической реальности.

Однако не следует забывать, что, несмотря на свою фундаментальность, внутреннюю красоту и совершенство математического аппарата, каждая из этих теорий описывает физическую реальность лишь частично. Действительно общая теория относительности представляет собой теорию гравитационного взаимодействия и описывает явления на больших и очень больших (вплоть до космологических) масштабах. Квантовая теория, напротив, описывает явления на малых масштабах, происходящие в микромире.

Следующий шаг в развитии современной теоретической физики, как правило, связывают с объединением этих двух теорий. Это можно делать в двух направлениях. Геометрический подход подразумевает определенное расширение общей теории относительности с целью включения в нее квантовых эффектов. Эта идея так и не была реализована в полной мере. Квантовый подход подразумевает описание гравитационного поля на основе теории квантовых полей. В настоящее время наиболее перспективным направлением в этой связи считается разработка теории струн и мембран. Необходимо сказать, что на сегодняшний день теория струн еще далека от заверше-

ния, сталкивается с рядом трудностей и, кроме того, находит весомые возражения метафизического характера.

Анализ показывает, что глубокие противоречия между квантовой теорией и общей теорией относительности возникают из-за того, что эти теории опираются на принципиально различные метафизические парадигмы [1]. В некотором смысле эти парадигмы являются равноправными и не могут сводиться одна к другой. Поэтому для полноценного их объединения необходимо развить теорию, основанную на более общей метафизической парадигме. В качестве возможного кандидата на эту роль может претендовать *бинарная геометрофизика* [2]. С другой стороны, из этого же анализа следует, что наравне с квантовой теорией и общей теорией относительности должна существовать еще и третья теория, которая может соответствовать *реляционной физике* [3]. Она должна изучать свой круг явлений и представлять собой третий путь описания физической реальности.

В данной работе с метафизической точки зрения описываются идейные основания реляционной физики. Рассматриваются ее базовые категории и принципы. Проводится обсуждение возможных приложений этой теории.

### Базовые категории теоретической физики

Прежде всего, следует определить, что имеется в виду под понятием *парадигмы*. Под парадигмой будем понимать систему понятий, категорий и принципов, определяющих основания и характер физической теории [1]. Метафизически можно выделить три типа парадигм теоретической физики: *триалистические*, *дуалистические* и *монистические*, опирающиеся соответственно на три, две или одну категории. Дело в том, что в основе всей физики лежат три *базовые категории*: категория *частиц*, категория *пространства-времени* и категория *поля*. В этом проявляется универсальный метафизический принцип троичности теоретической физики. Причина этого, по видимому, в следующем. Непосредственной задачей физики является описание эволюции (динамики) систем. Однако трех категорий уже оказывается достаточно, чтобы на примитивном уровне в рамках классических представлений описать взаимодействие. А учет взаимодействия необходим для описания динамики физической системы.

Выделенные базовые категории являются тремя элементами классической схемы взаимодействия. Категория частиц относится к вопросу ЧТО взаимодействует. Категория пространства-времени относится к вопросу ГДЕ и КОГДА происходит взаимодействие. Наконец, категория поля относится к вопросу ПОСРЕДСТВОМ ЧЕГО (или из-за чего) происходит взаимодействие. По сути, пространство-время представляет собой *субъект* взаимодействия, поскольку оно является фоном (или ареной), на котором происходит взаимодействие. Частицы представляют собой *объект* взаимодействия, поскольку они являются источниками и приемниками любого взаимодействия. Поле выступает в качестве *коммуникатора* или проводника взаимодействия,

передавая его от одной частицы к другой. С точки зрения метафизики категория частиц соответствует материальному началу (*материи*), категория пространства-времени соответствует идеальному началу (*сознанию*), а категория поля соответствует духовному началу (*духу*). Каждая парадигма теоретической физики по-своему выделяет первичные категории и определяет их взаимосвязь.

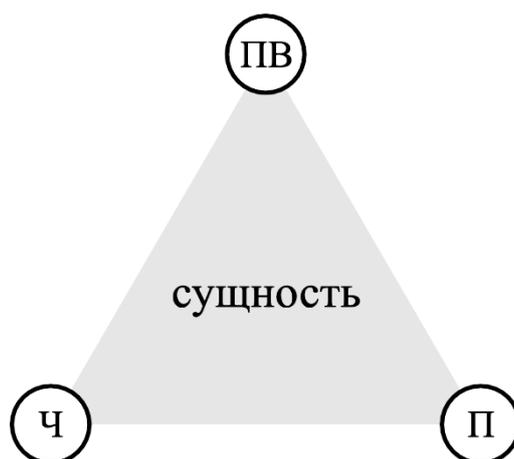


Рис. 1. Схематическое изображение трех базовых категорий теоретической физики. Обозначения: ПВ – пространство-время, Ч – частицы, П – поле

В триалистических парадигмах эти три базовые категории выступают в качестве отдельных и самостоятельных элементов. Эту ситуацию можно наглядно изобразить в виде метафизического треугольника<sup>1</sup>, показанного на рис. 1. Вершины этого треугольника описывают три базовые категории, а его закрашенная внутренняя часть символизирует физическую реальность – *сущность*. Несмотря на такую компактную схему, базовые категории и сущность разделяет огромное расстояние. Триалистическая парадигма соответствует принципу полного *редукционизма*. В рамках этого принципа лежащее в основе мироздания единое первоначало расщепляется на отдельные части, принимаемые в теории в качестве первичных элементов. В противоположном пределе монистической парадигмы используется принцип полного *холизма*, когда физическая реальность описывается в терминах самой сущности. Все развитие теоретической физики исторически связано с постепенным переходом от триалистических парадигм к монистической парадигме, основанной на одной обобщенной категории. Промежуточным этапом на этом пути явилось создание дуалистических теорий, к которым относятся общая теория относительности и квантовая теория.

В триалистических парадигмах теория описывает физическую реальность как бы со стороны одной из вершин метафизического треугольника.

<sup>1</sup> В книге Владимирова «Метафизика» [1] для анализа парадигм используется трехмерное представление в виде куба физической реальности. В данной работе для этих целей более подходящей и наглядной, по мнению автора, является треугольная схема.

Поскольку имеется всего три вершины, таких парадигм получается тоже три.

Взгляду на физическую реальность со стороны вершины, описывающей категорию частиц (нижняя левая вершина), соответствует механика Ньютона. Действительно, главной задачей механики является исследование движения частиц в пространстве-времени за счет действия на них внешних сил. Эта теория является, по-видимому, наиболее ярким примером реализации триалистической парадигмы. Как известно, основное динамическое уравнение, лежащее в основе механики (второй закон Ньютона), имеет вид

$$ma = F. \quad (1)$$

Уже сам вид этого уравнения полностью отражает данную парадигму. Действительно, масса  $m$  относится к категории частиц (или тел), ускорение  $a$  относится к категории пространства-времени, а сила  $F$  относится к категории поля. Таким образом, в этом уравнении явно присутствуют величины, относящиеся ко всем трем базовым категориям. Обобщение классической механики на релятивистский случай не меняет сути дела.

Взгляду на физическую реальность со стороны вершины, описывающей категорию поля (правая нижняя вершина), соответствует классическая теория поля. Главной задачей здесь является исследование динамики поля в пространстве-времени за счет внешних источников, обусловленных частицами. Примером такого подхода является теория Максвелла. Нетрудно убедиться, что в этой теории также присутствуют все три базовые категории. Электромагнитное поле распределено в пространстве-времени, а заряженные частицы являются его источником и определяют его динамику. Все три базовые категории в теории Максвелла выступают как самостоятельные и независимые. Основное динамическое уравнение (вторая пара уравнений Максвелла) может быть записано в виде [4]:

$$\nabla_{\alpha} F^{\alpha\mu} = \frac{4\pi}{c} j^{\mu}. \quad (2)$$

Здесь  $c$  – скорость света, тензор  $F^{\mu\nu}$  описывает напряженность электромагнитного поля и относится к категории поля, вектор  $j^{\mu}$  описывает распределение зарядов и токов и относится к категории частиц. Наконец, категория пространства-времени в уравнении (2) проявляется через операторы дифференцирования, а также определяет характер распределения поля и токов.

Взгляд на физическую реальность со стороны вершины, описывающей оставшуюся третью категорию (верхняя вершина), соответствует теории, главной задачей которой является изучение геометрии физического пространства-времени. Примером такого подхода может служить специальная теория относительности [5]. В этой теории считается, что все физические явления происходят в едином четырехмерном пространстве-времени, гео-

метрика которого является псевдоевклидовой. При этом структура пространства-времени изучается с точки зрения именно физики. Практически все результаты специальной теории относительности являются следствием основного соотношения, выражающего квадрат интервала между двумя бесконечно близкими событиями [4, 5]:

$$ds^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu. \quad (3)$$

Здесь базовая категория пространства-времени проявляется в координатах  $x^\mu$ , которые используются для арифметизации событий. Категория частиц проявляется через интервал  $ds$  между событиями, поскольку любые события в конечном счете происходят с частицами. Категорию поля можно усмотреть в тензоре  $g_{\mu\nu}$ , описывающем метрику пространства-времени и в общем случае (в неинерциальных системах отсчета), зависящем от координат  $x^\mu$ . Кроме того, можно изучать распределение (кинематику) в пространстве-времени и любых других полей, характеризующихся векторными, тензорными или даже спинорными величинами.

### Дуалистическая парадигма

Следующий более глубокий уровень описания физической реальности предполагает, что базовые категории частиц, пространства-времени и поля уже не являются отдельными и независимыми. В процессе эволюции (движения) какой-либо системы происходит их тесное взаимодействие, приводящее к тому, что они уже не могут существовать сами по себе и независимо друг от друга. Для описания взаимодействия базовых категорий и их взаимопроникновения друг в друга необходимо привлечь более глубокие и сложные понятия, основанные на соответствующих *сверхкатегориях*.

В дуалистической парадигме для построения физической теории необходимо опереться уже не на три, а всего лишь на две категории [1]. С точки зрения логики этого можно добиться несколькими способами. В результате дуалистические парадигмы можно разбить на три типа: *генерирующие*, *объединительные* и *одинарные* [6]. В генерирующих парадигмах за основу берутся две из базовых категорий, а третья базовая категория выводится из них как вторичная. В объединительных парадигмах из двух базовых категорий строится одна обобщенная сверхкатегория, а третья базовая категория остается самостоятельной и независимой. В одинарных парадигмах за основу берется одна обобщенная категория, сформированная из двух базовых категорий, а третья базовая категория выводится как вторичная. Строго говоря, одинарная парадигма является промежуточной на пути к монистической парадигме. Практика показала (по крайней мере, это справедливо в отношении теоретической физики), что наиболее успешными оказались дуалистические теории, построенные в рамках объединительных парадигм. Общая теория относительности и квантовая теория относятся как раз к это-

му типу физических теорий. Поэтому в дальнейшем основное внимание в данной работе будет сосредоточено на анализе именно объединительных дуалистических парадигм теоретической физики.

В объединительных дуалистических парадигмах существенным образом используется понятие сверхкатегории, которая объединяет в себе две базовые категории триалистической парадигмы. Соотношение между категорией и сверхкатегорией с точки зрения логики точно такое же, как соотношение между объектом и *сверхобъектом* [7]. Напомним, что подразумевается под этим понятием. Данный объект является сверхобъектом по отношению к некоторому исходному объекту, если и только если этот объект содержит в себе в снятом виде все основные (определяющие) признаки исходного объекта. Сверхобъект имеет *базисную* и *надстроечную* части. Базисная часть сверхобъекта содержит или наследует определяющие признаки исходного объекта. Надстроечная часть содержит качественно новые признаки, отсутствующие у исходного объекта. Сверхобъект может выполнять все функции объекта и фактически полностью его заменить. Исходный же объект не может заменить сверхобъект, поскольку некоторые из его функций он выполнить не может.

С одной стороны, сверхобъект является более элементарной сущностью по сравнению с исходным объектом, поскольку этот объект не сводится к сверхобъекту. Это означает, что ни один исходный объект и ни какая-либо их простая (аддитивная) совокупность не может являться сверхобъектом. Однако сверхобъект содержит исходный объект в снятом виде, то есть в некотором пределе сводится к исходному объекту. С другой стороны, сверхобъект по определению является более сложной сущностью, чем исходный объект, поскольку в нем присутствуют качественно новые признаки (свойства), связанные с надстроечной частью.



Рис. 2. Схематическая структура сверхкатегории в объединительной дуалистической парадигме

В объединительных дуалистических парадигмах понятие сверхкатегории строится на основе соответствующей исходной базовой категории именно как сверхобъект. Однако эти сверхкатегории имеют еще одно интегральное свойство (см. рис. 2). Дело в том, что они строятся на основе не одной, а двух базовых категорий. При этом базисом является только одна из

них. В эту базовую категорию данная сверхкатегория переходит в случае отсутствия надстройки. Вторая же базовая категория является *пределом*, в который сверхкатегория переходит в некотором нетривиальном приближении.

Построение любой дуалистической теории (особенно это касается объединительной парадигмы) связано с необходимостью ответить на следующие принципиальные вопросы [1].

1) Имеется ли в данной теории фон, на котором осуществляются взаимодействия? Если такой фон есть, то тогда что он собой представляет? Этот вопрос касается природы пространства-времени.

2) Между чем и чем имеют место взаимодействия? Какие материальные объекты участвуют во взаимодействии? Этот вопрос касается природы частиц.

3) Каким образом передаются взаимодействия? Имеются ли в теории какие-либо переносчики взаимодействия? Этот вопрос касается природы полей.

Содержание любой дуалистической теории в конечном итоге определяется тем, как в ней даются ответы на эти вопросы. На основе этих ответов строятся и соответствующие сверхкатегории. Опишем кратко, какие ответы на них даются в рамках геометрической и квантовой парадигм.

### Геометрофизика

В рамках объединительной геометрической парадигмы из категорий пространства-времени и поля строится сверхкатегория *искривленного пространства-времени*. Вторая базовая категория частиц остается при этом самостоятельной и независимой. Фактически эта базовая категория просто берется из классической теории поля. Таким образом, в этом подходе для построения теории используются только две категории: категория частиц и категория искривленного пространства-времени. Схематически эта ситуация показана на диаграмме рис. 3, а. Первоначально эта идея была реализована в общей теории относительности для описания только гравитационного поля [4; 8]. Однако в более поздних работах было показано, что этот подход можно обобщить и на случай других типов взаимодействий: электромагнитного, слабого и сильного [9]. Для этого необходимо должным образом увеличить размерность пространства-времени и сделать высшие измерения компактифицированными с достаточно малым пространственным масштабом компактификации. Эта идея реализована в теориях типа Калуцы–Клейна и в настоящее время активно используется, например, в теории струн [10].

Рассмотрим более детально структуру сверхкатегории искривленного пространства-времени. По сути, эта категория является сверхобъектом по отношению к базовой категории пространства-времени. Пространство-время при этом является базисом, а надстройкой является качественно новое свойство кривизны, отсутствующее в базовой категории. В качестве предела для

этой сверхкатегории выступает базовая категория поля. Действительно, в случае очень слабой кривизны искривленное пространство-время проявляет себя так, как будто бы в плоском пространстве-времени присутствует классическое гравитационное (или какое-либо иное) поле.

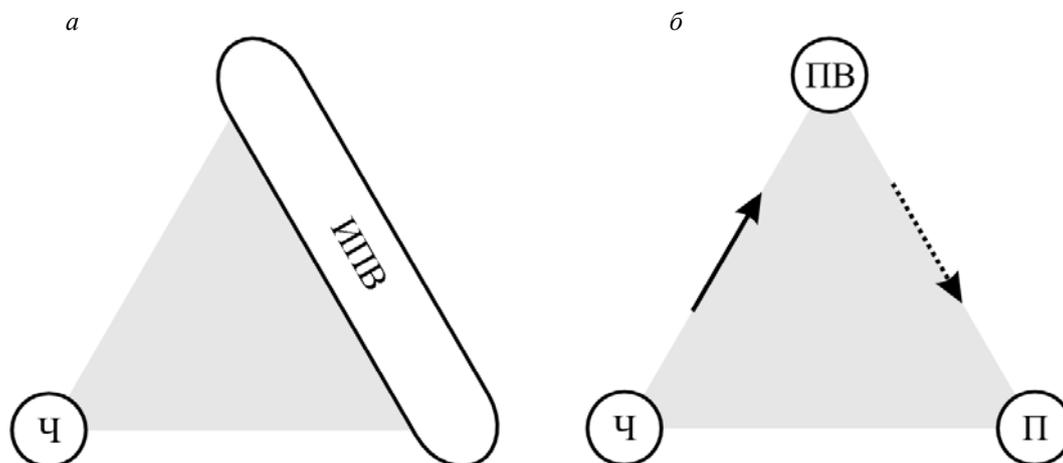


Рис. 3. Схематическое изображение двух базовых категорий геометрофизики – частиц (Ч) и искривленного пространства-времени (ИПВ) (а).

Схема, поясняющая основной динамический принцип геометрофизики (б)  
Сплошной стрелкой показано направление воздействия, пунктирной стрелкой  
показано направление реакции

Как уже указывалось выше, этот подход был успешно реализован в общей теории относительности. Роль основного динамического уравнения здесь играют уравнения Эйнштейна, которые можно записать в виде [4]

$$G_{\mu\nu} = \kappa T_{\mu\nu}. \quad (4)$$

В этих уравнениях тензор Эйнштейна  $G_{\mu\nu}$ , стоящий в левой части, характеризует искривленное пространство-время и непосредственно выражается через компоненты тензора кривизны. Стоящий в правой части тензор энергии-импульса  $T_{\mu\nu}$  характеризует частицы<sup>2</sup>. Величина  $\kappa$  (постоянная Эйнштейна) играет роль константы связи. Она не является существенной, поскольку всегда можно выбрать такую систему единиц, в которой будет  $\kappa = 1$ . В системе единиц СГС величина  $\kappa = 8\pi G/c^4$ , где  $G$  – гравитационная постоянная.

Уравнения Эйнштейна (4) имеют простой физический смысл: источником гравитационного поля является энергия-импульс материи. Заданное распределение в пространстве-времени тензора энергии-импульса приводит к вполне определенной конфигурации гравитационного поля, которая опи-

<sup>2</sup> В более общем случае тензор  $T_{\mu\nu}$  кроме частиц может включать и другие источники гравитационного поля. В частности, он может включать тензор энергии-импульса электромагнитного поля.

сывается этими уравнениями. Таким образом, можно сказать, что в общей теории относительности активным началом выступает базовая категория частиц. Вторая базовая категория искривленного пространства-времени является пассивным началом. С этой точки зрения суть уравнений Эйнштейна заключается в следующем: частицы воздействуют на пространство-время, оно искривляется, и в нем начинают проявляться свойства полей. Эта ситуация схематически изображена на диаграмме рис. 3, б. Сплошной стрелкой показано направление воздействия со стороны частиц на пространство-время. В результате этого воздействия как бы возникает отклик (реакция) с его стороны. Направление этого отклика показано пунктирной стрелкой. Пространство-время искривляется и возникает иллюзия поля. Иллюзия в том смысле, что интенсивность поля определяется лишь степенью кривизны пространства-времени. То есть, на самом деле, никакого поля при этом нет. Этот вывод непосредственно подтверждается и с точки зрения *принципа эквивалентности* [4; 8], лежащего в основе общей теории относительности. Из него, в частности, следует, что локально (в малой окрестности данной точки) всегда можно избавиться от гравитационного поля, перейдя в соответствующую систему отсчета.

Следует отметить, что в метафизическом смысле геометрофизика соответствует взгляду на физическую реальность с точки зрения правой стороны треугольника, показанного на рис. 1. Действительно, в этой теории основной задачей является исследование структуры искривленного пространства-времени (динамики геометрии), которая определяется распределением частиц. Поэтому в некотором смысле, можно сказать, что общая теория относительности является метафизической противоположностью механики.

### Квантовая физика

В объединительной квантовой парадигме из категорий поля и частиц строится сверхкатегория *квантового поля*. Оставшаяся базовая категория пространства-времени является при этом самостоятельной и независимой. Как и в геометрофизике, эта базовая категория просто переносится из классической теории. Таким образом, в этом подходе для построения теории также используются только две категории: категория пространства-времени и сверхкатегория квантового поля. Схематически эта ситуация показана на диаграмме рис. 4, а. Эта идея широко представлена во всей квантовой физике от нерелятивистской квантовой механики до супергравитации и теории струн [11–16; 10]. В настоящее время квантовая теория используется для описания всех известных взаимодействий за исключением гравитационного. Для описания гравитационного взаимодействия привлекаются идеи из суперсимметрии [15; 16] и теории струн [10].

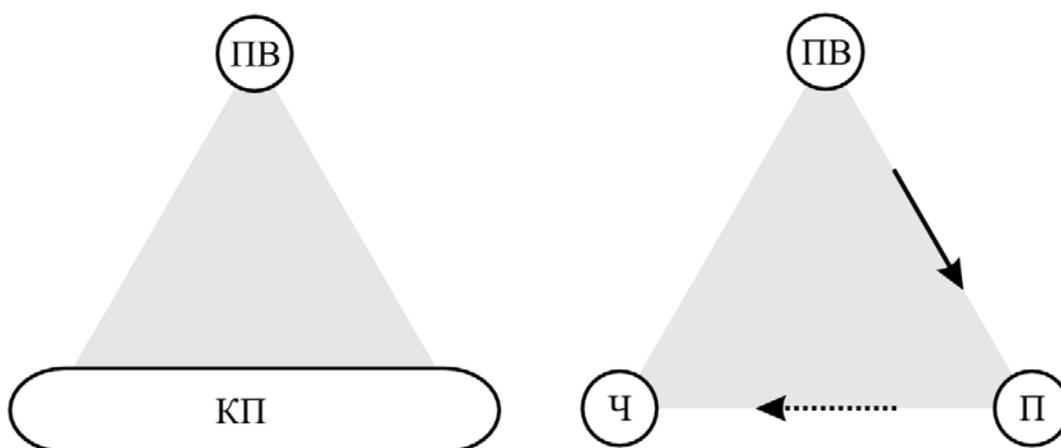


Рис. 4. Схематическое изображение двух базовых категорий квантовой физики – пространства-времени (ПВ) и квантового поля (КП) (а).

Схема, поясняющая основной динамический принцип квантовой физики (б)

Сплошной стрелкой показано направление воздействия,  
пунктирной стрелкой – направление реакции

Категория квантового поля является сверхобъектом по отношению к базовой категории поля. Поле является базисом, а надстройкой является качественно новое свойство возбуждения (или квантованности), которое отсутствует в базовой категории. Квантованность означает, что, несмотря на непрерывный характер поля, в нем начинают проявляться свойства дискретности. Это позволяет трактовать кванты поля как частицы. Поэтому в качестве предела для этой сверхкатегории выступает базовая категория частиц. В случае очень массивных квантов квантовое поле проявляет себя в виде классической частицы, движущейся по классической траектории.

Принципы квантовой теории, ее математический аппарат, а также многочисленные приложения широко представлены в литературе (см., например: [11–14]). В квантовой теории считается, что состояние любой квантовой системы (квантового поля) описывается элементами (векторами)  $|\psi\rangle$  комплексного гильбертова пространства<sup>3</sup>. При этом различают два типа эволюции квантовой системы. Эволюция квантовой системы между процессами измерения описывается уравнением

$$|\psi\rangle = \hat{U}|\varphi\rangle. \quad (5)$$

Здесь векторы  $|\varphi\rangle$  и  $|\psi\rangle$  соответствуют начальному и конечному состояниям системы, а  $\hat{U}$  – унитарный оператор, переводящий начальное состояние в конечное. Из условия унитарности оператора  $\hat{U}$  следует, что в процессе движения квантовой системы будет сохраняться длина вектора со-

<sup>3</sup> Строго говоря, векторы, отличающиеся друг от друга множителем, модуль которого равен единице, соответствуют одному и тому же квантовому состоянию.

стояния. В частности, будут равны длины векторов начального и конечного состояний,  $\langle \varphi | \varphi \rangle = \langle \psi | \psi \rangle$ . Это означает, что эволюция квантовой системы между измерениями сопровождается непрерывным поворотом вектора состояния в гильбертовом пространстве. Рассматривая бесконечно малый поворот, из уравнения (5) можно получить известное уравнение Шредингера.

Совершенно по-другому квантовая система ведет себя в процессе измерения. В квантовой физике процесс измерения трактуется как процесс взаимодействия квантовой системы с классическим объектом – *макроприбором*. В результате такого взаимодействия квантовая система случайным образом переходит в некоторое новое состояние в зависимости от свойств макроприбора. При этом новое состояние определяется тем, какая физическая величина измеряется. Это явление получило название *квантовой редукции*. Можно сказать, что эволюция квантовой системы в процессе измерения определяется некоторым неунитарным оператором  $\hat{R}$ ,

$$|\psi\rangle = \hat{R}|\varphi\rangle. \quad (6)$$

На самом деле, с точки зрения метафизики, именно это уравнение, а не уравнение Шредингера является основным динамическим уравнением квантовой физики. Это связано с тем, что все специфические свойства квантовых систем обусловлены именно этим явлением. Весь необычный, с точки зрения классической физики, математический аппарат квантовой физики потребовался только затем, чтобы учесть явление квантовой редукции. Уравнение же (5), описывающее унитарную эволюцию, является лишь простой перезаписью в квантовых терминах классических уравнений движения в гамильтоновом формализме.

Природа квантовой редукции до конца остается неясной. В настоящее время известен целый ряд интерпретаций квантовой физики, основанных на различных трактовках этого явления [1, 17, 18]. В частности, можно отметить такие интерпретации, как копенгагенская, статистическая, многомировая и др. Следует подчеркнуть, что в рамках самой квантовой теории невозможно сказать, какая из этих интерпретаций является правильной, поскольку природа квантовой редукции не может быть понята в рамках самой квантовой теории. Для этого необходимо, так или иначе, выйти за пределы квантовой физики. В связи с этим отметим, что с точки зрения бинарной геометрофизики, наиболее правильной является копенгагенская интерпретация явления квантовой редукции [2], хотя в ряде аспектов можно найти определенные соответствия и с другими интерпретациями.

Квантовые уравнения движения (5) и (6) имеют простой физический смысл: источником частиц является пространство-время. Объясним, что это означает. Свойства пространства-времени, в котором находится квантовая система, определяются свойствами макроприбора. Пространство-время, в котором находится квантовая система, формируется одновременно с процессом воздействия на нее макроприбора. В результате такого воздействия квантовое поле возбуждается, и в нем начинают проявляться свойства частиц (квантов). Эта ситуация схематически изображена на диаграмме

рис. 4, б. Таким образом, можно сказать, что в квантовой теории (как это ни странно может звучать) активным началом выступает базовая категория пространства-времени. Вторая базовая категория квантового поля является пассивным началом. Сплошной стрелкой на рисунке показано направление воздействия со стороны пространства-времени (через макроприбор) на поле. В результате этого воздействия как бы возникает отклик (реакция) с его стороны. Направление этого отклика показано пунктирной стрелкой. Поле возбуждается, в нем появляются кванты, и возникает иллюзия частиц. Иллюзия снова в том смысле, что число частиц и их свойства определяются лишь степенью возбуждения и типом квантового поля. То есть, на самом деле, никаких частиц при этом нет. Этот вывод, в частности, подтверждается и *корпускулярно-волновым дуализмом* квантовых частиц. Согласно одним экспериментам кванты поля ведут себя как точечные частицы, а по результатам других экспериментов они ведут себя подобно волнам. В строгом смысле о классических частицах можно говорить лишь в некотором предельном случае редукции квантового поля.

В метафизическом смысле квантовая физика соответствует взгляду на физическую реальность с точки зрения нижней стороны треугольника (см. рис. 1). Действительно, в этой теории основной задачей является исследование динамики квантовых полей, которая фактически определяется структурой пространства-времени. Поэтому в некотором смысле получается, что квантовая теория является метафизической противоположностью специальной теории относительности.

### Реляционная физика

Обратимся еще раз к схематическому представлению базовых категорий, показанных на рис. 1. Анализируя этот рисунок, нетрудно видеть, что геометрическая и квантовая парадигмы не являются единственно возможными дуалистическими парадигмами. Должна существовать еще и третья дуалистическая парадигма. Она соответствует реляционной физике, которая берет свое начало с работ Лейбница и Маха. Следует сказать, что к настоящему времени на этом пути получены лишь частные результаты, а полноценная теория отсутствует. Однако потенциал, заложенный в реляционной физике, огромен и не уступает потенциалам геометрофизики и квантовой физики. У реляционной физики (как и у геометрофизики и квантовой физики) имеется своя область применимости и свои специфические задачи. Попробуем проанализировать эти вопросы с точки зрения рассматриваемой метафизической схемы.

Попытка реализации этой идеи была предпринята в теории *прямого межчастичного взаимодействия*. Первоначально это направление развивалось для описания электромагнитного взаимодействия. В основе этого подхода лежит вариационный принцип Фоккера для двух заряженных частиц. Однако этот принцип подразумевает, что взаимодействие двух частиц описывается как запаздывающими, так и опережающими потенциалами. Для

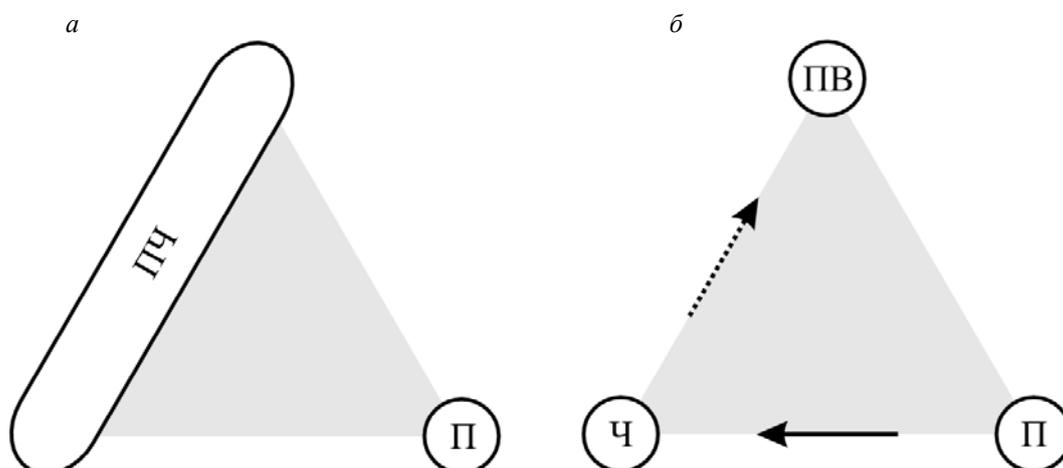
исключения ненаблюдаемых на практике опережающих потенциалов Фейнман и Уилер разработали теорию поглотителя. С точки зрения этой теории, взаимодействие двух частиц нельзя рассматривать в отдельности. Необходимо учитывать все частицы окружающего мира, которые вносят вполне определенный вклад. Позже подобным образом удалось описать и гравитационное взаимодействие [2]. Следует отметить, что развитие этих идей и попытка перенести их в квантовую физику привели Фейнмана к созданию формализма континуального интеграла (суммирования по историям) [19]. Этот формализм сейчас активно используется в различных разделах современной квантовой теории поля [14].

Нетрудно видеть, что теория прямого межчастичного взаимодействия не основана на объединительной дуалистической парадигме. Она опирается на две категории, которые другим способом (не так, как в объединительной парадигме) строятся из базовых категорий. По сути, она представляет собой простую перезапись известных уравнений и соотношений классической электродинамики и общей теории относительности в терминах парных отношений. Никаких принципиально новых теоретических результатов и предсказаний для эксперимента она не дает. Поэтому эта теория не может быть полноценной реляционной теорией. Последовательная реляционная теория должна строиться по тем же самым метафизическим принципам, что и общая теория относительности и квантовая теория. Следует ожидать, что именно объединительная реляционная парадигма окажется такой же успешной и плодотворной, как и в случае геометрической и квантовой парадигм [3]. В настоящее время такая теория совершенно отсутствует.

Сделаем попытку взглянуть на эту проблему с метафизической точки зрения. В объединительной реляционной парадигме из базовых категорий частиц и пространства-времени необходимо построить некоторую новую сверхкатегорию. Базовая категория поля должна остаться при этом самостоятельной и независимой. Можно предположить, что, как и в двух других известных дуалистических теориях, эта базовая категория просто переносится из классической теории. Хотя, возможно, ее необходимо будет определенным способом приспособить для описания в реляционных терминах. Таким образом, в этом подходе для построения теории также используются только две категории: категория поля и некоторая сверхкатегория, объединяющая в себе базовые категории частиц и пространства-времени. Схематически эта ситуация показана на диаграмме рис. 5, а. В качестве сверхкатегории, возможно, следует рассматривать *перепутанные частицы* (ПЧ)<sup>4</sup>. Такой вывод можно подтвердить следующими соображениями. Взаимодействия

<sup>4</sup> Название для этой категории выбрано по аналогии с названиями двух других обобщенных дуалистических категорий (искривленное пространство-время и квантовое поле). Они формируются в виде прилагательного и названия соответствующей базовой триалистической категории. При этом прилагательное отражает новое качественное свойство, появляющееся у этой категории. В случае реляционной физики подходящими названиями для сверхкатегории, объединяющей в себе категории частиц и пространства-времени, могут быть «перепутанные частицы», «связанные частицы» и т.п.

между частицами порождают события, которые трактуются не с геометрической, а с физической точки зрения. Это означает, что в конечном счете все такие события обусловлены элементарными актами взаимодействия. С квантовой точки зрения, каждое событие связано с актом поглощения или излучения какой-либо частицей другой частицы – переносчика взаимодействия. В реляционной теории, конечно, никаких переносчиков взаимодействия нет. И эти элементарные акты должны трактоваться некоторым иным, неизвестным пока образом. В промежутках между событиями мы не можем говорить ни о частицах, ни о пространстве-времени. Частицы и поле как бы проявляют себя исключительно в самих этих событиях. Поэтому весь мир оказывается состоящим только из точечных событий.



**Рис. 5. Схематическое изображение двух базовых категорий реляционной физики – поля (П) и перепутанных частиц (ПЧ) (а). Схема, поясняющая основной динамический принцип реляционной физики (б)**  
 Сплошной стрелкой показано направление воздействия,  
 пунктирной стрелкой – направление реакции

Поскольку движения отдельных частиц, если так можно выразиться, носят дискретный характер, то возникает ситуация, аналогичная системе квантовых тождественных частиц. В квантовой механике тождественные частицы из-за принципа неопределенности оказываются принципиально неразличимыми (см., например, [11]). Поэтому проследить движение отдельной частицы в системе тождественных частиц оказывается невозможным. В результате систему квантовых тождественных частиц приходится описывать как единое целое. В реляционной физике из-за дискретного характера движения частиц проследить их траектории также оказывается невозможным. Таким образом, возникает эффект перепутывания частиц, когда реляционную систему необходимо рассматривать как единое целое.

Категория поля необходима для того, чтобы с помощью процессов взаимодействия связать точечные события в единую мировую сеть причинно-следственных связей. Эта сеть формируется сама собой в процессе эволюции реляционной системы как результат элементарных парных взаимо-

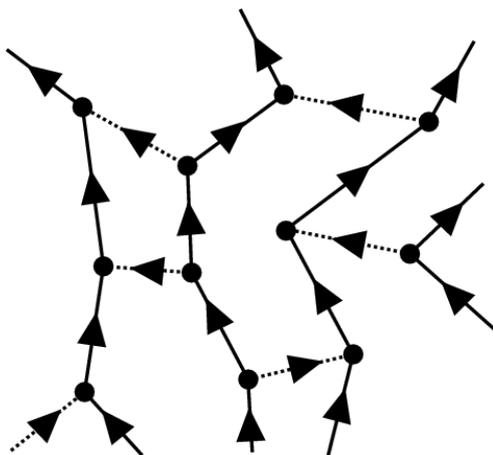
действий и установления причинных корреляций между частицами и событиями. Нетрудно видеть, что при достаточно плотном расположении событий мы можем перейти к пределу непрерывного пространства-времени. Такая аппроксимация причинной сети соответствует переходу к достаточно большому пространственным и временным масштабам. Таким образом, на фундаментальном уровне в реляционной физике отсутствует макроскопическое пространство-время как непрерывный фон, на котором разворачиваются процессы взаимодействия. Это является принципиальным отличием реляционной теории от геометрофизики и квантовой физики.

Отметим, что из-за дискретного характера взаимодействий и отсутствия непрерывного макроскопического пространства-времени в реляционной физике вместо широко используемого в остальной физике *принципа близкодействия* на передний план выходит *принцип дальнегодействия*. Это обусловлено тем, что в этой теории нет посредников (калибровочных полей или их квантов), передающих взаимодействия между частицами. Частицы взаимодействуют напрямую путем непосредственного обмена своими параметрами.

По аналогии с двумя предыдущими объединительными парадигмами можно прийти к следующим выводам. В реляционной физике активным началом должна выступать базовая категория поля. Вторая категория перепутанных частиц является пассивным началом. С этой точки зрения, суть гипотетических реляционных динамических уравнений, которые еще предстоит открыть, заключается в следующем: поле воздействует на частицы, они начинают взаимодействовать, приходят в движение и между ними возникают причинно-следственные связи. В ходе этого процесса формируется мировая сеть событий, в которой проявляются свойства пространства-времени. Эта ситуация схематически изображена на диаграмме рис. 5, б. Так же как и в предыдущих случаях, сплошной стрелкой показано направление воздействия со стороны поля на частицы. В результате этого воздействия как бы возникает отклик (реакция) со стороны частиц. Направление этого отклика показано пунктирной стрелкой. Взаимодействующие (перепутанные) частицы формируют причинно связанную мировую сеть событий, и возникает иллюзия пространства-времени. Иллюзия в том смысле, что регулярность и структура пространства-времени определяется числом взаимодействующих частиц и плотностью распределения соответствующих событий. Поэтому, на самом деле, никакого пространства-времени при этом нет. Непрерывное макроскопическое пространство-время возникает в пределе очень большого числа событий, формирующих определенную регулярную структуру.

