

2014, № 3 (13)

МЕТАФИЗИКА

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

МЕТАФИЗИКА

В этом номере:

- История и суть геометрической парадигмы в физике
- Проблемы современной теории гравитации
- Проблемы космологии в геометрической парадигме
- Из наследия прошлого

2014, № 3 (13)

МЕТАФИЗИКА

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

2014, № 3 (13)

Основан в 2011 г.

Выходит 4 раза в год

- **ИСТОРИЯ И СУТЬ
ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ
ПАРАДИГМЫ
В ФИЗИКЕ**
- **ПРОБЛЕМЫ
СОВРЕМЕННОЙ
ТЕОРИИ ГРАВИТАЦИИ**
- **ПРОБЛЕМЫ
КОСМОЛОГИИ
В ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ
ПАРАДИГМЕ**
- **ИЗ НАСЛЕДИЯ
ПРОШЛОГО**

METAFIZIKA

(Metaphysics)

SCIENTIFIC JOURNAL

No. 3 (13), 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, № 3 (13)

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

EDITORIAL NOTE	6
THE HISTORY AND ESSENCE OF THE GEOMETRIC PARADIGM IN PHYSICS	
<i>Vizgin V.P.</i> From Minkowski's World to the Tensor-Geometric Concept of Gravitation: The Genesis of the Substantial Concept of Space-Time and Geometric World View	9
<i>Krechet V.G., Lodi M.N.</i> On the geometric paradigm in physics	30
<i>Vladimirov Yu.S.</i> Geometrization of the unobservable and the general theory of mechanics	43
<i>Yefremov A.P.</i> Geometrization of non-observables and the general theory of mechanics	59
PROBLEMS OF THE MODERN THEORY OF GRAVITATION	
<i>Melnikov V.N.</i> Fundamental Interactions, Constants and Fundamental Metrology	76
<i>Polishchuk R.F.</i> On the return of physics and metaphysics into the bosom of unified cosmology	99
PROBLEMS OF COSMOLOGY IN THE GEOMETRIC PARADIGM	
<i>Levin S.F.</i> The Big Bang: philosophy, statistics and physics	111
<i>Panov V.F.</i> Geometrophysics and the evolution of the Universe	139
<i>Ignatyev Y.</i> Travelling notes about time and the universe of the passenger of the train which it is impossible to leave	143
THOUGHTS FROM THE PAST	
<i>Peter G. Bergman.</i> Unified field theory: yesterday, today, tomorrow	154
<i>Schwarzschild K.</i> On the Permissible Numerical Value of the Curvature of Space	170
OUR AUTHORS	179

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

СОДЕРЖАНИЕ

ОТ РЕДАКЦИИ	6
ИСТОРИЯ И СУТЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ПАРАДИГМЫ В ФИЗИКЕ	
<i>Визгин В.П.</i> От мира Минковского к тензорно-геометрической концепции гравитации: генезис субстанциальной концепции пространства-времени и геометрического миропонимания	9
<i>Кречет В.Г., Лоди М.Н.</i> О геометрической парадигме в физике	30
<i>Владимиров Ю.С.</i> Состояние и перспективы исследований в рамках геометрической парадигмы	43
<i>Ефремов А.П.</i> Геометризация ненаблюдаемых и общая теория механики	59
ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ТЕОРИИ ГРАВИТАЦИИ	
<i>Мельников В.Н.</i> Фундаментальные взаимодействия, константы и фундаментальная метрология	76
<i>Полищук Р.Ф.</i> О возвращении физики и метафизики в лоно единой космологии	99
ПРОБЛЕМЫ КОСМОЛОГИИ В ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ПАРАДИГМЕ	
<i>Левин С.Ф.</i> Большой взрыв: философия, статистика и физика	111
<i>Панов В.Ф.</i> Геометрофизика и эволюция Вселенной	139
<i>Игнатьев Ю.Г.</i> Путевые заметки о времени и Вселенной пассажира поезда, из которого невозможно выйти	143
ИЗ НАСЛЕДИЯ ПРОШЛОГО	
<i>Бергман П.Г.</i> Единая теория поля: вчера, сегодня, завтра	154
<i>Шварцшильд К.</i> О допустимой мере кривизны пространства	170
НАШИ АВТОРЫ	179

© Коллектив авторов, редколлегия журнала «Метафизика»,
отв. ред. Ю.С. Владимиров, 2014
© Российский университет дружбы народов, Издательство, 2014

ОТ РЕДАКЦИИ

Настоящий выпуск журнала «Метафизика» продолжает начатый в предыдущем номере анализ состояния и перспектив фундаментальных физических исследований в рамках трех метафизических парадигм: реляционной, геометрической и теоретико-полевой (доминирующей в настоящее время). Как уже неоднократно подчеркивалось в статьях нашего журнала, в основе современной физической картины мира лежат представления о трех физических категориях: *частицах (телах)*, *пространстве-времени* и *полях переносчиков физических взаимодействий*. До сих пор широко распространено представление о мире как совокупности тел (частиц), помещенных в пространство-время и взаимодействующих между собой посредством полей: гравитационного, электромагнитного и др. Однако в фундаментальной физике XX в. разрабатывались принципиально новые представления о физической картине мира – её попытались составлять не из трех, а лишь из двух категорий. Но это вольно или невольно привело к появлению вместо одной трёх различных картин мира, основанных (в простейших вариантах) на объединении пар прежних категорий в одну новую обобщенную категорию при сохранении третьей. Так, доминирующая ныне в физике *теоретико-полевая картина мира (метафизическая парадигма)* основана на объединении категорий частиц и полей в новую категорию *поля амплитуды вероятности*, определенную на фоне классического пространства-времени. В двух других метафизических парадигмах объединялись две другие пары категорий.

Предыдущий номер нашего журнала был посвящен обсуждению состояния и возможностей другой физической картины мира – *реляционной парадигмы*, в которой нет априорно заданного классического пространства-времени, – эта категория объединяется с категорией частиц таким образом, что в качестве новой обобщенной категории выступают *отношения между частицами* (телами или событиями). Таковыми являются длины, промежутки времени, интервалы и т.д. В реляционной парадигме отсутствуют в качестве первичных понятий поля переносчиков взаимодействий. Они заменяются свойствами отношений между частицами.

Представленный выпуск журнала посвящен обсуждению сути, состояния и перспектив третьей картины мира (дуалистической парадигмы) – *геометрической*, в которых производится объединение категорий пространст-

ва-времени и полей переносчиков взаимодействий в новую обобщенную категорию *искривленного (4-мерного или многомерного) пространства-времени*. Суть геометрической парадигмы (геометрического подхода к природе мироздания) ярко выразил Дж. Уилер: «Пространство-время не есть арена для физики, это вся классическая физика».

Математические основания геометрической парадигмы были заложены в XIX в. в трудах Н.И. Лобачевского (1792–1856), К. Гаусса (1777–1855), Б. Римана (1826–1866). Идеи основы этой парадигмы были четко сформулированы В. Клиффордом (1845–1879), писавшим в своей статье «О пространственной природе материи»: «Изменение кривизны пространства – это то, что в действительности происходит при том явлении, которое мы называем движением материи, как весомой, так и эфира; что в физическом мире не имеет места ничего, кроме этого изменения, подчиняющегося (возможно) закону непрерывности». Однако у Клиффорда речь шла об искривленности 3-мерного пространства, тогда как содержательное воплощение этой идеи оказалось возможным лишь для размерности пространства (-времени) от четырех и выше измерений. Это можно было реализовать только после создания специальной теории относительности, объединившей пространство и время в единое 4-мерное многообразие. Данная идея была реализована Эйнштейном в 1913–1916 гг. и развита в трудах Д. Гильберта, Г. Вейля, А. Эддингтона и других мыслителей в первой трети XX в. Таким образом, данный номер журнала можно считать приуроченным к 100-летней годовщине создания общей теории относительности и более широко – основания геометрической парадигмы.

В первом разделе данного выпуска в статьях Вл.П. Визгина, В.Г. Кречета и других авторов изложены суть, история и содержание исследований в рамках геометрической парадигмы. Здесь же в статьях Ю.С. Владимирова и А.П. Ефремова указаны возможные альтернативы геометрического подхода, навеянные необходимостью совмещения принципов общей теории относительности и квантовой теории.

Во втором разделе «Проблемы современной теории гравитации» помещены статьи, в которых изложено современное состояние исследований в области общей теории относительности и сопутствующих разделов теоретической физики. В работах многих современных авторов общая теория относительности рассматривается как теория одного из видов физических взаимодействий – гравитационного и исследуются вопросы о связи закономерностей гравитационных и других видов физических взаимодействий (электромагнитного, слабого и сильного), ранее сформулированных в рамках иной – теоретико-полевой парадигмы. Это явно или неявно ставит перед исследователями парадигмальные вопросы совмещения понятий и принципов из разных метафизических парадигм. В качестве таковых назовем проблему описания законов сохранения в искривленном пространстве-времени, определение понятия гравитационной волны, квантование гравитации и некото-

рые другие. Ряд вопросов такого рода обсуждается в статьях В.Н. Мельникова, Р.Ф. Полищука.

В третьем разделе «Проблемы космологии в геометрической парадигме» рассмотрен ряд вопросов о поведении материи в космологических масштабах. В современных исследованиях свойства Вселенной и ее эволюция описываются на основе космологических решений уравнений Эйнштейна, то есть в рамках геометрической парадигмы. Это также обусловило постановку ряда парадигмальных проблем. В частности, к ним относится вопрос о пределах применимости закономерностей общей теории относительности и фактически всей геометрической парадигмы.

Отметим, что данный номер журнала готовился одновременно с подготовкой и проведением 15-й Российской гравитационной конференции в Казани на базе Казанского (Приволжского) федерального университета. Эти конференции проводятся в нашей стране с 1961 г., со времени созыва 1-й Советской гравитационной конференции в Москве на базе Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. Отметим, что ряд статей этого выпуска журнала написан организаторами или непосредственными участниками как предыдущих, так и 15-й гравитационной конференции.

В традиционном разделе нашего журнала «Из наследия прошлого» помещены две статьи Шварцшильда К. «О допустимой мере кривизны пространства», а также П. Бергмана, который в 1930-х гг. сотрудничал с А. Эйнштейном, в частности, написал с ним одну из принципиально важных статей по 5-мерной геометрической теории. Эта статья была написана к 100-летней годовщине со дня рождения А. Эйнштейна. В ней обсуждены нереализованные замыслы Эйнштейна и дано видение самим автором перспектив дальнейшего развития исследований в рамках геометрической парадигмы.

Редакция журнала предполагает в одном из дальнейших выпусков обсудить состояние и перспективы исследований в рамках третьей дуалистической метафизической парадигмы – теоретико-полевой, занимавшей центральное место в исследованиях всего XX в.

ИСТОРИЯ И СУТЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ПАРАДИГМЫ В ФИЗИКЕ

ОТ МИРА МИНКОВСКОГО К ТЕНЗОРНО-ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ КОНЦЕПЦИИ ГРАВИТАЦИИ: ГЕНЕЗИС СУБСТАНЦИАЛЬНОЙ КОНЦЕПЦИИ ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ И ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МИРОПОНИМАНИЯ (к 150-летию со дня рождения Г. Минковского и 100-летию общей теории относительности)

В.П. Визгин

Институт истории естествознания и техники РАН

Четырехмерная теоретико-инвариантная формулировка специальной теории относительности (СТО), развитая Г. Минковским в 1907–1908 гг., привела к субстанциональной концепции пространственно-временной структуры этой теории. Переход А. Эйнштейна от реляционизма СТО 1905 г. к субстанциализму мира Минковского сыграл ключевую роль в генезисе тензорно-геометрической концепции гравитации (ТГКГ), ставшей физической основой общей теории относительности (ОТО). Пространственно-временной субстанциализм, присущий этой теории, породил два варианта геометрического миропонимания: умеренный, связанный с геометризацией только гравитации, и радикальный, в котором предполагается геометризация всех физических взаимодействий. Первый проект был реализован в ОТО, а второй так и остался нереализованным. Работа посвящена 150-летию со дня рождения Г. Минковского и приближающемуся столетнему юбилею ОТО.

Ключевые слова: пространство-время, реляционная и субстанциональная концепции, мир Минковского, принцип эквивалентности Эйнштейна, тензорно-геометрическая концепция гравитации, Г. Герц, Э. Мах, М. Гроссман, единые теории поля.

«...Геометрия Минковского “выбрасывает” относительность из специальной теории относительности, то есть предлагает нам абсолютную картину протекания пространственно-временных событий».

Р. Пенроуз [1. С. 89].

«...В обобщенной форме геометрия Минковского стала одним из важнейших элементов описания искривленного пространства-времени в предложенной затем Эйнштейном общей теории относительности».

Р. Пенроуз [1. С. 87].

«...Слияние двух раньше совершенно различных областей – метрики и тяготения – должно рассматриваться как прекраснейшее достижение общей теории относительности».

В. Паули [2. С. 215].

Введение

В этом (2014) году научная общественность отмечает 150-летие со дня рождения Г. Минковского, разработавшего четырехмерную теоретико-инвариантную формулировку специальной теории относительности (СТО). Годом ранее исполнилось 100 лет со времени публикации статьи А. Эйнштейна и М. Гроссмана, в которой была разработана тензорно-геометрическая концепция гравитации (ТГКГ), составившая основу общей теории относительности (ОТО). Эта теория была завершена в ноябре 1915 г., её столетие мы будем отмечать в следующем году.

До сих пор обе теории относительности, наряду с квантовой теорией, лежат в основе парадигмы современной физики, если пользоваться терминологией Т. Куна. Мы можем говорить также о своеобразной квантовой и дважды релятивистской картине мира, сознавая при этом, что пока остается нерешенной проблема синтеза общерелятивистской теории гравитации и квантовой теории (или проблема построения приемлемой sGh -теории, где фундаментальные константы c , G и h – скорость света, гравитационная постоянная и постоянная Планка). Поскольку СТО и ОТО являются, в сущности, теориями пространства и времени, то совершенно очевидно, что эти понятия (или одно это понятие – пространство-время) образуют одну из главных опор современной теоретической физики.

В развитии этих понятий от античности до наших дней можно выделить две, иногда вступающие между собой в конфликт концепции пространства и времени: субстанциальную и релятивистскую [3–7]. Первая восходит к пустоте Демокрита и затем получает развитие в ньютоновской механике. Вторую концепцию обычно связывают с Аристотелем и Г.В. Лейбницем, а на рубеже XIX и XX вв. – с Э. Махом. Распространена точка зрения, что в СТО реляционизм взял реванш: с абсолютизмом и субстанциализмом пространства и времени было покончено (см., например, [6. С. 110]). Однако ОТО, в которой физическое взаимодействие, а именно гравитация, отождествлялась с искривленным пространством-временем, вновь реабилитировала субстанциальную концепцию. Более того, общерелятивистская физикализация про-

странства-времени (или геометризация гравитации) породила геометрическую полевую программу синтеза физики, или, по выражению Ю.С. Владимирова, геометрическое миропонимание [5]. Вслед за Г. Вейлем, Т. Калуцей, А.С. Эддингтоном Эйнштейн присоединился к этой программе, разработке которой отдал более тридцати лет (см. [8]). В речи, произнесенной в Ноттингеме 7 июня 1930 г., Эйнштейн так формулировал программу-максимум геометрической парадигмы: «Мы приходим к странному выводу: сейчас нам начинает казаться, что первичную роль играет пространство; материя же должна быть получена из пространства, так сказать, на следующем этапе. Пространство поглощает материю. Мы всегда рассматривали материю первичной, а пространство вторичным. Пространство, образно говоря, берет сейчас реванш и “съедает” материю. Однако все это пока остается лишь сокровенной мечтой» (цит. по [9. С. 243]).

Своеобразным пророком этой экстремальной формы геометрической парадигмы был английский математик В. Клиффорд, который в 1870-е гг. высказал предположение о том, что «изменение кривизны пространства и есть то, что происходит в явлении, которое мы называем движением материи, будь она весома или эфирная» и, «что в физическом мире не происходит ничего, кроме таких изменений, подчиняющихся (возможно) закону непрерывности» [10. С. 36–37]. При этом Клиффорд имел в виду трехмерное риманово пространство с переменной кривизной.

Таким образом, субстанциальная концепция пространства и пространства-времени тесно связана с геометрическим миропониманием (геометрической парадигмой). В ОТО реализуется «умеренная программа» геометрической парадигмы: геометризуется только гравитация, интерпретируемая как искривленное четырехмерное пространство-время. В проектах геометрической полевой программы мы имеем дело с экстремальной формой геометрической парадигмы в духе Клиффорда, когда пространство-время «съедает» материю». Именно субстанциальная трактовка пространства-времени лежит в основе обоих вариантов геометрического миропонимания.

В настоящей статье мы покажем, что четырехмерная формулировка СТО, развитая Г. Минковским в 1907–1908 гг. [11–13], физически опиралась на субстанциальное представление о пространстве-времени, именно о соответствующем четырехмерном пространственно-временном континууме.