Примерный вид некоторого участка мировой сети событий показан на рис. 6. Самим событиям соответствуют точки. Стрелками указаны направления причинно-следственных связей, обусловленных взаимодействиями частиц. Каждый отдельный элементарный процесс взаимодействия связан (на языке квантовой физики) с элементарными актами излучения и поглощения. Поэтому в каждом событии сходятся три линии. При этом две линии (сплошные) соответствуют частице до и после акта излучения или поглоще-

ния, а третья линия (пунктирная) соответствует излученной или поглощенной частице. Заметим, что в результате каждого элементарного парного взаимодействия частицы могут обмениваться зарядом, спином и другими характеристиками. Именно наличие пунктирных линий на схематической диаграмме рис. 6 связано с использованием в реляционной физике базовой категории поля. Если выключить взаимодействие (убрать категорию поля), то динамика реляционной системы исчезает. При этом не будет никаких событий, а мировая сеть вырождается в совокупность прямых линий, описывающих отдельные невзаимодействующие частицы. Частицы перестают быть перепутанными. Ясно, что в этом случае мы ничего не сможем сказать о структуре пространства-времени. Раз нет никаких событий, то нет и метрики, которая их связывает.



**Рис. 6. Участок мировой сети событий, порожденной перепутанными частицами**  
Стрелками указаны направления причинно-следственных связей, обусловленных взаимодействиями частиц. Пунктирные линии соответствуют процессам элементарных взаимодействий

Можно предположить, что основные уравнения, описывающие динамику реляционной системы (структуру системы перепутанных частиц и мировой сети событий), должны каким-то образом определять связь между двумя системами отношений [2; 20–22]. Одна система должна характеризовать метрические отношения между событиями, а вторая – отношения между характеристиками поля. Возможный вид этих уравнений и анализ следствий из них является темой отдельного исследования.

### Заключение

Проведенный анализ позволяет довольно детально очертить круг основных задач, которые приходится решать в каждой дуалистической теории. Главной задачей геометрофизики является исследование природы поля. Действительно, в этой теории по заданному распределению источников (в

конечном счете частиц) рассчитывают структуру искривленного пространства-времени, геометрия которого и определяет характер распределения поля. В четырехмерном случае это будет гравитационное поле. В многомерных вариантах теории типа Калуцы-Клейна подобным образом можно описать и другие типы полей. В квантовой физике основной задачей является исследование природы частиц. В этой теории частицы возникают как кванты возбужденного (квантованного) поля. Рассматривая различные поля, можно описать различные типы частиц, а также их квантовые характеристики. В реляционной физике основной задачей должно быть исследование природы пространства-времени. В этой теории по заданному распределению поля, определяющего характер элементарных парных взаимодействий, должно рассчитываться распределение событий и их метрические отношения. В результате такого расчета должна определяться структура мировой сети событий. Макроскопическое непрерывное пространство-время должно возникать как эффективный предел очень плотного дискретного множества событий, который соответствует большим пространственным и временным масштабам.

Следует отметить, что геометрофизика и реляционная физика в определенном смысле являются зеркальными отражениями друг друга. В самом деле, и в той и другой теории, так или иначе, затрагивается вопрос о природе пространства-времени. Но при этом упор делается на противоположные аспекты. В геометрофизике исследуется структура макроскопического пространства-времени на больших пространственных и временных масштабах. В этом случае на передний план выходит геометрия, на фоне которой разворачиваются все физические процессы. В реляционной физике все наоборот. В ней исследуется микроскопическая структура пространства-времени, соответствующая малым пространственным и временным масштабам. На таких масштабах никакого непрерывного пространства-времени уже нет. По сути, оно состоит из отдельных дискретных событий, распределение которых определяется характером взаимодействий. В этом случае на передний план выходит физика (взаимодействия), которая формирует в конечном итоге структуру пространства-времени.

В реляционной физике на фундаментальном уровне никакого пространства-времени нет. То, что в классической физике называется макроскопическим пространством-временем, является своего рода статистическим эффектом, связанным с наличием большого количества взаимодействующих частиц. В частности, наши интуитивные представления о непрерывном пространстве-времени обусловлены использованием макроприборов для измерений. При аппроксимации причинной сети непрерывным пространством-временем могут возникать его флуктуации. Флуктуации могут проявляться в виде своего рода дефектов пространства-времени, подобных дефектам в кристаллах. Дефекты могут быть нульмерными (квазичастицы), одномерными (струны) или двумерными (браны), а также могут появляться всевозможные их комбинации. В пространствах большего числа измерений могут проявиться дефекты и более высокого порядка. Таким образом, реляционная

физика не запрещает существования струн и бран, а скорее наоборот, предсказывает их появление. Однако их статус становится существенно другим.

Может возникнуть вопрос, а существуют ли какие-либо экспериментальные доводы в пользу реляционной физики. Действительно, все эффекты и явления в микромире неплохо объясняются и описываются в рамках квантовой теории. А раз нет экспериментальных оснований, то, казалось бы, нет необходимости и в разработке новой теории. Здесь уместно вспомнить историю создания квантовой физики и общей теории относительности. Вся квантовая физика фактически выросла из эксперимента, из попыток понять и объяснить эффекты, не укладывающиеся в рамки классической физики. Все дальнейшее развитие квантовой теории (вплоть до сегодняшнего дня) шло в тесной взаимосвязи с экспериментом. Заметим, что в настоящее время сторонники теории суперсимметрии и суперструн отклонились от этого принципа и сосредоточили основное внимание на чисто теоретических вопросах.

Общая теория относительности возникла из чисто логических соображений. основополагающей первоначальной идеей здесь послужила необходимость описания гравитации в релятивистских терминах. Поскольку на тот момент электродинамика была уже описана таким образом, а гравитация нет (других типов взаимодействий тогда еще не знали). Первые эксперименты по проверке общей теории относительности были проведены уже после ее создания, когда стало возможным предсказывать эффекты отклонения от классической теории<sup>5</sup>.

Эти рассуждения показывают, что отсутствие экспериментальных оснований еще не означает, что в теории нет никакой необходимости. Необходимость в теории может изначально возникать из чисто логических соображений для создания более стройной картины мира. Предсказания для экспериментальной проверки могут появиться уже после создания теории. Вполне возможно, что в отношении реляционной физики реализуется именно такая ситуация. С другой стороны, можно предположить, что в настоящее время уже известны какие-то реляционные эффекты, но в силу отсутствия должной теории они трактуются с совершенно иных позиций, например с точки зрения квантовой физики.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Владимиров Ю.С.* Метафизика. – М.: БИНОМ, 2000, 2009.
2. *Владимиров Ю.С.* Основания физики. – М.: БИНОМ, 2008.
3. *Жилкин А.Г.* Базовые категории и принципы реляционной физики // Вестник Челябинского государственного университета. – 2013. – № 25 (316). – Физика. – Вып. 18. – С. 80–92.

---

<sup>5</sup> Исключением, возможно, является эффект аномального смещения перигелия Меркурия, открытый еще в XIX в. Однако для его объяснения в то время привлекались другие идеи. В частности, предполагалось, что этот эффект может быть обусловлен гравитационными возмущениями от еще неоткрытых объектов, орбиты которых расположены между Солнцем и Меркурием.

4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. – М.: Физматлит, 2006.
5. Логунов А.А. Лекции по теории относительности и гравитации. – М.: Наука, 1987.
6. Владимиров Ю.С. Реляционная теория пространства-времени и взаимодействий. 1. Теория физических взаимодействий. – М.: МГУ, 1998.
7. Зиновьев А.А. На пути к сверхобществу. – Санкт-Петербург: Нева, 2004.
8. Мизнер Ч., Торн К., Уилер Дж. Гравитация: в 3 т. – М.: Мир, 1977.
9. Владимиров Ю.С. Геометрофизика. – М.: БИНОМ, 2005.
10. Грин М., Шварц Дж., Виттен Э. Теория суперструн: в 2 т. – М.: Мир, 1990.
11. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика (нерелятивистская теория). – М.: Физматлит, 2004.
12. Дирак П.А.М. Принципы квантовой механики. – М.: Физматгиз, 1960.
13. Боголюбов Н.Н., Ширков Д.В. Введение в теорию квантованных полей. – М.: Наука, 1973.
14. Вайнберг С. Квантовая теория поля: в 2 т. – М.: Физматлит, 2003.
15. Весс Ю., Беггер Д. Суперсимметрия и супергравитация. – М.: Мир, 1986.
16. Уэст П. Введение в суперсимметрию и супергравитацию. – М.: Мир, 1989.
17. Пенроуз Р. Путь к реальности, или Законы, управляющие Вселенной. – М. – Ижевск: ИКИ, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2007.
18. Гриб А.А., К вопросу об интерпретации квантовой физики // Успехи физических наук. – 2013. – Т. 183. – № 12. – С. 1337–1352.
19. Фейнман Р., Хибс А. Квантовая механика и интегралы по траекториям. – М.: Мир, 1968.
20. Кулаков Ю.И., Владимиров Ю.С., Карнаухов А.В. Введение в теорию физических структур и бинарную геометрофизику. – М.: Архимед, 1991.
21. Владимиров Ю.С. Реляционная теория пространства-времени и взаимодействий. 1: Теория систем отношений. – М.: МГУ, 1996.
22. Кулаков Ю.И. Теория физических структур. – Новосибирск: Альфа Виста, 2004.

## RELATIONAL PHYSICS FROM THE VIEWPOINT OF METAPHYSICS

A.G. Zhilkin

Using considerations of metaphysical nature a comparative analysis of the main paradigms of theoretical physics is considered. Particular attention is paid to dualistic paradigms that are implemented in the general theory of relativity and quantum theory. The author notes to the need for the development of a third dualistic paradigm corresponding to the relational theory. Possible consequences of relational physics are discussed.

**Key words:** general relativity, quantum physics, relational theory, space-time, interactions.

---

---

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПАРАДИГМА БИНАРНОЙ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНЫХ ОТНОШЕНИЙ

С.А. Векшенов

*Российская Академия Образования*

В данной работе анализируются математические аспекты Бинарной системы комплексных отношений Ю.С. Владимирова. Делается вывод, что в этой теории реализуется существенно новая математическая парадигма, включающая идею структурированной длительности. При надлежащем выборе языка описания такой длительности проясняется механизм формирования континуальных множеств на основе совокупности бинарных структур.

**Ключевые слова:** математическая парадигма, бинарность, порядковый образ комплексного числа.

### Введение

По известному высказыванию Е. Вигнера математика является непостижимо эффективным инструментом познания действительности. Однако эта эффективность автором только иллюстрируется, что дает повод для широкого толкования сути его мысли (в действительности очень старой, восходящей, по крайней мере, к создателю критической философии И. Канту).

Конкретная точка зрения на соотношения математики и действительности (в самом широком ее понимании), кроме, несомненно, философской значимости определяет еще и угол зрения, под которым видятся многие естественнонаучные построения, в частности, в области физики.

Сформулируем для начала две такие точки зрения.

Первая из них состоит в том, что математика представляется неким единым универсумом абстрактных структур и инструментов, которые в нужный момент могут быть «взяты с полки» для продвижения каких-либо содержательных идей и положений. При этом сами такие структуры и инструменты остаются идеологически «нейтральными» по отношению к реальности, аналогичными тавтологиям в формальных теориях.

Вторая, отчасти противоположная точка зрения состоит в том, что математика, напротив, «предписывает» природе какой ей быть. Как известно, эта точка зрения в XX в. была явно сформулирована П. Дираком, который зафиксировал в ней сложившуюся практику создания квантовой и релятивистской теорий.

Как нам представляется, более реалистичной является точка зрения, в определенной мере «серединная» к двум сформулированным. Эта точка зрения возникла из эмпирики, фиксирующей несколько иное соотношение математики и физики. Суть этой эмпирики можно выразить так.

**А.** Физическое понимание математических структур далеко не всегда совпадает с их собственно математическим содержанием (а скорее всего, этого не происходит никогда). Фактически речь идет о целом спектре (семантическом поле) толкований данного понятия, которым легко оперирует профессионал в общении с другим профессионалом, но которые с трудом поддаются рефлексии.

**Б.** Естествознание, в частности физика, обращается к математике как некой единой концепции, которой она заведомо не является. Используемые в физике математические инструменты всегда окрашены в цвет конкретной математической парадигмы, и этот цвет отпечатывается на самой физической концепции.

Собственно физическая теория возникает тогда, когда спектр физических смыслов «коллапсирует» к конкретному смыслу, который «резонирует» с данной математической парадигмой. При таком подходе математика (в обличье одной из своих внутренних парадигм) вовсе не выступает конструктором реальности, но является лишь средством проявления и закрепления того или иного физического смысла.

Наглядно это можно показать так:

$$\text{понятие} = \langle \text{смысл} - 1, \text{смысл} - 2, \text{смысл} - 3 \dots \rangle,$$

при этом, скажем, «смысл – 2» является доминирующим, поскольку он резонирует с некоторым внешним контекстом и отождествляется со смыслом всего понятия. Однако при этом другие смыслы не исчезают, а существуют в «латентном» состоянии. При изменении внешнего контекста один из скрытых смыслов выходит на поверхности и становится доминирующим.

Данный подход мы применим к физической теории – Бинарной системе комплексных отношений (БСКО) Ю.С. Владимирова. Мы постараемся выделить в ней собственно математический контекст, который, как нам представляется, указывает на существенно новую математическую парадигму, которая имеет самостоятельную значимость.

## 1

Рассмотрим сначала вопрос об известных математических парадигмах.

Значительное влияние на развитие математики оказала парадигма, суть которой сводится к следующему.

Как известно, точное естествознание Нового времени начало свое движение с синтеза дисциплин, доставшихся ей с античных времен: арифметики и геометрии. Этот синтез был логически неизбежен в рамках фундаментальной программы, сформулированной Р. Декартом, – создания универсального научного метода. Основные вехи на пути развертывания этой программы таковы:

– создание аналитической геометрии, «уравнявшей в правах» арифметику и геометрию, и как следствие установление жесткой привязки чисел к геометрическим образам;

– осознание фундаментальной роли уравнения (сначала алгебраического, а затем и дифференциального) как универсального инструмента представления законов природы (формулировка в 1926 г. В. Гейзенбергом «принципа неопределенности» означало, по сути, «тихую революцию», когда формой представления фундаментального закона природы стало неравенство). Разработка идеи «уравнения» привела к развитию многих областей математики: от комплексных чисел и теории групп до современных топологических методов;

– введение Виетом буквенного обозначения, что позволило сформулировать алгебраические правила и протянуло нить к *Mathesis Universalis* Г.В. Лейбница, а через нее и к современному понятию алгоритма и формальным языковым конструкциям.

Подобную парадигму условно можно назвать алгебро-геометрической, разумея при этом некий единый строй мыслей, который оборачивается то алгеброй, то геометрией. Более внимательный взгляд (например Г. Вейля), видит и существенные различия геометрического (топологического) и алгебраического подходов, что не меняет общей установки: алгебраические конструкции всячески стараются визуализировать, напротив, геометрические построения стараются сделать более формализованными и соотнести их с алгебраическими структурами. Эти два лика в сути одной парадигмы оказались тем инструментом, с помощью которого мыслитель XVIII и XIX вв. вглядывался в глубины реальности.

Данная парадигма полностью реализовала свой потенциал в конце XIX в., когда Г. Кантором была создана теория множеств – теория универсальной математической «материи», из которой по вполне определенным правилам можно было «лепить» как из пластилина самые разнообразные математические объекты (программа Бурбаки). «Суть математики состоит в ее свободе» (*«Das wesen der Mathematik liegt in ihrer Freiheit»*) – так сформулировал свое кредо Кантор, разумея при этом свободу именно этой деятельности. В конечном итоге алгебро-геометрическая парадигма получила обширный и тонкий спектр теоретико-множественных объектов, которые можно было примерять к тем или иным проблемам реального мира.

Названная алгебро-геометрическая парадигма порождала вполне определенные образы, которые вызывали к жизни конкретные физические смыслы.

Если быть последовательными, декартовская идея объединения геометрии и арифметики (позднее алгебры) является идеей соединения пространства и времени в некоторую единую сущность. При этом время, в той или иной степени, приравнивалось к пространству. Полный синтез геометрии и арифметики в теории множеств подвел идейную черту и под идеей синтеза пространства и времени: релятивистское пространство – время является прямым следствием канторовской теории, которая, в свою очередь, довела до логического завершения синтетическую идею Декарта.

Если продолжать следить за возникающими образами, то следующим шагом будет осмысление программы Бурбаки в контексте пространства-времени. Здесь существует две возможности.

Первая из них заключается в том, что субстанциональное пространство-время – (аналог теоретико-множественного универсума) индуцирует свои качества на вложенные в него объекты, что является аналогом процесса надления множества определенной структурой. Однако имеется и другая возможность. Пространственно-временные качества объекта существуют локально, но никакого субстанционального пространства, объемлющего эти объекты, нет. Это соответствует более взвешенному взгляду на теоретико-множественный универсум, не отягощенный парадоксам Рассела и другими парадоксами (на глубокие связи концепций пространства-времени и теоретико-множественного универсума обращал внимание в своих гётегенских лекциях еще А. Пуанкаре). Классическая схема построения такого корректного универсума основана на иерархии фон Неймана, в которой универсум множеств возникает из пустого множества («из Ничего») путем применения к нему фиксированного набора теоретико-множественных операций и трансфинитной рекурсии.

Сам по себе данный строй мыслей еще не определяет реляционного подхода в том смысле, в каком он понимается в БСКО. Однако он очерчивает некую математическую парадигму, которая, согласно сформулированному выше подходу, проявляет определенные физические смыслы и приводит к возникновению этой теории.

Особенность этой парадигмы состоит в том, что пространство – время (или, возможно, «пространство» и «время») по аналогии с универсумом фон Неймана не фиксируется изначально, а представляет собой среду становления. Однако сам механизм такого становления не может быть механически взят из теории множеств, хотя бы потому, что универсум фон-Неймана реализуется в абсолютном и, следовательно, субстанциональном времени.

Опираясь на идеи Ю.И. Кулакова и Ю.С. Владимирова [1], попытаемся сформулировать некоторые компоненты этого механизма.

Основой развертывания названного механизма могут быть только конечные множества, поскольку континуальность есть атрибут субстанционального пространства – времени или его части.

Чтобы эти множества обладали геометрическими свойствами, необходимо «руками» ввести в них внутренние симметрии, которые свойственны субстанциональному (континуальному) пространству – времени, поскольку объемлющего пространства-времени как такового нет, и эти свойства не могут быть индуцированы (в частности, не может быть использован аппарат теории групп). Для этого необходимо превратить множества в простейшие структуры: установить между элементами этих множеств отношения. При таком подходе варианты симметрий могут быть самыми разными. Ключевую роль здесь, очевидно, будет играть свойство инвариантности каких-

либо пробных функций при перестановках как элементов множества, так и отношений между ними.

Введение симметрий на конечных структурированных множествах позволяет реализовать на них аналог клейновской программы. Однако остается проблема введения длительности, то есть некоего локального времени. При этом это должна быть «настоящая» длительность, а не ее геометрический образ.

Принципиальный подход Ю.С. Владимирова заключается в процедуре «извлечения квадратного корня из элемента» (в аналитической форме – вектора). Поскольку элемент (точка) есть самый нижний уровень геометрии, ее дальнейшее дробление уже не может быть отождествлено ни с какими геометрическими образами (дробление «того, что не имеет частей», оборачивается появлением нового качества – длительности). Возникающая при этом пара корней (+, –) – это уже не геометрические элементы, а *шаги* некоторого детерминированного процесса или *возможные состояния* динамической системы. Можно сказать, что число «элементов» конечных множеств удваивается и это удвоение сигнализирует о наличии внутренней динамики.

Для развития содержательной теории эту динамику мало констатировать (одна лишь констатация не выводит за пределы алгебро-геометрической парадигмы) – необходимо ее содержательно структурировать. Аналогично констатировать наличие пространственных свойств объекта мало – нужно иметь способ отличить одну «пространственность» от другой, например, с помощью тензора кривизны.

Способ структурирования определенной выше внутренней динамики может быть следующим.

В результате «извлечения квадратного корня из точки» образуется два состояния, которые обозначим как  $(\uparrow)$  и  $(\downarrow)$ . Протокол перехода одного состояния в другое может быть представлен в виде последовательности линейных шагов, соединяющих эти состояния, например:

$$(\uparrow) \downarrow \downarrow \uparrow \downarrow \downarrow \dots (\downarrow).$$

С другой стороны, как было показано в [2], всякое линейное движение сопровождается появлением определенного числа парных фундаментальных вращений, «прикрепленных» к каждому шагу линейной последовательности. Это значит, что протокол перехода из состояния  $(\uparrow)$  в состояние  $(\downarrow)$  помимо линейных шагов *с необходимостью* включает в себя фундаментальные вращения.

В общем виде такой протокол можно представить как структуру, состоящую из комбинации линейных шагов и различных типов фундаментальных вращений  $\mathcal{U} (\mathcal{U})$  и/или  $\mathcal{O} (\mathcal{O})$ .

На множестве протоколов, состоящих из линейных шагов, можно ввести линейный порядок, если же протоколы включают в себя фундаментальные вращения, то порядок только частичный.

Приведенные конструкции позволяют мысленно развернуть *спектр конечных «самодостаточных» структурированных множеств, наделенных внутренней геометрией и структурированной динамикой*. При определенных условиях эти множества можно «собрать» в единое пространство-время. Формально просматривается несколько возможностей такого объединения, которые должны быть внимательно исследованы.

Эта конструкция, несомненно, высвечивает некую новую математическую парадигму, характеризуемую не только своей «локальностью» – эта идея уже давно пущена в интеллектуальный оборот – а, прежде всего, существенно иным отношением к идее длительности.

В рамках алгебро-геометрической парадигмы время, длительность, выступало как параметр, внешний по отношению к геометрическим конструкциям. В финальной части развития этой парадигмы время само становится такой конструкцией.

В рассматриваемой выше парадигме время – это «настоящая» длительность, а не геометрический образ. Более того, эта длительность структурирована только на основе идеи обращения времени, то есть без использования геометрических образов. Как показал Дж. Конвей, на такой структурированной длительности можно рекурсивным образом ввести арифметические операции.

Примечательным является тот факт, что идея соединения пространственных и временных качеств в единый локальный объект была реализована в очень далекой от физики области – программировании.

Как известно, существуют процедурная и декларативная парадигмы программирования, ориентированные на решение задач, связанных, соответственно, с динамикой и структурой данных. Современная объектно-ориентированная парадигма программирования основана на локальном объединении данных (структур) с методами их обработки в единый локальный объект. Фактически здесь реализуется та же идея синтеза пространственных и временных качеств в отдельном локальном объекте и конструирование программ на основе таких объектов.

Сформулированная математическая парадигма очерчивает вполне определенный круг физических смыслов. В частности, она не отвечает полевым представлениям, поскольку для них нужен субстанциональный континуум. С другой стороны, она хорошо соответствует концепциям, реализующим принцип Маха, в частности БСКО.

## 2

Сформулированная выше математическая парадигма показывает, что в рамках БСКО можно выделить иную, не апеллирующую к физическим представлениям логику, что, как нам представляется, является очень сильным аргументом в пользу названной теории. Появляется возможность собственно математического изучения структур БСКО как пар объектов: фун-

даментальных симметрий в духе Ю.И. Кулакова и структур протоколов переходов из одного состояния динамической системы в другое. Полученные результаты могут быть интерпретированы в контексте реляционной парадигмы.

При этом следует обсудить один существенный момент.

В теории БСКО нет никаких протоколов, а есть комплексные числа. Эти комплексные числа определяют, с одной стороны, отношение между материальными частицами, с другой – определяют переход от одного состояния системы материальных частиц в другое. Очевидно, что мы сталкиваемся здесь с разными смыслами понятия комплексного числа. Попытаемся более внимательно взглянуть в эти смыслы.

Представим комплексное число спектром: комплексное число =  $\langle a+ib; (a,b); ae^{i\beta}; \dots \rangle$ . Строго говоря, все эти смыслы не совпадают друг с другом: пара действительных чисел  $(a,b)$  не содержит идеи мнимой единицы, а в сумме  $a+ib$  нет намека на идею вращения, присутствующую в представлении  $ae^{i\beta}$ . Однако, как известно, в рамках алгебро-геометрической парадигмы эти смыслы отождествляются. Но такое отождествление становится проблематичным в квантовой теории, когда комплексное число становится амплитудой вероятности  $ae^{i\beta}$  перехода из одного состояния в другое, а не парой действительных чисел.

Введение вместо структурированных длительностей протоколов принципиально снимает проблему, поскольку, с одной стороны, протоколы являются полностью порядковыми объектами и генерация на их основе пространства-времени уже не содержит внутренних коллизий. С другой стороны, можно показать, что протоколы корректно считать порядковыми образами амплитуд вероятности, что означает, в частности, что для этих образов можно внутренним образом определить арифметические операции. Разумеется, использование порядковых образов амплитуд вероятности («стрелок» и «кружков») в реальных вычислениях крайне затруднительно, однако они могут оказаться очень удобными для машинной обработки. В данном же контексте их использование носит, прежде всего, идейный характер как факт принципиальной возможности чисто порядкового описания перехода от одного состояния системы в другое. Аналогичным образом используются в математическом анализе действительные числа, где для реальных вычислений достаточно чисел рациональных.

Порядковые образы амплитуд вероятности позволяют выявить новые аспекты самого понятия комплексного числа и его глубинные связи с идеей квантования. Кратко охарактеризуем эти связи.

Парные фундаментальные вращения возникают как следствие порядковой инвариантности, когда нас интересует только факт перехода из одного состояния динамической системы в другое состояние. В этом случае необходимо рассмотреть все возможные протоколы перехода, состоящие из линейных шагов, которые, тем не менее, соотнесены с одной длительностью. Используя понятие фундаментального вращения, совокупность всех таких

протоколов можно «свернуть» в структуру, состоящую из последовательности линейных шагов (простейшего протокола), к каждому шагу которой «прикреплен» набор парных фундаментальных вращений.

С другой стороны, если рассмотреть все переходы, состоящие из линейных элементов, как элементы одного множества, то оно, как показал Дж. Конвей, изоморфно множеству действительных чисел (и даже нестандартных чисел). Таким образом, свертывание протоколов, состоящих из линейных шагов, в фундаментальные вращения приводит к квантованию континуального множества (свертыванию в структуру, изоморфную множеству целых чисел). Одновременно возникают порядковые образы комплексных чисел, которые можно рассматривать как порядковые образы амплитуды вероятности перехода из одного состояния системы в другое [3].

Очевидно, возможен и обратный ход.

Имея в распоряжении «настоящие» комплексные числа можно перейти к их порядковым образам. Эти образы состоят из линейных шагов и фундаментальных вращений. Если представить такие фундаментальные вращения через совокупность протоколов перехода из одного состояния системы в другое, то эти протоколы должны быть реализованы *одновременно*, что приводит к появлению континуального множества.

### Выводы

Бинарная система комплексных отношений, созданная Ю.С. Владимировым, является не только новаторской физической концепцией. Она высвечивает математическую парадигму, существенным моментом которой является идея структуры длительности, расширяющая идею теоретико-множественных структур. Основными элементами структур длительности являются линейные шаги и фундаментальные вращения – образы порядковой бесконечности.

С математической точки зрения, фундаментальной задачей БСКО является генерация теоретико-множественных структур из структур длительности. Из приведенных в тексте общих соображений ясно, что эта задача имеет решение, то есть существует конкретная процедура генерации континуального структурированного множества из определенных структур длительности.

В оригинальном подходе Владимирова структура длительности определяется через амплитуду вероятности, что обусловлено физическим характером БСКО и самим языком квантовой теории. Однако при этом возникают определенные идейные коллизии, поскольку амплитуда вероятности – это объект алгебро-геометрической парадигмы, который неявно привносит идею континуальности (субстанциональности). Проблема решается переходом к порядковому образу амплитуды вероятностей, которую также можно трактовать как число (аналогично тому как теоретико-множественной структуре можно присвоить некоторое кардинальное число). Иными слова-

ми, порядковый образ амплитуды вероятности является одним из смыслов комплексного числа, который имеет доминирующее значение в рамках физической парадигмы БСКО. Переход к порядковым образам делает прозрачным многие конструкции квантовой теории. В частности, становится очевидной взаимосвязь между идеями одновременного движения по всем возможностям и возникающей при этом непрерывной в теоретико-множественном смысле структурой. С другой стороны, использование амплитуды вероятностей технически удобно, пока речь не идет о компьютерном моделировании физических процессов. В этом случае порядковый образ амплитуды вероятности может представлять не только теоретический, но и вычислительный интерес.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Владимиров Ю.С.* Метафизика. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009.
2. *Векшенов С.А.* Метафизика инвариантности // Метафизика. – 2011. – № 2. – С. 50–58; 2012. – № 3. – С. 115–120.
3. *Conway J.* On numbers and games. – London, 2001.

### MATHEMATICAL PARADIGM OF BINARY SYSTEM OF COMPLEX RELATIONSHIP

**S.A. Vekshenov**

This work is devoted to mathematical aspects of Vladimirov's binary system of complex relations. Essentially new mathematical paradigm, including the idea of structured duration is implemented (represented) in this theory. The mechanism of continuum sets formation based on the of aggregation binary structures can be clarified by proper choice of description language.

**Keywords:** mathematical paradigm, binary, image sequence of a complex number.

---

---

# КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ И БИНАРНАЯ ГЕОМЕТРОФИЗИКА

---

---

## ОНТОЛОГИЯ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ, ИЛИ ОТ ФИЗИКИ К ФИЛОСОФИИ

А.Ю. Севальников

*Институт философии РАН*

Работа посвящена проблеме интерпретации квантовой механики. Утверждается, что непротиворечивая трактовка этой теории достигается при смене онтологических воззрений. Работы Фейнмана, Уилера и Гейзенберга показывают, что все проблемы квантовой механики снимаются с введением двухмодусной онтологической схемы – бытия в возможности и бытия действительного. Бытие в возможности связывается в работе со внепространственным бытием, с чем и связано изначальное существование квантовых объектов. Показано, что такой подход является продуктивным, так как в его рамках удастся получить основные уравнения квантовой механики, что в принципе не дает ни один из других альтернативных подходов к квантовой механике.

**Ключевые слова:** квантовая механика, онтология, метафизика, бытие в возможности и бытие в действительности, нелокальность, ЭПР-парадокс, комплекснозначность.

Фейнман в целом ряде статей и, прежде всего, в своем знаменитом курсе теоретической физики говорит о «тайне» квантовой механики, которую, как ему представляется, невозможно никому разгадать. Прежде чем пояснить, о чем идет речь, Фейнман говорит о некоторых особенностях квантовой механики, радикально отличающих ее от классической физики. Во-первых, квантовая механика вводит вероятностное описание природы. «Мы хотели бы подчеркнуть очень важное различие между классической и квантовой механикой. Мы уже говорили о вероятности того, что электрон попадает туда-то и туда-то в данных обстоятельствах. Мы подразумевали, что с нашим (да и с самым лучшим) экспериментальным устройством невозможно будет предсказывать точно, что произойдет. Мы способны только определять шансы! Это означало бы, если это утверждение правильно, что

физика отказалась от попыток предсказывать точно, что произойдет в определенных условиях. Да! Физика и впрямь сдалась. Мы не умеем предсказывать, что должно было бы случиться в данных обстоятельствах. Мало того, мы уверены, что это немислимо: единственное, что поддается предвычислению, – это вероятность различных событий. Приходится признать, что мы изменили нашим прежним идеалам понимания природы. Может быть, это шаг назад, но никто не научил нас, как избежать его!» [1. С. 217–218]. Здесь же Фейнман формулирует исходные принципы квантовой механики. Говоря о вероятностном характере поведения квантовых объектов, он вводит важное понятие «*события*». Предварительно задается понятие «идеального опыта», т.е. такого опыта, «в котором отсутствуют неопределенные внешние влияния и нет никаких не поддающихся учету изменений, колебаний и т. д. Точная формулировка будет такова: «Идеальным опытом называется такой, в котором все начальные и конечные условия опыта полностью определены». *Такую совокупность начальных и конечных условий мы будем называть «событием».* (Например: «электрон вылетает из пушки, попадает в детектор, и больше ничего не происходит.») [Там же. С. 216–217]. Ключевым понятием в квантовой механике является понятие амплитуды вероятности процесса, комплекснозначное число, квадрат которого задает вероятность того или иного процесса. Принципы КМ Фейнман дает в краткой «сводке выводов». Первый и касается связи амплитуды вероятности и самой вероятности процесса.

1) Вероятность события в идеальном опыте дается квадратом абсолютной величины комплексного числа  $\varphi$ , называемого амплитудой вероятности:

$$\begin{aligned} P & \text{ – вероятность,} \\ \varphi & \text{ – амплитуда вероятности,} \\ P & = |\varphi|^2. \end{aligned}$$

Второй вывод касается особенности протекания процесса. Тот или иной процесс может происходить различными способами, в том числе и взаимно исключаящими. Например, фермион, скажем нейтрон, может иметь спин, направленный вверх либо вниз; в двухщелевом эксперименте частица может пройти либо через первое отверстие, либо второе и т.д. Именно на двухщелевом эксперименте Фейнман показывает «самый основной элемент таинственного поведения в самой странной его форме, ...которое невозможно, *совершенно, абсолютно* невозможно объяснить классическим образом. В этом явлении таится самая суть квантовой механики. На самом деле в ней имеется только *одна* тайна. Мы не можем раскрыть ее в том смысле, что не можем «объяснить», как она работает» [Там же. С. 203]. Эта «необъяснимая тайна» по Фейнману связана с различием в особенностях протекания процесса, когда можем *в принципе* распознавать альтернативные способы или нет. С этим и связаны второй и третий принцип КМ по Фейнману.

«2) Если событие может произойти несколькими взаимно исключаящими способами, то амплитуда вероятности события – это сумма амплитуд вероятностей каждого отдельного способа. Возникает интерференция:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2,$$

$$I = |\varphi_1 + \varphi_2|^2,$$

3) Если ставится опыт, позволяющий узнать, какой из этих взаимно исключающих способов на самом деле осуществляется, то вероятность события – это сумма вероятностей каждого отдельного способа. Интерференция отсутствует.

$$P = P_1 + P_2 \text{ [1. С. 217].}$$

Последние два пункта и есть ключевые особенности квантовой механики. Они же одновременно являются и «камнем преткновения» на пути ее понимания. Двухщелевой эксперимент и показывает эту особенность. В нем электрон на пути от источника до места регистрации может пройти двумя путями, через отверстие 1 или отверстие 2. Обычная «классическая оптика» не дает возможности правильной интерпретации этого опыта. В этой «оптике» путь через отверстие 1 исключает путь через отверстие 2. Более того, «если вы следите за отверстиями, а точнее, если у вас есть прибор, способный узнавать, сквозь какое отверстие из двух проник электрон, то вы можете говорить, что он прошел сквозь отверстие 1 (или 2). Но если вы не пытаетесь узнать, где прошел электрон, если в опыте не было ничего возмущавшего электроны, то вы не смеете думать, что электрон прошел либо сквозь отверстие 1, либо сквозь отверстие 2» [Там же. С. 215–216]. Здесь, действительно, имеется странность для классического рассмотрения сути вещей, причем она не одна. Во-первых, результат принципиально зависит от того, имеется ли возможность узнать, какая из альтернатив реализовывалась в эксперименте или нет. Далее, если такая возможность имеется, то мы складываем вероятности конечных результатов; если же такой возможности не существует, то мы сначала складываем амплитуды вероятностей, а уже по ним находим вероятность осуществившегося события. Ни с чем подобным мы не сталкиваемся в классической физике. Что фактически означает складывание амплитуд вероятностей? Только то, что квантовый объект находится в «суперпозиции» состояний, своеобразной «смеси» из них, когда он в них находится сразу одновременно. Например, в двухщелевом эксперименте фотон одновременно проходит через два отверстия; фермион имеет одновременно два различных спина, или частица, скажем атом, одновременно в двух половинках ящика, как в мысленном эксперименте Гейзенберга. То есть реализуется своеобразная «квантовая шизофрения», аналогов которой мы опять же не видим в актуальной действительности.

Фейнман отмечает, что нет возможности обойти эти странные выводы. Он пишет: «Быть может, вам все еще хочется выяснить: «А почему это? Какой механизм прячется за этим законом?» Так вот: *никому никакого механизма отыскать не удалось. Никто в мире не сможет вам «объяснить» ни на капелюку больше того, что «объяснили» мы. Никто не даст вам никакого более глубокого представления о положении вещей. У нас их*

**нет, нет представлений о более фундаментальной механике, из которой можно вывести эти результаты** (выделено нами. – А.С.)» [1. С. 217]. Фейнман во многих местах обращается к этой «тайне» КМ, и утверждает, что «разгрызть этот орешек человеку не по зубам, ибо *такова природа вещей*» [Там же. С. 218].

Конечно, существует формальное «объяснение» этих странностей квантового мира, вошедшее во все учебники по КМ, которое называется «корпускулярно-волновой дуализм». Сложности квантовых представлений, отмеченные выше, формальным образом преодолеваются за счет введения представлений корпускулярно-волнового дуализма. Его суть состоит в том, что движущейся частице сопоставляется определенная волна, волна де Бройля. И наоборот, волне сопоставляются частицы. Например, световой волне сопоставляются фотоны, кванты света, движущиеся со скоростью света. Это дает возможность «объяснения» странных эффектов «квантовой шизофрении», в частности прохождения электроном двух щелей одновременно. Движущийся электрон, в соответствии с этим принципом, рассматривается уже как волна, не локализован в пространстве и может, соответственно, проходить через два отверстия. После прохождения отверстий такая электронная волна интерферирует сама с собой, давая соответствующую картину, наблюдаемую в опыте.