Далее, соглашаясь с тем, что первоначальная эйнштейновская формулировка СТО была связана с реляционной идеологией, мы покажем, как к 1912 г. Эйнштейн в процессе разработки релятивистской теории тяготения в конечном счете изменил свое отношение к субстанциальной концепции Минковского и как это помогло ему создать ТГКГ – основное ядро ОТО (см. [14; 15]).

Благодаря этой концепции субстанциальность пространства-времени приобретает непосредственный физический характер, а геометрическое миропонимание реализуется в его «умеренном варианте».

В заключение мы обсудим причины регресса программы геометризации в его экстремальном варианте (в форме единых геометрических теорий Вейля, Калуцы, Эйнштейна и др.) и укажем на некоторые симптомы ее вероятного возрождения на основе теории струн.

1. Субстанциальная концепция пространства-времени в СТО: четырёхмерный мир Минковского

Для физики XX века понимание фундаментальных теорий как теорий инвариантов некоторых, лежащих в их основе групп симметрии стало ее главной чертой. Соответствующие принципы получили название принципов симметрии или принципов инвариантности. Если группы симметрии касаются пространства-времени, то эти принципы отождествляются с принципами относительности. В этом случае действие групп преобразований рассматривается обычно на четырёхмерном пространственно-временном многообразии, в результате чего уместно говорить о субстанциальной концепции. Возможность перехода к реляционной трактовке открывалась и иногда использовалась, когда упор делался не на многообразии x, y, z, t , а на изоморфных представлениях групп Лоренца или Пуанкаре в виде, например, линейных комплексных групп, таких как $SL(2, \mathbb{C})$.

Но вернемся к началу XX в. Совершенно очевидно, что понимание физической теории как теории инвариантов группы стало возможным только после СТО, которая «уравнивала в правах» пространственные и временную координаты. До этого в физике использовались группы симметрии, но только в отношении пространственных форм (например, в кристаллографии). Об этом впоследствии так говорил Ф. Клейн в своих «Лекциях о развитии математики в XIX столетии»: «В группе Галилея-Ньютона (лежащей в основе классической механики. – В.В.) переменная времени t играет, очевидно, особую роль. Ради наглядности интерпретируем x, y, z, t как точечные координаты некоторого четырёхмерного пространства; в нем лежит «раздельными слоями» однократно бесконечное семейство трехмерных пространств $t = \text{const} \dots$ Геометрия нашего пространства приобретает некоторый особенный характер. При всех преобразованиях $(t_1 - t_2)^2$ остается неизменной». Это ведет к абсолютности одновременности в классической механике. «...Особое положение, присущее переменной t в группе Галилея-Ньютона, на историческое развитие механики влияло решительно тормозящим образом. Несмотря на то, что еще Лагранж представил механику как геометрию 4 измерений, такое воззрение только в наше время стало действительно приносить пользу. Более же старые авторы имели постоянно перед собой только евклидову группу и не расширяли ее за счет преобразований (4) и (5) (то есть преобразований Галилея и временных трансляций. – В.В.), хотя, конечно, известных им. Это относится и ко мне, когда я писал свою «Эрлангенскую программу». Я отчетливо помню, что не прошел мимо замечания Лагранжа, но, тем не менее, полагал, что оно не может быть включено в мой

теоретико-групповой принцип (перевод последних двух фраз уточнен. – *В.В.*). Только открытие группы Лоренца побудило математиков должным образом оценить и группу Галилея-Ньютона» [21. С. 72–73].

Перейдем к рассмотрению четырехмерной концепции Г. Минковского, 150-летие со дня рождения которого мы отмечаем. Эта концепция и история ее создания обстоятельно исследовалась в работах Л. Пайнсона, К. Райх и других [17–20]. Распространенное мнение (в научно-популярной литературе, а иногда и среди физиков) о том, что Минковский создал свою концепцию в 1908 г. и впервые изложил ее в знаменитом докладе «Пространство и время», сделанном 21 сентября 1908 г. на 80-м собрании немецких естествоиспытателей и врачей в Кельне [13], нуждается в корректировке. Этому событию предшествовал его доклад в Геттингенском математическом обществе 5 ноября 1907 г., называвшийся «Принцип относительности» и впервые опубликованный, правда, в 1915 г. А. Зоммерфельдом [11]. К тому же через полтора месяца, точнее 21 декабря 1907 г., Минковский дал еще одно представление своей концепции, опубликованное в “Goettingen Nachrichten” [12]. Эта работа называется «Основные уравнения электромагнитных процессов в движущихся телах».

Мы, конечно, кратко рассмотрим эти работы 1907 г. в интересующем нас плане. Но сразу подчеркнем, что концептуальная, почти метафизическая трактовка пространства-времени, в которой субстанциализм этого понятия выражен особенно ярко, была им развита все-таки в кельнском докладе.

Все-таки, уже в геттингенском докладе, хотя и весьма лаконично, но главное было сказано. Интересно, что Ф. Клейн отдавал предпочтение именно этому, первоначальному варианту. Это представление, писал он, «для меня самое излюбленное из всех. Здесь Минковский, обращаясь к коллегам-специалистам, высказывает без утайки свои глубинные, в особенности инвариантно-теоретические идеи». В нем, продолжает Клейн, «присутствует та и другая сторона: наряду с полным господством математического аппарата теории относительности группы Лоренца, выражено лапидарными фразами ее натурфилософское значение» [21. С. 93]. Соответствующая формулировка, в которой заключена и субстанциальная концепция пространства и времени, и основа геометрического миропонимания, выглядит так: «Речь идет о том, ...что мир в пространстве и времени представляет собой в известном смысле четырехмерное неевклидово (впоследствии утвердился термин «псевдоевклидово». – *В.В.*) многообразие» [11. S. 927]. Субстанциальность пространства-времени усилена привившимся впоследствии физическим концептом «мир» (четырёхмерный мир, мир Минковского и т.д.).

Далее, в этой и второй работе 1907 г. [12] Минковский закладывает основы «четырёхмерной физики»; вводя такие фундаментальные понятия, как тензор электромагнитного поля, тензор энергии-импульса, собственное время и др., релятивистское обобщение закона движения материальной точки, развитое М. Планком, он формулирует как уравнение геодезической в четы-

рехмерном пространстве-времени, использованное впоследствии Эйнштейном при разработке ТГКГ [11. S. 937].

В литературе отмечалось, что присущие Минковскому методологические императивы, такие как общность, симметрия и особенно инвариантность, находили свое наиболее полное и естественное выражение в четырехмерной теоретико-инвариантной формулировке СТО [18; 20].

Не останавливаясь на ряде других важных моментов, затрагиваемых Минковским в работах 1907 г., обратимся к его ключевым высказываниям из кельнского доклада, относящимся к субстанциальной концепции четырехмерного пространства-времени. «Предметом нашего восприятия всегда являются только места и времена, вместе взятые. Никто еще не наблюдал какого-либо места иначе, чем в некоторый момент времени, и какое-нибудь время иначе, чем в некотором месте. Я буду называть пространственную точку, рассматриваемую в какой-нибудь момент, то есть систему значений x, y, z, t , мировой точкой. Пусть многообразие всех мыслимых систем значений x, y, z, t называется миром», – так начинается физическое (и почти метафизическое) построение пространства-времени СТО. Использование понятия «мир» с особой силой подчеркивает его фундаментальную субстанциальность. «Для того, чтобы нигде не оставлять зияющей пустоты, – продолжает Минковский, – мы представим себе, что в каждом месте и в каждый момент времени имеется некоторый объект для наблюдения. Чтобы не говорить о материи или электричестве, я буду пользоваться словом субстанция для обозначения этого объекта» [13. С. 182–183].

Затем он вводит понятие мировой линии для этой субстанции (или, лучше сказать, субстанциональной точки): «Пусть элементу времени dt соответствуют изменения dx, dy, dz пространственных координат этой субстанциональной точки. Мы получаем тогда в качестве изображения, так сказать, вечно-жизненного пути субстанциональной точки некоторую кривую в мире, мировую линию... Весь мир представляется разложенным на такие мировые линии, и мне хотелось бы сразу отметить, что, по моему мнению, физические законы могли бы найти свое наисовершеннейшее выражение как взаимоотношение между этими мировыми линиями». [13. С. 182–183].