Корпускулярно-волновой дуализм, давая формальное объяснение квантовым эффектам, ставит, тем не менее, ряд вопросов. Прежде всего, применимости самих понятий и волны как таковых. Фейнман, рассматривая эти идеи, отмечает: «...это означает, что понятие частицы ограничено. Само понятие частицы, понятие ее положения, ее импульса и т.д., которым мы так часто пользуемся, в некотором смысле не является удовлетворительным. Например, когда амплитуда, относящаяся к событию обнаружения частицы в том или ином месте, дается функцией  $\exp[i(\omega t - kr)]$ , равной по абсолютной величине единице, то это значит, что вероятность обнаружить частицу одинакова для любой точки. Получается, что тогда мы просто не знаем, где она находится. Она может оказаться где угодно, ее положение в высшей степени неопределенно. Когда же положение частицы более или менее известно, когда оно может быть предсказано довольно точно, то вероятность того или иного ее местоположения должна быть отлична от нуля в определенной области, имеющей, скажем, длину  $\Delta x$ . Вне этой области вероятность равна нулю» [Там же. С. 222]. Более того, представление нейтрона в виде отдельной волны может привести просто к неверным результатам. Фейнман демонстрирует это на примере рассеяния потока нейтронов на кристалле. Выводы этих экспериментов нам еще понадобятся, поэтому рассмотрим их чуть более подробно.

Рассматривается рассеяние нейтронов с малой энергией на различных кристаллах. В зависимости от того, какие ядра находятся в центрах кристаллической решетки, будет наблюдаться совершенно различная картина рассеяния. Рассмотрим сначала рассеяние на ядрах со спином ноль. При малых

энергиях нейтроны рассеиваются на ядрах, не выбивая при этом самого атома с его места в кристалле. При этом не остается никакой «метки» о рассеянии. В этом случае мы имеем множество неразличимых, альтернативных путей. В соответствии с выделенными ранее принципами КМ необходимо складывать «амплитуды рассеяния на атомах, по-разному расположенных в пространстве, у амплитуд будут разные фазы, и это даст характерную интерференционную картину... Интенсивность нейтронов как функция угла в подобном опыте действительно обнаруживает сильнейшие изменения – очень острые интерференционные пики, между которыми ничего нет (фиг. а)» (рис. 1) [2. С. 21–22].

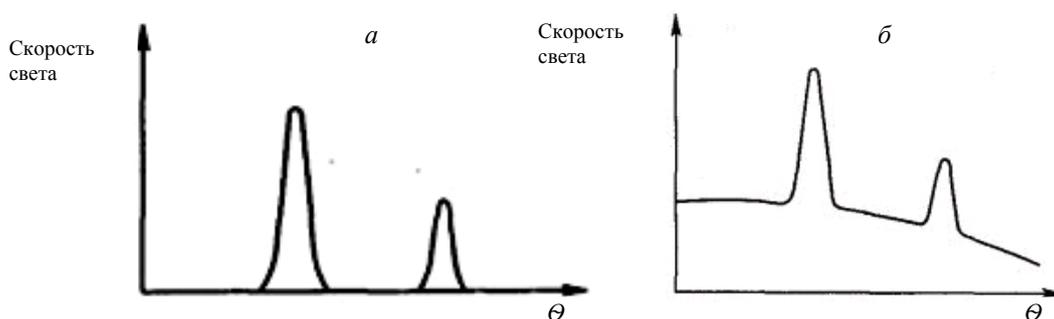


Рис. 1

Однако при рассеянии на некоторых сортах кристаллах этого не происходит, наряду с такими резкими дифракционными пиками имеется общий фон от рассеяния во всех направлениях. Причина «столь таинственного с виду» (Р. Фейнман) явления состоит в следующем. Такая картина наблюдается при рассеянии в ядрах кристалла, имеющих спин одна вторая, так же как и у нейтрона. Что здесь происходит? Возможны два рода явлений. Если направление спинов у нейтрона и ядер совпадают, то спин при рассеянии не меняется. Если же спины направлены в разные стороны, то рассеяние может происходить посредством двух процессов. В одном из них направления спинов не меняются, а в другом происходит обмен направлениями. В случае, когда происходит переворот спинов у нейтрона и у ядра, то, «вообще говоря, можно указать, на каком атоме случилось рассеяние, потому что именно у этого ядра спин перевернулся» [1. С. 22]. Здесь важно то, что существует *принципиальная* возможность различения альтернативы, безотносительно к тому, *наблюдается*, вообще говоря, этот процесс *или нет*. При этом *возможность различения* никак не связана с фактом конкретной *наблюдаемости*. Фейнман многократно останавливается на этом факте в своем курсе. Он так подытоживает анализ этого эксперимента: «Давайте еще раз окинем взглядом физику этого опыта. Если вы способны *в принципе* различить взаимоисключающие *конечные* состояния (хотя вы и не собирались на самом деле этого делать), то полная конечная вероятность получается подсчетом *вероятности* каждого состояния (а не амплитуды) и последующим их сложением. А если вы *неспособны даже в принципе* различить конечные со-

стояния, тогда надо сперва сложить амплитуды вероятностей, а уж потом вычислять квадрат модуля и находить самую вероятность. ***Заметьте особенно, что если бы вы попытались представить нейтрон в виде отдельной волны***, то получили бы одно и то же распределение и для рассеяния нейтронов, вращающихся спином вниз, и для нейтронов, вращающихся спином вверх. Вы должны были бы сказать, что «волна» нейтронов со спином, направленным вниз, пришла ото всех различных атомов и интерферирует так же, как это делает одинаковая по длине волна нейтронов со спином, направленным вверх. Но мы знаем, что на самом деле это не так. ***Так что (мы уже это отмечали) нужно быть осторожным и не представлять себе чересчур реально волны в пространстве. Они полезны для некоторых задач. Но не для всех*** (выделено нами. – А.С.)» [1. С. 24].

Итак, первый вывод – представления корпускулярно-волнового дуализма полезны, но только до некоторой степени. Это обстоятельство подчеркивается многими физиками. Специально на этом останавливается, и подчеркивает Дж. А. Уилер. Он формулирует так называемый «основной урок квантовой механики». Отмечая, что квантовая механика ниоткуда не выводится, ее принципы и основные уравнения угаданы, Уилер показывает, что можно лишь сформулировать конечный ее урок. Суть его он показывает во многих своих статьях, демонстрируя его то на эксперименте с «отложенным выбором», то на примере с «галактической линзой» или на примере «игры в 20 вопросов». Последний пример, наверное, один из лучших, где весьма красочно и образно показана суть «квантового урока». Уилер излагает его в статье «Квант и Вселенная»: «Все мы помним игру в 20 вопросов. Один из компаний играющих покидает комнату, а остальные сообща задумывают некоторое слово. Потом ушедший возвращается в начинает задавать вопросы: “Является ли это одушевленным предметом?” – “Нет”. – “Принадлежит ли он к минералам?” – “Да”. Вопросы задаются до тех пор, пока слово не отгадывается. Если вы смогли отгадать слово за 20 или менее попыток, вы победили. В противном случае – проиграли. Я вспоминаю вечер, когда вышел из комнаты, а возвратившись, заметил улыбки у всех на лицах, что означало шутку или заговор. Я простодушно начал задавать вопросы. Но с каждым вопросом все больше времени уходило на ответ; это было странно, поскольку сам ответ мог быть лишь просто “да” или “нет”. Наконец, чувствуя, что я напал на след, я спросил: “Это слово – облако?” Ответ был “да”, и все разразились смехом. Потом мне объяснили, что когда я вышел, все решили вообще не задумывать какого-либо слова. Каждый мог отвечать “да” или “нет”, как ему нравилось, независимо от того, какой вопрос я ему задавал. Однако когда он отвечал, то должен был задумать слово, соответствующее как его собственному ответу, так и всем ответам, которые были даны ранее. Не удивительно, что ответ требовал времени!» [3. С. 547–548]. Далее Уилер проводит аналогию с квантовыми явлениями.

«Естественно сравнить эту игру в ее двух вариантах с физикой в двух формулировках – классической и квантовой. Во-первых, я думал, что слово

уже существует “вне”, подобно тому, как в физике одно время считали, что положение и импульс электрона существуют “вне” независимо от любого способа наблюдения. Во-вторых, информация о слове появлялась шаг за шагом посредством вопросов, которые я задавал, подобно тому, как информация об электроне получается шаг за шагом с помощью экспериментов, которые выбирает и проводит наблюдатель. В-третьих, если бы я решил задать другие вопросы, я получил бы другое слово, подобно тому, как экспериментатор должен получить другие сведения о поведении электрона, если он провел другие эксперименты или те же эксперименты в другой последовательности. В-четвертых, какие бы усилия я ни прилагал, я мог лишь частично повлиять на результат. Главная часть решения находилась в руках других участников. Аналогично экспериментатор оказывает некоторое существенное воздействие на то, что случится с электроном, посредством выбора проводимых экспериментов; но он хорошо сознает, что существует значительная непредсказуемость относительно того, что обнаружит любое из его измерений. В-пятых, имеется “правило игры”, которое требует от каждого участника, чтобы его выбор “да” или “нет” был совместим с некоторым словом. Аналогично существует согласованность наблюдений, проводимых в физике. Каждый экспериментатор может сказать другому ясным языком, что он обнаружил, и тот может проверить это наблюдение. Хотя это сравнение между миром физики и игрой интересно, существует важное различие. Игра имеет ограниченное число участников и оканчивается после конечного числа шагов. В отличие от этого проведение экспериментов есть непрерывный процесс. Более того, чрезвычайно трудно установить четко и ясно, где начинается и где кончается общность наблюдателя и участника. Однако нет необходимости понимать решительно все, относящееся к квантовому принципу, для того чтобы понимать что-либо в нем. Среди всех выводов, которые возникают при сравнении мира квантовых наблюдений с игрой в 20 вопросов, нет более важного, чем следующий: никакое элементарное явление нельзя считать явлением, пока оно не наблюдалось, подобно тому как в игре никакое слово не является словом, пока это слово не будет реализовано путем выбора задаваемых вопросов и ответов на них» [3. С. 548].

Несколько позднее Джон Хорган так резюмировал выводы Уилера: «...в действительности квантовые явления сами по себе не имеют ни волнового, ни корпускулярного характера; их природа не определена вплоть до того момента, когда их начинают измерять» [4. С. 74]. Квантовая частица не имеет формы до того момента, как она «наблюдалась». Вообще говоря, такой вывод делается на уровне эвристики из анализа принципа неопределенности Гейзенберга и из анализа уже упомянутого «эксперимента с отложенным выбором». Опять же на уровне эвристики об особом характере существования говорит и анализ математической природы волновой функции или амплитуд вероятности. Волновая функция является комплекснозначной и принадлежит к так называемому бесконечномерному гильбертову простран-

ству, где нельзя ввести понятие «больше-меньше». Отношения, характеризующие волновые функции, не являются характерными для объектов реального, актуального мира. Это может указывать на особый способ существования квантовых объектов, с которыми мы соотносим эти амплитуды вероятностей. Но эвристика остается эвристикой, её легко можно оспаривать. Однако кроме эвристики существуют прямые доказательства того, что существование квантовых объектов носит принципиально иной характер, отличающийся от существования обычных классических, реально наблюдаемых объектов. Речь идет о выводах из ЭПР-парадокса и неравенствах Белла.

Я не буду анализировать их в деталях, ЭПР-парадоксу и неравенствам Белла посвящено необозримое количество литературы, поэтому остановлюсь лишь на их важнейших следствиях. Эйнштейн, базируясь на своем понимании реальности, пытался показать неполноту квантовой теории, точнее оспорить выводы, вытекающие из некоммутативности операторов, описывающих систему. «В квантовой механике в случае двух физических величин, описываемых некоммутативными операторами, знание одной из этих величин делает невозможным знание другой. Тогда либо 1) описание реальности в квантовой механике с помощью волновой функции является неполным, либо 2) *эти две физические величины не могут одновременно обладать реальностью* (выделено нами. – А.С.)» [5. С. 777]. Эйнштейн, исходя из предположения, что волновая функция дает полное описание реальности, приходит к выводу, что физические величины с некоммутативными операторами могут быть реальными одновременно. Отсюда делается вывод о неполноте КМ.

Бор тут же подверг критике выводы Эйнштейна. В центре критики находилось понятие реальности, являющееся у Эйнштейна по сути классическим и не соответствующим тому положению вещей, с которыми имеют дело в КМ. Критиковалось также и понятие измерение, использованное Эйнштейном. На момент (1935 г.) выхода статьи Эйнштейна–Подольского–Розена и ее критики не существовало даже намека на возможность опытного разрешения спора. Однако физика наука экспериментальная, и на вопрос о том, кто прав в споре Эйнштейна и Бора, ответ может дать только эксперимент.

То, что экспериментальная проверка возможна, показала работа физика-теоретика Джона Стюарта Белла «О парадоксе Эйнштейна–Подольского–Розена», появившаяся в 1964 г. Эта небольшая работа и дала возможность количественного выражения необычных особенностей квантового мира и проверки их в эксперименте. Во многом она является ключевой. Д'Эспанья отметил важность результата Белла, указав, что он впервые открыл возможность «прямой экспериментальной проверки общих концепций, лежащих в основе всей современной микрофизики» [6. Р. 1424]. Американский исследователь А. Шимони считает, что после двух статей Белла 1964 и 1966 гг. окончательно стало ясно, что будущие физические теории уже никогда не вернуться к концептуальным рамкам классической физики. «Физическое зна-

чение неравенств Белла, – пишет он, – заключается, по-моему, в том, что они допускают почти решающую проверку картин мира, отличающихся от картины мира квантовой механики. Это, безусловно, не подразумевает, что квантовая механика, как она теперь формулируется, никогда не будет вытеснена или улучшена какой-либо новой физической теорией. Но хотя лишь горсточка квантовомеханических предсказаний (это утверждение относится к 1984 г., в настоящее время это десятки экспериментов. – А.С.) проверяется в корреляционных экспериментах, эта горсточка не должна недооцениваться, ибо она относится к наиболее чувствительным точкам столкновения картин мира. Подтверждение предсказаний квантовой механики в этих точках и не подтверждение в них того или иного неравенства Белла дают сильные основания оценки будущих физических теорий: любая теория, которая сменил и улучшит квантовую механику, сохранит неопределенность возможностей, фундаментальную роль случайностей и связанность систем» [7. Р. 35].

На данный момент можно говорить об окончании спора между Бором и Эйнштейном. Классическое понятие реальности, данное Эйнштейном, не работает для квантового мира. Неизменно подтверждаются выводы квантовой теории, как бы они не были для нас необычными. Однако, несмотря на неоспоримость результатов экспериментов по проверке неравенств Белла и тесно связанного с ним ЭПР-парадокса, их основные выводы остаются во многом непроясненными. Обсуждается все что угодно, квантовые корреляции, запутанность состояний, нелокальность, возможность сверхсветовых сигналов и т.д., но только не центральное положение критики Эйнштейна с сотрудниками, не само понимание реальности и не вывод о характере существования квантовых объектов. Вовсе не случайным является замечание известного австрийского физика Антона Цайлингера, который давно занимается рядом принципиальных вопросов квантовой механики, что «несовместимость между квантовой механикой и идеалом классического реализма куда сильнее, чем считало и считает большинство физиков» (цит по [8]). Это «большинство» просто игнорирует эти выводы, как бы не замечая их. А основные выводы как из опытов по проверке неравенств Белла, так и ЭПР-парадокса – *это особый характер существования квантовых объектов*. Упор Эйнштейна вместе с соавторами в ЭПР-парадоксе делается именно на этот факт. Парадоксально, но как критик квантовой теории Эйнштейн в то время ясно видел и осознавал, к каким изменениям приведет переосмысление понимания реальности. Другое дело, что он не принимал такого рода изменений, и отсутствие аргументов против теории квантов беспокоило его до конца жизни.

Так, физик Пайс (A. Pais) вспоминал: «Мы часто обсуждали его мнение насчёт объективной реальности. Мне помнится, как однажды во время прогулки Эйнштейн неожиданно остановился, повернулся ко мне и спросил, действительно ли я считаю, что луна существует лишь тогда, когда я на неё смотрю» [9]. В заостренной форме этот вопрос Эйнштейна всего лишь, хотя и весьма красочно, демонстрирует принцип дополнительности Бора, что те

или иные свойства квантового объекта проявляются в зависимости от экспериментально поставленного вопроса. До конца жизни Эйнштейн неизменно задавал вопрос: «Существует ли Луна, откуда на нее не смотрит мышь?»

Об этом же самом утверждают и опыты по проверке неравенств Белла. Эти опыты показали справедливость выводов Бора относительно ЭПР-парадокса. То понимание реальности, которое дал Эйнштейн, не работает в квантовой теории. Верным оказался вывод об особом существовании квантовых объектов до их регистрации, зависимости характера квантового процесса относительно характера проведения эксперимента, что как раз и не мог принять Эйнштейн. Правоту квантовомеханического описания реальности усиливает анализ условий вывода неравенств Белла (см., например, [10. С. 102–120]). Анализ того, при каких условиях осуществлялся вывод неравенств Белла, показывает, что их, с точки зрения физики, всего два. Первое из них – это тот же самый вывод Эйнштейна, что «две физические величины не могут одновременно обладать реальностью», или в терминах неравенств Белла, что «до измерения совместные распределения плотности вероятности наблюдаемых величин *существуют*». Это так называемое предположение «реализма». Второе предположение связано с локальностью пространства. Оно связано с тем, что результаты измерений наблюдателя А не влияют на результаты наблюдателя В, и наоборот. Эти утверждения стали давно объектом пристального внимания экспериментаторов. На данный момент ситуация представляется совершенно «прозрачной». Первоначально проверялось предположение «локального реализма», т.е. фактически предположения о реальности, разделяемые Эйнштейном и его последователями. Эксперименты, проведенные группой Антона Цайлингера, не оставили практически никаких шансов “локальным реалистам”. «Результаты этого эксперимента были опубликованы в Nature в 2000 г. В этом эксперименте исследовались трехчастичные запутанные состояния, которые позволяют дать достоверный, а не статистический результат по проверке локального реализма. Гринберг, Хорн и Цайлингер показали, что квантовомеханические предсказания некоторых результатов измерений над тремя запутанными частицами противоречат локальному реализму в случаях, когда квантовая теория дает достоверные, т.е. нестатистические предсказания» [11]. По результатам эксперимента более правильным является вывод, что «квантовомеханический подход и результат такого подхода несовместим с предположением, что наблюдаемые свойства объекта (в общем случае) существуют до наблюдения как объективная самостоятельная внутренняя характеристика локальных объектов» [Там же].

Однако, отказываясь от локальности, остается возможность «нелокального реализма». Это, конечно, входит, по крайней мере, в идейное представление с теорией относительности, но и оно может быть проверено, что и было сделано опять же группой Цайлингера [12. Р. 871–875]. Как правильно отмечено в комментариях по поводу этой работы, проверка теоремы Белла и ее позднейших модификаций не только не закрыла «проблему интерпрета-

ции глубинного смысла квантовомеханического описания реальности — напротив, она перевела ее на новый уровень. Если квантовые теории не могут быть одновременно реалистичными и локальными, то, что из этого следует? Возможно ли сохранить в квантовой механике локальность, пожертвовав реализмом? Или сохранить реализм, отбросив локальность (а это, напомню, запрет на воздействия, распространяющиеся со сверхсветовой скоростью)? Или надо пойти еще дальше, отказавшись и от реализма, и от локальности? Или, что не исключено, этот выбор — просто дело вкуса?» [8]. Группа Цайлингера работала с «парами неразделимо взаимосвязанных (как говорят физики, спутанных) фотонов, измеряя параметры их поляризации. При этом они исходили из такого определения полноты физического описания, которое явно не содержало требования локальности. Это определение включает три положения, первым из которых служит требование реализма. Второй пункт: любая система световых квантов является статистической смесью фотонных ансамблей с определенными значениями поляризации. Третий пункт: параметры поляризации этих ансамблей удовлетворяют классическому закону Малюса. Авторы статьи в *Nature* показали, что из этих требований тоже вытекают определенные неравенства, которым должны удовлетворять измеряемые на опыте корреляции между поляризационными характеристиками света. Однако эти неравенства оказались сложнее белловских, и для их проверки следовало экспериментировать с эллиптически поляризованным светом» [Там же].

В результате экспериментов было показано, что модифицированные неравенства также не выполняются. Это означает, что в мире квантовой механики реализм несовместим не только с локальностью, но и с весьма широким классом нелокальных описаний. Авторы статьи в *Nature* делают альтернативный вывод. «По их мнению, эксперимент с эллиптически поляризованным светом показал, что несовместимость между квантовой механикой и идеалом классического реализма куда сильнее, чем считало и считает большинство физиков. Например, можно полагать, что каждый фотон из изучаемого ансамбля как-то поляризован, однако при этом ему нельзя приписать никакого конкретного параметра поляризации» [Там же].

То, что дело вовсе не в дилемме «локальность-нелокальность» или в существовании «призрачных сверхсветовых сигналов», показывает анализ, выполненный Д.Н. Клышко и А.В. Белинским. Я не буду останавливаться на деталях как теоретических выводов, так и реально выполненных множества различных экспериментов. Все они разбираются в книге Александра Белинского «Квантовые измерения», выше уже цитированной. Очень интересной является и работа Клышко, опубликованная в «Успехах физических наук» за 1994 г., на которую Белинский часто и ссылается [13]. Название статьи примечательно не случайно: «Квантовая оптика: квантовые, классические и метафизические аспекты». Квантовая механика в действительности отсылает к метафизике и конкретно к проблеме существования. Чтобы не быть голословным, приведу основные выводы, даваемые по результатам опытов, про-

веденных на фотонах, так называемые эксперименты по «интерференции 3-го порядка».

Выводы по результатам опытов «не оставляют места для тривиальной модели светового поля с априори определенным числом фотонов... с определенной энергией... Итак, число фотонов, а в более общем случае – измеряемая величина вообще – до момента измерения не существует» [9. С. 89]. Комментируя этот вывод, Белинский приводит тезис Клышко: «Фотон является фотоном, если это зарегистрированный фотон» [13].

Итак, квантовая механика неизменно подтверждает то, что никак не мог принять Эйнштейн, против чего и было направлено его определение реальности, то, что квантовый объект не существует определенным образом до измерения. Повторяя Уилера, утверждаем, что «никакой квантовый феномен не является таковым, пока он не является наблюдаемым (регистрируемым) фотоном».

Такая ситуация и выводы требуют осмысления и интерпретации. Интересно, что, например, Цайлингер не может найти выхода, как он сам писал, из «концептуального тупика», возвращаясь то к идее влияния на прошлое, давно отринутой Уилером, то к концепции «квантовой информации», опять ни на йоту не продвигающей понимания того, чем же является квантовая реальность.

Ответ же лежит в самом формализме, и тех выводах, которые уже неоднократно озвучивались в этой работе. Вернер Гейзенберг в книге «Физика и философия» во второй главе «История квантовой теории» упоминает одну из первых работ по теории квантов. «В направлении действительного понимания квантовой теории первый и очень интересный шаг уже в 1924 г. был сделан Бором, Крамерсом и Слэтером. Они попытались устранить кажущееся противоречие между волновой и корпускулярной картинами с помощью волны вероятности. Электромагнитные световые волны толковались не как реальные волны, а как волны вероятности, интенсивность которых в каждой точке определяет, с какой вероятностью в данном месте может излучаться и поглощаться атомом квант света.

...С введением волны вероятности в теоретическую физику было введено совершенно новое понятие... Волна вероятности... означала нечто подобное стремлению к определенному протеканию событий. Она означала количественное выражение старого понятия «потенция» аристотелевской философии. Она ввела странный вид физической реальности, который находится приблизительно посередине между возможностью и действительностью» [14. С. 15–16]. Ключевым является введение понятия «возможности», что и подчеркивает Гейзенберг неоднократно в дальнейшем: «Понятие возможности, игравшее столь существенную роль в философии Аристотеля, в современной физике вновь выдвинулось на центральное место. Математические законы квантовой теории вполне можно считать количественной формулировкой аристотелевского понятия “дьюнамис” или “потенция”» [15. С. 223].

Сам он не развил последовательным образом эти мысли, высказываемые им на протяжении всей жизни, что связано в значительной степени с тем, что он ошибочно видел в этой категории некий мостик между миром духовным и миром материальным. «Понятие “возможность” довольно-таки удачно занимает промежуточное положение между объективной материальной реальностью, с одной стороны, и понятием духовной, а потому субъективной реальности – с другой... Здесь совершенно несомненно, что квантотеоретическая “вероятность” обладает хотя бы частичной объективностью» [15. С. 223], но отсюда вовсе не следует, что она «полудуховна».

Значительно более последовательным образом развил фактически те же идеи советский физик В.А. Фок. Обращение Гейзенберга к философии Аристотеля может выглядеть довольно-таки странным на фоне сравнения с квантовой физикой, однако, что представляется очень интересным, Фок в своей оригинальной трактовке фактически воплотил в реальность философские построения Стагирита. И здесь как нельзя лучше еще раз вспомнить слова В. Гейзенберга: «Если переход от классической физики к квантовой теории рассматривать как окончательный, если, следовательно, принимать, что точные науки в будущем будут содержать в своих основах понятие вероятности или возможности, “*potentia*”, то таким образом многие проблемы древней философии предстанут в новом свете, и наоборот, понимание квантовой теории может быть углублено через изучение постановок проблем в философии древних» [16]. Так что обращение к философии Аристотеля в связи с теорией квантов имеет свой смысл, как мы и увидим в дальнейшем.

Интересно, что В.А. Фок приходит фактически к тем же идеям, что и В. Гейзенберг, начиная свой анализ, однако, с теории измерения, т.е. с акцентирования момента зависимости «от иного», «относительности к средствам наблюдения» в терминологии Фока.

Анализируя процесс измерения, Фок вводит понятие «потенциальной возможности» и «осуществившегося», что является очень близкими аналогами аристотелевских понятий «бытие в возможности» – *dynamis*, *potentia* и «бытие актуальное» – «*энтелехейя*», «*энергейя*».

Прежде чем перейти к дальнейшему изложению, здесь необходимо остановиться и рассмотреть кратко собственно аристотелевскую концепцию «бытия в возможности» и «бытия в действительности».

Детальный анализ этих понятий у П.П. Гайденко в книге «Эволюция понятия науки», изложению которой этого вопроса в данном месте мы в основном и последуем.

Учение о движении Аристотель излагает в тесной связи с учением о природе, *φύσις*. Главное же в ее сущности Стагирит находит в изменении, понятии движения в самом широком смысле. В «Физике» (192 b 13-15) *φύσις* определяется как *αρχή κίνησιως*, начало движения или «распорядительный исход подвижности» по М. Хайдеггеру [17. С. 38]. Приводимое Аристотелем перечисление родов движения (увеличение и уменьшение, изменение, перемещение) показывает то, что он понимает движение в очень широком смысле

ле (широком, однако, не в значении расширенного, нечеткого или поверхностного, но в значении существенной и основательной полноты). «Под господством механического мышления наук нового времени мы теперь склоняемся к тому, чтобы подвижность в смысле перемещения от одного местоположения в пространстве к другому понимать как основную форму движения и все подвижное “объяснять”, истолковывать по ней» [17. С. 38–39]. Однако движение для Аристотеля было некоторым способом бытия и имело характер того, что М. Хайдеггер именуется *при-бытием*.

Сама же попытка *понятийного* описания движения сталкивается с известными трудностями и восходит к очень древней апории между бытием и становлением. Соответственно этому, она оказывается тесно связанной с проблемой небытия, так как к бытию может приходиться только то, что еще в бытии не существует. У элеатов стойкое неприятие мысли о небытии приводило к изгнанию понятия *становящегося* из области «знания» в область «мнения». У Платона во времена его классического учения об идеях мы также видим пренебрежение феноменом становящегося мира, но уже в «Пармениде» и, прежде всего в «Софисте», он пытается посредством нового подхода «разрыхлить» жесткое понятие бытия у элеатов (и, оказывается, добавим, в исходных формулировках близким к исходным пунктам аристотелевского понятия возможности): «...нам необходимо будет подвергнуть испытанию учение нашего отца Парменида и всеми силами доказать, что небытие в каком-либо отношении существует и, напротив, бытие каким-то образом не существует» (Софист, 241 d).

Однако, опираясь на платоновскую дуалистическую схему «бытие-небытие», оказывается невозможным описать движение, необходимо «найти “лежащее в основе” третье, которое было бы посредником между противоположностями» [18]. Остановимся на этом, следуя П.П. Гайденко<sup>1</sup>, несколько подробнее.

Введение Аристотелем понятия материи как возможности вызвано его неприятием метода Платона, исходившего из противоположностей «сущее-несущее». В результате такого подхода, пишет Аристотель, Платон отрезал себе путь к постижению изменения, составляющего главную черту природных явлений. «...Если взять тех, кто приписывает вещам бытие и небытие вместе, из их слов скорее получается, что все вещи находятся в покое, а не в движении: в самом деле, изменению уже не во что произойти, ибо все свойства имеются <уже> у всех вещей» (Метафизика, IV, 5).

<sup>1</sup> Трактовка как платоновского, так и аристотелевского учений, в деталях иногда сильно различается у историков философии. Эти детали зачастую оказываются весьма важными и существенными. Так, например, можно показать, что именно изменение в понимании аристотелевского понимания движения в XVI веке в натурфилософских учениях и создало одни из предпосылок возникновения современной европейской науки – См. Frank, Günter. *Gott und Natur. Zur Transformation der Naturphilosophie in Melanchthons humanistischer Philosophie // Melanchthon und die Naturwissenschaften seiner Zeit.* Jan Thorbecke Verlag Sigmaringen. Bretten. 1998.

Этот упрек Аристотеля в адрес Платона, впервые создавшего тот метод, который объясняет все отдельное, исходя из его места в системе, т.е. метод системно-структурный, есть, по существу, тот же упрек, который часто можно слышать по отношению к этому методу. Платон, говоря современным языком, не может объяснить развитие и изменение, ибо его система синхронична и диахрония в ее рамках невозможна, она разрушает эту систему.

«Итак, противоположность бытие-небытие, говорит Аристотель, нужно опосредовать чем-то третьим; таким посредником между ними выступает у Аристотеля понятие “бытия в возможности”. Понятие возможности Аристотель вводит, таким образом, для того, чтобы можно было объяснить изменение, возникновение и гибель всего природного и тем самым избежать такой ситуации, которая сложилась в системе платоновского мышления: возникновение из не сущего – это случайное возникновение. И, действительно, все в мире преходящих вещей для Платона непознаваемо, ибо носит случайный характер. Такой упрек по отношению к великому диалектику античности может показаться странным: ведь, как известно, именно диалектика рассматривает предметы с точки зрения изменения и развития, чего никак нельзя сказать о формально-логическом методе, создателем которого справедливо считают Аристотеля» [19. С. 282].

И этот упрек Аристотеля, как далее замечает П.П. Гайденко, вполне оправдан. Действительно, парадоксальным образом в поле зрения Платона не попадает то изменение, которое происходит с чувственными вещами. Его диалектика рассматривает предмет в его изменении, но только это особый предмет – логический. У Аристотеля же субъект изменения из сферы логической переместился в сферу сущего, а сами логические формы перестали быть субъектом изменения. Сущее у Стагирита имеет двойкий характер: сущее в действительности и сущее в возможности, и поскольку оно имеет «двойкий характер, то все изменяется из существующего в возможности в существующее в действительности... А потому возникновение может совершаться не только – привходящим образом – из несуществующего, но также <можно сказать, что> все возникает из существующего, именно из того, что существует в возможности, но не существует в действительности» (Метафизика, XII, 2).

Понятие  $\delta\upsilon\nu\alpha\mu\iota\varsigma$ , *dynamis* имеет несколько различных значений, которые Аристотель выявляет в V книге «Метафизики». Два главных значения впоследствии получили и терминологическое различие в латинском языке – *potentia* и *possibilitas*, которые часто переводят как «способность» и «возможность» (ср. нем. *способность* – *Vermögen*, и *возможность* – *Möglichkeit*). «Названием способности (возможности) прежде всего обозначается начало движения или изменения, которое находится в другом или поскольку оно – другое» (Метафизика, V, 12).

Категория бытия в возможности обладает одной интересной особенностью (важной для целей нашего анализа свойств квантовомеханической ре-

альности): «Всякая способность есть в одно и то же время способность к отрицающим друг друга состояниям... Поэтому то, что способно к бытию, может и быть и не быть, а, следовательно, *одно и то же* способно и быть и не быть» (Метафизика, IX, 8). Эту же мысль Аристотель конкретизирует в другом месте: «В возможности одно и то же может быть вместе противоположными вещами, но в реальном осуществлении – нет» (Метафизика, IV 5, 1009, а 34–36).

Вот эти положения и являются центральными для целей нашего исследования. Мы его начали с утверждения Ричарда Фейнмана о том, что существует тайна КМ и ее никто не сможет разгадать. Повторим это еще раз. Комментируя основные положения КМ, основные ее законы, он пишет: «Быть может, вам все еще хочется выяснить: «А почему это? Какой механизм прячется за этим законом?» Так вот: *никому никакого механизма отыскать не удалось. Никто в мире не сможет вам “объяснить” ни на капельку больше того, что “объяснили” мы. Никто не даст вам никакого более глубокого представления о положении вещей. У нас их нет, нет представлений о более фундаментальной механике, из которой можно вывести эти результаты*» [1. С. 217]. Фейнман во многих местах обращается к этой «тайне» КМ и утверждает, что «разгрызть этот орешек человеку не по зубам, ибо *такова природа вещей*» [1. С. 218].

Квантовую механику действительно нельзя понять, если следовать определенной оптике. Фейнман утверждает, что существует только один мир, и этот мир квантовый. Вот это положение и является главным препятствием на пути постижения «тайны» квантового мира. Каждому человеку свойствен изначальный «метафизический выбор». Это те «очки», через которые он видит и интерпретирует мир. Если же «мир один» (Фейнман), то тайна квантового мира навсегда останется тайной. В этом смысле только позиция Гейзенберга, а впоследствии и Фока, дает возможность понять, с чем мы имеем дело при интерпретации атомных явлений. КМ однозначно отсылает нас к двухмодусной картине бытия. Ее математический аппарат действительно является «количественным выражением» для концепции «бытия в возможности» Аристотеля (Гейзенберг). В такой «оптике» то, что непонятно Фейнману, становится совершенно прозрачно через призму текстов, написанных два с половиной тысячелетия назад. Взглянем еще раз на принципы КМ, формулируемые Фейнманом. Им вводится понятие события, и для него формулируются два правила:

«1) Если событие может произойти несколькими взаимно исключающими способами, то амплитуда вероятности события — это сумма амплитуд вероятностей каждого отдельного способа. Возникает интерференция.

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2, \quad \angle = |\varphi_1 + \varphi_2|^2.$$

2) Если ставится опыт, позволяющий узнать, какой из этих взаимно исключающих способов на самом деле осуществляется, то вероятность собы-

тия – это сумма вероятностей каждого отдельного способа. Интерференция отсутствует.  $P = P_1 + P_2$ » [1. С. 217].

Первое правило связано с ключевым положением КМ, принципом суперпозиции. Квантовый объект, если не происходит регистрации, находится в двух взаимно исключающих состояниях. Если «ставится опыт» (Фейнман), то мы наблюдаем только одну из этих альтернатив. Но это и есть квантово-механическая иллюстрация положений для бытия возможного и бытия действительного.

1. «Всякая способность есть в одно и то же время способность к отрицающим друг друга состояниям» (Аристотель) – «Если событие может произойти несколькими взаимно исключающими способами, то амплитуда вероятности события – это сумма амплитуд вероятностей каждого отдельного способа. Возникает интерференция» (Фейнман).

2. «В возможности одно и то же может быть вместе противоположными вещами, но в реальном осуществлении – нет» (Аристотель) – «Если ставится опыт, позволяющий узнать, какой из этих взаимно исключающих способов на самом деле осуществляется, то вероятность события – это сумма вероятностей каждого отдельного способа. Интерференция отсутствует» (Фейнман).

Первый случай связан с существованием объектов на модусе бытия возможного, мы наблюдаем «квантовую шизофрению», альтернативы существуют одновременно. Второй, когда поставлен опыт, т.е. событие совершилось, альтернативы исчезли, и мы наблюдаем только одну из них.

Введение двухмодусной картины бытия является единственной интерпретационной схемой, в рамках которой возможно непротиворечивое объяснение квантовых феноменов, с одной стороны. С другой – **только эта концепция** дает фундамент для вывода основных фундаментальных уравнений квантовой механики, что в настоящее время уже проделано в двух различных, но идейно близких подходах – концепции Ю.С. Владимирова и А.П. Ефремова. Кроме физики здесь имеется и содержательная метафизика, неизменно подтверждающая все выводы КМ.

Еще в свое время Петр Константинович Рашевский свою известную книгу «Риманова геометрия и тензорный анализ» провиденциально закончил следующим утверждением: «Возможно, что и сам четырехмерный пространственно-временной континуум с его геометрическими свойствами окажется в конечном счете образованием, имеющим статистический характер и возникающим на основе большого числа простейших физических взаимодействий элементарных частиц. Но, конечно, подходы к этому вопросу должны носить совсем иной характер, поскольку они должны базироваться на квантовой механике – теории совершенно иного стиля, чем теория относительности» (Метафизика, IV 5, 1009, а 34–36). В то время когда писались эти строки, это и было предвидением, программой, которая еще не могла быть реализована. Не существовало математики, в рамках которой такие идеи могли быть реализованы. Она появилась лишь на рубеже

60–70 гг. XX в. и была реализована в математических идеях теории физических структур Ю.И. Кулакова и его учеников. Впоследствии эти идеи были развиты В.С. Владимировым в его теории бинарной геометрофизики. И теория физических структур и бинарная геометрофизика базируется на так называемом принципе «фундаментальной симметрии». Сам принцип был получен Ю.И. Кулаковым как простое обобщение хорошо известных законов классической физики. В рамках бинарной геометрофизики этот принцип обобщается с учетом требований квантовой механики.