Субстанциалистская позиция в этих словах Минковского проявляется со всей определенностью. Пространство-время, именуемое миром, состоящим из мировых точек, становится первичной физической реальностью. В результате относительность временных и пространственных интервалов оборачивается абсолютностью четырехмерного пространственно-временного интервала: «...Мы будем иметь в мире не одно пространство, а бесконечно много пространств, аналогично тому, как в трехмерном пространстве имеется бесконечно много плоскостей. Трехмерная геометрия становится главой четырехмерной физики. Вы понимаете теперь, почему я во введении сказал, что пространство и время должны стать фикциями и только мир должен сохранить свое существование» [13. С. 187]. Четырехмерная геометрия физикализируется и превращается в четырехмерную фи-

зику. Относительность уступает первенство инвариантности, а затем и абсолютности пространства-времени, неразрывно связанной с его субстанциальной природой: «...Термин «постулат относительности» для требования инвариантности по отношению к группе G_c (то есть группе Лоренца – $V.V.$) кажется мне слишком бледным. Так как смысл постулата сводится к тому что в явлениях нам дается только четырехмерный в пространстве и времени мир, но что проекции этого мира на пространство и время могут быть взяты с некоторым произволом, мне хотелось бы этому утверждению скорее дать название: постулат абсолютного мира (или коротко: мировой постулат)» [11. С. 192].

Конечно, Минковский в лице А. Пуанкаре имел предшественника, который ввел четырехмерное представление и интерпретировал преобразование Лоренца как повороты в четырехмерном пространстве $x, y, z, -1t$ [22. С. 117–118]. Однако, в отличие от геттингенца, он использовал это представление не как фундамент СТО, а только как математический прием для вычисления инвариантов группы Лоренца для релятивистского обобщения закона всемирного тяготения.

2. Об отношении Эйнштейна к четырехмерной концепции пространства-времени Минковского

В первых работах Эйнштейна по СТО первичными были понятия инерциальных систем отсчета, линеек и часов, а также световых сигналов. Абсолютизм и субстанциализм ньютоновских пространственных и временных представлений отвергался вместе с самими этими представлениями. На смену преобразованиям Галилея приходили преобразования Лоренца, но о новом пространственно-временном континууме, соответствующем СТО, Эйнштейн прямо ничего не говорил [23; 24]. Это и позволило ряду исследователей говорить о том, что Эйнштейн при создании СТО придерживался реляционной концепции пространства и времени [3–7]. Вот как, например, об этом писал Ю.Б. Молчанов: «Заслуга Эйнштейна состоит, в частности, в том, что он полностью отказался от субстанциальной концепции времени и предложил физическую теорию, в которой пространство и время рассматриваются в неразрывной связи с движением материальных объектов и взаимодействиями между ними» [6. С. 110].

Интересный анализ эйнштейновского реляционизма в отношении спецрелятивистских понятий времени и пространства содержится в статье П.С. Юшкевича 1916 г. [25]. Имея в виду субстанциальную концепцию времени в классической физике, он пишет: «Время здесь какая-то нематериальная, непрерывная, всепроникающая, однородная стихия, в которую погружена история мира. Принцип относительности не знает такой универсальной спайки вселенной: он распыляет, атомизирует мир, разъединяет в нем радикально часы друг от друга... Таким образом, весь мир распадается физически на бесчисленное множество обособленных друг от друга пунктов, осве-

домленных лишь о прошлом друг друга. Это атомизм, монадология, еще более крайняя, чем философская система Демокрита или Лейбница: у «монад» Эйнштейна есть окна только на прошедшее других монад». Иначе говоря, «мир сводится к сумме бесчисленного множества маленьких, замкнутых в себе и изолированных мирков, у которых все свое, особенное, даже свое особенное время – эта, казалось, общая монета всего сущего. И единственное, что связывает между собой эти самодовлеющие мирки, – это различные «универсальные константы», вроде скорости света, и уравнения Лоренцева преобразования, своего рода математические мосты для перехода от одного автономного атома-мира к другому атому-миру» [25. С. 203–204]. И далее: «В теории относительности время окончательно теряет свой субстанциальный, вещный характер, превращаясь в известное отношение между вещами» [25. С. 205].

Конечно, Эйнштейн сразу же познакомился с концепцией Минковского, сначала со статьей «Основные уравнения...» и потом с кельнским докладом [12; 13], но воспринял ее как формально-математическое развитие СТО. «В первое время, – вспоминал М. Борн, – примерно к 1909 г., когда я познакомился с Эйнштейном, он... видел в работе Минковского не более, чем излишний побочный математический труд» [28. С. 88]. Сотрудник Эйнштейна – В. Баргман – вспоминал, что четырехмерную формулировку СТО Эйнштейн считал «излишней ученостью» (цит. по [29. С. 148]). В статье Эйнштейна и И. Лауба по электродинамике движущихся тел, датированной маем 1908 г., отмечается, что соответствующие уравнения получены Минковским и дается ссылка на его работу [12], но при этом авторы добавляют, что поскольку «эта работа в математическом отношении предъявляет к читателю слишком большие требования», они считают «полезным получить эти основные уравнения элементарным путем, который, впрочем, в основном соответствует методу Минковского» [30. С. 115].

Первым явным свидетельством изменения такого отношения к четырехмерному миру Минковского является письмо Эйнштейна А. Зоммерфельду, датированное июлем 1910 г. [31]. Зоммерфельд опубликовал в двух выпусках “*Annalen der Physik*” большую работу, в которой систематически изложил четырехмерное векторное и тензорное исчисление [32], и, очевидно, послал ее Эйнштейну, сопроводив, как можно предположить, замечанием, что вряд ли Эйнштейн ее оценит высоко (это письмо Зоммерфельда не сохранилось). В ответном письме говорилось по этому поводу: «Ваша новая работа доставила мне исключительную радость. Как Вы можете думать, что я не способен оценить красоту такого исследования (имеется в виду, четырехмерного представления СТО. – *B.B.*)? Рассмотрение формальных соотношений в четырех измерениях представляется мне таким же достижением, как введение комплексных функций в гидромеханику и электростатику» [31. С. 246]. Все-таки в этих словах Эйнштейна признание красоты четырехмерного построения сочетается с характеристикой его как формально-вычислительной конструкции.

Эйнштейн в докладе, сделанном на заседании общества естествоиспытателей в Цюрихе 16 января 1911 г. [33], впервые публично дал весьма высокую оценку концепции Минковского, выходящую далеко за пределы ее формально-вычислительного значения: «Наконец, еще несколько слов о чрезвычайно интересном математическом направлении, которым теория обязана главным образом математику Минковскому, к сожалению, столь безвременно скончавшемуся. Уравнения преобразований в теории относительности таковы, что они обладают следующим инвариантом:

$$x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2.$$

Если вместо времени t ввести в качестве временной координаты минимальную переменную ct , то этот инвариант принимает вид:

$$x^2 + y^2 + z^2 + ?^2.$$

При этом пространственные и временная координаты играют равноправную роль. Дальнейшее применение этого формального равноправия ...привело к чрезвычайно ясному изложению теории относительности, существенно облегчающему ее приложения. Физические события изображаются в четырехмерном мире и пространственно-временные соотношения между ними представляются в этом четырехмерном мире геометрическими теоремами [33. С. 186].

В последней фразе чувствуется некоторый сдвиг к субстанциализму пространства-времени в духе Минковского. Благодаря концепции Минковского, «прогнанный в двери теории абсолют возвращается через окно ее» и «ни в какой другой физической теории абсолют не выступает так осязательно и доступно в своей абсолютности, как именно в системе Эйнштейна, которую, с этой точки зрения, правильнее было бы называть теорией абсолютности, чем теорией относительности» [25. С. 202]. Поэтому процитированный здесь П.С. Юшкевич называет Минковского «Ньютоном теории относительности, подобно тому как Эйнштейн был ее Коперником» [Там же. С. 205].

3. Общая теория относительности – триумф субстанциальной концепции пространства-времени и геометрического миропонимания

В создании ОТО естественно выделяются три основные вехи: во-первых, принцип эквивалентности (ПЭ, 1907 г.), во-вторых, тензорно-геометрическая концепция гравитации (ТГКГ, 1913) и, в-третьих, общековариантные уравнения гравитационного поля (ноябрь 1915 г.) [34; 35]. Субстанциалистское понимание пространства и времени, развитое Минковским в рамках СТО, сыграло важную роль на втором этапе – при разработке ТГКГ, ставшей физической основой ОТО.

Фактически эта концепция возвела на новый, более высокий уровень субстанциализм пространственно-временной структуры и, соответственно, геометрическое миропонимание.