То, что получено в рамках этой теории, судя по серьезным результатам, нуждается в самом пристальном внимании как со стороны физиков, так и философов, что до сих пор не было сделано ни с каких сторон. А только один принцип фундаментальной симметрии представляется крайне интересным. В нем впервые сошлись как физика, так и метафизика. Современная наука строилась и строится в рамках декартовской парадигмы. В последние десятилетия все громче говорится об отходе науки от рамок декартовской метафизики. Однако большинство известных автору попыток остаются, во-первых, на уровне деклараций, а, во-вторых, все известные попытки сводятся к критике декартовского дуализма «дух-материя», причем проделывается все это со ссылкой на квантовую механику. Аргументируется последнее со ссылкой на так называемую «проблему наблюдателя» в КМ, которая в ней абсолютно отсутствует. Как правильно отмечал Фейнман, «природа не знает, на что вы смотрите, на что нет, она ведет себя так, как ей положено, и ей безразлично, интересуют ли вас ее данные или нет». Дело вовсе не в наблюдателе, а в особом существовании квантовых объектов, чему и был посвящен весь пафос этой статьи. Они существуют *до пространства-времени*, и именно этот пункт и дает реальные основания для того, чтобы говорить о какой-то новой парадигме, которая еще ждет своего часа.

Вернемся к принципу фундаментальной симметрии. С точки зрения физики, в нем лежат несколько идей. Первая из них утверждает, что мир конституируется из ненаблюдаемых фундаментальных частиц. Само их бытие отнесено изначально к допространственно-временному модусу бытия, откуда и следует их изначальная ненаблюдаемость. Во-вторых, этот модус бытия не статичен, частицы совершают переходы из одного состояния в другое. На этом уровне вводится количественное описание. В основу кладется понятие элементарного события. Между микрообъектами задается парное отношение – некоторое комплексное число  $u_{i\alpha}$ . По своей сути – это то самое понятие события, вводимое Фейнманом для описания квантовомеханических явлений, которое мы использовали в самом начале статьи. Его использование является совершенно естественным, так как очевидно этот уровень должен описываться с точки зрения условий квантовой теории. Комплекснозначное число  $u_{i\alpha}$  – это амплитуда вероятности элементарного процесса, а именно перехода из начального состояния в конечное. Такое число  $u_{i\alpha}$  задает с точки зрения математики отношение между двумя множествами элементов, множеством начальных состояний и конечных. Далее, постулируется, что

имеется некий алгебраический закон, связывающий все эти возможные отношения:

$$\Phi_{(r,s)}(u_{i\alpha}, u_{i\beta}, \dots, u_{k\gamma}) = 0.$$

Существенным положением бинарной геометрофизики является требование *фундаментальной симметрии*, состоящее в том, что этот закон справедлив при замене взятого набора элементов на любые другие в соответствующих множествах. Фундаментальная симметрия позволяет записать функционально-дифференциальные уравнения, из них найти вид как парных отношений  $u_{i\alpha}$ , так и саму функцию  $\Phi$ . Этот закон играет ключевую роль в построении бинарной геометрофизики, и именно его можно отождествить с тем формальным принципом или попросту формой, которая и придает материи качественную и количественную определенность. Элементы множества, которые и описываются этим законом, определены до пространства-времени, т.е. трансцендентны по отношению к обычной реальности. Принцип *фундаментальной симметрии* говорит о том, что множество элементов остается себестождественным при всех перестановках его элементов. Сущность этого закона вполне прозрачна и диалектична. С одной стороны, со стороны обобщения конкретной эмпирики это является обобщением хорошо известных принципов квантовой механики. Элементарное событие может быть рассмотрено в любом возможном базисе, т.е. «любое явление можно проанализировать, задав амплитуды того, что оно начинается с любого базисного состояния и кончается тоже в любом базисном состоянии... Можно использовать любую подходящую систему базисных состояний, и каждый вправе выбрать ту, которая ему по душе...» [19. С. 81–82]. По сути, это квантовомеханическое обобщение фундаментального закона физики – принципа относительности. С другой стороны, этот же принцип отображает и принцип ковариантности законов физики, так как различные базисные представления, как справедливо отмечает Дирак, аналогичны различным координатным системам в геометрии и от их выбора не может меняться сущность физических законов [20. С. 83].

Крайне интересно то, что принцип фундаментальной симметрии явным образом отображает и метафизические принципы, например, целостности и единства бытия. Но, особым образом... Когда Гейзенберг утверждал, что КМ является количественной формулировкой аристотелевского понятия «бытия в возможности» [15. С. 223], он сам и не подозревал, насколько он в этом пункте был прав. Но... только в этом пункте!... Гейзенберг часто декларирует свой «платонизм», каковым он вовсе не является. Во-первых, по Платону мир наблюдаемый вообще количественным образом не описывается! Наука физика по Платону никак не возможна, так как в нашем «подлунном» мире превалирует материя, у греков никак не описываемая не только количественно, но и, вообще, никаким образом. Во-вторых, не являются и квантовые элементарные частицы миром «форм Платона», как опять это ошибочно утверждает Гейзенбергом. Эти «формы», а точнее, эйдосы вечны и неизмен-

ны, принадлежат трансцендентному миру, где отсутствует время. Это мир вечности и неизменности, к нему никак не могут принадлежать элементарные частицы, они как раз, наоборот, пребывают в мире постоянного изменения и становления. Кроме того, мир эйдетический опять же не описывается математикой, это скорее мир качества, а не количества.

Главное наше утверждение состоит в том, что квантовая механика описывает радикальное иное. Как наука, так и философия (новоевропейская!) на эмпирическом материале квантовой теории столкнулась с тем, что никак ранее не описывала. И пока этого не будет осознано, не будет и понимания квантовой механики. Можно сколь угодно долго говорить о наблюдателе, его сознании, о параллельных мирах, влиянии на прошлое или информационном «понимании» квантовых объектов, множестве иных «трактовок» квантовой механики, но «воз» ее истинного понимания останется на том самом месте, где он и застыл для большинства на момент ее создания. А суть ее совершенно прозрачна и проста, только требует радикального иного метафизического мышления, принципиально отличающегося от декартовского. Все известные декларации о смене парадигмы вызывают только улыбки, так как базируются на «посюстороннем» мышлении. Для новой науки они равным счетом де дали, и *не дают ничего!* А один только простой факт признания того, что по ту сторону пространства-времени есть что-то, а именно «предгеометрия», как говорил Уилер, и она описывается математическими структурами, из одного этого утверждения сразу же следуют богатые физические выводы и следствия. Первой серьезной попыткой в этом направлении следует назвать твисторную программу Роджера Пенроуза, развиваемую им с 60-х гг. XX в. В этой теории пространство-время явным образом лишается той первичной роли, которую всегда играло в рамках физической теории. Пространство-время становится вторичной конструкцией, построенной из более первичных элементов, получивших название твисторов. По сути, у Пенроуза твисторы – это микрообъекты, подчиняющиеся особенностям квантовой механики. Они описываются, и это является основополагающим, с помощью комплекснозначных чисел. Пенроуз показал, что можно ввести понятие эвклидова пространства исходя из предела вероятности взаимодействия большой сети частиц, обменивающихся квантовыми спинами. При таком подходе эвклидова структура возникает из вероятностных, комбинаторных правил, т.е. пространство-время носит статистический, макроскопический характер. Теория твисторов Роджера Пенроуза явилась первой реальной попыткой реализации такой «предгеометрической» программы. К успеху она не привела, что отметил и сам Пенроуз. Эта теория, так же как и теория суперструн, носит абстрактный математический характер, в ней не прояснен физический характер смысла твисторов, и она предсказывает более сильную асимметрию пространства, нежели чем наблюдается на самом деле.

Значительно более успешной явилась программа бинарной геометрофизики Ю.С. Владимирова. В рамках единого формализма этой теории к настоящему времени получен ряд серьезных результатов. Выводится наблю-

даемая структура пространства-времени с тремя пространственными и одной временной координатой; естественным образом выводится формализм теории относительности и уравнения квантовой механики; дается объяснение четырем наблюдаемым видам взаимодействия. Получен также ряд других серьезных результатов, что позволяет рассматривать эту теорию как перспективную теорию обобщенного описания физической реальности. Не останавливаясь на физике, подчеркнем, что в этой теории явным образом видно все, что нами говорилось о метафизике квантовых объектов. Их бытие отнесено к иному модусу бытия, где целостность и его единство видны явным образом, что и проявляется в таких «таинственных» явлениях квантовой механики, как нелокальность и несепарабельность. Возвращаясь к тому, о чем мы уже начали говорить выше, этот модус бытия является «промежуточным». Он отличается как от нашей наблюдаемой, явленной или актуальной реальности, так и от мира эйдетического. Это не мир «форм Платона», как утверждал Гейзенберг. Это «бытие потенциальное», и оно было введено Стагиритом как раз в качестве опосредующего, находящегося между миром явленным и «миром» чистого бытия, не схватываемого в количественном измерении. Этот модус бытия схватывает, отражает и опосредует два разнородных модуса реальности, выступая конституирующим для нашей актуальной реальности. В соответствии с принципом «аналогии бытия» он отображает и высшее, необходимое, или чистое бытие. Если бы этого не было, у нас не было бы никакой возможности говорить о признаках настоящей метафизической теории. Суть фундаментального закона симметрии состоит в том, что он, точнее его форма, остается неизменным при всех внутренних изменениях внутри него самого. А это и есть экспликация неподвижности и неизменности модуса «Иного», которое он вынужден отображать. В законе фундаментальной симметрии явно наличествует и движение, что явно задано как в понятии элементарного перехода, так и в возможности перестановки элементов внутри множества  $\Phi$ .

С нашей точки зрения, Ю.С. Владимирову в этом законе фундаментальной симметрии удалось явно схватить и количественно описать основной закон «бытия в возможности». В рамках этой теории закон фундаментальной симметрии выступает как «начало изменения» *физического*. Из него иерархически вытекают как пространственно-временные отношения, так и современные фундаментальные физические теории, т.е. теория относительности и квантовая механика, где они не находятся в конфликте, а гармонично описывают разные уровни реальности, а точнее – разные модусы бытия. К тому же здесь и развертывается практически единая теория физических взаимодействий. Употребление словосочетания «начало изменения» здесь не случайно. Именно его использует Аристотель, давая определение бытия в возможности. Напомним его: «[Все] то, в чем находит себе выражение понятие способности, восходит к первому значению этого понятия; таким началом для способности является начало изменения, находящегося в другом или поскольку это – другое» (Метафизика, V, 12). Это значение Аристотель

и объявляет основным. На этом понятии и строится вся его «Физика», о которой Мартин Хайдеггер весьма выразительно говорил следующее: «Аристотелевская «Физика» есть сокровенная и потому ещё ни разу не продуманная в достаточной степени основная книга западной цивилизации» [17. С. 31].

Развертывание этого понятия – «бытие в возможности», его экспликация, применительно как к физике, так и метафизике требует, – качественно переосмысления таких ключевых понятий современной науки, как время, пространство и причинность. Однако это требует отдельного исследования, что и будет проделано в дальнейшем.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.* Фейнмановские лекции по физике. – Т. 3. – М., 1977.
2. *Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.* Фейнмановские лекции по физике. – Т. 8, 9. – М., 1978.
3. *Уилер Дж.* Квант и Вселенная // *Астрофизика, кванты и теория относительности.* – М., Мир, 1982.
4. *Хорган Дж.* Квантовая философия // *В мире науки.* – 1992. – № 9–10.
5. *Einstein A., Podolsky B., Rosen N.* Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete // *Physical Review.* – 1935. – 47.
6. *D'Espagnat B.* Use of Inequalities for the experimental test of a general Conception of the Foundation Microphysics // *Physical Review.* – 1975. – V. 11. – N 6.
7. *Shimony A.* Contextual Hidden Variables Theories and Bell's Inequalities // *Brit. J. Phil. Sci., Aberdeen.* – 1984. – 35. – N 1.
8. *Левин А.* В квантовом мире нет места реализму? URL: <http://elementy.ru/news/430505>
9. *Reviews of Modern Physics.* LI. 863 (1979): 907.
10. *Белинский А.В.* Квантовые измерения. – М.: БИНОМ, 2010.
11. *Доронин С.И.* Нелокальность в окружающем мире. Экспериментальная проверка. URL: <http://www.patent.net.ua/intellectus/temporalogy/25/ua.html>
12. *Groblacher S., Paterek T., Kaltenbaek R., Brukner C., Zukowski M., Aspelmeyer M., Zeilinger A.* An experimental test of non-local realism // *Nature.* – 2007. – 446.
13. *Клышко Д.Н.* Квантовая оптика: квантовые, классические и метафизические аспекты // *УФН.* **164:** 11 (1994), 1187–1214.
14. *Гейзенберг В.* Физика и философия. Часть и целое. – М.: Наука, 1989.
15. *Гейзенберг В.* Шаги за горизонт. – М.: Прогресс, 1987.
16. *Heisenberg W.* Gesamelte Werke, Bd. 2. München, Zürich, 1984.
17. *Хайдеггер М.* О существе и понятии *φύσις*. Аристотель «Физика» β-1. – М.: Медиум, 1995.
18. *Гайденко П.П.* Эволюция понятия науки. – М., 1980.
19. *Рашевский П.К.* Риманова геометрия и тензорный анализ. – М., 1967.
20. *Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.* Фейнмановские лекции по физике. – Т. 8. – М., 1978.
21. *Дирак П.А.М.* Принципы квантовой механики. – М., 1960.

## **ONTOLOGY OF QUANTUM MECHANICS, OR FROM PHYSICS TO PHILOSOPHY**

**A.Yu. Sevalnikov**

The article is devoted to the interpretation of quantum mechanics. It is asserted that a consistent interpretation of the theory may be achieved by changing the ontological views. Feynman, Wheeler and Heisenberg show that all the problems of quantum mechanics may be removed by introduction of the two-modi ontological scheme – the possibility of being and being of the real. In the paper the possibility of being is linked to the out-of-space being, with which the initial existence of quantum objects is connected. It is shown that such approach is productive, because within it is possible to obtain the basic equations of quantum mechanics which, as a matter of principle, is not given by either of alternative approaches to quantum mechanics.

**Key words:** Quantum mechanics, ontology, metaphysics, the possibility of being and being in reality, non-locality, the EPR paradox, complex-valuedness.

---

## РЕЛЯЦИОННЫЕ ОСНОВАНИЯ ФИНСЛЕРОВЫХ СПИНОРОВ

А.В. Соловьев

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова*

Обсуждаются реляционные основания теории финслеровых спиноров. Описывается история возникновения понятия спинора. Формулируются исходные положения математического аппарата бинарной геометрофизики и теории финслеровых спиноров. Перечисляются решенные и нерешенные проблемы теории финслеровых спиноров.

**Ключевые слова:** финслеровые спиноры, реляционная парадигма, бинарная геометрофизика, псевдофинслеровые пространства.

Среди разнообразных математических объектов, используемых в физике, особо выделяются спиноры. Дело не только в том, что спинорными полями описываются фундаментальные фермионы, такие как лептоны и кварки. Спиноры выделены чисто геометрически. Из них можно легко построить тензорные объекты, тогда как обратная процедура весьма затруднена. Кроме того, простейшие 2-компонентные спиноры порождают в пространствах своих тензорных произведений привычные нам евклидову и псевдоевклидову геометрии трех и четырех измерений. Последнее обстоятельство вместе с соображениями конформной инвариантности как раз и составляет математическую основу твисторной программы Р. Пенроуза [1].

Кроме твисторов существуют и другие спинороподобные объекты, о которых пойдет речь в настоящей статье. Они именуются гиперспинорами или финслеровыми спинорами, поскольку порождают многомерные финслеровы пространства специального типа. Эти объекты были независимо введены в работах Д. Финкельштейна [2; 3] и в наших с Ю.С. Владимировым статьях [4; 5]. Во всех указанных работах мотивация была примерно одинаковая. Но если Д. Финкельштейн исходил из аналогии с многомерными геометрическими моделями типа теории Калуцы – Клейна и задавался вопросом, нельзя ли построить «спинорное многомерие», считая теорию 2-компонентных спиноров в стиле Б.Л. ван дер Вардена [6] 4-мерной, то в наших статьях отправной точкой была идея «бинарного многомерия» в рамках предложенной ранее Ю.С. Владимировым бинарной геометрофизики (современное ее изложение см. в [7]). Но прежде чем углубляться в теорию финслеровых спиноров, имеет смысл напомнить основные вехи истории обычных спиноров.

Довольно удивителен факт, что так называемые спинорные группы евклидова пространства трех и четырех измерений были известны еще У. Гамильтону и А. Кэли. Дело в том, что кватернионы с единичным модулем образуют группу  $Spin(3)$ , которая двулистно накрывает группу вращений 3-мерного евклидова пространства, реализованную с помощью внут-

ренных автоморфизмов алгебры кватернионов. Аналогичное справедливо и для 4-мерного евклидова пространства, только автоморфизмы будут уже не внутренние, а порожденные двумя кватернионами с единичными модулями. Последнее обнаружил А. Кэли в 1855 г. Следующий важный шаг был сделан Р. Липшицем в 1886 г. В его книге [8] была переоткрыта алгебра Клиффорда, определена группа  $\text{Spin}(n)$  как подмножество элементов этой алгебры и построено двулистное накрытие группы  $\text{SO}(n)$ . Однако все еще не были построены линейные представления спинорных групп. Это было сделано в статье Э. Картана [9]. В ней не использовался термин «спинор», но были построены спинорные представления алгебр Ли комплексных ортогональных групп. Сам термин «спинор» для новых объектов предложил П. Эренфест сразу после открытия В. Паули и П. Дираком в 1927–1928 гг. волновых уравнений для нерелятивистского и релятивистского электрона со спином. Волновые функции такого электрона как раз и оказались спинорнозначными. Более того, они принадлежат пространствам бесконечномерных унитарных представлений группы  $\text{SO}(3)$  в нерелятивистском и группы Лоренца – в релятивистском случаях. Дальнейшее развитие квантовой теории поля привело к необходимости рассматривать спинорные поля с антикоммутирующими (грассмановыми) компонентами. Спинорные поля были определены в псевдоевклидовых пространствах произвольного числа измерений и сигнатуры. Кроме того, они существуют и в псевдоримановых пространствах.

Главное в спинорах – это то, что они связаны с псевдоевклидовой геометрией посредством двузначных представлений псевдоортогональных групп. Финслеровы же спиноры тесным образом связаны с финслеровой геометрией и представлениями группы  $\text{SL}(n)$  (как над полем комплексных, так и действительных чисел).

Следует особо отметить, что финслеровы спиноры первоначально были определены нами в рамках реляционного подхода к геометрии пространства-времени и описанию физических взаимодействий, называемого бинарной геометрофизикой [7]. Почему реляционного? Дело в том, что автору этой статьи, как ученику Ю.С. Владимирова, всегда было очевидно, что, убрав из мира всю материю, мы вместе с ней неизбежно потеряем сами пространство и время. Поскольку, по современным представлениям, материя состоит из квантовых элементарных частиц, вполне естественно предположить, что эти самые частицы, взаимодействуя друг с другом *напрямую* на микроскопическом масштабе, на масштабе уже макроскопическом создают как статистический итог наблюдаемое пространство-время. Бинарная геометрофизика как раз и кладет в основу описания реальности понятие отношения (relation) между объектами. Так называется действительное или комплексное число, сопоставляемое каждой паре объектов. Наиболее подходящей математической теорией для работы с такими отношениями оказалась теория физических структур [10], созданная Ю.И. Кулаковым и его учениками Г.Г. Михайличенко и В.Х. Львом. Однако в ней рассматривались только действительные отношения, а для нужд квантовой теории были необходимы

комплексные. Поэтому была произведена комплексификация физических структур и они стали называться системами комплексных отношений. Нетривиальная теория получается только на одном (унарный случай) или двух (бинарный случай) множествах объектов. Поскольку унарная теория в определенном смысле может считаться частным случаем бинарной, было решено положить в основу математического аппарата бинарной геометрофизики именно бинарные системы комплексных отношений.

В бинарной геометрофизике используются бинарные системы комплексных отношений симметричных рангов. Такие системы отношений задаются на двух множествах элементов произвольной природы. Каждой паре элементов из разных множеств ставится в соответствие комплексное число – парное отношение между элементами. Говорят, что на множествах определена бинарная система комплексных отношений ранга  $(r, r)$ , если между парными отношениями, составленными для *любых*  $r$  элементов из первого множества и *любых*  $r$  элементов из второго множества, существует универсальная функциональная зависимость – закон системы отношений. Вид закона бинарной системы комплексных отношений ранга  $(r, r)$  (равно как и вид функции, сопоставляющей парам элементов из разных множеств комплексные парные отношения) должен находиться в результате решения весьма сложной математической задачи и она до сих пор в полном объеме не решена. Однако если принять, что закон бинарной системы комплексных отношений ранга  $(r, r)$  выражается в виде равенства нулю определителя  $r$ -го порядка, составленного из  $r^2$  парных отношений между элементами, то можно легко показать, что сами парные отношения являются билинейными формами от  $2(r - 1)$  комплексных переменных, играющих роль координат элементов. После этого появляется возможность применять чисто аналитические методы обращения с числовыми параметрами (координатами) элементов.

Кроме парных отношений и закона бинарной системы комплексных отношений ранга  $(r, r)$  весьма важную роль в бинарной геометрофизике играют так называемые фундаментальные  $(r - 1) \times (r - 1)$ -отношения, представляющие собой миноры  $(r - 1)$ -го порядка определителя, входящего в закон бинарной системы комплексных отношений ранга  $(r, r)$ . Оказывается, каждое такое фундаментальное  $(r - 1) \times (r - 1)$ -отношение может быть записано в виде произведения двух определителей  $(r - 1)$ -го порядка, столбцами которых являются столбцы координат элементов двух множеств-носителей бинарной системы комплексных отношений ранга  $(r, r)$ .

Последнее замечание было отправной точкой в наших статьях [4, 5] о финслеровых спинорах. Дело в том, что множества, на которых задана бинарная система комплексных отношений ранга  $(r, r)$ , можно надеть дополнительной структурой линейных пространств, вводя стандартным образом (покоординатно) операции сложения элементов и умножения элементов на комплексные числа. Тогда указанные выше определители  $(r - 1)$ -го порядка при  $r > 2$  становятся невырожденными антисимметричными полили-

нейными функционалами на соответствующих линейных пространствах. Они были названы симплектическими скалярными  $(r-1)$ -произведениями элементов, а сами элементы линейных пространств – финслеровыми  $(r-1)$ -спинорами.

Теория финслеровых спиноров строится по образу и подобию хорошо известной теории 2-компонентных спиноров. Прежде всего, выясняется, что группой автоморфизмов пространства финслеровых  $(r-1)$ -спиноров является группа  $SL(r-1, \mathbb{C})$  комплексных матриц  $(r-1)$ -го порядка с единичным детерминантом. Далее, в тензорных произведениях пространств финслеровых  $(r-1)$ -спиноров естественным образом возникают геометрии финслерова типа. Точнее, существует три серии пространств, порожденных финслеровыми  $(r-1)$ -спинорами. Их размерности таковы:  $(r-1)^2$ ,  $r(r-1)/2$  и  $(r-1)(r-2)/2$ . Среди этих пространств при малых  $r$  можно обнаружить одномерное евклидово пространство, а также псевдоевклидовы пространства трех, четырех и шести измерений. Это и не удивительно, ибо случай  $r=3$  (минимальный ранг) полностью соответствует стандартной теории 2-компонентных спиноров [6]. Остальные пространства тоже плоские, но несут псевдофинслеру геометрию с метриками, определяемыми однородными многочленами  $(r-1)$ -й степени. Все эти метрики  $SL(r-1, \mathbb{C})$ -инвариантны. Найдены компактные формулы для матриц преобразований, сохраняющих данные метрики и принадлежащих гомоморфному образу группы  $SL(r-1, \mathbb{C})$ . Таким образом, возникает весьма интересный канал обобщения обычных спиноров.

Полученные многомерные псевдофинслеровы пространства являются пространствами трех простейших (помимо фундаментального) неприводимых представлений группы  $SL(r-1, \mathbb{C})$ . В связи с этим понятна процедура размерной редукции построенной теории. Надо просто выбрать в  $SL(r-1, \mathbb{C})$  подгруппу, изоморфную группе  $SL(2, \mathbb{C})$ , и разложить все геометрические объекты на неприводимые части уже по группе  $SL(2, \mathbb{C})$ . Таким путем получается любопытный результат. Для 4-мерного наблюдателя все упомянутые метрики выглядят как конформно-плоские в псевдоримановом смысле, однако содержат не только векторы и скаляры, но и майорановские спиноры и псевдовекторы.

Автор по мере сил пытался строить классическую и квантовую механику в упомянутых псевдофинслеровых пространствах.

Из области классической механики следует упомянуть один не вполне тривиальный вывод: уравнения движения массивной свободной частицы, хотя и являются нелинейными, тем не менее интегрируются в общем виде и подтверждают закон инерции Галилея в 9-мерном случае [11]. Интересно, что финслеров аналог дисперсионного уравнения для многомерного импульса классической частицы в результате размерной редукции приводит к перенормировке массы покоя и сдвигу 4-импульса на изотропный 4-вектор.

Из области квантовой механики заслуживает упоминания волновое уравнение для 3-спинорной частицы в 9-мерном псевдофинслеровом про-

странстве [12]. Оказалось, что это уравнение может быть записано в форме Даффина – Кеммера, причем соответствующие матрицы удовлетворяют неизвестным ранее соотношениям, обобщающим на финслеров случай соотношения алгебры Даффина – Кеммера. Любопытно, что процедура размерной редукции приводит к расщеплению упомянутого 9-мерного волнового уравнения на 4-мерные уравнения Дирака и Клейна – Гордона – Фока. Кстати, это общее свойство волновых функций частиц в пространствах, порожденных финслеровыми спинорами: для 4-мерного наблюдателя нескалярные волновые функции расщепляются на (майорановские) 4-спиноры, 4-векторы и 4-скаляры. Это напоминает строение супермультиплетов в суперсимметричных теориях поля. Однако в нашем случае майорановские спиноры не являются антикоммутирующими и преобразования волновых функций только формально напоминают преобразования суперсимметрии.

Более подробно с теорией финслеровых спиноров и ее возможными приложениями в контексте бинарной геометрофизики можно ознакомиться по книге автора [13].

Среди нерешенных задач следует выделить следующие. Попытки вторичного квантования теории даже в низших размерностях наталкиваются на непреодолимые препятствия как технического, так и концептуального свойства. В связи с этим разумно стремиться получить правила Фейнмана, минуя традиционный этап квантовой теории поля. Это легче всего сделать в импульсном представлении. И здесь на передний план выходит проблема определения естественной меры в интегралах по псевдофинслеровым импульсным пространствам, порожденным финслеровыми спинорами. В значительной степени автору удалось справиться с этой задачей, но полного и окончательного решения для всех типов пространств и размерностей так и нет. Большие проблемы наблюдаются с интерпретацией возможных типов взаимодействий частиц. Главным образом это относится к взаимодействию типа «спинор-спинор». Хотя подобные взаимодействия встречаются в суперсимметричных теориях, автору неясен их физический смысл. Наличие у многомерного импульса частиц не только скалярных, но и спинорных компонент тоже вызывает большие интерпретационные трудности. Автор не теряет надежды со временем справиться со всеми этими задачами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Penrose R.* Twistor Algebra // *Journal of Mathematical Physics.* – 1967. – V. 8. – no. 2. – P. 345–366.
2. *Finkelstein D.* Hyperspin and hyperspace // *Physical Review Letters.* – 1986. – V. 56. – P. 1532–1533.
3. *Finkelstein D., Finkelstein S.R., Holm C.* Hyperspin manifolds // *International Journal of Theoretical Physics.* – 1986. – V. 25. – P. 441–463.
4. *Владимиров Ю.С., Соловьев А.В.* Физическая структура ранга (4, 4; б) и трехкомпонентные спиноры. Системология и методологические проблемы информационно-логических систем. – Новосибирск: Институт математики СО АН СССР, 1990. – Вычислительные системы. Вып. 135. – С. 44–66.

5. Соловьев А.В. К теории бинарных физических структур ранга  $(5, 5; 6)$  и выше. Системология и методологические проблемы информационно-логических систем. – Новосибирск: Институт математики СО АН СССР, 1990. – Вычислительные системы. Вып. 135. – С. 67–77.
6. Van der Waerden B.L. Spinoranalyse. Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse. – 1929. – S. 100–109.
7. Владимиров Ю.С. Основания физики. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 455 с.
8. Lipschitz R. Untersuchungen über die Summen von Quadraten. Max Cohen und Sohn, Bonn. – 1886. – S. 1–147.
9. Cartan É. Les groupes projectifs qui ne laissent invariante aucune multiplicité plane // Bulletin de la Société Mathématique de France. – 1913. – Т. 41. – P. 53–96.
10. Кулаков Ю.И. Теория физических структур. – М., 2004. – 847 с.
11. Solov'ev A.V. General solution of equations of motion for a classical particle in 9-dimensional Finslerian space // Russian Journal of Mathematical Physics. – 2006. – V. 13. – no. 4. – P. 466–472.
12. Соловьев А.В. Финслеровы 3-спиноры и обобщенное уравнение Даффина – Кеммера // Фундаментальная и прикладная математика. – 2009. – Т. 15. – № 6. – С. 201–210.
13. Соловьев А.В. Алгебраическая теория N-спиноров. Приложения в геометрии и физике. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. – 120 с.

## RELATIONAL FOUNDATIONS OF FINSLERIAN SPINORS

A.V. Solovyov

Relational foundations of the theory of Finslerian spinors are discussed. History of spinors is described in brief. Basic principles of a mathematical formalism of both binary geometrophysics and the theory of Finslerian spinors are formulated. Solved and unsolved problems of the theory of Finslerian spinors are listed.

**Key words:** Finslerian spinors, relational paradigm, binary geometrophysics, pseudo Finsler spaces.

---

## БИНАРНЫЙ ХАРАКТЕР КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ

С.Ю. Поройков

*Российское философское общество РАН*

**Аннотация:** Работа посвящена рассмотрению оснований квантовой механики с позиции бинарной геометрофизики. Проводится алгебраический анализ уравнения Шредингера. Обсуждается интерпретация волновой функции. Рассматривается соотношение квантовой механики и теории относительности. Предложена четырехмировая интерпретация квантовой механики.

**Ключевые слова:** квантовая механика, бинарная геометрофизика, уравнение Шредингера, волновая функция, квадраты, комплексные числа.

### Введение

К настоящему времени предложено не менее десятка различных интерпретаций квантовой механики. Вместе с тем ни одна из известных трактовок не снимает всего комплекса вопросов, связанных с данной проблематикой. Как выразился Р. Фейнман, «никто по-настоящему не понимает квантовую механику». Представляется, что подобная ситуация связана, помимо прочего, с тем, что основное уравнение квантовой механики – уравнение Шредингера изначально постулируется, а не выводится. В этой связи сохраняет актуальность поиск системы оснований квантовой механики.

Уравнение Шредингера может быть проанализировано с позиции математики. Иными словами, система оснований квантовой механики может быть найдена алгебраически. При подобном подходе для обоснования физической теории приходится опираться на абстрактные математические конструкции. На тесную взаимосвязь физики и математики обращало внимание немало исследователей, что, в частности, вылилось в представления о «поразительной эффективности» математики. Так, например, в работе «О природе теоретической физики» А. Эйнштейн писал: «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».

Парадоксально, но поиск обоснования квантовой механики выводит нас за пределы традиционного ее понимания. Символично, что именно такое развитие событий предвидел Р. Фейнман, предсказывая, что «наступит время философов» для обоснования принципов квантовой механики.

## Проявление бинарности в уравнении Шредингера

Одним из наиболее общих подходов к поиску оснований физических концепций является метод физических структур, предложенный Ю.И. Кулаковым [1]. В основу данного метода положена идея о фундаментальном характере бинарных отношений. Согласно Кулакову сами законы физики можно рассматривать как бинарные (двоичные) структуры. При этом определенный вид симметрии, проявляющийся в характере отношений между объектами произвольной природы, уже сам по себе накладывает существенные ограничения на возможный вид законов, связывающих элементы соответствующих систем.

Идеи Ю.И. Кулакова получили свое развитие в работах Ю.С. Владимирова. Бинарная геометрофизика Владимирова в качестве исходных элементов рассматривает систему бинарных отношений в поле комплексных чисел. При подобном подходе классическое пространство-время не рассматривается в качестве первичного понятия. Метрика пространства-времени не задается аксиоматически, а выводится из более элементарной структуры – системы, состоящей из двух множеств элементов. При этом первоосновой действительного пространства-времени оказывается комплексное пространство-время.

Бинарная геометрофизика развита в рамках реляционного подхода, когда положение объекта в пространстве и во времени обретает смысл только в сравнении с другим объектом. На плодотворность бинарной геометрофизики, в частности, указывает то, что в рамках данного подхода возможно описание всех известных взаимодействий и элементарных частиц [2].

Принципы бинарной геометрофизики применимы при анализе квантовой механики. Обе концепции используют аппарат комплексных чисел. Кроме того, и бинарная геометрофизика и квантовая механика описывают дискретные переходы систем из одного состояния в другое. Бинарная геометрофизика строится на двух множествах элементов, одно из которых сопоставляется с начальным состоянием квантовой системы, а второе – с конечным состоянием, что отвечает принципу дискретности квантовомеханических состояний. Переход бинарной системы из одного состояния в другое интерпретируется как квантовый переход.

С целью более детального сопоставления бинарной геометрофизики и квантовой механики проанализируем уравнение Шредингера. Напомним, что уравнение Шредингера описывает комплексную волновую функцию  $\Psi$ . Алгебраически уравнение Шредингера представимо как одна из форм записи уравнения Эйлера, связывающего действительные и мнимые величины. Наиболее известной формой записи уравнения Эйлера является выражение

$$e^{i\pi} = -1. \quad (1)$$

Принято считать, что физическим смыслом обладает не волновая функция как таковая, а квадрат волновой функции  $|\Psi|^2$ , равный произведению

волновой функции  $\Psi$  и комплексно сопряженной функции  $\Psi^*$ . Квадрат волновой функции определяет вероятность нахождения системы в определенном состоянии. В данном случае, по сути, помимо перехода системы из начального состояния в конечное также рассматривается обратный переход – из конечного состояния в начальное. Действительно, операция комплексного сопряжения представима как инверсия оси времени. Иными словами, в подобной системе реализуется *обратимый переход*, то есть *осцилляция*. Принцип осцилляции в поле комплексных чисел наглядно иллюстрирует формула Эйлера

$$e^{i\varphi} = \cos \varphi + i \sin \varphi. \quad (2)$$

В частном случае, при  $\varphi = \pi$  получаем выражение (1).

Условие комплексного сопряжения накладывает ограничение на вид бинарных систем, описывающих квантовомеханические процессы. Иными словами, квантовая механика отображает реализацию не просто системы комплексных бинарных отношений, а комплексно-сопряженных бинарных отношений.

Еще А. Эддингтон обращал внимание на то, что квантовые вероятности в каждый настоящий момент определяются двумя симметричными системами волн, распространяющимися в противоположных направлениях времени. И. Пригожин замечал, что в уравнении Шредингера для каждой волновой функции комплексно-сопряженную относительно нее функцию можно интерпретировать как волновую функцию, эволюционирующую назад во времени. Пригожин полагал, что «определение вероятности влечет за собой встречу двух времен – одного, идущего из прошлого, другого, идущего из будущего» [3. С. 122–123].

Алгебраически уравнение Шредингера устанавливает соотношение между состоянием системы в действительном пространстве-времени и состоянием систем, расположенных в двух сопряженных с ним континуумах: мнимых пространств, отличающихся направлением течения времени. Квантовая механика допускает обратимое течение времени. Данный парадокс, например, иллюстрирует известная СРТ-теорема.

В рамках бинарной геометрофизики волновая функция обретает определенный физический смысл, будучи представима в качестве потенциального состояния материальной системы. Так, Ю.С. Владимиров вслед за В. Гейзенбергом замечает: «Формулировка квантовой теории 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)» [4. С. 42].

## Соотношение квантовой механики и теории относительности

Одна из фундаментальных задач, стоящих перед современной физикой, – объединение квантовой механики и теории относительности. Так, например, Р. Пенроуз полагал, что «полная квантовая механика должна включить теорию Эйнштейна как предельный случай больших масс и расстояний» [5. С. 838]. Предпринимались попытки расширить теорию относительности до сферы комплексных чисел. Для решения подобной задачи Пенроуз ввел в рассмотрение понятие твистора как двухкомпонентного спинора. Элементарная спинорная структура материи также оказалась в центре внимания бинарной геометрофизики [4. С. 34].

Такие алгебраические структуры, как спиноры и твисторы, а также родственные им бикватернионы широко применяются в физике элементарных частиц. Упомянутые структуры задаются в рамках метрик, соответствующих двумерному комплексному пространству или четырехмерной сфере Римана. Математически подобные структуры описывают некое первичное «предпространство», порождающее действительное пространство-время, частицы и поля [6. С. 61–76]. Метрика вышеупомянутых структур основывается на положительных и отрицательных числах, как действительных, так и мнимых. Подобной метрике пространства-времени соответствует общее решение уравнения интервала в теории относительности. Расчеты показывают, что пересечение горизонтов событий черных дыр, предсказанных общей теорией относительности, сопряжено со сменой действительных координат на мнимые, а также отрицательные [7].

В рамках метрики, соответствующей комплексно-сопряженным координатам, такие объекты реализуемы как «квадриги» Я.П. Терлецкого. «Квадриги», то есть четыре частицы, относятся к четырем видам пространств, объединенных в единое комплексно-сопряженное пространство. В этом случае возможно рождение материи «из ничего» при выполнении известных законов сохранения. Идея «квадриг» перспективна и в том смысле, что данные элементарные частицы являются «спутанными», то есть их состояния взаимосвязаны. Они как бы «чувствуют» состояния друг друга. В подобной системе реализуем принцип Маха как идея взаимосвязи состояния материи. Так, в реляционной теории вместо концепции близкодействия используется концепция дальнего действия.