Суть концепции в том, что гравитационный потенциал, описывающий поле тяготения, является симметричным десятикомпонентным тензором 2-го ранга, полностью совпадающим с метрическим тензором четырёхмерного риманова (точнее, псевдориманова) пространства-времени. Она открыла путь к совершенно необычной интерпретации гравитации как геометрии, точнее, как искривления пространства-времени. ТГКГ была высоко оценена ведущими теоретиками. Точно и эмоционально о ней сказали авторы первых монографий по ОТО, признанных шедевров релятивистской классики, Г. Вейль и В. Паули. Г. Вейль (1923), описав ход мыслей Эйнштейна, заметил: «Приведённые выше рассуждения позволяют ясно понять, какой физический смысл имеет осуществлённый Эйнштейном синтез измерительной геометрии (Massgeometrie) и гравитации, на первый взгляд столь чуждых друг другу. Это гениальное объединение двух областей знания, которые в своём историческом развитии были полностью разделены, мы можем представить в виде схемы:

Пифагор Ньютон Эйнштейн...» [36. С. 283].

Паули высказался более кратко, но не менее выразительно: «Это слияние двух раньше совершенно различных областей – метрики и тяготения – должно рассматриваться как прекраснейшее достижение общей теории относительности» [2. С. 215].

Первое изложение ТГКГ

Статья Эйнштейна и Гроссмана “Entwurf einer verallgemeinerten Relativitätstheorie und einer Theorie der Gravitation” («Проект обобщённой теории относительности и теории тяготения»), в которой это было сделано впервые, была отдана в печать не позже 28 мая 1913 г. и вышла в июне [37].

Уже принцип эквивалентности (ПЭ) и его применение к статическим полям приводили к переменности скорости света в пространстве и при использовании четырёхмерного мира Минковского – к обобщению спецрелятивистской метрики:

$$ds^2 = c(x, y, z)^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2.$$

Следующим шагом при допущении произвольных преобразований («обобщённая относительность») был переход к римановой метрике:

$$ds^2 = g_{ik} dx^i dx^k.$$

Уравнения движения частицы в поле тяготения тогда можно было искать в форме, найденной ранее для релятивистской механики М. Планком и Г. Минковским в виде

$$\Delta ds = 0,$$

и тогда компоненты метрического тензора получали смысл гравитационного потенциала. Это и означало фактически отождествление гравитации и геометрии, которое создавало возможность получить общековариантные уравнения, характеризующие воздействие гравитации на любые материальные

процессы. Использование же римановой геометрии сразу же подсказывало способ построения и уравнений гравитационного поля на основе общековариантных тензоров кривизны. Но последнюю задачу авторам решить не удалось. Потребовалось еще два с половиной года на то, чтобы на основе этой субстанциальной трактовки риманова пространства-времени и геометрического понимания гравитации сконструировать правильные общековариантные уравнения поля тяготения [34; 35].

Таким образом, можно сказать, что ТГКГ опиралась на две предпосылки, появившиеся в конце 1907 г.: эйнштейновский ПЭ и субстанциональную геометрическую трактовку четырехмерного пространства-времени Минковского.

Фактически уже в ПЭ, в котором речь шла «о полной физической равноценности гравитационного (однородного. – В.В.) поля и соответствующего ускорения системы отсчета», была заключена идея кинематизации гравитации. Сочетание же кинематизации с четырехмерной концепцией СТО означало, по существу, геометризацию гравитационного поля. Однако потребовалось еще более пяти лет, чтобы реализовать эти предпосылки и прийти к ТГКГ.

Отступление о Г. Герце

В этом разделе мы коснёмся некоторого предвосхищения релятивистских идей, важных в генезисе ТГКГ, ещё одним гением, стоявшим на рубеже классической и неклассической физики, Г. Герцем (1857–1894). Речь идёт об эмпирической основе ПЭ – равенстве инертной и гравитационной масс, фундаментальность которого им подчеркивалась, а также о возможности представления закона движения механической системы как движения по геодезической линии в многомерном конфигурационном римановом пространстве, то есть в виде

$$\delta a_{ik} dx^i dx^k = 0.$$

Вот как Герц говорил в своей лекции «О строении материи» (1884) о важности факта равенства масс, требующего объяснения: «В учебниках обычно принимается как самоочевидное... что вес тела, который пропорционален его массе, не зависит от материала, из которого оно состоит. Таким образом, перед нами, в сущности, две характеристики, каждая из которых могла бы рассматриваться независимо от другой и полную эквивалентность которых можно доказать экспериментально и только экспериментально. Эта согласованность означает много больше, чем прекрасная тайна, поражающая воображение: она требует объяснения» (цит. по [14. С. 259]).

Добавим, что уравнения Максвелла Лоренц, Эйнштейн, Минковский и другие называли уравнениями Максвелла-Герца (Герц и О. Хевисайд фактически первыми записали их в современной форме), а также, что Герц первым разработал первоначальный вариант электродинамики движущихся тел, основанный на предположении о полном увлечении эфира. Уравнения этой

теории, правда были инвариантны относительно преобразований Галилея, но, как отмечал впоследствии Л.И. Мандельштам, «сам характер постановки вопроса у Герца... превосходит его постановку в теории относительности» [38. С. 106]. Лоренц же в своей электродинамике движущихся тел развитие которой привело к СТО, отталкивается от теории Герца [39], а корректные релятивистски-инвариантные уравнения электродинамики движущихся тел, были как раз установлены Минковским. Наконец, в свой боннский период Минковский был увлечен физикой, в значительной степени под влиянием Герца, который был профессором физики в Боннском университете с 1889 до своей кончины в 1894 г. «Особенно высоко, – говорил в 1909 г. в своей речи памяти Минковского Д. Гильберт, – Минковский почитал Генриха Герца из Бонна; как-то раз он заметил, что если бы Герц был жив, то он, Минковский, еще в ту пору уделил бы занятиям физикой больше внимания» [40. С. 456]. Так, Герц предстает перед нами как, если не пророк, то своеобразный предшественник релятивизма (и СТО, и ОТО), непосредственно связанный с «Ньютоном теорией относительности».

На пути к ТГКГ – 1912 г.

В течение 1912 г. шла интенсивная работа по построению скалярных теорий тяготения, в той или иной степени учитывающих ПЭ [34; 35]. Постепенно намечались контуры будущей теории: неизбежность расширения преобразований Лоренца и класса инерциальных систем отсчета, выход за рамки евклидовой геометрии пространства, неизбежность отказа от векторного и скалярного характера гравитационного потенциала, идея нелинейности уравнений гравитационного поля.

Похоже, что уже весной 1912 г. Эйнштейн нашел ту ключевую идею, которая в конце концов и стала решающей при переходе к ТГКГ. Она заключалась в распространении вариационной формулировки закона движения частицы в СТО сначала на статические поля, а затем и на произвольные. Но эта формулировка особенно элегантную форму имела при использовании субстанциальной концепции четырехмерного пространства-времени. В «Дополнении при корректуре» к последней статье по скалярной теории статического поля тяготения, поступившей в печать 23 марта 1912 г., Эйнштейн упоминает об этой идее: «Для материальной точки, движущейся в статическом гравитационном поле без воздействия внешних сил, в соответствии с этим находим

$$\Delta \int H d\tau = 0, \quad \text{или} \quad \Delta \int c^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2 = 0.$$

В этом случае оказывается, как это было показано Планком для обычной теории относительности, что значения уравнений аналитической механики выходят далеко за пределы механики Ньютона. Написанное в конце уравнение Гамильтона позволяет предположить, как должны быть построены уравнения движения материальной точки в динамическом гравитационном поле» [41. С. 216]. Конечно, это «Дополнение» Эйнштейн мог сделать

значительно позже – едва ли ранее июня-июля 1912 г. Как раз, в самом начале июля, полемизируя с М. Абрагамом, он предвидел влияние гравитации на пространственно-временное понятие, но об идее, высказанной в упомянутом «Дополнении», ничего не говорит: «...Принцип эквивалентности открывает нам интересную перспективу – уравнения теории относительности должны быть инвариантны также относительно преобразований ускорения (и вращения). Однако путь к этой цели представляется нам весьма трудным. Уже из рассмотренного до сих пор очень частного случая покоящихся масс видно, что пространственно-временные координаты теряют свой простой физический смысл и нельзя предвидеть, какую форму могут иметь общие уравнения пространственно-временных преобразований. Хочу предложить всем специалистам попробовать силы в решении этой задачи!» [42. С. 220–221].