В системе, состоящей из комплексно-сопряженных пространств, основное уравнение квантовой механики Шредингера обретает наглядный физический смысл. Среди прочего речь идет о выражении идеи многомерия посредством квантовомеханического математического аппарата. Так, посредством формул, основанных на уравнении Эйлера, выражается идея компактификации дополнительных измерений [2. С. 271]. Тем самым в рамках рассматриваемого подхода может быть предложена четырехмировая интерпретация квантовой механики.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кулаков Ю.И. Теория физических структур. – М.: 2004.
2. Владимиров Ю.С. Метафизика. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2002.
3. Пригожин И. Конец определенности. Время, хаос и новые законы природы. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001.
4. Владимиров Ю.С. Твисторная программа Пенроуза и бинарная геометрофизика // Метафизика. – 2013. – № 3 (9).
5. Пенроуз Р. Путь к реальности, или Законы, управляющие Вселенной. – М.–Ижевск: Институт компьютерных исследований. НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2007.
6. Кассандров В.В. Число, Время, Свет (Алгебраическая динамика и физическая картина Мира) // Математика и практика. Математика и культура. – Вып. 2 / ред. М.Ю. Симанков. – М.: Самообразование, 2001.
7. Поройков С.Ю. Космос Платона как физико-математическая модель Вселенной // Метафизика. – 2013. – № 2 (8).

## BINARY NATURE OF QUANTUM MECHANICS

**S.Yu. Poroikov**

This paper is devoted to the foundations of quantum mechanics with the position of the binary geometrophysics. Algebraic analysis is performed of the Schrodinger equation. The interpretation of the wave function is discussed. The ratio of quantum mechanics and the relativity theory is considered. Four-world interpretation of quantum mechanics is offered.

**Key words:** quantum mechanics, binary geometrophysics Schrödinger equation, the wave function, Quadriga, complex numbers.

# ПРИНЦИПЫ РЕЛЯЦИОННОГО ПОДХОДА В ФИЗИКЕ

## К ПРИНЦИПУ МАХА И ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ИНЕРЦИИ

Б.С. Садыков

*Московский государственный университет печати*

В статье рассмотрена теория, объясняющая физическую природу инерции. Предложена система дифференциальных уравнений, которая раскрывает физическую сущность инерции. Из предложенной системы уравнений вытекают все следствия специальной и общей теории относительности.

**Ключевые слова:** инерция, инерционное поле, принцип Маха, преобразование координат неинерциальных систем.

### 1. Принципы относительности и эволюция механики

**Механика** – один из старейших и важнейших разделов физики, по иронии судьбы оказалась и самой несовершенной. Все революционные идеи, которые происходили в истории физики, ураганом прошли по всем разделам физики, сметая на своем пути все, что не соответствовало их требованиям, но больше всего ударили именно по механике. Причиной этих потрясений, как ни странно, стало явление, которое теперь называем **принципом относительности**.

Всякое уточнение этого принципа приводило к отмене одной механики и возникновению другой. В античном мире относительность была односторонней. Земля считалась центром мироздания, всякое движение происходило относительно этого неподвижного центра.

Наиболее яркий представитель античного мира Аристотель разработал свою натурфилософскую доктрину, в которой физика занимает важное место. Одну из своих книг по физике назвал «Механикой», понимая под этим названием не науку о движении, а искусство создавать инструмент, изгото-

вить то, чего нет в естественных условиях, близко к тому, что сейчас мы называем «мастер на все руки» [1].

Физика Аристотеля сыграла важную роль в систематизации естественных явлений и на протяжении почти двух тысячелетий была главным учебником, по которому изучали законы физики. В книге, по традиции того времени, отражены и теологические принципы. Сам термин «теология» принадлежит Аристотелю.

Движение, по Аристотелю, есть энтелехия существующего в потенции и делится на две части – подлунное и надлунное. Первое – энтелехия в потенции – движение, которое имеет цель (энтелехия) – перейти из одного места на другое место, оно имеет начало, конец и середину. Здесь прослеживается аналог с движениями человека, у человека есть намерение – цель, пойти куда-то, есть конечный пункт назначения.

Второй тип движения, надлунное – бесцельное, оно не имеет цели, у него нет ни начала, ни конца, ни середины, движение круговое, оно происходит вокруг общего центра – Земли. Надлунный мир есть воплощение вечного порядка и неизменности.

Природа состоит из пяти элементов – земля, вода, воздух, огонь и эфир. Первые четыре элемента – стихии подлунного мира, последний – эфир – элемент, существующий лишь в надлунном мире, он подвижнее всех и является материей небесных тел.

Каждому телу изначально предназначено свое место относительно Земли. Тяжелые тела занимают самое низкое место, легкие – над ними, а газы – еще выше. Завершает иерархию наверху – эфир. Тяжелые тела падают быстрее, чтобы их места не занимали легкие и т.д.

В те времена традиции экспериментальной проверки явлений не было, теории строились на базе визуальных наблюдений и логического анализа. То, что наблюдения могут быть неточными, а анализы ошибочными, их не смущал.

В начале XVI в. Галилео Галилей, основоположник экспериментальной физики, решает проверить некоторые утверждения механики Аристотеля. Начинает эксперимент с падением тел. Наклон Пизанской башни позволяет провести точное измерение времени падения. Он берет разные по форме и размеру предметы и бросает их с вершины башни вниз. К его удивлению, все тела, независимо от их массы, падают одновременно, с одинаковым ускорением  $9,81 \text{ м/с}^2$ . Почему именно с таким значением ускорения, он не знает, его объяснит позже Ньютон. Но то, что легкие и тяжелые тела падают одновременно, его очень удивило.

Идея другого эксперимента состоит в следующем: на наклонной доске удерживается небольшое тело. Если его отпустить, то тело скользит по поверхности доски и остановится на некотором расстоянии от нее. Второй раз повторяется опыт, но предварительно шлифует поверхность доски, тогда тормозной путь увеличится. Третий раз повторяет опыт, но на этот раз шлифуются обе поверхности – тело скользит еще дальше. А что будет, если уб-

рать все препятствия на пути скольжения тела? Тогда, заключает Галилей, тело будет двигаться вечно без остановки. На основании этого мысленного опыта он заключает, что постоянное движение возможно и без внешних воздействий. Внешние воздействия скорость изменяют, а не поддерживают.

Третий эксперимент Галилея решающий. Он пишет: «Закройтесь в кают-компании большого судна, прихватив с собой мух, бабочек и прочих летающих существ. Возьмите также сосуд, в котором плавала бы рыбка; подвесьте бутылку, из которой вода вытекала бы капля за каплей в подставленный ниже широкий сосуд. Пока судно будет стоять, внимательно присмотритесь к тому, как мелкие твари летают в каюте с одинаковой частотой по всем направлениям, капли из бутылки падают в подставленный снизу сосуд. Внимательно наблюдая все эти явления, вы пускаетесь в плавание. До тех пор пока движение судна будет прямолинейным и равномерным, вы не обнаружите ни малейших отклонений в наблюдаемых ранее явлениях и не сможете отличить, движется ли судно, или стоит на одном месте. Капли будут, как прежде, капать в подставленный снизу сосуд, ничуть не отклоняясь к корме, рыбки будут плавать так же часто. Наконец, мухи и бабочки будут по-прежнему летать во всех направлениях, как и до этого».

Это наблюдение, доказавшее тождественность состояния покоя и равномерного прямолинейного движения, получившее название принцип относительности Галилея, нанесло сокрушительный удар по механике Аристотеля и породило механику Галилея – Ньютона. Ньютон возвел этот принцип в ранг закона, назвал законом инерции и на его основе построил свою *механику*.

Эта механика, которая по сей день не потеряла актуальность, настолько хорошо описывает наблюдаемые явления, что, по выражению А. Пуанкаре, «создается впечатление, что у природы нет иной цели, кроме подтверждения законов Ньютона». Однако вскоре стало известно, что оценки немного преувеличены.

В середине XIX столетия возникла новая наука – электродинамика и показала, что механика Ньютона допускает дальное действие, что противоречит наблюдениям. Из уравнений электродинамики следует, что скорость передачи любой информации ограничена и что при равных условиях никакая скорость не может превышать скорость света. Пришлось принцип относительности Галилея дополнить постулатом о предельности скорости света. Появился специальный принцип относительности, а вместе с ним релятивистская механика – специальная теория относительности. СТО коренным образом изменила наше представление о пространстве, времени и движении.

Благодаря СТО мир узнал, что в недрах атома заключена колоссальная энергия, которую можно извлечь и использовать. В настоящее время успешно работают атомные электростанции, атомные ледоколы, атомные силовые установки и др. Однако и здесь возникли проблемы. Границы применимости СТО ограничены инерциальными системами отсчета (ИСО), а в природе строго ИСО не существует, реальные системы отсчета связаны с массивны-

ми телами, а массивные тела сами влияют на ход протекания процессов. Специальный принцип относительности к таким системам не применим.

Чтобы устранить это ограничение, Эйнштейн специальный принцип заменил на общий принцип относительности и на его основе построил свою механику – общую теорию относительности (ОТО), которая охватывает не только земную, но и небесную механику. Многие предсказания ОТО подтверждены наблюдениями.

Казалось бы, все учтено, создана совершенная механика. Но и здесь нашлись белые пятна – исчезла относительность, а пространство как было абсолютным, так и осталась, так как кроме него нет другого объекта, относительно которого ускоренное движение порождало бы силы инерции. Признать ускорение абсолютным значит противоречить главной аксиоме физики – **всякое движение относительно**.

Круг замкнулся, движение разделилось на относительное и абсолютное. Все вернулось назад к Аристотелю, с той лишь разницей, что в механике Аристотеля абсолютной системой отсчета была Земля, а теперь – пустое пространство.

Такое представление движения на относительное и абсолютное означает, что имеющиеся принципы относительности не совершенны и требуют дальнейшего уточнения, что неизбежно приводит к возникновению очередной механики.

## 2. Инерция – неразгаданная тайна мироздания

Как следует из анализа предыдущих принципов относительности, современная физика опирается на очень слабый постулат – постулат о наличии ИСО, который рано или поздно, под тяжестью новых фактов, должен был рухнуть. Сегодня отчетливо видны его трещины. Открытия темной энергии, темной массы, ускоренное расширение Вселенной, аномалии в движении космических аппаратов типа «Пионер» и другие явления показывают, что реальная структура Вселенной гораздо сложнее и разнообразнее, чем это предписывают существующие законы физики. По-видимому, что-то важное они не учитывают. На наш взгляд, не учитывают влияние окружающего мира – принципа Маха.

Ньютон, постулируя ИСО, прекрасно понимал, что в природе строго ИСО не существует. Мы не можем выделить какое-то тело от остального мира, связать с ним систему отсчета и требовать, чтобы оно двигалось равномерно и прямолинейно. Но был вынужден пойти на такой рискованный шаг, так как в противном случае рухнула бы вся созданная им система мироздания. Нарушались бы законы механики, законы сохранения энергии, импульса, момента импульса и др. Причиной служила неопределенность силы инерции. Движение массивных тел всегда неинерциальное, а в неинерциальных системах отсчета (НИСО) возникают силы инерции.

Инерция – одна из самых загадочных сил природы, ее нельзя отнести ни к одной из четырех фундаментальных сил природы – электромагнитной, сильной, слабой и гравитационной. Над разгадкой тайн инерции трудилось не одно поколение гениальных ученых от Галилея до Эйнштейна, но никому не удалось раскрыть физическую природу этой загадочной силы. Еще со времен Галилея на инерцию смотрели как на некоторую «паразитную силу», которая портит хорошие уравнения, и хотели разными постулатами от нее избавиться. Ньютон это сделал постулированием ИСО, Эйнштейн – постулированием принципа эквивалентности, сводящего инерцию к гравитации.

В кинематическом отношении инерция ничем не отличается от гравитации, такая же универсальная, так же сообщает всем телам одинаковое ускорение, также не имеет ни точек опоры, ни приложения, поэтому не удивительно, что Эйнштейн их отождествил. Однако по физической природе инерция и гравитация совершенно разные силы и их нельзя отождествлять. Гравитационные силы потенциальные, ослабевают по мере удаления от гравитирующих тел, в то время как силы инерции не потенциальные и не зависят от каких-либо тел или их расстояний. Они возникают только при изменении скорости и исчезают при равномерном и прямолинейном движении.

Ньютон был первым ученым, который хотел разобраться в физической природе инерции. Он был убежден, что причиной инертности тел являются окружающие тела, он полагал, что инертность вблизи массивных тел больше, чем вдали от них. Однако, проводя разные опыты с разными телами, он какого-либо влияния окружения не обнаружил, инертность оказалась одинаковой как вблизи, так и вдали от массивных тел. Вот схема одного из его опытов (цит. по [2. С. 88]):

«Возьмем ведро, наполнив его водой. Если мы будем вращать ведро вокруг вертикальной оси, неподвижной относительно звезд, то поверхность воды примет параболическую форму, с этим согласны все. Предположим, однако, что вместо вращения ведра мы каким-то образом привели звезды во вращение вокруг ведра, так что относительное движение осталось одно и то же. Я полагаю, что поверхность воды в ведре остается плоской».

На основании своих опытов Ньютон пришел к выводу, что причиной инертности тел является пустое пространство. Так как его свойства неизменны, он его назвал абсолютным. Так появилось в научной литературе понятие «концепция абсолютного пространства Ньютона».

Концепция вызвала резко негативную реакцию современников, его критиковали физики (Гюйгенс), математики (Лейбниц), философы (Беркли) и другие, которые утверждали, что в опытах Ньютона участвовало ограниченное число окружающих тел, в то время как силы инерции создаются удаленными телами – звездами, галактиками и др., так как в них сосредоточена вся масса материи Вселенной [3. С. 67].

Наивно было бы думать, что гениальный ученый, открывший закон всемирного тяготения, не знал о влиянии звезд. Он знал гораздо больше, чем его оппоненты. В одном из писем он писал: «Возможность воздействия од-

ного тела на другое на расстоянии через пустоту без посредства чего-нибудь еще для меня это настолько бессмысленно, что, по-моему, к такому заключению никогда не может прийти человек, обладающий достаточной способностью разбираться в философских вопросах» (цит. по [4. С. 222]).

Ньютон знал о влиянии звезд, но не знал, каким образом они формируют инерцию, но если формируют, то как вычислить их интенсивность. Этому не знали и его оппоненты, поэтому вскоре о них забыли, пока в конце XIX столетия вопрос инерции не реанимировал выдающийся австрийский физик и философ Эрнст Мах (1838–1916).

Он обобщил аргументы оппонентов Ньютона, подверг резкой критике его механику, особенно закон инерции, написал свою «Механику». Э. Мах писал (цит. по [4. С. 223]): «По-моему, существует лишь относительное движение. Когда тело вращается относительно неподвижных звезд, возникают центробежные силы; если же оно вращается относительно какого-то другого тела, но не вращается относительно неподвижных звезд, то никаких центробежных сил не появляется. Я не имею ничего против того, чтобы называть первое вращением, если под этим не понимать ничего более чем относительное вращение, т.е. вращение относительно неподвижных звезд».

Эйнштейн считал, что идеи Маха справедливы, если

1) на тело должна действовать ускоряющая сила, когда соседние с ним массы подвергаются ускорению в том же направлении;

2) вращающееся полое тело должно создавать внутри себя поле сил Кориолиса и поле радиальной центробежной силы;

3) инертность некоторого тела должна возрасти, если поблизости от него сконцентрируются тяжелые массы.

Для проверки этих эффектов должна быть соответствующая теория, в противном случае нельзя будет проверить эти эффекты.

### 3. Принцип Маха и общая теория относительности

Идеи Э. Маха о космологическом происхождении инерции оказали сильное влияние на Эйнштейна и сыграли большую роль в создании ОТО. В письме от 25.05.1913 Эйнштейн благодарил Маха «за вдохновляющие идеи» и сообщил о готовившейся экспедиции А. Эддингтона в Южную Америку, для измерения угла отклонения светового луча в поле тяготения Солнца во время полного солнечного затмения [3]. Письмо заканчивается словами: «Тогда неизбежным будет то, что инерция проявляется как своего рода взаимодействие тел, вполне в духе Вашей критики ньютоновского эксперимента с вращающимся сосудом».

Теоретически этот угол был вычислен Зольднером еще в 1801 г. Он исходил из корпускулярной теории Ньютона. Для светового луча, касающегося края Солнца, он получил 0,87 дуговых секунд. Спустя сто с лишним лет этот же угол вычислил Эйнштейн, но исходя из ОТО и получил 1,7 дуговых

секунд, что превышает ньютоновское значение в два раза. Опыты Эддингтона должны были показать, какое из двух значений соответствует реальности.

Идея эксперимента простая: фотографируется Солнце в момент полного затмения, на фотографиях, помимо темного диска Солнца, оставляют отпечаток и близлежащие звезды. Спустя полгода, когда Солнце находится далеко от места затмения, снова фотографируется этот участок неба и сравниваются фотографии. На снимках из-за гравитационного притяжения луча положение звезд немного изменится, по этому изменению определяется угол отклонения светового луча.

Измерения не дали однозначного ответа в пользу той или иной теории, но предпочтение было дано ОТО. Как по этому поводу иронически писал Д. Шама [5], «если бы астрономы не знали, какую величину они должны получить, то опубликованные ими результаты отличались бы намного больше». Эту же мысль высказал и Р. Дикке: «Если серьезно исследовать данные наблюдений, положенные в основу ОТО, то оказывается, что уверенность в ее правильности базируется не столько на непосредственных экспериментальных фактах, сколько на стройности и изысканности теории».

Но в данном опыте важен не угол отклонения, а другое явление, которое наблюдал Эддингтон. Он обратил внимание на то, что луч света, помимо радиального смещения, испытывает еще и аксиальное смещение [12]. Но так как оно теорией не предсказывается, Эддингтон считал его ошибкой эксперимента и на него не обратил внимание.

Спустя три года такое же смещение обнаружили Кэмпбелл и Трюмплер, а в 1973 г. Джонес зафиксировал смещение уже 39 звезд. Стало ясно, что аксиальное смещение такая же реальность, как и радиальное. Гравитационное поле продольное, оно не может вызывать аксиальное смещение, должна быть какая-то другая не гравитационная сила. Есть ли в природе такая сила, пока неизвестно, но принцип Маха (ПМ) этого не исключает.

Насколько нам известно, Мах на письмо не ответил. Эйнштейн то ли обиделся на Маха из-за его отрицательного отношения к теории относительности, то ли не нашел нужного обоснования, то ли были идейные расхождения, но как бы там ни было, он от ПМ отказался и ОТО построил без него. Причины отказа обосновал тем, что «согласно ПМ, без материи не может быть никакого G-поля (метрического поля. – С.Б.), в то время как из уравнения (1) (уравнения ОТО) следует, что может быть G-поле, без какой бы то ни было материи, вопреки постулату Маха» [6. С. 614].

К чему это привело, хорошо известно: гравитация стала разделом геометрии, исчезла относительность, а пространство как было абсолютно, так и осталось. Ключевой вопрос: **почему при неравномерном и криволинейном движении возникают силы инерции, а при равномерном и прямолинейном движении не возникают?** остался без ответа.

И.Д. Новиков в своей книге «Эволюция Вселенной» пишет [7]: «Итак, принципа Маха в ОТО нет. Поэтому нельзя согласиться с теми, кто ОТО

считает теорией, подтверждающей принцип Маха. Впрочем, поскольку уравнения ОТО считаются верными, спор становится схоластическим».

Другая точка зрения более радикальна. Придерживающиеся ее авторы считают ОТО неверной или неполной именно потому, что в ОТО не учтено в явном виде воздействие далеких масс на инерцию и тяготение. Эти авторы считают существование решения уравнений для пустого пространства недостатком ОТО, который будущая теория сможет преодолеть.

Спор о будущей теории всегда затруднителен, ибо теории еще нет. И все же не для нападения на не рожденные теории, а в защиту ОТО следует отметить факты, неблагоприятные для критиков ОТО. Речь идет о расширении Вселенной и реликтовом излучении с температурой 3,7 К.

Р. Дикке подчеркивает многозначность ПМ [4. С. 249]: «У Маха много лиц – почти столько же, сколько было исследователей. Этот принцип является интуитивным, его трудно возвысить до уровня количественной теории. Принцип Маха еще может быть очень полезным для физиков будущего».

Приведем цитату из Берклеевского курса физики (цит по [3. С. 88]): «Существование инерциальных систем отсчёта приводит к сложному вопросу, остающемуся без ответа: какое влияние оказывает вся прочая материя во Вселенной на опыт, производимый в лаборатории на земле?». И далее: «...точка зрения о том, что имеет значение только ускорение относительно неподвижных звезд, представляет собой гипотезу, обычно называемую принципом Маха. Хотя не имеется ни экспериментального подтверждения, ни опровержения этой точки зрения, некоторые физики, включая Эйнштейна, нашли, что этот принцип а priori представляет интерес. Другие физики придерживаются противоположного мнения. Этот вопрос имеет значение для теоретической космологии. Если считать, что среднее движение всей остальной части Вселенной влияет на состояние любой одиночной частицы, то возникает целый ряд связанных с этим вопросов, и путей к ответу на них пока не видно. Имеются ли какие-либо другие взаимные связи между свойствами одиночной частицы и состоянием остальной части Вселенной? Изменится ли заряд электрона или его масса или энергия взаимодействия между нуклонами, если бы как-то изменилось число частиц во Вселенной или плотность распределения? До настоящего времени нет ответа на этот глубокий вопрос о соотношении между далёкой Вселенной и свойствами отдельных частиц».

В таком же духе пишет и Фейнман [8. С. 26]: «В настоящее время у нас нет способа узнать, существовала бы центробежная сила, если бы не было звезд и туманностей. Не в наших силах сделать такой эксперимент – убрать все туманности, а затем измерить наше вращение, узнать, возникают ли центробежные силы». «Абсолютное вращение бессмысленно, можно говорить только о вращении по отношению к туманностям».

Разумеется, все эти красивые слова остаются бессмысленными, если не удастся придать им количественное выражение. Предлагалось несколько моделей. Среди них часто упоминают модель Сиамы [4. С. 226]. Согласно

этой модели существует два вида гравитационного взаимодействия. На близких расстояниях взаимодействие между телами происходит по закону Ньютона, на дальних расстояниях взаимодействие между телами обратно пропорционально не квадрату расстояния, а расстоянию в первой степени. Эта модель сводит инерцию к гравитации, но с дополнительными условиями, которые в реальном мире не выполняются, они требуют рождения материи из ничего.

Другая модель, предложенная Р. Дикке и С. Брансом, предполагает введение скалярного поля, которое дает эффект притяжения с силами, примерно соответствующими силам гравитации. Оно удовлетворяет только одному из требований ПМ, а именно зависимости инертной массы от распределения вещества вокруг этой точки. Есть и другие модели, но все они имеют общий недостаток – инерцию представляют как самостоятельную силу, как потенциальную силу, которая убывает пропорционально квадрату расстояния. Дж. Уилер исследовал возможные варианты примирения ПМ в ОТО и пришел к выводу, что его можно использовать только как граничное условие.

Были попытки экспериментальной проверки ПМ. Идея экспериментов состоит в следующем [4. С. 202]. Пусть имеется пробное тело массы  $m$ , с которой связана система отсчета. Выберем систему координат таким образом, чтобы ось была направлена к центру одной из галактик. Если ПМ справедлив, то при повороте оси координат на некоторый угол от направления на галактику, масса пробного тела должна немного измениться. По этому изменению можно определить анизотропию пространства. Кокони и Солпитер проделали такой эксперимент, но изменения массы не обнаружили, пространство оказалось изотропным, то есть эксперименты, казалось бы, ПМ не подтвердили. Но эти эксперименты можно интерпретировать и как подтверждение ПМ – силы инерции не потенциальные, они создаются не отдельными галактиками, а всеми телами Вселенной.

Эйнштейн, несмотря на отсутствие в ОТО ПМ, не потерял интереса к идеям Маха и часто его цитировал. Он писал [6]: «Я прошу читателя взять в руки работу Маха: «Механика, историко-критический очерк, ее развития» и прочитать рассуждения, содержащиеся в разделах 6 и 7 второй главы («Взгляды Ньютона на время, пространство и движение» и «Критический обзор ньютоновских представлений»). В этих разделах мастерски изложены мысли, которые до сих пор еще не стали общим достоянием физиков. Мах убеждал, что бессмысленно говорить об ускорении массы относительно абсолютного пространства. Для устранения из физики мистических идей было бы лучше говорить об ускорении относительно звезд».

Эйнштейн очень надеялся, что в его будущей единой теории поля, созданию которой он посвятил всю вторую половину жизни, найдется место и для ПМ. Но надежды не оправдались, – попытки геометризации физики потерпели неудачу.

#### 4. Модифицированный принцип Маха и разгадка тайн инерции

Э. Мах свои идеи рассматривал как гипотезу об относительности инерции. Эйнштейн эти идеи немного уточнил, назвал «принципом Маха» но какие-либо расчеты не проводил. Сейчас под этим названием понимают нечто большее, чем предполагал сам Мах, его рассматривают как гипотезу о влиянии материи Вселенной на все процессы, которые протекают в локальных областях пространства. Каждый примеряет ПМ к той задаче, которую хочет решить; задач много, много и интерпретаций ПМ. Однако какими бы красивыми словами мы ни выражали свой восторг по поводу этого глубокого принципа, наши слова остаются пустыми звуками, если не удастся описать ПМ количественно, математически. Все попытки ученых в этом направлении пока ни к чему хорошему не привели, – ПМ невозможно проверить. Мы не можем удалить звезды и создать абсолютный вакуум, чтобы проверить, – остаются ли без изменения существующие законы физики: законы сохранения энергии, импульса, момента импульса, значения физических констант (скорость света, постоянные Планка, постоянная гравитации, заряд и масса электрона и др.), будут ли возникать силы инерции и т.д. Вселенная не экспонат для лабораторных испытаний, для нас она абсолютна, какая была, такой и остается.

Может быть, есть другой путь, не требующий эвакуации небесных тел? Если мы не можем манипулировать галактиками, то можем по их следствиям определить их массы, скорости, расстояния, и другие параметры. Другими словами, используем так называемый метод обратной задачи – по следствиям определить причину. Мы немного модифицируем ПМ для реализации этого метода [9; 10]. Смысл этой модификации поясним на примере «Проблема Птолемей – Коперник». Предположим, что заданы два массивных тела, например Земля и Солнце, с которыми связаны системы отсчета. Пусть система (Земля) покоится, а (Солнце) вращается вокруг нее с постоянной угловой скоростью (рис. 1).

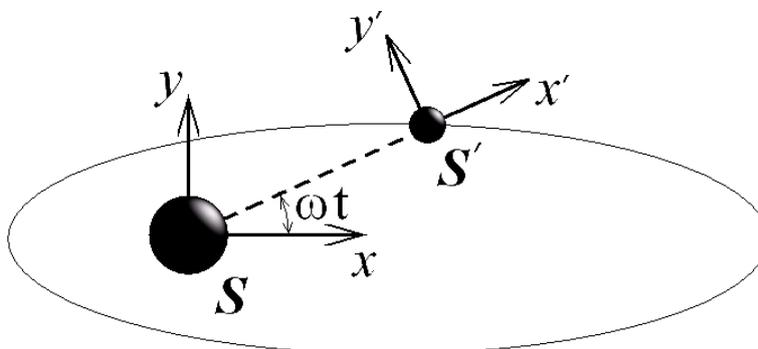


Рис. 1

Земной наблюдатель видит, что кроме Солнца вокруг него вращаются Луна, планеты, меняется положение звезд, положение их конфигураций и т.д. Если перенести начало отсчета на Солнце, то картина качественно не изменится, его наблюдатель видит ту же самую картину, что и земной наблюдатель, но лишь с той разницей, что относительно него вращение происходит в обратном порядке, теперь Земля и все другие небесные тела вращаются вокруг него.

Это вполне логично, так как тела вращаются относительно друг друга и перенос начала отсчета с Земли на Солнце, или наоборот, есть простая замена. Мы наблюдаем это ежедневно, глядя на восход и заход Солнца и звезд. Нам кажется, что Земля покоится и вокруг нее вращается все небо. Так считали тысячелетиями, пока не установили, что вращение небосвода кажущееся, на самом деле вращается сама Земля.

Наблюдателю безразлично, какое тело считать покоящимся, а какое движущимся, в обоих случаях он видит одну и ту же картину. С этой точки зрения, геоцентрическая и гелиоцентрические системы мира эквивалентны. Эйнштейн писал: «Солнце покоится, а Земля движется, и Солнце движется, а Земля покоится – означает просто два различных соглашения о двух различных системах координат. Какую из них считать покоящейся, и какую движущейся, есть вопрос соглашения» [6. С. 560]. Однако из опыта знаем, что это не так, ситуации различимы. В покоящейся системе силы инерции не возникают, а во вращающейся возникают независимо от покоящейся системы. Это можно проверить с помощью маятника Фуко.

Откуда взялись эти силы и почему только в одной системе, если две системы в кинематическом отношении совершенно равноправны? Единственно разумный ответ может дать только ПМ. Он утверждает, что система покоилась не одна, а вместе со всеми телами Вселенной! Они вместе образовали единую глобальную систему отсчета, и система вращалась относительно этой глобальной системы. Следовательно, силы инерции возникли бы и в покоящейся системе, если бы вокруг нее вращалась **вся Вселенная!**

Как это проверить, если у Вселенной нет ни центра, ни выделенной точки, которую можно было принять за начало отсчета? Как устранить эту неопределенность и придать ПМ количественное выражение?

Учитывая, что силы инерции возникают только при изменении скорости, нами была выдвинута **гипотеза об индукционной природе инерции** [11]. Согласно этой гипотезе, всякая частица, которая в состоянии покоя создает статическое поле типа кулоновского поля, при движении создает еще и динамическое поле типа магнитного поля. Совокупность этих полей, создаваемая всеми видами частиц, формирует единое поле материи, которое назвали **инерционным полем (ИП)**. Название связано с тем, что ИП образует особый, так называемый полевой импульс, такой, что его изменение индуцирует силы инерции.

**Применительно к ПМ это означает, что небесные тела, двигаясь относительно друг друга, генерируют ИП, которое заполняет все про-**

**странство, образуя некоторую квазиупругую среду, препятствующую ускоренному движению. Реакция этой среды против сил, стремящихся изменить состояние тела, есть отклик Вселенной, который воспринимается как инертность тела.**

В состоянии покоя ИП не наблюдаемо и является нулевой точкой отсчета. Все измерительные приборы, включая и наши органы чувств, реагируют только на его изменение (флуктуации), когда возникает сила инерции. Эта гипотеза полностью меняет наше представление о пространстве. Согласно этой гипотезе, пространство – не бесформенный сосуд для хранения материи (эфира), который может быть полным или пустым, и не деформированная геометрическая фигура с искривленными поверхностями, а реальное силовое поле, которое активно влияет на все процессы, которые в нем протекают.

Структуру пространства формирует материя, без материи не может быть ни пространства, ни времени, ни инерции. Геометрию пространства нельзя задавать априорно, без материи, ее надо определять. Каждый вид материи создает свое поле, свое пространство, свою геометрию, единого глобального пространства не существует, есть локальное поле, которое создает локальная материя.

Основываясь на этом модифицированном ПМ, была получена система дифференциальных уравнений, которая целиком образована из полевого импульса и его производных. Они опубликованы, и мы их здесь не приводим; лишь заметим, что введением ИП силы инерции преобразуются в обычную индукционную силу, а механический импульс приобретает полевою компоненту, определяющую взаимодействие движущегося тела со всеми телами Вселенной. Включение его в описание движения закон Ньютона в НИСО примет такой вид, какой имел в ИСО:

$$\mathbf{F} = \frac{d}{dt}(\mathbf{p} + \mathbf{\Pi}), \quad \mathbf{F} = -\frac{d\mathbf{\Pi}}{dt} = -(m\mathbf{a})_m. \quad (1)$$

Согласно этому обобщению, смысл закона изменился, он утверждает, что сила, действующая на тело, сообщает ускорение не только этому телу, но и всей материи Вселенной, которая противостоит этой силе. Знак минус означает, что реакция среды направлена против сил, стремящихся изменить состояние тела. Тело сопротивляется и хочет сохранить свое положение.

Это важное дополнение закона Ньютона, но закон нельзя рассматривать как уравнение движения, которое трехмерно и допускает дальное действие. Релятивистское уравнение должно быть четырехмерным. Для этого введем четырехмерный импульс

$$K_{\mu} = p_{\mu} + \Pi_{\mu}, \quad K_4 = imc + iU/c, \quad (2)$$

где  $U$  – потенциальная энергия тела. Простая механическая замена трехмерного импульса на четырехмерный проблему не решает, так как изменяются показания измерительных приборов в точках с разными ИП.

Дело в том, что система отсчета, в отличие от системы координат, представляет собой материализованный объект; она всегда связана с конкретными и очень массивными телами, телами отсчета, а массивные тела сами влияют на протекающие в них процессы. Координаты таких систем – мы их называли «массивными системами отсчета» (МСО) – помимо кинематических величин зависят также от материальных признаков (массы, заряда, силового поля и др.) тела отсчета. Приборы разных систем имеют разные показания. Мы не можем сравнить данные, если они измерены разными приборами. Для их сравнения приборы должны быть унифицированы. Это можно сделать, если шкалы измерительных приборов градуировать как функции всех величин, влияющих на их показания. Тогда шкала (метрика) становится переменной и автоматически изменяется при переходе из одной МСО в другую, а отношение измеряемых величин сохраняется одинаковым во всех МСО, независимо от природы тел, с которыми они связаны. Такое представление движения в ИП назвали **принципом относительности Маха – Пуанкаре (ПОМП)** [11]. Он гласит: **если с изменением физических процессов одновременно и пропорционально изменить и показания всех приборов, измеряющих эти процессы, никакими опытами невозможно обнаружить это изменение.**

Влияние окружающей среды учтено полевым импульсом, если включить его в шкалу приборов, все МСО становятся тождественными. Выполняя эту процедуру, мы получили обобщенную группу преобразования координат, которая, не нарушая общую ковариантность законов природы, позволяет отличить одну МСО, связанную с одним телом, например с Солнцем, от другой МСО, связанной с другим телом, скажем Землей, выделить привилегированную, учесть их влияния на протекающие процессы (см. рис. 1):

$$x'^{\mu} = \frac{x^{\mu} + ia_v^{\mu} x^{\mu}}{\sqrt{1 - a_v^{\mu} \tilde{a}_v^{\mu}}} \exp i\gamma_{\mu}, \quad x^{\mu} = \frac{x'^{\mu} - i\tilde{a}_v^{\mu} x'^{\mu}}{\sqrt{1 - a_v^{\mu} \tilde{a}_v^{\mu}}} \exp(-i\gamma_{\mu}); \quad (3)$$

$$a_4^{\mu} = -\tilde{a}_{\mu}^4 = -\frac{(m_0 v^{\mu} + \Pi^{\mu})c}{m_0 c^2 + U}, \quad \mu = 1, 2, 3, 4. \quad (4)$$

Координаты событий в МСО однозначно определяются относительным изменением энергии-импульса сигнала, который связывает МСО  $S$  и  $S'$ . Если оно мало, группа переходит в преобразования Галилея; если обусловлено только участием сигнала в относительном движении «без массовых» ИСО – в преобразование Лоренца.

Во всех остальных случаях МСО различимы и по-разному влияют на ход протекания процессов, однако это различие не нарушает общую ковариантность законов природы относительно произвольных МСО. Метрические коэффициенты учитывают ПМ, они определяются потенциалами, которые никогда не обращаются в нуль, мы не можем «выключить» влияния далеких галактик. В них сосредоточена вся масса материи Вселенной, и их влияние

порождает силы инерции. Это означает, что в **мире нет ни вечного движения, ни абсолютного покоя, все относительно.**

Механика, основанная на ПОМП – мы назвали ее «**Релятивистской механикой неинерциальных систем**», устраняет недостатки всех предыдущих механик, принцип относительности распространяется на все системы, доказывает относительность инерции.

В заключение приведем один пример, определяющий роль ИП на физические процессы. Вселенную условно разделим на два объекта: наша планета Земля и остальной мир. Вместе они образуют замкнутую систему, в которой выполняются законы сохранения энергии, импульса и момента импульса:

$$mc^2 + U = const, \quad \mathbf{p} + \mathbf{\Pi} = const, \quad \mathbf{r} \times \mathbf{p} + \mathbf{r} \times \mathbf{\Pi} = const. \quad (5)$$

Первые члены левой части этих уравнений определяют материальные составляющие – энергии, импульса и момента импульса, вторые – соответствующие полевые величины, которые создаются окружающими телами. Уравнения (5) показывают условие равновесия – Земля и ее обитатели находятся в состоянии равновесия с окружающей средой.

Всякое изменение, которое происходит в окружающей среде (пространстве), вызывает ответную реакцию Земли. Реакция направлена против сил, стремящихся изменить ее состояние. Геологическая история Земли сохранила следы многих катаклизмов, которые свидетельствуют о влиянии внешнего поля на нашу планету. Это – смещение магнитного и географического полюсов, периодические изменения климата, прецессия оси вращения Земли и др. Э. Мах писал: «Время и пространство существуют в определенных отношениях физических объектов, и эти отношения не только вносятся нами, но и существуют в связи и во взаимной зависимости явлений» [3. С. 73].

Э. Маху не удалось доказать ни относительность инерции, ни влияния далеких звезд, но это никак не умаляет его заслуги. Главное, поставить вопрос и сформулировать задачу, а решение всегда приходит.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Аристотель*. Физика, IV, VI. 2009
2. *Киттель Ч. и др.* Механика. Берклевский курс физики. – М., 2005. – С. 88.
3. *Владимиров Ю.С.* Метафизика. – М.: БИНОМ, 2009.
4. Гравитация и относительность / под ред. Х. Цзю и В. Гоффмана. – М.: Мир, 1965. – С. 222.
5. *Климишин Н.А.* Релятивистская астрономия. – М.: Наука, 1989.
6. *Эйнштейн А.* Собрание научных трудов. – Т. 1. – М.: Наука, 1965.
7. *Новиков И.Д.* Эволюция Вселенной. – М.: Наука, 1979.
8. *Фейнман, Лейтон, Сэндс.* Фейнмановские лекции по физике. – Т. 2. – М.: Мир, 1965. – С. 26.
9. *Садыков Б.С.* Принцип относительности Маха – Пуанкаре и динамика неинерциальных систем // Инженерная физика. – 2012. – № 5. – С. 3–13.