В лекции, прочтённой Эйнштейном в Университете Киото 14 декабря 1922 г. и записанной Дж. Ишиварой, он рассказывает о ситуации, сложившейся к августу 1912 г., когда он переехал из Праги в Цюрих: «Проблема, о которой идёт речь, оставалась нерешённой до 1912 г. В этом году я неожиданно догадался, что гауссова теория поверхностей даёт ключ к решению этой задачи и позволяет глубже вникнуть в проблему. Поистине замечательная мысль о возможности использования гауссовых координат пришла мне в голову как бы сама собой. В то время я не знал, что Риман ещё глубже проанализировал новые положения геометрии. Мысль о гауссовой геометрии заставила меня неожиданно вспомнить встречу с ней в университетском курсе геометрии, который читал нам преподаватель Гейзер. Так я пришёл к заключению, что геометрическим основаниям следует придать физический смысл. В Цюрихе, куда я возвратился из Праги, у меня был близкий друг – математик М. Гроссман...» [43. С. 9].

Выход на неевклидову геометрию искривленных пространств (двумерный аналог – гауссова теория поверхностей) и идея придания физического характера геометрическим основаниям означали фактически субстанциализацию и даже физикализацию пространственно-временной структуры. Письмо Эйнштейна Лопфу от 16 августа 1912 г. свидетельствует, что уверенность в правильности пути, намеченного отчасти в Праге и подтверждённого Гроссманом, пришла к нему не позже первой половины августа: «С гравитацией дело обстоит блестяще. Если всё это не обман, то теперь я нашёл наиболее общие уравнения [44. Р. 501]. К октябрю 1912 г., по видимому, работа над новой теорией тяготения существенно продвинулась, и Эйнштейн высоко оценил конструктивную мощь математики. «Теперь я занимаюсь исключительно проблемой гравитации, – писал он А. Зоммерфельду 29 октября, – и надеюсь, что с помощью одного здешнего друга, математика, все трудности будут преодолены. Но одно точно: никогда в жизни я так не мучился, а теперь мне внушает большое уважение математика, тонкости которой я по своей ограниченности считал роскошью. По сравнению с

этой проблемой первоначальная теория относительности является просто детской игрушкой» [44. Р. 505].

Об этом же говорит и его октябрьское письмо астроному Э. Фрейндлиху, из которого следует, что новая теория тяготения и основы ТГКГ почти созданы, но уравнения гравитационного поля ещё не получены: «Мои теоретические усилия теперь после невыносимо тяжёлых поисков бодро продвигаются вперед. Так что есть все шансы, что уравнения общей динамики гравитации скоро будут установлены. Вся прелесть в том, что можно освободиться от произвольных предположений, не занимаясь латанием заплат, и понять, будет ли теория в целом истинной или ложной» [44. Р. 504].

Тензорно-геометрическая концепция гравитации – 1913 г.

Казалось бы, после мучительных сомнений и «невыразимо тяжёлых поисков» решающие шаги на пути к ТГКГ были сделаны. Почему же понадобилось еще немногим менее года, чтобы решиться на публикацию новой теории тяготения? Ответ на этот вопрос – в тексте самого «Проекта», увидевшего свет не позже начала июня 1913 г. После изложения ТГКГ и её применения к получению уравнений движения в гравитационных полях, авторы переходят к уравнениям гравитационного поля. Требование общей ковариантности подсказывало правильное решение, но им пришлось отказаться от него, так как они не сумели согласовать общековариантные уравнения гравитации с такими важными общезначимыми и методологическими установками, как принципы соответствия, сохранения энергии-импульса и причинности. В результате они вступили на путь необщековариантных полевых уравнений, что задержало появление ОТО на два с половиной года.

Начало второго, решающего этапа в создании ТГКГ датируется концом марта 1913 г. В письме к Эльзе Левенталь от 23 марта Эйнштейн писал: «В последние полгода я работал так напряжённо, как никогда в жизни и, наконец, несколько дней тому назад решил проблему. Речь идёт о смелом продолжении теории относительности вместе с теорией гравитации» [44. Р. 517]. А в конце мая, когда уже «Проект» был подготовлен к публикации, в письме к П. Эренфесту он красноречиво и точно описывал сделанный выбор. Объясняя своё долгое молчание, он замечает: «...Моё оправдание заключается в просто сверхчеловеческих усилиях, которые были посвящены проблеме гравитации. Теперь я глубоко убеждён в точности попадания, несмотря на некоторый ропот коллег... Убеждение, к которому я в конце концов пришёл, состоит в том, что *привилегированных систем координат вообще нет* (курсив Эйнштейна. – В.В.). Однако эту точку зрения мне удалось формализовать пока лишь частично» [44. Р. 523].

Своего рода итогом описанного этапа на пути к ОТО может служить письмо Эйнштейна Э. Маху от 25 июня 1913 г.: «Вероятно, Вы недавно получили мою новую работу об относительности и гравитации, которую я, наконец, закончил после бесконечных усилий и мучительных сомнений. В будущем году во время солнечного затмения будет проверено, изгибаются ли све-

товые лучи Солнцем, или, другими словами, верно ли исходное фундаментальное предположение об эквивалентности ускоренной системы и гравитационного поля. Если это так, то Ваши гениальные исследования об основах механики – вопреки несправедливой критике Планка – получают блестящее подтверждение...» [44. Р. 531]. В нём и «бесконечные усилия и мучительные сомнения», завершившиеся публикацией «Проекта», который в знак особой признательности был сразу же послан тому, кого Эйнштейн считал своим главным предшественником, и надежды на скорое экспериментальное подтверждение новой теории, и тот особый пиетет, который он испытывал к Маху.

Отступление об Э. Махе

Мах был одним из старших современников Эйнштейна, который сильно повлиял на него, и он всегда это подчеркивал [45; 46]. Это влияние было многосторонним. И методологические установки Маха, связанные с ориентацией на операционально-измерительный подход, принцип наблюдаемости, мысленные эксперименты, и его критика ньютоновских пространственно-временных абсолютов, и его идеи, касающиеся проблемы инерции и того, что Эйнштейн называл принципом Маха. К этому кругу идей относились и маховские представления о пространстве и времени, которые, согласно [6; 45], были реляционистскими. В одной из ранних работ Мах писал: «Пространственные отношения между материальными частицами могут быть познаны только по силам, с которыми они действуют друг на друга... Физическое пространство, которое я имею в виду (и которое включает в себе вместе с тем и время), есть не что иное, как зависимость явлений друг от друга. Современная физика, которая распознала бы эту основную зависимость, не имела бы больше никакой надобности в особых воззрениях пространства и времени, так как они и без того были бы уже исчерпаны» (цит. по [46. С. 57]).

Но физика XIX в., как впрочем и физика XX в., была далеко от совершенства и нуждалась в понятиях пространства и времени. И Мах это прекрасно понимал и, можно сказать, занимал промежуточную позицию, отдавая предпочтение то реляционной, то субстанциональной трактовке пространства и времени. Особенно это видно по четырем последним главам «Познания и заблуждения» (1905) [47]. Он говорит о развитии субстанциональной концепции пространства и времени от Демокрита до Галилея и Ньютона и затем до связи ее с понятием эфира, то есть вполне признает господство субстанциализма в классической физике: «Доказательство существования пустоты несомненно весьма содействовало тому, что представление пространства стало более самостоятельным... Можно, пожалуй, сказать, что главным образом именно со времени Ньютона время и пространство стали теми самостоятельными и однако бестелесными сущностями, которыми они считаются по настоящее время» [47. С. 419–420]. Упомянув о работах М. Фарадея, Дж.К. Максвелла и Г. Герца, он говорит о новой возможности

истолкования субстанциальности пустоты (или пространства): «Вопрос о том, можно ли назвать пустоту телом (эфир), не имеет существенного значения, но что ей присущи изменяющиеся и зависящие друг от друга свойства, как телу, отрицать нельзя» [47. С. 422].

Кстати говоря, там же, в примечании, Мах говорит о том, что пространство и время не могут быть вполне отделены друг от друга в исследовании, и обнаруживает полную осведомленность в отношении четырехмерной геометрии [Там же. С. 423]. А в своей «Механике» (4-е издание, 1901 г.), приветствуя появление «Принципов механики» Герца, обсуждает его представление закона движения как прямейшего пути в многомерном римановом пространстве обобщенных координат [48. С. 224–225]. Считая Маха своего рода провозвестником релятивизма и признавая его огромное и многостороннее влияние на генезис теории относительности, Эйнштейн, завершив (вместе с М. Гроссманом) создание ТГКГ, считал необходимым сообщить ему об этом. Хотя при ее разработке Эйнштейн фактически перешел от реляционной к субстанциальной концепции пространства и времени, по существу, взяв при этом на вооружение субстанциальный подход Минковского.