10. Садыков Б.С. Принцип Маха – и неэйнштейновская гравитация // Инженерная физика. – 2013. – № 8. – С. 3–9.
11. Sadykov B.S. Introduction to the Theory of Relativity of Non-Inertial Systems // Journal of Modern Physics. – 2012. – № 3.
12. Vargashkin V.Ya. // Gravitation & Cosmology. RGS. – 1996. – № 2.

## TOWARD THE MACH'S PRINCIPLE OF RELATIVITY AND INERTIA

**B.S. Sadykov**

In article the theory explaining the physical nature of inertia is considered. The system of the differential equations which opens physical essence of inertia is offered. All consequences of the special and general theory of relativity follow from the offered system of the equations.

**Key words:** Inertia, inertial field, Mach's principle, the coordinate transformation of non-inertial systems.

---

## ИДЕИ, ЛЕЖАЩИЕ В ОСНОВАНИИ ГИПОТЕЗЫ ПРИЧИННОСТНОГО МНОЖЕСТВА В КВАНТОВОЙ ГРАВИТАЦИИ

А.Л. Круглый

*Научно-исследовательский институт системных исследований РАН*

Гипотеза причинностного множества основана на двух фундаментальных физических идеях: причинность и конечная делимость. С математической точки зрения, причинностное множество – это локально конечное частично упорядоченное множество. Частичный порядок интерпретируется как причинность. Причинностное множество может быть представлено ациклическим ориентированным графом. Имеется две основные задачи: построить переход от причинностного множества к непрерывному пространству-времени и построить материю в модели причинностного множества. В первом случае основными идеями являются точное вложение и случайное вбрасывание. Во втором случае идея заключается в идентификации частиц с простыми повторяющимися структурами. Динамикой причинностного множества является последовательный рост, что означает последовательное добавление элементов один за другим. Сейчас гипотеза причинностного множества не является согласованной теорией. Имеются различные идеи, интерпретации, частные модели, которые обсуждаются.

**Ключевые слова:** квантовая гравитация, причинностное множество, ориентированный граф.

### Введение

Одной из важнейших нерешенных проблем теоретической физики является создание единой теории, непротиворечиво включающей в себя в качестве предельных случаев теорию относительности и квантовую теорию. Первоначально проблема рассматривалась как задача квантования гравитационного поля. Успех достигнут не был, но за всей областью исследований закрепилось название «квантовая гравитация». Основные попытки создать теорию квантовой гравитации продолжают как дальнейшее развитие квантовых закономерностей. Сейчас наиболее популярным направлением является теория струн, а второй по популярности – петлевая квантовая гравитация. Однако, несмотря на многолетние огромные усилия, теория не создана. Возможно, проблема заключается в специфике квантового описания.

Как известно [1, гл. 1, п. 1], квантовая теория не является описанием квантовых объектов. Она является описанием результатов измерений, выполненных классическими приборами над квантовыми объектами. В квантовой механике и квантовой теории поля не создано своих моделей пространства-времени. В них используются классические пространство и время Ньютона и пространство-время Минковского соответственно. Это

классическое пространство-время является описанием не квантовых объектов, а классических приборов. Описание соответствует предложенной Эйнштейном модели часов и линеек, помещенных в каждую точку пространства-времени.

Можно предположить, что следующая более глубокая теория должна базироваться на более глубокой модели пространства-времени. Это путь к теории квантовой гравитации, развивающий идеи теории относительности. При этом модель пространства-времени должна быть не математическим усложнением существующей, например, добавлением измерений, или кручения. Новая модель должна следовать из некоторых первичных принципов. Одним из таких подходов является гипотеза причинностного множества (causal set).

### **1. Гипотеза причинностного множества**

В течение ряда лет были исследованы физические основания псевдориманова пространства-времени общей теории относительности [2–9] (этот список публикаций не претендует на полноту). Было выяснено [8], что вместо обычной системы окрестностей топологию можно эквивалентно задать системой локальных световых конусов. То есть топологию определяет континуум мировых линий в каждой точке. Другими словами, мы определяем в бесконечно малой окрестности каждой точки, какие точки ей причинно предшествуют, какие причинно следуют, а какие причинно не связаны с ней. Система локальных световых конусов также определяет метрику с точностью до локальных конформных преобразований, так как только такие преобразования оставляют инвариантными светоподобные мировые линии, ограничивающие световые конуса. Тем самым причинность задает вейлевскую структуру пространства-времени. Фиксировать масштаб надо дополнительно. Можно сказать, что псевдориманово пространство-время – это континуальное множество событий, на котором заданы причинно-следственные отношения и масштаб.

Согласно гипотезе причинностных множеств причинность является фундаментальным свойством. Математически отношение причинности событий есть отношение частичного порядка. Таким образом, постулируется, что исходной структурой является частично упорядоченное множество событий.

В теории относительности масштаб определяется не из физических принципов, а привносится извне. В гипотезе причинностных множеств предпринята попытка преодолеть этот недостаток. Еще в XIX в. Риман писал, что в континуальных множествах масштаб привносится извне, но он естественно возникает в дискретных множествах [10]. Пойдем по пути, указанному Риманом. При этом дискретность нужно ввести согласованным с причинностью способом. Рассмотрим множество Александра пары точек. По определению, это множество точек, являющихся следствиями первой и

причинами второй, то есть лежащих между рассматриваемой парой точек в смысле причинности. В псевдоримановом пространстве-времени множество Александрова любой пары точек или пусто, или континуально. Постулируем, что множество Александрова любой пары событий конечно. Это свойство называется локальной конечностью. Таким образом, по определению причинностное множество есть локально конечное частично упорядоченное множество событий. Физически локальная конечность означает конечную делимость. Таким образом, в основе гипотезы причинностных множеств лежат две идеи: причинность и конечная делимость. Эта модель пространства-времени была независимо предложена в 1978 г. Хоофтом [11] и Мерхеймом [12]. Сам термин «causal set» предложен в статье [13].

Причинностное множество предполагается единственной реальностью. Все наблюдаемые явления являются следствием свойств причинностного множества. Элементы причинностного множества неделимы. Они не обладают внутренней структурой, а следовательно, не обладают и внутренними свойствами. Специфика элемента заключена в его связях с другими элементами. Все свойства определяются отношениями элементов, то есть топологией причинностного множества. Любой объект является подмножеством причинностного множества. Все свойства объекта определяются связями элементов этого подмножества между собой и с другими, внешними к этому объекту элементами. В этом смысле гипотеза причинностного множества реализует полностью реляционный подход: все наблюдаемые явления и их свойства есть отражение отношений первичных элементов.

Переход к дискретной, то есть конечно делимой, модели пространства-времени является закономерным. Континуальная модель означает, что любая область пространства-времени обладает бесконечным количеством степеней свободы, а значит, содержит бесконечный объем информации. Это выглядит идеализацией. В конечно делимой модели мы работаем с конечными объемами информации. Квантовая частица описывается конечным набором квантовых чисел. При их совпадении две частицы тождественны. Тем самым квантовые частицы описываются конечным объемом информации. Микромир дискретен. Его описание в квантовой теории как квантовая материя в непрерывном пространстве-времени выглядит эклектикой. Как было указано выше, модель псевдориманова пространства-времени основана на модели континуума мировых линий, проходящих через каждую точку. Это мировые линии бесконечно легких частиц. Они определяют отношение причинности между событиями, но не искривляют пространство-время. Однако точность задания мировых линий ограничена принципом неопределенности Гайзенберга. Для задания мировых линий во все меньшем масштабе мы должны использовать все более массивные частицы. Также они участвуют во взаимодействиях. На некотором масштабе их гравитацией и/или другими взаимодействиями уже нельзя будет пренебречь. Наличие планковской длины обычно считается указанием на дискретную структуру пространства-

времени на планковских масштабах. Однако адекватность модели континуального пространства-времени сомнительна уже на атомных масштабах.

Причинностное множество может быть представлено ориентированным ациклическим графом, то есть ориентированным графом без замкнутых ориентированных маршрутов. Вершины графа представляют события, а ориентированные маршруты – отношение причинности. Отметим, что в общем случае такое представление не однозначно.

Гипотеза причинностных множеств пока далека от превращения в законченную теорию. Кроме исходной гипотезы по всем вопросам имеются альтернативные точки зрения. Ниже предпринята попытка дать их обзор.

## **2. Процессный подход**

Как правило, первичными понятиями физической модели являются объекты и их состояния в фиксированный момент времени. Процессом является изменение состояния объекта при переходе от одного момента времени к другому. Однако такой подход не соответствует теории относительности. В теории относительности любая физическая связь – это причинно-следственная связь. В фиксированный момент времени мы имеем только множество несвязанных точек. Они не обладают никакой структурой, не образуют никаких объектов. Эти точки могут быть связаны только через общее прошлое, то есть через пересечение их световых конусов прошлого. Таким образом, любая структура возникает только на некотором интервале времени. В качестве первичных понятий должны рассматриваться отрезки мировых линий, то есть процессы. Мы получаем процессный подход к описанию реальности. Объекты и их состояния в фиксированный момент времени выступают в качестве аппроксимации отрезка процесса, длительностью которого можно пренебречь.

Процессный подход не совместим с квантовым описанием с помощью вектора состояния в момент времени. Это отражается в затруднениях при согласовании квантовой теории поля с теорией относительности.

Модель причинностных множеств также является процессным описанием. Любое причинностное множество, которое представляется связанным графом, является отрезком процесса. Моменту времени соответствует множество несвязанных вершин, которое лишено какой-либо структуры и каких-либо свойств, кроме числа вершин. Поэтому сомнительна возможность непосредственного переноса принципов квантового описания на причинностные множества.

Отметим, что процессный подход требует альтернативного статистического описания. У нас нет состояний и их вероятностей в момент времени. Соответственно, нет и перехода от менее вероятных состояний к более вероятным. Вместо этого следует рассматривать ансамбль возможных вариантов развития процесса и вероятности этих вариантов [14].

### 3. Связь с континуальным пространством-временем

Одним из важных направлений исследований является построение предельного перехода от причинностного множества к континуальному пространству-времени. Следует сразу отметить, что эта задача не решена. Нет даже критерия, который позволил бы различить те причинностные множества, для которых такой переход существует (manifoldlike causal set), и те, для которых его нет. Обычно за основу принимается идея точного вложения (faithful embedding). Согласно этой идее каждому элементу причинностного множества ставится в соответствие одна точка континуального пространства-времени так, что разным элементам причинностного множества соответствуют разные точки континуального пространства-времени, элементы причинностного множества причинно связаны тогда и только тогда, когда причинно связаны их образы – точки в континуальном пространстве-времени, четырехмерный объем области пространства-времени, содержащий точки – образы элементов причинностного множества, пропорционален числу элементов – их прообразов. Последнее свойство есть непосредственное задание масштабов с помощью дискретной структуры.

Более проста обратная задача. Мы задаем некоторое континуальное пространство-время и по нему строим причинностное множество, которое им аппроксимируется. Для этого часть точек континуального пространства-времени идентифицируется с элементами причинностного множества. Обычно используется процедура вбрасывания (sprinkling) элементов причинностного множества в континуальное пространство-время. Здесь стоит отметить случайное вбрасывание с распределением Пуассона (см. [15]). Оно является точным вложением в том смысле, что в среднем число элементов, брошенное в некоторую область пространства-времени, пропорционально ее объему. Распределение Пуассона интересно своей лоренц-инвариантностью. Вбросим элементы с этим распределением в некоторую область пространства Минковского и выполним преобразование Лоренца. Координаты брошенных точек изменятся. В этом смысле брошенное множество не лоренц-инвариантно. Но и после преобразования Лоренца они будут распределены по тому же распределению Пуассона. Распределение Пуассона лоренц-инвариантно. Само брошенное множество может быть лоренц-инвариантно только если оно бесконечно, и представляющий его ориентированный граф обладает специальным свойством [16]. Каждая вершина графа имеет бесконечную полу-степень захода и полу-степень исхода, то есть в каждую вершину графа входит и выходит бесконечное число ориентированных ребер.

Используя гипотезу точного вложения и вбрасывания с распределением Пуассона, исследовались некоторые частные задачи. Например, рассматривалось вбрасывание в пространство с метрикой Шварцшильда [17]. Делалась оценка космологической постоянной [18] и энтропии [19]. Эта оценка возможна для физических величин, которые могут быть оценены через геомет-

рические величины: космологическая постоянная через объем, энтропия через площадь (черная дыра, оценка сверху для сферической области). При этом объем идентифицируется с числом элементов, а площадь оценивается числом максимальных элементов подмножества, для которого соответствующие точки пространства-времени лежат внутри исследуемой области [20], или числом ребер, пересекающих границу области [21].

Для причинностного множества очевидным образом определяются аналогии мировых линий, световых конусов прошлого и будущего, пространственноподобных гиперповерхностей. В частности, аналог пространственноподобной гиперповерхности называется полной антицепью (*inextendible antichain*) и определяется как подмножество элементов, каждая пара которых причинно не связана друг с другом, а остальные элементы причинно связаны хотя бы с одним элементом антицепи. Однако соотношение между аналогичными объектами в причинностном множестве и в континуальном пространстве-времени можно будет определить только при построении перехода от первого ко второму. Непосредственно они соответствуют друг другу только при точном вложении.

Позволим себе ряд критических замечаний и альтернативных идей. В основе описанного подхода лежит идея аппроксимации причинностного множества некоторым пустым пространством-временем. Ее логическим продолжением является дополнительное внесение полей материи *ad hoc* (см., например, [22]). В результате получается некоторый вариант решеточной квантовой теории поля, где причинностное множество исполняет роль стохастической решетки. Отметим, что при этом лоренц-инвариантность создает затруднения. Такой подход может оказаться плодотворным в качестве некоторого приближения.

Однако если рассматривать причинностное множество как фундаментальную модель, то следует интерпретировать причинностное множество как единую фундаментальную сущность, которая включает в себя и пространство-время, и всю материю. Конечное множество материальных объектов в пространстве-времени в общем случае нарушает лоренц-инвариантность. Причинностное множество, которое описывает материю, обладающую нетривиальной структурой, не должно быть лоренц-инвариантным. В этом смысле описанное выше причинностное множество с распределением Пуассона наименее интересно. Лоренц-инвариантность должна возникать только в некотором пределе, возможно, в результате усреднения по некоторому ансамблю причинностных множеств.

Число элементов причинностного множества соответствуют в некотором смысле количеству материи, то есть в простейшем случае не объему области пространства-времени, а объему, умноженному на плотность материи. Область абсолютно пустого пространства-времени является фантомом, которому не соответствует ни один элемент причинностного множества.

Элемент причинностного множества вообще не должен соответствовать точке пространства-времени. Более вероятно, что ситуация аналогична тер-

модинамике, когда бесконечно малый объем пространства содержит большое множество частиц. В этом смысле интересна процедура грубого разбиения (*coarse graining*), когда мы переходим от исходного причинностного множества к новому, каждому элементу которого соответствует некоторое множество элементов исходного. Мы объединяем несколько элементов исходного причинностного множества в один элемент. При этом не требуется точного вложения. Одной точке макроскопического пространства-времени соответствует множество элементов причинностного множества. Причинно-следственные связи макроскопических точек только в среднем соответствуют причинно-следственным связям элементов причинностного множества. Таким образом, для некоторых пар элементов причинность может быть обратной макроскопической причинности. Также могут существовать элементы, включенные в разные, макроскопически разнесенные точки пространства-времени. Такие особенности перехода к макроскопическому пространству-времени могут порождать нетривиальные корреляции на макроскопических расстояниях [23].

Выше было отмечено, что топологию пространства-времени определяет континуум мировых линий в каждой точке. В связи с этим автору представляется возможным следующий путь построения пространства-времени. Из элементов причинностного множества строятся элементарные частицы. Отрезки эволюции этих частиц идентифицируются с отрезками мировых линий. Эти построения делаются до построения пространства-времени, которое возникает как аппроксимация сети большого количества мировых линий. Таким образом, главной задачей оказывается построение моделей частиц.

#### 4. Элементарные частицы и симметрии

В гипотезе причинностного множества элементарные частицы являются некоторыми простыми процессами. Стабильные частицы – это стабильные процессы, то есть повторяющиеся или квазиповторяющиеся. Один цикл процесса представляет собой некоторое подмножество причинностного множества, обладающее некоторой структурой причинно-следственных связей. Это подмножество многократно повторяется в структуре причинностного множества. Цепочка таких повторов является прообразом мировой линии частицы. Повторы могут быть точными или приближительными, то есть квазиповторами. После введения времени каким-либо образом повторяющиеся процессы будут описываться как периодические. Таким образом, в процессном описании, и в частности в гипотезе причинностных множеств, частица естественным образом с необходимостью наделяется некоторой внутренней цикличностью. В квантовом описании такая цикличность постулируется.

Имеется пример попытки идентифицировать конкретные структуры с конкретными частицами [24]. Элементарные частицы идентифицированы с причинностными множествами со специальным свойством: они однозначно

разделяются на полные антицепи. Предложена формула для массы частицы как функции от числа вершин в полных антицепях и числа ребер в ориентированных маршрутах внутри одного цикла. Она дает спектр масс частиц, примерно соответствующий наблюдаемому. Достоинством модели является чисто топологический характер массы. Однако формула не имеет обоснования. Другой недостаток модели заключается в том, что вершинам произвольно присваиваются электрические заряды. В последовательной модели заряды также должны быть топологическим свойством.

Выделение частицы из окружающего причинностного множества может быть связано с тем, что связь элементов, принадлежащих частице, в некотором смысле сильнее, чем их связь с элементами, не принадлежащими частице [25]. Эта интенсивность связи должна быть некоторым топологическим свойством, как и все остальные свойства.

Из простейших процессов формируются более сложные процессы. Для них стабильность также означает повторяемость. Мы получаем картину иерархии процессов, иерархии циклических систем.

В современной физике описание свойств частиц основано на симметриях. Такое описание естественно для причинностных множеств. Однако переход к причинностным множествам приводит к переходу от непрерывных групп к конечным группам. Пронумеруем элементы причинностного множества так, что каждый элемент имеет один номер и разные элементы имеют разные номера. Отметим, что никакие физические явления не должны зависеть от этой нумерации. Это аналог общей ковариантности в теории относительности. Сменим нумерацию, что является аналогом смены системы отсчета. Рассмотрим смену нумерации, которая является перестановкой номеров. Если после перестановки мы получили пронумерованное причинностное множество, изоморфное первоначальному, то эта перестановка является симметрией этого причинностного множества. Имеется классификация симметрий [26, п. 5.5–5.6]. Если элемент, имевший некоторый номер до перестановки, не находится в отношении порядка с элементом, получившим этот номер после перестановки, то такая симметрия аналогична пространственным симметриям. В противном случае симметрия аналогична трансляции по времени. Также может быть симметрия, эквивалентная смене ориентации причинно-следственных связей. Она аналогична обращению времени. Представляет интерес рассмотрение приближенных симметрий, когда до и после перестановки изоморфно только некоторое подмножество причинностного множества. Связь групп перестановок с непрерывными группами должна быть получена при построении перехода к непрерывному пространству времени.

## 5. Динамика последовательного роста

Выше причинностное множество рассматривалось как заданное. Однако оно должно формироваться в результате некоторой динамики. Любая дина-

мика есть способ предсказания будущего системы или реконструкции прошлого. Для причинностного множества это означает добавление к имеющемуся множеству новых элементов. Тем самым мы продолжаем причинностное множество в будущее или в прошлое. Элементарным продолжением является добавление одного элемента. Любое конечное продолжение можно представить как последовательность элементарных продолжений [27]. Эта процедура называется последовательный рост (sequential growth) [28].

В результате модель содержит два хронологических порядка, два времени. Одно внутреннее время – это частичный порядок элементов в фиксированном причинностном множестве. Оно является дискретным аналогом времени в континуальном пространстве-времени. Это время локально. Частичный порядок элементов в некотором подмножестве может никак не коррелировать с частичным порядком в другом подмножестве, элементы которого причинно не связаны с элементами первого подмножества. Это время симметрично относительно будущего-прошлого. Заменяя обратным частичный порядок элементов причинностного множества, мы снова получаем причинностное множество. Второе внешнее время – это порядок в последовательности добавлений новых элементов. Это время глобально, так как порядок линейный. Это время асимметрично. Даже если ввести процедуру удаления элементов, то она очевидно не симметрична с процедурой добавления. Связь этих двух времен зависит от интерпретации второго времени.

В динамике последовательного роста роль уравнения движения играет алгоритм, согласно которому добавляется новый элемент. В идеале должен существовать набор фундаментальных принципов, сформулированных в виде математических аксиом. Алгоритм последовательного роста должен однозначно следовать из этих аксиом. В настоящее время сформулированы только некоторые возможные принципы. Исследовались некоторые частные алгоритмы. Алгоритм может быть детерминистическим. Имеющееся причинностное множество однозначно задает, какой элемент будет добавлен [29]. Однако большинство работ посвящено вероятностным алгоритмам. Имеющееся причинностное множество задает вероятности различных вариантов добавления нового элемента (элементарных продолжений). При этом алгоритмы строятся в рамках классической теории вероятности.

## 6. Физическое рождение элементов

Мы можем интерпретировать добавление нового элемента как физическое возникновение новых элементов [28]. В этом случае допустимо добавление только максимального элемента, то есть элемента, для которого ни один из элементов имеющегося множества не находится в будущем, а все элементы или находятся в прошлом, или причинно не связаны с ним. В этой интерпретации генерация причинностного множества, начиная с одного элемента, является моделью рождения Вселенной. В этой концепции естест-

венно рассматривать эволюцию всей Вселенной как вариант асимптотического поведения причинностного множества.

Алгоритм должен удовлетворять принципу причинности, который отражает тот факт, что частичный порядок элементов является отношением причинности. Его можно сформулировать следующим образом. Рассмотрим вероятности добавления одного или другого элемента к некоторому причинностному множеству. Отношение этих вероятностей не изменится при любых изменениях в той части причинностного множества, которая причинно не связана ни с одним из этих добавляемых элементов. В работе [28] этот принцип назван «Bell causality condition».

Помимо принципа причинности алгоритм может удовлетворять и другим принципам. В варианте физического рождения новых элементов предлагается принцип дискретной общей ковариантности [28]. Согласно ему никакие физические свойства не зависят от порядка добавления элементов. Причинностное множество содержит в себе всю информацию. Например, вероятность получения причинностного множества не зависит от порядка добавления элементов. Возьмем некоторое начальное причинностное множество. В рамках динамики последовательного роста последовательно добавим к нему несколько вершин. В результате получим конечное причинностное множество. В общем случае то же конечное причинностное множество может быть получено из того же начального в результате добавления тех же вершин, но в другой последовательности. Согласно принципу дискретной общей ковариантности вероятности этих последовательностей должны быть равны. Вероятность последовательности добавления вершин стандартно определяется как произведение вероятностей добавления каждой вершины, входящей в последовательность. Из принципа дискретной общей ковариантности получен общий вид семейства алгоритмов последовательного роста, ему удовлетворяющих [30].

Динамика моделировалась численно. Например, исследовался простейший случай динамики, называемый транзитивной перколяцией (transitive percolation) [28]. Представим причинностное множество ориентированным графом. Для каждой имеющейся вершины новая вершина может быть или связана с ней ребром, или нет. В модели транзитивной перколяции вероятность наличия такого ребра является константой модели. При соответствующем выборе константы численное моделирование последовательного роста с одного элемента генерирует причинностное множество, которое можно интерпретировать как осциллирующую Вселенную. Если двигаться от первого элемента по любому ориентированному маршруту и смотреть на размер полной антицепи, которой принадлежит очередной элемент маршрута, то размер антицепи меняется и иногда становится равным 1. Идентифицируя размер антицепи с пространственным объемом Вселенной, мы получаем осциллирующий объем Вселенной, который иногда схлопывается.

Описанная выше динамика последовательного роста является классической. Возникает вопрос ее связи с квантовыми закономерностями микроми-

ра. Предполагается, что реальная динамика микромира является квантовой, а классическая динамика является только некоторым приближением. Классическая динамика может использоваться только для описания свойств пространства-времени на больших масштабах, где она предполагается адекватной. Описание квантовой материи на ее основе невозможно.

Предприняты попытки построить квантовый вариант динамики ([31] и предыдущие работы). Предлагается квантовый процесс последовательного роста. Сначала рассматривается классический процесс последовательного роста. Он описывается пространством вероятностей, то есть тройкой: множество последовательностей элементарных продолжений, сигма-алгебра, задаваемая цилиндрическими множествами, и вероятностная мера. Для перехода к квантовому случаю вводится гильбертово пространство квадратично-интегрированных функций на пространстве вероятностей. В гильбертовом пространстве вводится оператор вероятности, с помощью которого строится функционал декогерентности пары множеств последовательностей элементарных продолжений и квантовая мера на этих множествах. В этом формализме рассмотрены конкретные примеры: квантовое обобщение уравнения Эйнштейна, модель перколяции с комплексной константой [32].

## 7. Элементарные измерения

Альтернативный вариант – рассматривать добавление новых элементов не как их физическое рождение, а как получение наблюдателем новой информации [33]. В этом случае элементарное продолжение является элементарным измерением, а последовательный рост причинностного множества – это цепочка последовательных элементарных измерений. Предлагаемая концепция вводит идеального наблюдателя. Он является объектом, внешним по отношению к рассматриваемому причинностному множеству. Его внутреннее устройство остается за рамками модели. Постулируется только его способность производить элементарные измерения и запоминать их результат. В этой концепции естественной является задача изучения частных структур, являющихся частями Вселенной. Возможность моделирования всей Вселенной не очевидна, так как в этом случае нет внешнего наблюдателя. Эта динамика допускает добавление как максимальных, так и минимальных элементов, так как наблюдатель может получать информацию как об эволюции изучаемой системы в будущее, так и о ее поведении в прошлом. В общем случае можно добавлять и элементы, которые являются следствиями для одних имеющихся элементов и причинами для других.

Динамика носит явно субъективный характер. Вся эволюция Вселенной полагается фиксированной «существующей». Как эволюция всей Вселенной, так и отдельных структур описывается фиксированными причинностными множествами. Динамика же последовательного роста описывает субъективный процесс получения новой информации наблюдателем. Отметим явные аналогии с теорией относительности и квантовой механикой. Концепция

фиксированной эволюции Вселенной соответствует модели фиксированного четырехмерного континуума пространства-времени в теории относительности. Концепция внешнего наблюдателя, как необходимого компонента модели, и его активная роль соответствуют концепции наблюдателя в квантовой механике.

Как и в случае физического рождения элементов, алгоритм должен удовлетворять принципу причинности, который отражает тот факт, что частичный порядок элементов является отношением причинности. Помимо принципа причинности алгоритм может удовлетворять и другим принципам.

В варианте рождения новых элементов, как получения новой информации, можно предложить принцип беспристрастного наблюдателя. Он заключается в том, что идеальный наблюдатель не отдает предпочтения каким-либо структурам в процессе последовательного роста. Так, если мы начинаем последовательный рост с одного элемента, то это может быть любой элемент во Вселенной с равной вероятностью. После  $N$  шагов последовательного роста мы с некоторыми вероятностями получаем различные структуры, состоящие из  $N+1$  элементов. Обозначим через  $A$  и  $B$  две такие структуры, а через  $P(A)$  и  $P(B)$  соответствующие вероятности их получения. Отношение вероятностей  $P(A)/P(B)$  должно в некотором смысле быть равно отношению частот, с которыми структуры  $A$  и  $B$  распределены во Вселенной. Разумеется, требуется строгое определение, что такое частота распределения структуры во Вселенной, тем более что в этой модели Вселенная может быть бесконечной. Чтобы избежать рассмотрения бесконечных множеств структур в бесконечной Вселенной, можно ввести итерационную схему, воспользовавшись тем, что наблюдатель является беспристрастным на каждом шаге последовательного роста. Так, все возможные структуры из  $N+1+M$  элементов, которые содержат  $A$ , получают путем последовательного добавления  $M$  элементов к  $A$ . Обозначим через  $C$  и  $D$  множества структур из  $N+1+M$  элементов, содержащих  $A$  и  $B$  соответственно, а через  $P(C)$  и  $P(D)$  соответствующие вероятности их получения из одного элемента за  $N+M$  шагов. Очевидно, что все множество  $C$  получается из  $A$  путем всевозможных цепочек добавления  $M$  элементов к  $A$ . Поскольку  $C$  в общем случае может быть получено из одного элемента без образования  $A$  на шаге  $N$ , то  $P(C) > P(A)$ . При этом беспристрастность наблюдателя может быть выражена равенством  $P(A)/P(B) = P(C)/P(D)$ .

Представление о добавлении элемента как элементарном измерении позволяет сделать предположение, что классическая динамика последовательного роста является адекватной динамикой микромира. В стандартном квантовом описании процесс измерения приводит к декогеренции альтернатив. Результаты последовательных измерений являются классической случайной последовательностью, что соответствует динамике последовательного роста. Причинностное множество является наблюдаемой, которая однозначно измеряется при каждом добавлении нового элемента. Результат очередного измерения задан неоднозначно. Различные варианты заданы вероятностно.

Именно об интерференции различных альтернативных вариантов добавления нового элемента и можно говорить. Таким образом, квантовые закономерности могут относиться к алгоритму вычисления вероятностей элементарного продолжения причинностного множества при его последовательном росте.

## 8. Возникновение квантового описания

Имеются различные идеи о возникновении квантового описания. Алгоритм вычисления вероятностей добавления нового элемента может быть основан на аналоге интеграла по траекториям [34; 35]. В представлении причинностного множества ориентированным графом каждому ребру можно поставить в соответствие разность фаз. В простейшем случае она одинакова для всех ребер, то есть является константой модели, имеет положительный знак по ориентации ребра и отрицательный против ориентации. Фазы суммируются вдоль маршрутов. Аналогично формализму континуальных интегралов можно определить амплитуды маршрутов и амплитуды пары вершин как суммы амплитуд соединяющих их маршрутов. Через эти амплитуды можно определять вероятности элементарных продолжений. В различных вариантах динамики суммирование ведется по различным типам маршрутов.

Возможен и более радикальный взгляд. В основе лежат натуральные числа. Все вычисления в алгоритме последовательного роста на фундаментальном уровне сводятся к подсчету числа каких-то структур: вершин, ребер, маршрутов, циклов и т.д.

Комплексные числа, характерные для квантового описания, могут появиться из преобразования Фурье [36]. Рассмотрим некоторую топологическую характеристику, которая может быть приписана элементу. Теперь каждой вершине приписано некоторое число. Вдоль ориентированного маршрута получаем последовательность чисел. Стабильной частице соответствует последовательность повторяющихся структур, чьи топологические характеристики повторяются. Если ориентированный маршрут принадлежит этой последовательности структур, то соответствующая последовательность чисел будет повторяющейся. Стандартное дискретное преобразование Фурье выявит характерные Фурье-компоненты, которые описывают стабильную частицу.

Прообраз квантового описания может возникнуть при вычислении математического ожидания наблюдаемых [37]. Пусть на некотором ансамбле причинностных множеств задана некоторая наблюдаемая величина  $x$ . Она принимает непрерывный спектр значений с некоторым распределением  $p(x)$ . Также задана некоторая величина  $a$ . Мы хотим вычислить математическое ожидание наблюдаемой  $x$  при фиксированном  $a$ . Имеем интеграл от  $x p(x)$  по  $dx$  со связью, которая выражена дельта-функцией от  $a$ . Это типичная задача. Например, величина  $a$  может иметь смысл энергии, и мы ищем среднее наблюдаемой при фиксированной энергии. Дельта-функция может быть запи-

сана как интеграл от комплексной экспоненты  $\exp(iab)$  по  $db$ . Мы получаем среднее для наблюдаемой как интеграл, типичный для квантового описания, в котором величина  $ab$  является прообразом действия.

## 9. Модель х-графа

В ряде работ исследуется простой частный случай х-графа. Модель предложена в работах [38; 39]. Х-граф – это ациклический ориентированный граф, в котором у вершин полустепени захода и исхода не превышают 2. Это означает, что вершине может быть инцидентно не более двух входящих ребер и не более двух выходящих. Название графа связано с тем, что вершина с двумя входящими и двумя выходящими ребрами имеет вид буквы х (образует х-структуру).

Если вершине инцидентно меньшее число ребер, то у нее имеются соответствующие свободные валентности. При добавлении новой вершины она может соединяться ребрами только с вершинами со свободными валентностями. При этом свободные валентности заменяются ребрами. Такое ограничение существенно сокращает множество допустимых элементарных продолжений. В ряде случаев свободные валентности удобно рассматривать как особые ребра (внешние ребра). Например, рассмотрим частично упорядоченное множество ребер и полные антицепи на нем. Для любого х-графа число ребер в каждой антицепи одинаково и может рассматриваться как характеристика (ширина) х-графа, если в число ребер включить внешние ребра [33].

Этот результат очевиден, если интерпретировать ребра как свободное распространение некоторых неделимых частиц, а вершины – как их элементарные парные взаимодействия. То, что вершины являются х-структурами, означает, что число частиц в элементарном взаимодействии сохраняется. Число частиц в полной антицепи означает полное число неделимых частиц в рассматриваемом процессе. Поскольку число частиц сохраняется в каждом элементарном взаимодействии, то оно сохраняется и во всем процессе.

Модель х-графа может рассматриваться и при интерпретации элементарного продолжения как физического рождения вершины [37] и как элементарного измерения [33].

## 10. Бинарная альтернатива

В ряде работ [33; 40] рассматривается семейство алгоритмов последовательного роста х-графа, в которых вычисление вероятностей элементарных продолжений основано на случайных блужданиях. В х-графе новая максимальная или минимальная вершина может быть связана с имеющимися вершинами одним или двумя ребрами. При связи двумя ребрами эти ребра могут выбираться последовательно. После выбора первого ребра с большей вероятностью должно быть выбрано то второе ребро, которое в некотором

смысле ближе к первому и сильнее с ним связано. Эта идея реализуется за счет случайного блуждания из первого ребра. С большей вероятностью будет выбираться то ребро, до которого маршруты короче и их больше. Для выполнения принципа причинности маршрут блуждания должен состоять из двух ориентированных маршрутов с одной вершиной, где делается разворот. В процессе блуждания один ориентированный маршрут проходится по ориентации, а другой против. Конкретные алгоритмы различаются видом случайного блуждания. Например, могут допускаться повторные прохождения одного и того же ребра или нет.

При случайном блуждании по ориентированному маршруту в х-графе в каждой вершине равновероятно выбирается одно из двух возможных продолжений. Также в каждой вершине может равновероятно делаться разворот или нет. Равновероятный бинарный выбор называется бинарной альтернативой. Таким образом, подсчет вероятностей сводится к подсчетам комбинаций (сумм и произведений) бинарных альтернатив. Идея о возможной фундаментальной роли бинарной альтернативы была предложена в 1960-е гг. [41; 42, гл. 44.5]. Предполагается, что на фундаментальном уровне природа максимально проста, и бинарная альтернатива предлагается в качестве наиболее простой элементарной сущности, из которой все должно быть построено. Эта идея развивалась в последующих работах (например, [43; 44]). Однако от первоначальной идеи перешли к квантовому варианту. Под квантовой бинарной альтернативой понимался спин  $\frac{1}{2}$ , то есть двумерное гильбертово пространство. Идея строить объекты из частиц со спином  $\frac{1}{2}$  имеет долгую историю, но успех достигнут не был. Предлагаемые алгоритмы возрождают идею бинарной альтернативы в исходном классическом виде. При этом любые сущности предстают как комбинации битов, что соответствует идеям о Вселенной как о компьютере или процессе вычисления.

Гипотеза причинностного множества является благодатной областью для численного моделирования. Благодаря полностью дискретному характеру модели численное моделирование может давать точные результаты. Алгоритмы на базе бинарных альтернатив предполагают, что природа написана на языке бинарных кодов. Соответственно, программирование таких алгоритмов наиболее эффективно в бинарных кодах.

## 11. Самоорганизация

Выше рассматривалась гипотеза, что частицы являются повторяющимися структурами в причинностном множестве. Такие структуры должны быть следствием динамики. Таким образом, динамика должна приводить к самоорганизации. В процессе последовательного роста структуры должны повторяться, эволюционировать (видоизменяться, сливаться, распадаться), но не исчезать. Факт наличия самоорганизации может рассматриваться как критерий оценки конкретного алгоритма последовательного роста. Интерес представляют только алгоритмы, порождающие самоорганизацию. Другие

алгоритмы заведомо не могут претендовать на адекватное описание реальности.

Первыми были найдены детерминированные алгоритмы с самоорганизацией [29]. Эти алгоритмы являются развитием на случай причинностных множеств идей самоорганизации клеточных автоматов [45]. Первые алгоритмы с признаками самоорганизации найдены и для вероятностных алгоритмов роста  $x$ -графа. Имеется алгоритм для варианта физического рождения новых элементов [37]. Также имеется алгоритм для последовательности элементарных измерений, основанный на подсчете бинарных альтернатив [14].

## **12. Феноменология**

Из гипотезы причинностного множества должны быть получены наблюдаемые следствия. Поскольку предполагается, что причинностное множество – это единственная реальность, то необходимо установить соответствие между физическими объектами и их свойствами, с одной стороны, и характеристиками причинностного множества – с другой. Как уже рассматривалось выше, при точном вложении идентифицируется четырехмерный объем и число элементов, а в некоторых случаях площадь гиперповерхности и число ребер, ее пересекающих, или число максимальных элементов в подмножестве, расположенном внутри области, ограниченной этой гиперповерхностью. Это позволяет давать оценки величинам, являющимся функциями этих геометрических величин.

При попытках описать частицы в некоторых моделях некоторые физические характеристики добавляются и приписываются вершинам и ребрам, что нельзя считать удовлетворительным. Например, это четырех-импульс [37] или электрический заряд [24]. Попытки описать как чисто топологические свойства предприняты для массы [24; 34] и действия [14].

## **З а к л ю ч е н и е**

Гипотеза причинностного множества предполагает конечную делимость материи и претендует на описание самого глубокого уровня. Он состоит из двух первичных неделимых сущностей. Первая сущность – это неделимые элементарные события (кванты событий), которые математически представляются элементами причинностного множества или вершинами ориентированного графа. Вторая сущность – это неделимые элементарные причинно-следственные связи (кванты причинно-следственных связей) элементарных событий, которые математически представляются отношениями порядка пары элементов при условии, что множество Александра этой пары пусто, или ребрами ориентированного графа.

Элементарные сущности неделимы, не имеют внутренней структуры и, следовательно, не имеют внутренних свойств. Все их свойства и свойства их

множеств связаны с их местом в общей структуре, то есть имеют топологический характер. Элементарные сущности являются элементарными процессами. Все остальные материальные сущности являются процессами, состоящими из элементарных процессов. Все свойства имеют топологическую природу. Тем самым мы имеем полностью реляционный подход к физическим свойствам.

Имеется два взгляда на пространство-время: реляционный и субстанциональный. История учит, что когда два взгляда долго противостоят друг другу, то они не являются двумя альтернативами, одна из которых верна, а другая ошибочна. Они являются в равной мере частично верными неполными взглядами, которые на следующем шаге познания синтезируются в более глубоких представлениях. В гипотезе причинностных множеств мы имеем такой случай. Мы можем интерпретировать кванты причинно-следственных связей как процесс свободного распространения фундаментальных частиц, а кванты событий – как взаимодействия этих частиц. При таком взгляде пространство-время является только некоторым усредненным описанием свойств больших коллективов частиц, что соответствует реляционному взгляду. С другой стороны, мы можем интерпретировать кванты причинно-следственных связей как кванты длительности времени, а кванты событий – как кванты моментов времени. В этом случае мы получаем дискретную субстанцию времени, топологическими особенностями которой являются все материальные объекты, что соответствует субстанциональному взгляду.

Отметим, что в последнем случае время выступает как первичная сущность по отношению к пространству. Уже в пространстве-времени Минковского точки, разделенные пространственноподобным интервалом, физически не связаны. Их физическая связь осуществляется через общие прошлое и будущее. Пространственное расстояние описывает, как далеко находятся общие прошлое и будущее. Величина пространственноподобного интервала между точками равна по модулю величине времениподобного интервала между ближайшей точкой их общего прошлого и ближайшей точкой их общего будущего. Пространство описывает не связь, а отсутствие связи и является вторичным по отношению к времени.

Гипотеза причинностного множества находится в стадии становления. По большинству вопросов имеются альтернативные точки зрения. В основе гипотезы лежат фундаментальные физические идеи причинности и конечной делимости, что выгодно отличает ее от подходов, основанных на чисто математических конструкциях. Направление развивается и претендует на построение окончательной теории микромира.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. – Т. 3: Квантовая механика (нерелятивистская теория). – 4-е изд. – М.: Наука, 1989.
2. Mould R.A. An axiomatization of General Relativity // Proc. Amer. Philos. Soc. – 1959. – Vol. 103. – N 3. – P. 485–529.

3. *Владимиров Ю.С.* Аксиоматизация свойств пространства-времени общей теории относительности // *Современные проблемы гравитации*. – Тбилиси: Изд-во Тб.ГУ, 1967. – С. 407–412.
4. *Пименов Р.И.* Пространства кинематического типа (математическая теория пространства-времени). – Л.: Наука, 1968.
5. *Castagnino M.A.* The Riemann structure of space-time as a consequence of a measurement method // *Journal of Mathematical Physics*. – 1971. – 12. – P. 2203–2211.
6. *Enosh M., Kovetz A.* Characterization of gravitational theories by cumulative effects in free particles' motion and behaviour of clocks // *Annals of Physics*. – 1971. – 69. – P. 279–296.
7. *Ehlers J., Pirani A.E., Schild A.* The geometry of free fall and light propagation // *General relativity. Papers in honour of J.L. Synge* / ed. by L. O’Raifeartaigh. – Oxford: Clarendon press, 1972. – P. 63–84.
8. *Hawking S. W., King A.R., McCarthy P.J.* A new topology for curved space-time which incorporates the causal, differential and conformal structures // *Journal of mathematical physics*. – 1976. – V. 17. – P. 174–181.
9. *Malament D. B.* The class of continuous timelike curves determines the topology of space-time // *Journal of mathematical physics*. – 1977. – V. 18. – P. 1399–1404.
10. *Риман Б.* О гипотезах, лежащих в основании геометрии // *Сб. Альберт Эйнштейн и теория гравитации*. – М.: Мир, 1979. – С. 18-33.
11. *G. 't Hooft*, Quantum gravity: a fundamental problem and some radical ideas // *Recent Development in Gravitation, Proceedings of the 1978 Cargese Summer Institute* / ed. by M. Levy and S. Deser (Plenum, New York/London 1979), 323–345.
12. *Myrheim J.* Statistical Geometry. CERN preprint TH-2538. – 1978.
13. *Bombelli L., Lee J., Meyer D., Sorkin R.D.* Space-time as a causal set // *Physical Review Letters*. – 1987. – 59. – P. 521–524.
14. *Krugly A. L.* The action in a causal set approach to quantum gravity // *Physical interpretation of relativity theory: Proceedings of international meeting. Moscow, 1-4 July 2013* / Ed. by M.C. Duffy, V. O. Gladyshev, A. N. Morozov, V. Pustovoit, P. Rowlands. – Moscow: BMSTU, – 2013. – P. 170–178.
15. *Dowker F., Henson J., Sorkin R. D.* Quantum Gravity Phenomenology, Lorentz Invariance and Discreteness // *Mod. Phys. Lett. A19* – 2004. – P. 1829–1840. URL: ArXiv: gr-qc/0311055.
16. *Bombelli L., Henson J., and Sorkin R. D.* Discreteness without symmetry breaking: a theorem// *Mod. Phys. Lett. A24* – 2009. – P. 2579. URL: ArXiv: gr-qc/0605006.
17. *He S., Rideout D.* A Casual Set Black Hole // *Class. Quant. Grav.* 26:125015, 2009. URL: ArXiv: 0811.4235.
18. *Ahmed M., Dodelson S., Greene P.B., Sorkin R.D.* Everpresent Lambda // *Phis. Rev. D* 69 (2004) 103523. – P. 8. URL: ArXiv: astro-ph/0209274.
19. *Rideout D. and Zohren S.* Counting entropy in causal set quantum gravity // *Proceedings of the Eleventh Marcel Grossmann Meeting on General Relativity* / (ed.) H. Kleinert, R.T. Jantzen, R. Ruffini, World Scientific. – 2008. – P. 2803. URL: ArXiv: gr-qc/0612074.
20. *Rideout D., Zohren S.* Evidence for an entropy bound from fundamentally discrete gravity // *Class. Quant. Grav.* 23 – 2006. – P. 6195-6213. URL: ArXiv: gr-qc/0606065.
21. *Dou D., Sorkin R. D.* Black Hole Entropy as Causal Links // *Found. Phys.* 33 – 2003. – P. 279-296 (ArXiv: gr-qc/0302009).
22. *Sverdlov R., Bombelli L.* Dynamics for causal sets with matter fields: A Lagrangian-based approach // *J. Phys. Conf. Ser.* 2009. 174:012019. URL: ArXiv: 0905.1506.
23. *Krugly A.L.* Unfaithful embedding of causal sets. URL: ArXiv: 1006.2320.
24. *Gudder S.* Elementary Particles and the Causet Approach to Discrete Quantum Gravity. URL: ArXiv: 1403.7275.
25. *Krugly A. L.* The dynamics of binary alternatives for a discrete pregeometry // *Теоретическая физика, материалы Международной конференции 20–25 июня 2011 г.* – М.: МГОУ, 2012. – С. 16–29.

26. *Круглый А. Л.* Принципы дискретной механики микромира // Проблемы физики и физических технологий: сборник научных трудов / под ред. В.А. Лурье. – М.: Изд-во МГОУ – 2010. – С. 65–161.
27. *Круглый А.Л.* Модель дискретного пространства-времени. – М.: Монолог – 1998.
28. *Rideout D.P., Sorkin R.D.* A classical sequential growth dynamics for causal sets // *Physical Review*. – 2000. – D61. – P. 024002-1 – 024002-16. URL: ArXiv: gr-qc/9904062.
29. *Bolognesi T.* Causal Sets from simple models of computation // *International Journal of Unconventional Computing*. – Vol. 6 (6). – P. 489 – 524. OCP Science, 2010. URL: ArXiv: 1004.3128.
30. *Varadarajan M., Rideout, D. P.* A general solution for classical sequential growth dynamics of Causal Sets // *Phys. Rev. D*73, 104021 – 2006. URL: ArXiv: gr-qc/0504066.
31. *Gudder S.* A Dynamics for Discrete Quantum Gravity. URL: ArXiv: 1303.0433.
32. *Gudder S.* Causal set approach to discrete quantum gravity. URL: ArXiv: 1204.5767.
33. *Krugly A.L.* A sequential growth dynamics for a directed acyclic dyadic graph // Вестник РУДН. Серия «Математика. Информатика. Физика». – 2014. – № 1. – С. 124–138. URL: ArXiv: 1112.1064.
34. *Krugly A. L.* Causal set dynamics and elementary particles // *Int. J. Theor. Phys.* – 2002. – 41(1). – P. 1–37.
35. *Круглый А.Л.* Динамика ориентированного графа в модели Соркина – Финкельштейна: дис. ... канд. физико-математических наук. – М.: РУДН, 2004. – 106 с.
36. *Круглый А.Л., Церковников И.А.* Применение спектрального анализа для поиска квазипериодических структур при последовательном росте ориентированного ациклического диадического графа // II Всероссийская конференция по проблемам физики частиц, физики плазмы и конденсированных сред, оптоэлектроники: тезисы докладов. Москва, РУДН, 14–17 мая 2013 г. – М.: РУДН, 2013. – С. 65–69.
37. *Cortés M., Smolin L.* The universe as a process of unique events. URL: ArXiv: 1307.6167.
38. *Finkelstein, D. and McCollum, G.* Unified quantum theory // *Quantum theory and the structures of time and space. Vol. 1* / ed. by L. Castell, M. Drieschner, C.F. Weizsäcker von. – München, Vienna: Hauser, 1975. – P. 15–54.
39. *Finkelstein D.* «Superconducting» causal net // *International Journal of Theoretical Physics*. – 1988. – 27. – P. 473–519.
40. *Krugly A.L.* Simple Algorithms of the Sequential Growth of the X-graph // *Theoretical physics and its applications*, Ed. by T.F. Kamalov, Moscow State Open University, Russia – 2013. – P. 83–91.
41. *Werner F.G.* Remark to J.A. Wheeler on June 3 at the Cincinnati, Ohio // *Relativity Conference in the Midwest*, 1969.
42. *Мизнер Ч., Торн К., Уилер Дж.* Гравитация. – Т. 3. – Бишкек: Айнштайн, 1997. – 510 с.
43. *von Weizsäcker C. F.* Binary alternatives and space-time structure // *Quantum theory and the structures of time and space. Vol. 2* / ed. by L. Castell, M. Drieschner, C.F. Weizsäcker von – München: Hauser, 1977. – P. 86–112.
44. *Wheeler J.A.* Information, physics, quantum: The search for links / W. Zurek (ed.) *Complexity, Entropy, and the Physics of Information*. Redwood City, CA: Addison-Wesley – 1990. – P. 309-336.
45. *Wolfram S.* A New Kind of Science, Wolfram Media, Inc. – 2002.

## **BASE IDEAS OF CAUSAL SET HYPOTHESIS IN QUANTUM GRAVITY**

**A.L. Krugly**

A causal set approach to quantum gravity is based on two fundamental ideas: a causality and a finite divisibility. A causal set is a locally finite partially ordered set. A partial order is interpreted as a causal connection. A causal set can be represented by an acyclic directed graph. There are two tasks: to reconstruct a continuous spacetime and to reconstruct a matter. In a first case, the base ideas are a faithful embedding and a random sprinkling. In a second case, the base idea is that particles are simple repetitive structures. A dynamics of a causal set is sequential growth. This is a sequential addition of new elements one by one. Now the causal set approach is not a self consistent theory. There are different ideas, interpretations and particular models that are discussed.

**Key words:** quantum gravity, causal set, directed graph.

---

---

## РЕЛЯЦИОННАЯ И СУБСТАНЦИОНАЛЬНАЯ КОНЦЕПЦИИ В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМ ИЗУЧЕНИЯ ВРЕМЕНИ И ПРОСТРАНСТВА

А.П. Левич

*Кафедра биофизики биологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова,  
Лаборатория-кафедра моделирования природных референтов времени  
Web-Института исследований природы времени*

Сформулированы проблемы и задачи изучения времени, к решению которых могут быть приложены реляционная и субстанциональная концепции пространства-времени. Представлены возможности каждого из подходов, статус и трудности деятельности по моделированию времени и пространства.

**Ключевые слова:** моделирование времени и пространства; реляционно-статистический подход; субстанционально-метаболический подход; проблемы, задачи и трудности изучения времени.

### Парадигмы физики

По мнению Ю.С. Владимирова [1–3], на смену триалистической парадигме физики (согласно которой существует три самостоятельные независимые сущности – частицы-фермионы, частицы-бозоны как переносчики взаимодействий и пространство-время) должна прийти монистическая парадигма, в которой пространство и время становятся не самостоятельными сущностями, а конструктами на основе реляций между частицами или событиями (см. также [4]).

Субстанциональный подход к проблемам времени [5–8] предполагает, что для описания времени и пространства в естествознании не хватает каких-то новых сущностей (называемых субстанциями), которые позволяют не постулировать, а моделировать наряду с частицами и время, и пространство.

### Проблемы моделирования времени и пространства

Перечислим некоторые проблемы, на решение которых должен быть направлен любой из подходов к моделированию времени [9]:

– Какова природа и причина «течения» времени, другими словами, что является движущей силой изменчивости мира, почему он во всём непостоянен? Обратимо ли это течение? В каком смысле можно говорить о равномерности или неравномерности течения времени?

– Как связаны время и пространство, каким образом они объединены в пространство-время; каковы метрические и геометрические свойства про-

пространства-времени; каковы его топологические свойства, в частности размерность, дискретность или непрерывность; в какой степени однородно и изотропно пространство-время?

– Как связано время с материей – с частицами-фермионами, с частицами-бозонами, с другими её формами, если таковые существуют?

– Отличаются ли свойства времени и пространства в микро-, макро- и мегамире? На языке фундаментальных теорий физики – как соотносятся представления о времени (и о пространстве) в квантовой теории, классической механике и общей теории относительности?

### **Задачи, решаемые моделью времени и пространства**

Сформулируем также несколько задач, на решении которых могли бы быть испытаны подходы к моделированию времени:

– Вывод, а не постулирование фундаментальных уравнений движения в различных областях знания. Фактически уравнения движения – это описание изменчивости некоторого фрагмента реальности с помощью эталонной изменчивости, называемой часами, то есть вид уравнений в большой степени определен исповедуемой создателем уравнения (явно или неявно) моделью времени.

– Описание механизмов взаимодействий между частицами материи. (Существующие объяснения, как правило, апеллируют к свойствам вмещающего частицы пространства-времени.)

– Обоснование особенностей квантовомеханического описания мира, обоснование релятивистских постулатов и согласование между собой формализмов квантовой механики и теории относительности.

– Обоснование механизма феноменов нелокальности частиц материи.

– Описание структуры и классификации частиц материи.

– Объяснение происхождения устойчивых форм гистограмм «случайных» процессов («флуктуаций Шноля» [10]), поскольку эти формы оказываются непосредственно связанными с неоднородностью и анизотропией пространства-времени.

– Обоснование специфики живого, поскольку «биологическое время оказывается не пристройкой к зданию биологии, а самим её зданием [11]».

– Обоснование пространственно-временных феноменов, связанных с сознанием.

– Инженерные разработки, направленные на «овладение временем», например, на создание хроноаналогов микроскопов и телескопов или усилителей проскопических способностей живого; на поиски и детектирование источников энергии, существование которых следует из моделей неоднородного времени.

## Возможности моделирования

### *Реляционный подход*

Представляется любопытным предъявить возможности реляционного и субстанционального подходов в решении проблем и задач изучения времени. Сделаем это на примере реляционно-статистической [1] и метаболической [5] моделей.

Бинарная геометрофизика [1, 3] постулирует систему из двух множеств. Первое множество названо начальным, второе – конечным состоянием системы. Из каждого множества выбраны  $r$  элементов, число  $r$  названо рангом системы. Рассмотрены пары, первый элемент которых принадлежит начальному множеству, второй – конечному. Для каждой пары задано комплексное число, названное комплексным отношением. Задача подхода – описать через комплексные отношения геометрию пространства-времени, функцию состояния системы, вывести законы её функционирования. Эта задача решена постулированием закона (фундаментальной симметрии), ограничивающего возможные значения комплексных отношений, а именно: определитель Кэли-Менгера из  $r^2$  отношений должен быть равен нулю.

Элементы исходных множеств в бинарной геометрофизике могут быть интерпретированы как точки пространства, как события, как частицы-поглотители бозонов. Постулированный статус начального и конечного состояний для базовых множеств, по мнению авторов, говорит о порождении времени в модели.

Для различных частных случаев бинарных и унарных систем комплексные и действительные отношения могут быть интерпретированы как интервалы в пространстве Минковского, расстояния в евклидовом пространстве. Сами бинарные системы отношений оказываются особыми бинарными геометриями. Ранг бинарной системы однозначно определяет размерность, сигнатуру и метрику (не обязательно квадратичную и анизотропную) многообразия, на котором задана геометрия.

В полученных многообразиях различной размерности удаётся описать гравитационное, электрослабое и сильное физические взаимодействия, спин частиц; удаётся ввести спиноры и биспиноры как функции состояния системы; удаётся найти подход к классификации поколений частиц-лептонов и к нормировке их масс.

Классические пространственно-временные отношения возникают из суммирования фазовых вкладов системы комплексных отношений бинарной геометрофизики. Для системы ранга 4 (т.е., если, как указано выше и согласно [1; 3], из исходных множеств геометрофизики выбрано по 4 базовых элемента) физическое пространство можно представить себе как «море» фотонов между всевозможными частицами-поглотителями.

Реляционно-статистический подход намечает пути вывода фундаментальных уравнений, например, уравнения Дирака квантовой электродинамики [3] или уравнения классической и релятивистской механики [4].

### **Субстанциональный подход**

Согласно субстанциональному метаболическому подходу [5; 12] течение времени в системах (и в мире в целом) есть следствие их открытости к поступлению (или убыли) нескольких типов субстанций.

«Окошками» («устьями», «отверстиями», источниками или сингулярностями), через которые субстанция входит в наш мир (или выходит из него), являются заряды различного типа. Тип заряда определён типом испускаемой им субстанции. Другими словами, заряды оказываются не корпускулами, а источниками (стоками), «излучающими» шлейфы субстанций. Субстанции разных типов порождают вместе с типом зарядов и существующие типы взаимодействий.

Наглядный метафорический образ нашего мира в метаболическом подходе – это колба песочных часов, в которую ведёт около  $10^{40}$  устьев, и через них в мир поступает несколько типов субстанционального «песка». Из колбы также могут вести около  $10^{40}$  устьев, через которые субстанциональный «песок» уходит из нашего мира. (Параметр « $10^{40}$ » в этом примере условен.)

Объединение шлейфов субстанций от всех источников-зарядов порождает пространство. Размерность пространства определена как количество типов, образующих пространство субстанций.

Течение времени в метаболическом подходе отождествлено с появлением (исчезновением) элементов субстанций в системе.

Метаболический подход постулирует существование двух форм материи – субстрата и субстанций. Субстрат состоит из зарядов, то есть источников вместе со шлейфами испущенных субстанций. Субстанция – то, что испускают источники. Субстанция и субстрат имеют различный бытийный статус, например поле и вещество, материя косная и живая... Метаболический подход радикально меняет отношение между «частью» и «целым»: заряды не «состоят» из субстанции, а «производят» её.

Заряды, то есть источники со шлейфами субстанции или субстрат (тело) как совокупность зарядов имманентно включают в себя феномен длительности как акт появления элементов субстанции из источников и феномен непустой протяженности в виде шлейфов субстанции. Эти феномены неразрывно связаны друг с другом, поэтому предложено объединить их термином «время-пространство».

Каждый заряд представляет собой элементарные часы и линейку. Часы измеряют изменения в системе количеством испущенных источником элементов субстанции, а линейка измеряет пространство количеством элементов субстанции в шлейфе. Течение времени, порождаемое излучением субстанции некоторого типа, может оказаться неравномерным относительно течения, порождаемого субстанциями других типов. Измеряемое шлейфами субстанции некоторого типа пространство может оказаться неоднородным относительно измерений пространства шлейфами субстанции других типов.

С каждой «осью» времени-пространства (то есть с «измерением» как атрибутом его размерности) связана пара координат, ответственных за вре-

менную и пространственную характеристики соответствующей субстанции. То есть  $n$ -мерное пространство описывают  $2n$  координат –  $n$  временных и  $n$  пространственных.

Метаболический подход предлагает новое представление о движении в пространстве, определяя его как замену элементов субстанции в системах. Такое движение происходит не путем «раздвигания» элементов субстанции, а путем их замены в системе, а именно путем «вхождения» в систему одних «точек» (элементов субстанции) пространства и «выхода» других. Поскольку субстанция не взаимодействует с частицами и, проникая в результате движения «сквозь» вещество, состоящее из этих частиц, не вызывает эффектов трения и сопротивления (в обычном их понимании), то она не является эфиром XIX в., «обдувающим» тела или «увлекаемым» ими.

Время равномерно и пространство однородно только во времени-пространстве, создаваемом единственным типом субстанции. Если субстанций несколько и одна из них выбрана в качестве эталона измерения времени и пространства (и тем самым по определению – эталоном равномерности и однородности), то можно говорить о плотности времени и пространства (и измерять их).

В рамках субстанционального подхода обращение времени означает обращение потоков субстанции. Её источники становятся стоками, и наоборот.

Вместе с дискретностью субстанций и время, и пространство в метаболическом подходе оказываются дискретными.

Субстанция может накапливаться или тратиться в системах. Если, например, источники субстанции преобладают над стоками, то происходит накопление субстанции в системе. О таком накоплении можно говорить в терминах «расширения пространства» системы.

Заряды в метаболическом подходе обладают квантовыми свойствами. Они нестационарны: шлейфы частиц «растут» (или «сокращаются») в каждый момент времени (точнее, этот «рост» и есть по определению «течение времени»). О «росте» шлейфов можно сказать и как об их «распространении» в пространстве (если в качестве системы отчета принять не элементы субстанции, а их источник), а о самом шлейфе (с чередованием в нём бытия и небытия его элементов) можно говорить как о «метаболической волне», обладающей как пространственной, так и временной плотностью. Согласно модели, заряд «состоит» из источника и шлейфа элементов субстанции, образующего вместе со шлейфами других частиц метаболическое пространство. И если источник «точечен», то шлейф распределен во всем пространстве (точнее, объединение шлейфов и есть само пространство). Таким образом, заряд как целое локализован не в «точке», а во всем пространстве. То же относится к временной протяженности частицы. Другими словами, частицы нелокальны как во времени, так и в пространстве, так как существуют не в отдельные, а во все моменты во всех точках своего времени-пространства. Многокомпонентные частицы (то есть источники, излучающие субстанции нескольких типов) обладают дополнительными степенями свободы – разно-

стями фаз между пульсациями различных субстанций, эти разности могут быть интерпретированы как спины частиц. При обращении субстанционального времени и заряды, и их спины меняют знак на противоположный. Для многокомпонентных частиц распределения плотности так же многокомпонентны, как спинорные (векторные) волновые функции квантовомеханических частиц с ненулевым спином. Следует отметить, что заряды – квантовые, но не обязательно «микрокосмические» объекты: протяженности их шлейфов могут иметь космологические масштабы. Поскольку в метаболическом подходе частицы-заряды оказываются не точечными, а протяженными объектами, то можно искать аналогию между ними и объектами теории струн. Общими для метаболических частиц и струн являются протяженность и наличие колебательных степеней свободы. Однако различна природа колебаний. Колебания струн – аналог механических стоячих волн, «точки» струны колеблются в заданном до и независимо от постулирования струн пространстве. Колебания в метаболических частицах – пульсации, периодические появления элементов субстанции из источника. Главное же отличие – то, что для струн многомерное пространство-время задано независимо от их аксиоматики. Метаболические же частицы сами порождают время и пространство.

Неоднородность времени-пространства приводит к взаимодействиям частиц согласно геометрической концепции взаимодействий. Конструкция метаболических частиц в виде источника шлейфов субстанции допускает попытки описать взаимодействие и на языках «столкновительной», «обменной» или «топологической» концепций.

Открытость к потокам субстанций в метаболической модели любых систем – частиц, тел, всей Вселенной – и неравномерность течения времени в «многосубстанциональном» времени-пространстве позволяют говорить о неравновесности нашего мира и о порождении в нём энергии различных взаимодействий (сравните с гипотезой Н.А. Козырева [13] о времени как источнике энергии звёзд).

Идеи метаболического подхода могут быть обобщены на нефизические формы бытия: существование нефизических размерностей (то есть нефизических типов субстанций) в мировом времени-пространстве; существование не только элементарных физических, но и других типов зарядов, например, живых организмов и носителей сознания [12], чёрных и белых дыр Вселенной [14] – и их взаимодействий.

### **Статус деятельности по моделированию времени и пространства**

Приведу некоторые методологические замечания, которые помогут сопоставить реляционный и субстанциональный подходы.

Моделирование времени и пространства не относится к деятельности в рамках «нормальной» науки. Поясню свою мысль на примере физики. В деятельности физика-теоретика существует «водораздел» (рис. 1), по одну



Моделирование элементов понятийного базиса наук, безусловно, лежит в той же области, где «изобретают» фундаментальные уравнения. Каков же статус этой области? Часто её называют методологией науки, метафизикой, натурфилософией. Ввиду широкой понятийной нагруженности этих терминов предлагаю (вслед за классиками философии) другой термин – предлагаю называть деятельность по моделированию базовых понятий и фундаментальных уравнений разработкой пролегоменов науки.

### **Пути моделирования времени и пространства**

Можно выделить два пути моделирования в теоретическом естествознании. Один из них назову «натурным» моделированием. На примере моделирования феномена времени [5; 12] этот путь состоит в предъявлении природного референта времени – природного явления, которое следует корреспондировать с общенаучными или специально-научными представлениями о времени. Например, механическое движение, расширение Вселенной, рост энтропии, распространение электромагнитного, в частности реликтового, излучения, потоки субстанций или гипотетические «хрональные» поля... Второй путь это формальное моделирование, то есть постулирование математической модели, из которой будут следовать естественнонаучные свойства времени. Например, фундаментальная симметрия в форме определителя Кэли-Менгера [1], четырёхмерное непрерывное многообразие с различными метриками (Минковского, Римана, Бервальда-Моора...), многомерные пространства со специальными алгебрами (кватернионов, октав, двойных чисел...), дискретные пространства (конечные геометрии, графы...), пространства Калаби-Яу, топосы как пространства с переменной топологией... Каждый из путей моделирования сталкивается с определенными трудностями. На пути «натурного» моделирования нельзя использовать привычные естественнонаучные понятия, например, массу, энергию, действие, энтропию... Некорректно использовать привычный аналитический аппарат, например, числа, топологии, многообразия, размерности, метрики... Их нужно вывести из свойств постулированного референта времени. При формальном моделировании необходимо показать, что средствами модели можно корректно ввести и интерпретировать привычные естественнонаучные измеряемые величины. Необходимо выяснить и отрефлексировать, чему соответствуют свойства описываемого моделью времени – природе явления или особенностям применённого формального аппарата. Например, при моделировании времени действительными числами непрерывность – это свойство времени или она привнесена интервальной топологией чисел?

### **Заключение**

Реляционный и субстанциональный подходы имеют много общих черт. Оба подхода принадлежат монистической парадигме [1]. В реляционном

подходе оказывается достаточно единственной сущности – частиц (событий), все остальные представления возникают в ходе анализа отношений между ними в форме комплексных аналогов расстояний между начальными и конечными состояниями множества частиц. В субстанциональном подходе исходной сущностью становятся субстанции и способы их организации в форме источников и шлейфов, позволяющие конструировать и частицы, и пространство, и время.

Оба подхода ставят своими задачами вывод, а не постулирование фундаментальных уравнений движения, а также перестройку естественнонаучной картины мира, необходимую после замены аксиоматического «кирпичика» пространства-времени в понятийном базисе знания. Оба подхода принадлежат к области пролегоменов науки.

Возможно, стоит говорить не столько о противопоставлении, сколько о взаимодополнительности реляционного и субстанционального подходов [15]. Как не существует реляции без субстанции, так и субстанция оказывается организованной в определённую форму, что можно рассматривать как вид отношений между элементами субстанции. Так, пример бинарной системы комплексных отношений ранга 4 [1] порождает пространство как «море» фотонов, что может трактоваться как субстанциональность такого пространства. В метаболическом подходе [5] организацию субстанции в форме источников и шлейфов можно рассматривать как своего рода реляцию на субстанциональном многообразии.

Одно из отличий реляционного и субстанционального подходов состоит в том, что первый из них относится к формальному, а второй – к «натуральному» способу моделирования, и каждому из них, решая общие задачи, необходимо преодолевать свои упомянутые выше трудности.

Для верификации субстанционального подхода к тому же необходимо экспериментальное обнаружение гипотетических субстанций. Однако если гипотетическая субстанция принадлежит достаточно глубинным уровням строения материи, то на пути её поиска мы находимся пока, согласно аналогии из истории открытия электричества, скорее в положении «лягушачьего танцмейстера» Гальвани, нежели обладателя рамки Фарадея. Экспериментальное обнаружение субстанции зависит в первую очередь от «суммы технологий», достигнутой цивилизацией, а не от силы нашего теоретического прозрения. Яркие примеры этого – дистанция в тысячу лет между гипотезой Демокрита об атомарном строении вещества и опытами по диффузии вещества, и электронной микроскопией или дистанция в добрую сотню лет между декларированными Менделеем «частицами наследственности» и проведенным Уотсоном и Криком рентгеноструктурным анализом строения дезоксирибонуклеиновой кислоты.

Возможен и альтернативный путь верификации. Если теоретическое развитие субстанционального подхода позволит вывести, например, существующие фундаментальные уравнения в физике, то все хорошо проверенные эмпирические следствия из этих уравнения будут служить «критериями практики» в пользу новой теории.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Владимиров Ю.С.* От квантования гравитации к реляционно-статистической теории пространства-времени // *Пространство, время и фундаментальные взаимодействия.* – 2013. – Вып. 1. – С. 5–19.
2. *Владимиров Ю.С.* Геометрофизика. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010.
3. *Владимиров Ю.С.* Основания физики. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008.
4. *Аристов В.В.* Философские проблемы пространства-времени, связанные с реляционно-статистической концепцией // *Метафизика.* – 2012. – № 3(5). – С. 48–63.
5. *Левич А.П.* Субстанциональное время открытых систем // *Метафизика.* – 2013. – № 1 (7). – С. 50–73.
6. *Levich A.P.* Generating Flows and Substantial model of Space-Time // *Gravitation and Cosmology.* – 1995. – V. 1. – № 3. – P. 237–242.
7. *Shichobalov L.S.* What can we obtained from the substantial conception of Time? // *On the Way to Understanding the Time Phenomenon. The Constructions of Time in Natural Science. Part 2. The «Active» properties of Time according to N.A. Kozyrev.* Singapore, New Jersey, London, Hong Kong: World Scientific, 1996. – P. 174–221.
8. *Levich A.P.* Substantial interpretation of N.A. Kozyrev's conception of Time // *On the Way to Understanding the Time Phenomenon. The Constructions of Time in Natural Science. Part 2. The «Active» properties of Time according to N.A. Kozyrev.* Singapore, New Jersey, London, Hong Kong: World Scientific, 1996. – P. 1–42.
9. *Левич А.П.* Мотивы и задачи изучения времени // *Конструкции времени в естествознании: на пути к пониманию феномена времени. Ч. 1: Междисциплинарное исследование.* – М.: Изд-во Московского университета, 1996. – С. 9–27.
10. *Шноль С.Э.* Космофизические факторы в случайных процессах. – Stockholm: Svenska fysikarkivat, 2009.
11. *Войтенко В.П.* Время и часы как проблема теоретической биологии // *Вопросы философии.* – 1985. – № 1. – С. 73–82.
12. *Левич А.П.* Моделирование природных референтов времени: метаболическое время и пространство // *На пути к пониманию феномена времени: конструкции времени в естествознании. Ч. 3: Методология. Физика. Биология. Математика. Теория систем.* – М.: Прогресс-Традиция, 2009. – С. 259–335.
13. *Козырев Н.А.* Источники звездной энергии и теория внутреннего строения звезд // *Избранные труды.* – Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1991. – С. 71–154.
14. *Шульман М.Х.* Космология и метаболизм. 2009. URL: [http://www.timeorigin21.narod.ru/rus\\_time/Time\\_and\\_metabolism\\_rus.pdf](http://www.timeorigin21.narod.ru/rus_time/Time_and_metabolism_rus.pdf).
15. *Левич А.П.* Время – субстанция или реляция? Отказ от противопоставления концепций // *Философские исследования.* – 1998. – № 1. – С. 6–23.

## RELATIONAL AND SUBSTANTIAL CONCEPTS IN SOLVING PROBLEMS OF STUDYING TIME AND SPACE

**A.P. Levich**

Formulated the problem and objectives of studying time, to the solution of which can be applied the substantial and relational concepts of space-time. Possibilities of each approach, the status and challenges of modeling activities in time and space are proposed.

**Keywords:** modeling of time and space; relational-statistical approach; substantially-metabolic approach; problems, challenges and difficulties of studying time.

## ИЗ НАСЛЕДИЯ ПРОШЛОГО

### ВЫСТУПЛЕНИЕ НА ДИСПУТЕ «ПРИРОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА»<sup>1</sup>

Я.И. Френкель

*(Из книги «Природа электрического тока» (Беседа-диспут в Ленинградском политехническом институте в декабре – марте 1929–1930 г.). – Москва-Ленинград: Изд-во Всесоюзного электротехнического общества, 1930. – С. 73–83)*

Я.И. Френкель. Я попрошу вас теперь вернуться назад к исходной предпосылке. Исходной предпосылкой В.Ф. Миткевича было следующее положение: теория поля в той или иной форме с физическими линиями или без них, со средой или без нее, в формально математическом отношении эквивалента теории дальнего действия, притом запаздывающего дальнего действия, которое нельзя себе представить. Первое мы можем легко себе представить. Поэтому точка зрения теории дальнего действия, хотя формально и правильна, физически абсурдна; в то же время точка зрения поля, будучи формально эквивалента точке зрения дальнего действия, для нас физически приемлема, физически состоятельна. Позвольте прежде всего доказать вам, что физическим абсурдом является именно представление о близкодействии, а физической реальностью, физически обоснованным является представление о дальнем действии. Как нам ни трудно представить себе это дальнее действие, да еще запаздывающее, все же нам необходимо сделать соответствующее усилие для того, чтобы освободиться от тех привычек, которые сложились у нас в эпоху, когда наши познания были недостаточны. Верно, что Ньютон и Фарадей утверждали, что дальнее действие невозможно себе представить, верно то, что Фарадей и Ньютон были гениальными физиками, и верно то, что представление о близкодействии привело Фарадея к ряду великих открытий. Но неверно то, что эти открытия по существу основывались на представле-

---

<sup>1</sup> Выступление Я.И. Френкеля в дискуссии с В.Ф. Миткевичем по вопросу выбора одной из двух концепций: близкодействия или дальнего действия.

ниях Фарадея. Эти представления явились для него лишь рабочей гипотезой, которая облегчила ему сближение явлений, кажущихся с первого взгляда совершенно различными. Представляя себе, что электромагнитные действия передаются через эфир и помня о том, что через эфир должны передаваться и световые действия, Максвелл естественным образом перешел к мысли, что световые действия тождественны по своей природе с электромагнитными. Вот в чем вся сущность теории близкодействия, созданной Фарадеем и Максвеллом, весь ее основной физический смысл; во всяком случае главный физический смысл заключается в сближении понятия света и понятия электромагнетизма. Эфир послужил тем основным звеном, которое соединяло эти два понятия, ранее казавшиеся разными. Затем, когда эти два понятия были соединены, эфир можно было упразднить.

Разрешите мне сейчас проанализировать понятие близкодействия так, как оно фигурирует в теории Фарадея, так, как его представлял себе Максвелл, и показать вам, что это близкодействие, действующее через промежуточную среду, представляет собой только иллюзию, только замаскированное дальное действие. Не дальное действие оказывается необходимым сводить к близкодействию, а, наоборот, близкодействие к дальному действию.

Прежде всего поставим себе вопрос: почему физики так долго, так упорно отстаивали, и до сих пор еще отстаивают, идею близкодействия. Я думаю, что причина этого лежит в области, так сказать, психологической, представление о близкодействии имеет характер антропоморфный. Мы своим телом можем давить на другое тело только путем непосредственного соприкосновения. Когда мы хотим притянуть предмет или оттолкнуть его, мы схватываем этот предмет руками или вооружившись каким-нибудь вспомогательным предметом, который передает действие руки на интересующий нас предмет. По своему собственному опыту, поскольку мы оказываем активное воздействие нашим телом на окружающие тела, мы знакомы только с близкодействием. С близкодействием мы имеем дело и с пассивной стороны, когда мы подвергаемся воздействию других тел, окружающих нас. Однако, помимо этого опыта, который характеризует действие, производимое и воспринимаемое нами как близкодействие, мы знакомы, но только лишь с пассивной стороны, с явлением, которое непосредственно следует характеризовать как действие на расстоянии. Мы все испытываем притяжение со стороны земли, и это действие непосредственно воспринимается нами на расстоянии. Если бы испытываемые и оказываемые нами на все окружающие тела гравитационные действия были более интенсивны и непосредственно заметны, – то представление о действии на расстоянии было бы нам столь же знакомым и естественным, как и представление о близкодействии. Но повторяю, с близкодействием мы знакомы и активно, и пассивно, а с дальным действием мы знакомы только пассивно.