Заключительные замечания и выводы

На этом можно было бы закончить наши юбилейные заметки о важной эвристической и конструктивной роли субстанциальной концепции пространства и времени в развитии СТО (Минковский) и генезисе ОТО (от Минковского к Эйнштейну и Гроссману, 1907–1913 гг.). Все же сделаем несколько замечаний о последующем развитии пространственно-временного субстанциализма и геометрического миропонимания.

Прежде всего, через два с половиной года Эйнштейн и Гильберт, опираясь на ТГКГ, сумели преодолеть трудности, связанные с мнимыми аргументами против общековариантных уравнений гравитации [29; 34; 35]. В работах Эйнштейна 1916–1920-х гг. [49–50] сохраняются субстанциальные представления о пространстве-времени в ОТО и, соответственно, геометрическое миропонимание в его умеренном варианте. Правда, в лейденской речи 1920 г. «Эфир и теория относительности» появляются новые оттенки субстанциализма и геометрического миропонимания, в частности, пространство-время ОТО ассоциируется с понятием «эфира Маха»: «Эфир Маха не только обуславливает поведение инертных масс; состояние самого эфира зависит от инертных масс. Мысль Маха находит свое полное развитие в эфире общей теории относительности... Эфир общей теории относительности есть среда, сама по себе лишенная всех механических и кинематических свойств, но в то же время определяющая механические (и электромагнитные) процессы» [52. С. 688]. Намечается здесь и геометрическое миропонимание в его экстремальном варианте. Речь идет о единой теории гравитационного и электромагнитного полей, в котором риманово пространство-время обобщается до геометрии Вейля (определенного типа аффинной связ-

ности), но, которая, по мнению Эйнштейна, едва ли «может выдержать сравнение с опытом».

«Эфирную» терминологию использовал и Г. Вейль в пятом издании своей знаменитой книги «Пространство. Время. Материя» (1923). Он говорил о том, что в его единой теории мы имеем дело «не с двумя внутренне не связанными друг с другом полями, а с эфиром, который связывает посредством некоторого единого действия две различные материальные сущности и который является (3+1)-мерной экстенсивной средой метрической структуры». И далее: «Мечта Декарта о чисто геометрической физике получает как будто свое воплощение...» [36. С. 379].

Дальнейшая история взлета и падения геометрического миропонимания (в его радикальной форме) достаточно хорошо изучена (см., например, [8; 53]). Но неудача этого проекта ни в коей мере не бросает тень на геометрическое миропонимание (в его умеренном варианте) и субстанциальную концепцию пространства-времени, связанную с геометризацией гравитации. Все достижения последних десятилетий, относящиеся к релятивистской астрофизике и космологии, основаны на ОТО и присущем ей геометрическому миропониманию. Это касается и теории струн, которая «обладает замечательным свойством: она предсказывает гравитацию» [54. С. 744] и тем самым позволяет надеется на достижение синтеза гравитации и квантовой теории.

Кстати говоря, неудача геометрического полевого проекта Вейля–Эйнштейна в первой половине XX в. коренится в следующих обстоятельствах:

- 1) для электромагнитного взаимодействия нет аналога равенства инертной и гравитационной масс и, соответственно, принципа эквивалентности;
- 2) ни в одном варианте единой теории поля полевые уравнения не содержали решений, которые можно было бы интерпретировать как частицы (электрон и др.);
- 3) геометрический полевой теоретизм оказался во многом полярен по отношению к квантовому теоретизму, который стал поразительно успешным; попытки их сближения хотя бы в отношении гравитации (например, квантование гравитационного поля) успеха не имели (и не имеют до сих пор);
- 4) с начала 1930-х гг. стали открываться новые элементарные частицы и новые фундаментальные взаимодействия или поля (нейтрон, позитрон, мюоны, нейтрино; сильное и слабое взаимодействие); в результате проблема объединения только гравитации и электромагнетизма утратила свою актуальность, а задача геометрического синтеза всех фундаментальных взаимодействий безмерно усложнилась.

Возвращаясь к нашим юбилейным датам, сформулируем основные выводы:

- 1) четырехмерная теоретико-инвариантная формулировка СТО, развитая Минковским в 1907-1908 гг., вернула физике пространственно-

временной абсолютизм и соответственно субстанциальную концепцию пространства-времени;

2) Эйнштейн, примыкавший скорее к реляционному пониманию пространства и времени, вначале недооценил формулировку Минковского и считал ее чуть ли не излишним формально-математическим представлением;

3) в создании релятивистской теории тяготения именно концепция Минковского и представление уравнения движения в четырехмерной метрической форме сыграли решающую роль в переходе от псевдоевклидовой к римановой геометрии и, соответственно, к созданию тензорно-геометрической концепции гравитации – этого фундамента ОТО;

4) в результате в этой теории утвердилась субстанциальная концепция пространства-времени и впервые физическое взаимодействие, а именно гравитация, было истолковано как геометрический феномен; этим было положено начало геометрической парадигме в физике;

5) анализируя статьи и письма Эйнштейна, относящиеся к 1912–1913 гг., мы реконструируем ход его мысли и последовательность событий, приведших к ТГКГ; в двух отступлениях, посвященных Г. Герцу и Э. Маху, мы подчеркиваем «скрытую» роль первого как релятивистского пророка и важную стимулирующую («явную») роль второго в генезисе релятивистских теорий.

В этой статье мы не рассматриваем, как и почему Эйнштейн и Гроссман отказались от общековариантного подхода к уравнениям гравитационного поля, как Эйнштейн безуспешно пытался построить необщековариантные полевые уравнения и как, наконец, в ноябре 1915 г. он и Гильберт сумели найти правильные общековариантные уравнения гравитации (см. [29; 34; 35; 53]).

ЛИТЕРАТУРА

1. Пенроуз Р. Циклы времени. Новый взгляд на эволюцию Вселенной. – М.: БИНОМ. Лаборатория знания, 2014.
2. Паули В. Теория относительности. – М.-Л.: ОНТИ, 1947.
3. Грюнбаум А. Философские проблемы пространства и времени. – М.: Прогресс, 1969.
4. Баженов Л.Б., Морозов К.Е., Слуцкий М.С. Философия естествознания. – М.: Изд. полит. литературы, 1966.
5. Владимиров Ю.С. Физика дальнего действия: природа пространства-времени. – М.: ЛИБРОКОМ, 2012.
6. Молчанов Ю.Б. Четыре концепции времени в философии и физике. – М.: Наука, 1977.
7. Баженов Л.Б., Ахундов М.Д. Пространство // Энциклопедия эпистемологии и философии науки / глав. ред. и сост. И.Т. Касавин. – М.: Канон+, 2009. – С. 763–765.
8. Визгин В.П. Единые теории поля в первой трети XX века. – М.: Наука, 1985.
9. Эйнштейн А. Пространство-время // Эйнштейн А. Собрание научных трудов. – Т. II. – М.: Наука. – С. 234–243.
10. Клиффорд В. О пространственной теории материи (Резюме) // Альберт Эйнштейн и теория гравитации: сборник статей. – М.: Мир, 1979. – С. 36–37.