Таково то психологическое преимущество, которое теория близкодействия имела по сравнению с теорией дального действия, или вернее, представление о близкодействии по сравнению с представлением о дальном действии.

К этому нужно прибавить еще следующие соображения. Физика, старая, классическая, создателями которой явились Ньютон, Фарадей и Максвелл, эта физика была физикой макроскопической, она оперировала с макроскопическими телами, с большими телами. При построении основных уравнений «внутреннего» движения упругих твердых и жидких тел, приходится (временно) рассматривать эти тела как совокупность частиц, очень близких друг к другу и действующих друг на друга. После составления искомым уравнений молекулярная картина оставалась в стороне и тело трактовалось как сплошная среда. Так поступила теория упругости, гидродинамика, так поступали и другие области макроскопической физики. Именно эта макроскопическая физика и приучила нас представлять себе взаимодействие между телами как результат непосредственного соприкосновения этих тел. Если мы вдумаемся в то, что происходит при соприкосновении двух других тел друг с другом, мы увидим, что это соприкосновение является результатом приближения тех элементарных частиц, молекул, из которых состоят оба тела. Действие, оказываемое одним телом на другое, сводится к действию некоторых частиц, расположенных на поверхности одного тела, оказываемому на частицы, расположенные на поверхности другого тела. Передача действия от одной точки первого тела к другой точке того же самого тела осуществляется теми частицами, которые находятся в промежутке между рассматриваемыми точками. Если, следовательно, с макроскопической точки зрения, в которой тела трактуются как непрерывная среда, перейдем к микроскопической точке зрения, в которой тела характеризуются как отделенные друг от друга частицы, тогда вся картина в корне меняется. Если частицы, из которых состоит рассматриваемое тело, отделены друг от друга пустыми промежутками, то каким образом они действуют друг на друга? Вы можете сказать, что когда одно тело толкает другое, то одни частицы нажимают на соседние и, таким образом, осуществляется непосредственное соприкосновение. Ну, а если вы тело растягиваете, как тогда действуют соседние частицы его друг на друга? В этом случае частицы не приближаются, а удаляются друг от друга, и если между ними в нормальном состоянии тела были некоторые промежутки, то при растягивании этого тела эти промежутки увеличиваются. Здесь нет соприкосновения, а есть действие одной частицы на другую, находящуюся на некотором, хотя и малом, расстоянии. Следовательно, если рассматривать процесс передачи действия от одного тела к другому с микроскопической точки зрения, с точки зрения молекулярного строения тела, то то, что мы воспринимаем как близкое действие, оказывается дальним действием. Правда, дальним действием на очень малых расстояниях, но от того, что расстояние мало, суть дела не меняется. Я думаю, что многие физики заметили тот порочный круг, к которому приводит представление о близком действии, многие физики заметили, что это представление утрачивает почву под ногами, когда мы с макроскопической точки зрения переходим к микроскопической. Однако некоторые из них и здесь пытаются найти спасение для точки зрения близкого действия. Именно, можно было себе предста-

вить, что вся внутренность тела, все то пространство, между молекулами тела, которое мы называем пустотой, на самом деле не пусто, а заполнено какой-то другой средой – более тонкой, необыкновенной материей. Та самая среда, которой заполнено межзвездное пространство, может заполнить и междумолекулярные пространства, и тогда мы можем себе представить, что действие, идущее от одной частицы тела к соседней, осуществляется не через разделяющую их пустоту, а через соединяющую их среду. Нетрудно, однако, убедиться, что это представление о промежуточной междумолекулярной среде нисколько не решает вопроса о сведении дальнего действия к близкодействию, а сводит только дальнее действие на очень малых расстояниях к дальнему действию на еще меньших расстояниях. В самом деле, та среда, которая была придумана для связи между молекулами или звездами, – эта промежуточная среда была создана по образу и подобию упругих тел, которые были уже известны физикам. При описании свойств среды, так же как при описании свойств упругих тел, физики того времени исходили из представления об атомной структуре и предполагали, что среда состоит из очень малых частиц, находящихся на чрезвычайно малом расстоянии друг от друга и действующих друг на друга на этих очень малых расстояниях. Установив уравнения смещения и движения этих частиц, в дальнейшем забывали об атомной структуре и трактовали среду как сплошное тело. Таким образом, близкое действие оказывалось на самом деле замаскированным дальним действием. Если угодно, сведение дальнего действия к близкодействию является в буквальном смысле слова сведением действия на большом расстоянии к действию на малом расстоянии.

Мне кажется, что этот анализ достаточно прост и убедителен. Мне кажется, что возразить что-нибудь против него очень трудно и можно настаивать на представлении о близкодействии, осуществляющемся через материальную или квазиматериальную среду, только в силу привычки. Это не значит, что теория близкого действия не сыграла в физике положительную роль, что непримиримое отношение Фарадея к представлению о действии на расстоянии было вредно или бесполезно; оно принесло свои плоды и очень большие. Дело тут было, однако, совсем не в самой среде. Эта среда – эфир – сыграла роль тех лесов, которые окружают строящееся здание. Когда здание построено, леса снимаются долой.

Представления В.Ф. Миткевича в общих чертах совпадают с представлениями Фарадея и Максвелла. Фарадей, и в особенности Максвелл, пытались свести представление об электромагнитных явлениях к механике этой промежуточной среды, то есть, другими словами, к законам взаимодействия и движения ее частиц. Правда, в этой механической трактовке, атомная структура среды – эфир – не фигурировала явным образом; свойства были воплощены в те дифференциальные уравнения теории упругости, которые были выведены из представления об атомной структуре эфира в связи с представлением, что частицы его движутся и действуют друг на друга соответственно с принципами классической Ньютоновской механики. Это зна-

чит, что ускорение, которое каждая частица эфира получает в данный момент, т.е. действующая на нее в данный момент сила, зависит от положения соседних частиц эфира в тот же самый момент времени. Таким образом, теория Фарадея и Максвелла, поскольку она представляла собой попытку интерпретировать электромагнитные явления как механические явления в эфире, исходила из представления о мгновенном действии на расстоянии между частицами эфира, то есть действии, которое определяется мгновенной конфигурацией частиц, так же как это представлял себе и Ньютон в своей теории тяготения. Ньютон не учитывал возможности того обстоятельства, что действие может передаваться через пространство с запаздыванием. Силы, которые ввел Ньютон, были силы мгновенные и таковыми же были силы, которыми оперировали Фарадей и Максвелл в своей теории механизма электромагнитных явлений. Однако известно, что электромагнитные действия передаются в пространстве с конечной скоростью. В этом отношении они сходны с обыкновенными механическими действиями (давление, толчок), передающимися через какую-нибудь материальную среду. В последнем случае запаздывание объясняется следующим образом. Каждая частица среды (например, твердого тела) испытывает от соседних частиц силу, зависящую от их относительного положения в рассматриваемый момент времени. Эта сила в свою очередь изменяет положение данной частицы, однако не сразу, так как непосредственным образом она сказывается лишь на ускорении, для изменения же положения требуется некоторое время. Вот это обстоятельство и является причиной запаздывания в передаче деформаций или сил в материальной среде. Таким образом, дело здесь заключается не в запаздывании сил, а в запаздывании тех перемещений, которые ими вызываются и в свою очередь их обуславливают. Теория Фарадея и Максвелла рассматривает распространение электромагнитного действия в пространстве с конечной скоростью как результат распространения их с бесконечно большой скоростью через очень малые промежутки, то есть пространство, отделяющее частицы эфира. Никакого уничтожения теории дальнего действия здесь на самом деле и не было, а была попытка свести представление запаздывающего действия на расстоянии к более или менее привычному, хотя и непонятному представлению о дальнем действии мгновенном. Известно, что все попытки Максвелла, а также многих других физиков, в особенности Больцмана, построить механическую интерпретацию электромагнитных явлений, построить механическую модель, которая обладала бы свойствами, характерными для электромагнитного поля, все эти попытки оказались недостаточными, и сам Больцман, немало потрудившийся в этом отношении, закончил их следующим афоризмом: «Теория Максвелла это – уравнение Максвелла»; все остальное не имеет никакого значения. Все остальное – это те леса, которые были нужны Фарадею и Максвеллу, чтобы воздвигнуть здание теории, здание же теории – это математическое уравнение. Больцман был физик, настоящий, в истинном смысле слова, который отнюдь не до-

вольствовался математическими формулами, а искал скрытый за этими формулами физический смысл.

В.Ф. Миткевич с самого начала выставил такой тезис: две теории могут быть совершенно эквивалентны в математическом отношении, но одна из них абсурдна, другая физически состоятельна потому, что представления одной теории нам не лезут в голову, а представления другой теории нам свойственны, привычны. Это деление, по моему мнению, совершенно не выдерживает строгой научной критики. Во-первых, мы уже имели немало случаев убедиться в том, что, осложнившиеся исторически представления оказывались ложными, и не раз нам приходилось испытывать усилия для преодоления этих представлений и замены их другими более современными. Вопрос об абсурдности в этом смысле, в смысле возможности себе «представить» или понять, это вопрос чрезвычайно относительный и совершенно не связанный с истинностью или ложностью. Надо учесть то обстоятельство, что всякое понимание является, по существу, процессом относительным. Понимание какого-либо явления можно сравнивать с решением какого-либо уравнения или системы уравнений. Дана система уравнений, в них входят неизвестные  $x, y, z$  и известные  $A, B, C$ . Что значит решить эти уравнения? Это значит выразить  $x, y, z$  через  $A, B, C$ . А что такое  $A, B, C$ ? Этого мы не знаем. Мы можем перевернуть процесс решения и попытаться «понять»  $A, B, C$ , то есть выразить их через  $x, y, z$ . Мы получим некоторое понимание, лишь сведя один элемент к другому; но таким образом мы приходим в конце концов к элементам несводимым; здесь объяснение прекращается, и нам остается лишь привыкнуть к тому, чтобы считать  $A, B, C$  известными.

Возвращаясь от этих общих соображений к физическим вопросам, которые нас интересуют, я думаю, что здесь мы имеем два ряда неизвестных, — с одной стороны, неизвестные, характеризующие поле, с другой стороны, неизвестные, характеризующие материю, и задача ставится так, чтобы одни из этих неизвестных свести к другим. Поскольку мы не представляем себе поле сосредоточенным в некоторой материальной среде, являющейся его носителем, постольку представление того или иного типа, то есть о поле как о производном материальных частиц (его создающих) или о материальных частицах как о производных этого поля (им определяемых), совершенно эквивалентны. Прошлый раз я имел уже случай говорить, что я не отрицаю правомерности представления о поле, как о некоторой реальности. Я отрицаю только правомерность представления о том, что это поле соответствует какому-то материальному образу, будь то материальная среда, в виде эфира, или материализованные силовые линии, или силовые линии не как материальные шнуры, а как оси вихревого движения материальной среды. Вот против чего я категорически возражаю и что, по моему мнению, было давно уже отвергнуто физиками, пытавшимися продумать до конца механическое истолкование электромагнитной теории Максвелла.

Сам В.Ф. Миткевич указывал, что теория дальнего действия, так как я ее понимаю, то есть как представление о действии одной частицы на другую

через разделяющую их пустоту, и притом действию, передающемся с конечной скоростью, – что эта теория формально так же хорошо описывает явления, как и теория близкодействия. Я думаю, что это верно только если отказаться от попытки истолковывания последней теории как механической теории некоторой квазиматериальной среды. Если же В.Ф. Миткевич настаивает на возможности и необходимости сохранения материального субстрата, являющегося носителем электромагнитного поля, тогда я ни в каком случае не могу согласиться с ним. Такая механическая теория эфира ни в коем случае не будет эквивалентна во всех отношениях с теорией запаздывающего дальнего действия. Теория поля, лишённого подобного материального субстрата, теория поля, не связанного с ним, а просто локализованного в пустоте, такая теория поля эквивалентна теории запаздывающего дальнего действия. В связи с этим позвольте мне отметить еще одно обстоятельство. Попытка истолковать электромагнитные явления с точки зрения классической механики привела к полному фиаско, и из этого было заключено, что механика вообще не применима к описанию физических явлений и что старые механические воззрения должно заменить электромагнитными. К счастью, однако, этого не случилось. Оказалось, что не применима к описанию физических явлений лишь старая механика с ее мгновенно действующими силами и что все изменения, которые нужно было произвести, заключались в том, чтобы силы, действующие мгновенно на расстояние, заменить силами дальнего действия, передающимися с конечной скоростью. В этом и заключается сущность того нового механического воззрения, которое вытекало из электромагнитной теории Максвелла. Представление о запаздывающем дальнем действии в пустоте привело к необходимости рассматривать время как относительную величину, оно привело к созданию теории относительности, которая является ныне одним из краеугольных камней физического мировоззрения.

Таковы общие соображения, которые я могу привести по поводу общих соображений В.Ф. Миткевича. Переходя к специальным утверждениям, которые он развивал в применении к электрическому току, я могу только оправдать на практике справедливость того тезиса, что эти утверждения, поскольку они верны, постольку они вытекают из теории поля, а не из механической теории эфира, что эти утверждения столь же хорошо и просто получаются из представления о запаздывающем дальнем действии. Например, те магнитные и электрические эффекты, которые определяются первой производной тока по времени, а также второй производной – непосредственно вытекают из закона, но которому действуют друг на друга движущиеся электроны – именно электроны, движущиеся ускоренно или еще более сложным образом. Электрон покоящийся создает только электрическое поле; если он движется с постоянной скоростью, то, кроме электрического поля, он создает магнитное поле; из подобных элементарных полей складывается то магнитное поле, которое мы наблюдаем вокруг стационарного тока. Можно показать, исходя из основных уравнений, электронной теории, что при ускорен-

ном движении электронов появляются еще добавочные поля, электрическое и магнитное, которые пропорциональны ускорению и зависят не от положения и скорости электрона, а от его ускорения. Таким образом, электрическое поле складывается из трех частей; во-первых, из электростатического или Кулонова поля, во-вторых, из поля пропорционального скорости и, в-третьих, из поля пропорционального ускорению. Точно так же магнитное поле движущегося электрона может быть представлено в виде суммы, пропорциональной скорости, и другой части, пропорциональной ускорению. Последняя часть, пропорциональная ускорению, как в случае электрического, так и в случае магнитного поля, убывает обратно пропорционально первой степени расстояния, в то время как первая часть магнитного поля, пропорциональная скорости, убывает обратно пропорционально квадрату расстояния. Таким образом, на больших расстояниях доминирует поле, которое зависит от ускорения; это поле составляет сущность световых колебаний или радиоволн, распространяющихся во все стороны от колеблющихся электрических зарядов. Эти волны не связаны с колебательным движением частиц в тех точках пространства, через которые они распространяются. Здесь колеблются только силы, определяемые полем. Колебательное же движение происходит лишь в том месте, где находится источник волн. Если сила тока пропорциональна скорости движения электронов, то производная от силы тока по времени пропорциональна ускорению электронов. Естественно, что наряду с электромагнитными явлениями, зависящими от силы тока, мы должны иметь как электрический, так и магнитный эффект, зависящий от производной силы тока по времени. Электромагнитное поле электрического тока сводится к сумме слагаемых, зависящих от положения, скорости и ускорения образующих его зарядов и при том не в тот момент, для которого определяется это поле, а в предшествующий момент, причем расстояние между этими моментами соответствует времени, которое необходимо для прохождения (со скоростью света) расстояния от проводника с током до рассматриваемой точки. Это запаздывающее дальное действие формально эквивалентно мгновенному дальнему действию, в которое, однако, наряду с ускорением входят также и производные высшего порядка от скорости.

Перехожу ко второму явлению – индукционному току, возбуждаемому магнитом в сверхпроводнике. В.Ф. Миткевич пытается поймать меня как бы на отрицании мною магнитного поля как критерия электрического тока. Я отнюдь не думал отрицать, что электрический ток можно обнаружить при помощи магнитного поля.

## **SPEECH AT THE DEBATE «NATURE OF ELECTRIC CURRENT»**

**Ya.I. Frenkel**

---

## ИСТОКИ ТЕОРИИ ФИЗИЧЕСКИХ СТРУКТУР

Ю.И. Кулаков

*Новосибирский государственный университет  
Горно-Алтайский государственный университет*

*(Из книги: Кулаков Ю.И., Владимиров Ю.С., Карнаухов А.В.  
Введение в теорию физических структур и бинарную геометрофизику. –  
М.: Изд-во «Архимед», 1992. – С. 9–13)*

### 1. Физика как целостная система знаний

Среди многочисленных попыток обнаружить единую математическую структуру различных физических законов лишь одна, в какой-то степени, увенчалась успехом и может претендовать на название универсального принципа. Это хорошо известный принцип Гамильтона, взятый в качестве объединяющего начала в фундаментальном курсе теоретической физики Ландау и Лифшица.

Что же касается более частных областей физики, то здесь найдено достаточно большое число математических структур, объединяющих между собой различные разделы физики. Так, например, еще давно обнаружена единая математическая структура электрического и магнитного поля (тензор электромагнитного поля), света и электромагнитных явлений (уравнения Максвелла), геометрии и гравитационного поля (общая теория относительности), квантовой и релятивистской механики (квантовая электродинамика) и уже совсем недавно обнаружена единая структура слабых и электромагнитных взаимодействий – теория Вайнберга–Салама–Глешоу.

В 1968 г. мною был сформулирован новый взгляд на природу и математическую структуру фундаментальных физических законов и основных физических величин и понятий [1–4]. Суть его в самых общих чертах состоит в следующем.

Начиная с Галилея и по настоящее время, как правило, физика строится и излагается индуктивно, то есть из огромного множества наблюдений и опытных фактов выбирается небольшое число свойств и вырабатываются основные понятия, в терминах которых формулируется физическая теория. Я предлагаю дедуктивный путь построения физики. Для его реализации мною была предложена некоторая чрезвычайно простая математическая схема. Эта схема оказалась весьма эффективной при установлении природы фундаментальных физических законов и введении в теорию основных физических величин и понятий и потому я назвал ее «теорией физических структур».

Как известно, Н. Бурбаки предложили программу построения математики как целостной системы знаний. Ими было показано, что в основании математики лежат три независимые порождающие структуры – алгебраическая, топологическая и структура порядка [5]. Аналогичная задача «бурбакизации» может быть поставлена и в физике (задача построения физики как целостного знания). Смысл ее состоит в том, чтобы свести все многообразие фундаментальных физических законов, понятий и величин к одной универсальной физической структуре, имеющей смысл особой скрытой симметрии мира физических объектов.

Физика представляет собой сложную иерархическую систему фундаментальных физических законов и понятий, основных уравнений и общезначимых физических принципов, наблюдаемых и ненаблюдаемых физических величин, равновесных и неравновесных процессов. В самом ее основании лежат фундаментальные физические законы, порождающие достаточно богатый набор исходных физических величин и понятий, таких, как, например, пространство и время, масса и сила, температура, энтропия, электрический заряд, сопротивление и т. п. Используя эти понятия и физические величины как исходный строительный материал, оказалось возможным сделать следующий шаг – сформулировать исходные динамические уравнения. Эти уравнения играют в физике настолько важную роль, что возникает соблазн сказать, что вся механика заключена в уравнениях Ньютона, электродинамика – в уравнениях Максвелла, теория тяготения – в уравнении Эйнштейна, нерелятивистская квантовая механика – в уравнении Шредингера, релятивистская квантовая механика – в уравнении Дирака и т. д. Однако, сводя содержание различных разделов физики к соответствующим уравнениям, мы, сами того не замечая, рискуем лишить физику ее подлинного содержания, ибо главное содержание физики, как теперь выясняется, нужно искать не на уровне уравнений, а на более глубоком уровне – уровне фундаментальных физических законов, понятий и специфических физических величин, порождаемых особым видом симметрии системы физических объектов.

Заметим, что динамические уравнения получают неожиданную свежесть, появляясь заново совсем в другом аспекте.

Дело в том, что современная теория элементарных частиц, основанная на квантовой механике, во главу угла поставила ту часть квантовой теории, которая раньше занимала лишь подчиненное место. Речь идет о теории групп. В обычной квантовой теории группы симметрии играли лишь вспомогательную роль: в основе теории лежало «динамическое уравнение» (уравнение Шредингера или уравнение Дирака), которое в определенных условиях оказывалось инвариантным относительно некоторой группы преобразований. Считалось, что уравнения в принципе могли бы быть решены и без групп, а группы рассматривались лишь как математический метод, позволяющий извлекать частичную информацию о квантовой системе без интегрирования уравнений.

Развитие теории элементарных частиц в последние годы обратило, в известном смысле, соотношение между уравнениями движения и группами симметрии. Теперь симметрия выступает на передний план, так как оказалось, что представления соответствующих групп несут в себе самую фундаментальную информацию о системе. Таким образом, симметрия оказывается первичным, наиболее глубоким инструментом для физического описания природы. Эта точка зрения на соотношение между уравнениями движения и группами симметрии заимствована мною из книги Ю.Б. Румера и А.И. Фета «Теория унитарной симметрии» [6].

Но предлагаемая мною теория физических структур в определенном смысле идет дальше, так как в ее основании лежит новый тип симметрии, имеющий место в мире самых различных физических объектов. Эта симметрия, названная феноменологической, позволяет совершенно по-новому взглянуть на само понятие физического закона и на сам факт существования групп преобразований, играющих такую важную роль в современной теоретической физике.

Что же представляет собой физика в целом?

По отношению к физике можно задать тот же вопрос, который задают Н. Бурбаки по отношению к математике: «Является ли это обширное разрастание развитием крепко сложенного организма, который с каждым днем приобретает все больше и больше согласованности и единства между своими вновь возникающими частями, или, напротив, оно является только внешним признаком тенденции к идущему все дальше и дальше распаду, обусловленному самой природой математики... Одним словом, существует в настоящее время одна математика или несколько математик?» [5].

Поиск ответа на этот вопрос составляет предмет уже не физики, а специфической области знания, которую по аналогии с математикой можно было бы назвать «метафизикой» или, более традиционно, – «основаниями физики», что привело меня в 1968 г. к созданию теории физических структур [8, 9].

## 2. Исходная задача

Первоначальная задача, из которой возникла теория физических структур, выглядела весьма скромно – выяснить, в какой степени второй закон механики Ньютона является экспериментально проверяемым физическим законом, а в какой – определением силы, массы и инерциальной системы отсчета.

При этом возникла необходимость дать такие определения исходным понятиям (силе, массе, инерциальной системе отсчета), которые, в отличие от туманных, расплывчатых и неконструктивных определений вроде «масса есть мера инерции, а сила – мера механического действия» или «инерциальная система отсчета – это такая система, в которой справедливы законы Ньютона» [10], были бы конструктивны, логически безупречны и позволяли

бы определить численные значения вводимых физических величин экспериментальным путем.

Цель была достигнута: выяснилось, что второй закон механики Ньютона является одновременно и экспериментально проверяемым физическим законом (в форме соотношения между четырьмя ускорениями  $w_{i\alpha}$ ,  $w_{i\beta}$ ,  $w_{k\alpha}$ ,  $w_{k\beta}$ , относящимися к двум произвольным телам  $i$  и  $k$  и к двум произвольным акселераторам<sup>1</sup>  $\alpha$  и  $\beta$ :

$$w_{i\alpha} w_{k\beta} - w_{i\beta} w_{k\alpha} = 0.$$

Однако, как это иногда бывает, наряду с решением поставленной весьма частной задачи было получено нечто гораздо большее.

Оказалось, что ход рассуждений, с помощью которого удалось получить индивидуальную характеристику тела – массу  $m_i$  и акселератора – силу  $f_a$ , исходя лишь из взаимных отношений между ними, может быть перенесен и на другие фундаментальные физические законы. Более того, оказалось, что за таким хорошо известным еще со школы законом, как второй закон Ньютона, стоит целая неисследованная область системных (коллективных, полиарных) отношений между физическими объектами различной природы, порождающих, в частности, фундаментальные физические и геометрические законы.

Возникающая при этом теория, названная мною теорией физических структур, исходит из хорошо известных физических законов и основных уравнений и выделяет из них нечто общее, универсальное, присущее всем фундаментальным физическим законам независимо от конкретной «физической природы» изучаемых объектов и используемых при этом измерительных приборов.

Оказывается, что с каждым фундаментальным физическим законом тесно связан определенный тип устойчивых отношений (физическая структура определенного ранга), не зависящий ни от «физической природы» изучаемого физического объекта, ни от выбора конкретного измерительного прибора.

Строгая математическая формулировка понятия физической структуры делает возможным изучение общих свойств физических законов до их конкретной физической интерпретации, подобно тому, как абстрактные методы элементарной алгебры позволяют решать конкретные школьные задачи, взятые из реальной действительности.

Именно теория физических структур позволяет обнаружить глубокое единство самых различных разделов физики. Опираясь на методы, разработанные в рамках этой теории, можно показать, что такие, внешне не похожие друг на друга разделы физики, как механика, специальная теория относительности, феноменологическая электродинамика, теория электрических

<sup>1</sup> Под акселераторами (ускорителями) мы будем понимать всевозможные поля или ускоряющие механизмы, сообщающие телам определенные ускорения.

цепей, равновесная термодинамика как бы вырастают из единого корня, реализуя тем самым физические структуры различных рангов [11].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кулаков Ю.И. Элементы теории физических структур (с дополнением Г.Г. Михайличенко). – Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. ун-та, 1968. – 227 с.
2. Михайличенко Г.Г. Решение некоторых функциональных уравнений, связанных с понятием физического закона: дис. ... канд. физ.-мат. наук. – Новосибирск, 1973. – 138 с.
3. Лев В.Х. Бинарная физическая структура ранга (3,3) // Вычислительные системы. – Новосибирск: Изд-во Ин-та математики Сиб. отделения АН СССР. – 1984. – Вып. 101. – С. 91–113.
4. Кулаков Ю.И. К теории физических структур. – Новосибирск: Изд-во Новосиб. ун-та, 1968. – 226 с.
5. Бурбаки Н. Очерки по истории математики. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1963. – С. 252.
6. Румер Ю.Б., Фет А.И. Теория унитарной симметрии. – М.: Наука, 1970. – С. 7–8.
7. Румер Ю.Б., Фет А.И. Теория групп и квантовые поля. – М.: Наука, 1977.
8. Кулаков Ю.И. О новом виде симметрии, лежащей в основании физических теорий феноменологического типа // Доклады АН СССР. – 1971. – Т. 201. – № 3. – С. 570–572.
9. Kulakov Ju.I., Protasiewicz T.I. Phenomenological Semmetry and the Foundation of Physics // Intern. Logic Review (Italy). – 1973. – N. 7. – P. 98–101.
10. Физический энциклопедический словарь / под ред. А.М. Прохорова. – М., 1984 – С. 392, 677, 220.
11. Кулаков Ю.И., Сычева Л.С. Теория физических структур как программа обоснования физики и как исследовательская программа в математике // Исследовательские программы в современной науке. – Новосибирск: Наука, 1987. – С. 99–120.

## THE ORIGINS OF THE THEORY OF PHYSICAL STRUCTURES

Yu.I. Kulakov

---

**РЕЦЕНЗИЯ**  
**НА РАБОТУ Ю.И. КУЛАКОВА «МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЕ**  
**ВВЕДЕНИЕ В ТЕОРИЮ ФИЗИЧЕСКИХ СТРУКТУР»**

**И.Е. Тамм**

*(Из книги: Кулаков Ю.И., Владимиров Ю.С., Карнаухов А.В.*  
*Введение в теорию физических структур и бинарную геометрофизику. –*  
*М.: Изд-во «Архимед», 1992. – С. I–IV)*

В последние годы появляется немало работ, посвященных проблеме синтеза знания. Написанная в русле этой проблематики, работа Ю.И. Кулакова заметно выделяется как новизной своих методологических установок, так и безукоризненной строгостью и ясностью изложения.

Перед нами – качественно расширенное и углубленное понимание самой сути синтеза, отличающееся от традиционных подходов к этому вопросу, когда основа синтеза усматривается в непосредственном взаимодействии теорий, в появлении пограничных областей («переходных мостиков») между ними. Конечно, весьма интересно исследование таких объектов, как вирусы, находящиеся на пересечении интересов кристаллографа и биолога, или нейтронные звезды, парадоксальным образом входящие как в предмет астрофизики, так и метафизики. Однако тот факт, что в квантовой физике учитываются релятивистские эффекты, а в некоторых космологических приложениях теории относительности используется постоянная Планка, еще не свидетельствует о синтезе этих теорий, – перед нами их взаимопроникновение, которое может быть то весьма глубоким, то поверхностным и эпизодичным, но не выявление общих основ и принципов, объединяющих эти фундаментальные разделы физики. Установление синтеза «по горизонтали» – через непосредственные «взаимодействия» и «взаимопроникновения» теорий – есть занятие почетное, но трудоемкое и малокомпактное: при нынешней разветвленности знания оно, в лучшем случае, будет похоже на поверхностное наложение швов, которые все равно неуклонно расползаются, увеличивая хаотичность, несвязность и разрозненность различных аспектов знания.

Другой путь для синтеза – это «вертикальный» анализ теорий с целью нахождения некоторых фундаментальных инвариантов между ними, которые определяют гармонию мира и из которых дедуктивно могут выводиться принципы меньшей общности, лежащие в основании конкретных дисциплин.

Этот нелегкий путь и выбран Ю.И. Кулаковым, разработавшим теорию физических структур. Здесь уровень обобщения и интеграции физического знания поднят на новую высоту. Несомненно, что в сравнении с традиционным подходом это более «компактный» путь, причем «компактность» пони-

мается не столько в прагматическом, сколько в глубинно-онтологическом смысле: ставится вопрос о некотором предельном минимуме исходных структур, на которые с изяществом и естественностью могут быть отображены совершенно различные физические теории, традиционно понимаемые как имеющие собственную, автономную, суверенную основу и потому излагаемые в жестокой изоляции друг от друга.

Существование таких структур строго доказано в теории физических структур, – выявлены глубочайшие изоморфизмы и симметрии, позволяющие увидеть архитектуру физического знания в целом, а не в том стихийно-хаотическом разбросе, который у наиболее глубоко мыслящих физиков всегда оставлял впечатление дисгармонии и вызывал ощущение эстетической неудовлетворенности.

Теория физических структур безупречна в эстетическом отношении, – это не внешний лоск, а тонкое свидетельство глубины и истинности построений. Эстетические критерии для оценки теории в данном случае естественны и неизбежны, ибо антиутилитарный и антипрагматический подход Ю.И. Кулакова принципиально ориентирован на постижение мировой гармонии, упорядоченность бытия. В наш век дробно-практицизированного знания мы отвыкли от такой ориентации, корни которой уходят в пифагорейское мировоззрение, к идеалам универсального и математизированного знания.

В рамках теории физических структур по-новому осмысливается проблема единства мира, – у современных ученых еще силен искус решения этой проблемы в субстанциалистическом духе.

Однако не исчерпал ли себя этот подход? С точки зрения теории физических структур, более перспективно искать не исходную «первоматерию», а исходные «первоструктуры», – такая переформулировка проблемы единства мира представляется нам несравненно более преимущественно и в логическом, и в естественнонаучном отношении. Уже давно подмечено сходство уравнений, описывающих совершенно различные уровни бытия (Ньютон – Кулон, Больцман – Шеннон). Как можно объяснить этот замечательный изоморфизм уравнений с позиции субстанционализма? Если бы субстанционализм и проявил интерес к этой проблеме (а для него это не характерно), то в решении ее дело заведомо не обошлось бы без грубых натяжек. Однако в рамках теории физических структур эта интереснейшая проблема решается со всей полнотой, ибо здесь осуществляется переход от уровня уравнений к уровню фундаментальных структур; лежащие в их основе отношения могут изоморфно проявляться на разных уровнях организации материи, что и приводит к изумительной по своей красоте конвергенции уравнений.

Установки теории физических структур требуют принципиального отказа от наглядных представлений. Это требование у Ю.И. Кулакова приобретает силу едва ли не категорического императива. Для этого есть все основания. Очевидно, само понятие «наглядности» нуждается в определенном

расчленении, – при широко понимаемом контексте к «наглядности» можно отнести и область конкретно-чувственного, и интуитивные представления, и представления, ориентированные на «видение» пластических эйдосов – «идей». Часто отказ от «наглядности» связан только с исключением чувственных образов. Но Ю.И. Кулаков идет дальше; вводя понятие физической структуры, он строит всю фундаментальную физику не прибегая к каким бы то ни было чувственным образам, умело перенося их в область «интерпретации». Проблема отказа от «наглядности» вставала перед человеческим интеллектом и раньше. Так уже пифагорейская традиция осознавала необходимость перехода от пластического Эйдоса к чистому Логосу, однако «телесно-чувственная» природа греческой цивилизации помешала реализации этой программы, – европейская наука в каком-то смысле унаследовала это бремя «наглядности», в несении которого есть своя прелесть.

Необходимо отметить подлинную диалектичность в самом стиле мышления Ю.И. Кулакова. Его работы в этом отношении напоминают некоторые исследования А.А. Любищева, отмеченные блеском диалектического анализа, и в первую очередь – дополнительным исследованием «тез» и «антитез». Многие проблемы Ю.И. Кулаков формулирует как диалектически неизбежные антитезы, упускаемые из виду в тех случаях, когда «тезы» неправомерно претендуют на монополию. Так сама идея структурно-синтетического построения теории физических структур возникает как естественная антитеза к доминирующему в мышлении многих ученых субстанционально-аналитическому подходу.

То же самое можно сказать и о великолепной идее «феноменологической симметрии», основанной на непрерывных представлениях, она дополнительна по отношению к дискретно-групповым построениям, которые оттеснили и затенили идею непрерывности, нарушив необходимые здесь пропорции.

В этом плане особо отметим оригинальную идею «метаморфии», выдвинутую Ю.И. Кулаковым как парное понятие к «структуре».

Замечательно, что физик-структуралист, создатель теории физических структур, приходит к этой идее и глубоко разрабатывает ее! Это редкостный пример диалектической полноты и красоты мышления. Введение емкого понятия «метаморфии» позволило автору построить интересную классификацию наук, напоминающую непрерывный спектр – от предельной структуры к предельной метаморфии. Нет никаких сомнений, что метаморфия должна исследоваться столь же углубленно, как исследуются различные структуры. Нам еще неизвестны многие факторы, ответственные за генерацию метаморфии в мире. Исследования регулярности, повторяемости совершенно затенили интерес к проблеме несхожести, неповторимости, индивидуальности. Классически ясная постановка Ю.И. Кулаковым вопроса о соотношении структуры и метаморфии открывает широкое поле для исследований.

«Простота» и «ясность» – вот два эвристических и методологических критерия, положенных в основу построения теории физических структур.

Эти классические критерии, которые могут показаться старомодными сейчас, когда «истинность» зачастую отождествляется с «парадоксальностью», а теории становятся настолько «сумасшедшими», что это приводит к летальным для них исходам.

Оригинальность Ю.И. Кулакова выражается еще и в том, что он не только устанавливает «порог наглядности», но и подводит нас к мысли о существовании «порога парадоксальности», за которым, по всей вероятности, находится новый уровень Простоты и Гармонии.

Исследования Ю.И. Кулакова будут с интересом встречены не только физиками, – автор приходит к общезначимым для науки в целом результатам, к замечательным по своей глубине интегральным обобщениям, охватывающим все области знания.

Ясность мысли отражается в ясности языка автора, – работа написана великолепно. Публикацию рукописи можно только приветствовать,

*Академик И.Е. Тамм  
12 января 1970 г.*

**REVIEW ARTICLE YU.I. KULAKOV  
«METHODOLOGICAL INTRODUCTION TO THE THEORY  
OF PHYSICAL STRUCTURES»**

**I.E. Tamm**

---

---

## НАШИ АВТОРЫ

---

---

**БОЛОХОВ Сергей Валерьевич** – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики Российского университета дружбы народов.

**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 РУДН, академик РАЕН.

**ЖИЛКИН Андрей Георгиевич** – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института астрономии РАН.

**КРУГЛЫЙ Алексей Львович** – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник научно-исследовательского Института системных исследований РАН.

**КУЛАКОВ Юрий Иванович** – кандидат физико-математических наук, профессор Новосибирского государственного университета и Горно-Алтайского государственного университета.

**ЛЕВИЧ Александр Петрович** – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник биологического факультета Московского государственного университета МГУ имени М.В. Ломоносова, руководитель Лаборатории-кафедры моделирования природных референтов времени Web-Института исследований природы времени.

**ПОРОЙКОВ Сергей Юрьевич** – кандидат физико-математических наук, член Российского философского общества РАН, член Союза писателей-переводчиков.

**САДЫКОВ Бехруз Садыкович** – кандидат технических наук, доцент кафедры физики Московского государственного университета печати.

**СЕВАЛЬНИКОВ Андрей Юрьевич** – доктор философских наук, профессор Института философии РАН.

**СОЛОВЬЕВ Антон Васильевич** – кандидат физико-математических наук, старший преподаватель физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, член-корреспондент РАЕН.

**ТАММ Игорь Евгеньевич** – доктор физико-математических наук, действительный член АН СССР, лауреат Нобелевской премии.

**ФРЕНКЕЛЬ Яков Ильич** – доктор физико-математических наук, член-корреспондент АН СССР.

# **МЕТАФИЗИКА**

**Российский университет  
дружбы народов**

**Научный журнал**

**2014, № 2 (12)**

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 28.04.2014 г. Формат 60×84/8.  
Печать офсетная. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Усл. печ. л. 22,0. Тираж 500 экз. Заказ 666.

---

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

---

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

## Общие требования по оформлению статей для журнала «Метафизика»

Автор представляет после согласования с Главным редактором:

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

### Формат текста:

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

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

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

### Например:

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

### ЛИТЕРАТУРА

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

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

С увеличением 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