11. *Minkowski H.* Relativitätsprinzip // *Annalen der Physik.* – 1915. – Bd. 47. – S. 927–938.
12. *Минковский Г.* Основные уравнения электромагнитных процессов в движущихся телах // *Минковский. Две статьи об основных уравнениях электродинамики.* – М.-Ижевск: Ин-т компьютерных исследований, 2003. – С. 17–93.
13. *Минковский Г.* Пространство и время // *Принцип относительности: сборник работ классиков релятивизма / под ред. В.К. Фредерикса и Д.Д. Иваненко.* – М.-Л.: ОНТИ, 1935. – С. 181–203.
14. *Визгин В.П.* Концептуальные истоки общей теории относительности // *Исследования по истории физики и механики.* 2007. – М.: Наука, 2008. – С. 253–281.
15. *Vizgin V.P.* The centenary of the tensor-geometrical conception of gravitation – fundamental idea of the general relativity // *Physical Interpretation of Relativity Theory: Proceedings of International Meeting.* – Moscow: BMSTU, 2013. – P. 343–350.
16. *Визгин В.П.* Эрлангенская программа и физика. – М.: Наука, 1975.
17. *Galison P.* Minkowski's Space-time: from visual thinking to the absolute world // *Hist. Stud. Phys. Sci.* – 1979. – V. 10. – P. 85–121.
18. *Ryenson L.* The young Einstein. The advent of relativity. – Bristol a. Boston: A. Hilger Ltd, 1985.
19. *Corry L.* Hermann Minkowski and the postulate of relativity // *Arch. Hist.Exact. Sci.* – 1997. – V. 51. – P. 273–314.
20. *Reich K.* Die Entwicklung des Tensorkalkuls. Vom absoluten Differentialkalkul zur Relativitätstheorie. – Basel etc.: Birkhauser. –1994.
21. *Клейн Ф.* Лекции о развитии математики в XIX столетии. – Т. 2. – М.-Ижевск: Ин-т компьютерных исследований, 2003.
22. *Пуанкаре А.* О динамике электрона // *Принцип относительности: сборник работ классиков релятивизма / под ред. В.К. Фредерикса и Д.Д. Иваненко.* – М.-Л.: ОНТИ, 1935. С. 51–129.
23. *Эйнштейн А.* К электродинамике движущихся тел // *Эйнштейн А. Собрание научных трудов.* – Т. 1. – М.: Наука, 1965. – С. 7–35.
24. *Эйнштейн А.* О принципе относительности и его следствиях // *Эйнштейн А. Собрание научных трудов.* – Т. 1. – М.: Наука, 1965. – С. 65–114.
25. *Юшкевич П.С.* Принцип относительности и новое учение о времени // *Летопись.* – 1916. – № 7. – С. 204–213 (I); – № 8. – С. 190–210 (II).
26. *Визгин В.П.* Русские позитивисты о теории относительности и ее философском истолковании (1910–1920-е гг.) // *Вопросы философии.* – 2011. – № 11. – С. 93–105.
27. *Юшкевич А.П.* Очерк жизни философа-меньшевика П.С. Юшкеича // *Юшкевич П.С. Столпы философской ортодоксии.* – М.: Едиториал УРСС, 2004. – С. 8–56.
28. *Борн М.* Воспоминания о Германе Минковском // *Борн М. Размышления и воспоминания физика.* – М.: Наука, 1977. – С. 79–90.
29. *Пайс А.* Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна. – М.: Наука, 1989.
30. *Эйнштейн А., Лауб И.* Об основных электродинамических уравнениях движущегося тела // *А. Эйнштейн. Собрание научных трудов.* – Т. 1. – М.: Наука, 1965. – С. 115–122.
31. *Einstein A.* to Sommerfeld, July 1910.
32. *Sommerfeld A.* Zur Relativitätstheorie // *Ann.Phys.* – 1910. – Bd. 32. – S. 749–776; Bd. 33. – S. 649–686.
33. *Эйнштейн А.* Теория относительности // *Эйнштейн А. Собрание научных трудов.* – Т. 1. – М.: Наука, 1965. – С. 175–186.
34. *Визгин В.П.* Релятивистская теория тяготения (истоки и формирование, 1900–1915 гг.). – М.: Наука, 1981.

35. *Визгин В.П.* Об открытии уравнений гравитационного поля Эйнштейном и Гильбертом (новые материалы) // *Успехи физических наук.* – 2001. – Т. 171. – № 12. – С. 1347–1363.
36. *Вейль Г.* Пространство. Время. Материя. – М.: УРСС, 2004.
37. *Эйнштейн А., Гроссман Г.* Проект обобщенной теории относительности и теории тяготения // *Эйнштейн А. Собрание научных трудов.* – Т. 1. – М.: Наука, 1965. – С. 227–260.
38. *Мандельштам Л.И.* Лекции по физическим основам теории относительности (1933–1934 гг.) // *Мандельштам Л.И. Лекции по оптике, теории относительности и квантовой механике.* – М.: Наука, 1972. – С. 83–285.
39. *Григорян А.Т., Вальцев А.Н.* Генрих Герц. 1857–1894. – М.: Наука, 1968.
40. *Гильберт Д.* Герман Минковский // *Гильберт Д. Избранные труды.* – Т. II / под общ. ред. А.Н. Паршина. – М.: Факториал, 1998. – С. 443–464.
41. *Эйнштейн А.* К теории статического гравитационного поля // *Эйнштейн А. Собрание научных трудов.* – Т. 1. – М.: Наука, 1965. – С. 202–216.
42. *Эйнштейн А.* Относительность и гравитация // *Эйнштейн А. Собрание научных трудов.* – Т. 1. – М.: Наука, 1965. – С. 217–222.
43. *Эйнштейн А.* Как создавалась теория относительности // *Эйнштейновский сборник, 1980–1981.* – М.: Наука, 1985. – С. 5–9.
44. *Einstein A.* The Collected Papers. – Vol. 5. The Swiss Years. Correspondence, 1902–1914. Princeton: Princeton Univ. Press. – 1993.
45. *Владимиров Ю.С.* Предисловие редактора // *Э. Мах. Познание и заблуждение. Очерки по психологии исследования.* – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003. – С. 6–29.
46. *Визгин В.П.* Роль идей Э. Маха в генезисе общей теории относительности // *Эйнштейновский сборник, 1986–1990.* – М.: Наука, 1990. – С. 49–97.
47. *Мах Э.* Познание и заблуждение. Очерки по психологии исследования / под ред. Ю.С. Владимирова. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003.
48. *Мах Э.* Механика: Историко-критический очерк и развитие. – Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2000.
49. *Эйнштейн А.* Основы общей теории относительности // *Эйнштейн А. Собрание научных трудов.* – Т. 1. – М.: Наука, 1965. – С. 452–504.
50. *Эйнштейн А.* О специальной и общей теории относительности (общедоступное изложение) // *Там же.* – С. 530–600.
51. *Эйнштейн А.* Вопросы космологии и теория относительности // *Эйнштейн А. Собрание научных трудов.* – Т. 1. – М.: Наука, 1965. – С. 601–612.
52. *Эйнштейн А.* Эфир и теория относительности // *Эйнштейн А. Собрание научных трудов.* – Т. 1. – М.: Наука, 1965. – С. 682–689.
53. *Визгин В.П.* Единые теории поля в квантово-релятивистской революции: программа полевого геометрического синтеза физики. – М.: КомКнига, 2000.
54. *Пенроуз Р.* Путь к реальности, или Законы, управляющие Вселенной: Полный путеводитель. – М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2007.

**FROM MINKOWSKI'S WORLD TO THE TENSOR-GEOMETRIC
CONCEPT OF GRAVITATION: THE GENESIS OF THE SUBSTANTIAL
CONCEPT OF SPACE-TIME AND GEOMETRIC WORLD VIEW
(For the 150th anniversary of the birth of Hermann Minkowski
and the 100th anniversary of the general relativity theory)**

V.P. Vizgin

The four-dimensional theoretical invariant formulation of the special relativity theory (SRT) developed by Hermann Minkowski in 1907-1908 led to a substantial concept of the space-time structure of that theory. Albert Einstein's transition from the relationalism of SRT of 1905 to the substantialism of Minkowski's world played a key role in the genesis of the tensor-geometric theory of gravitation, which formed the physical basis for the general relativity theory (GRT). Space-time substantialism inherent in that theory resulted in two varieties of geometric world view – a moderate world view related to geometrization of gravitation alone and a radical world view envisaging geometrization of all physical interactions. The former project was implemented in GRT and the latter remained unrealized. This article is dedicated to the 150th anniversary of the birth of Hermann Minkowski and the coming centennial of GRT.

Key words: space-time, relational and substantial concepts, Minkowski's world, Einstein's equivalence principle, tensor-geometric concept of gravitation, Heinrich Hertz, Ernst Mach, Marcel Grossmann, unified field theories.

О ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ПАРАДИГМЕ В ФИЗИКЕ

В.Г. Кречет

*Московский государственный технологический университет «Станкин»,
Ярославский государственный педагогический университет
имени К.Д. Ушинского*

М.Н. Лоди

Московский государственный технологический университет «Станкин»

Изложена история развития геометрической парадигмы от античности до наших дней. Показана перспективность исследований в рамках многомерных геометрических моделей физических взаимодействий типа теории Калуцы.

Ключевые слова: Пространство-время, геометрофизика, гравитация, фундаментальные взаимодействия, многомерие, аффинно-метрическое пространство.

Известно, что физическая наука развивалась в направлении уменьшения количества фундаментальных объектов, лежащих в основании физической природы, которые принимались в науке. В настоящее время принято, что таких фундаментальных сущностей всего три: пространство-время, материальные частицы (в микромире – это фермионы) и поля физических взаимодействий.

Далее продолжают развиваться научные направления, где фундаментальными признаются какие-либо две из вышеназванных, а оставшаяся сущность выводится из этих двух [1]. В результате возникли три физических парадигмы, развивающиеся в настоящее время. Первая, наиболее развитая, это – квантово-полевая парадигма, где основными сущностями объявляются пространство-время и физическое квантовое поле.

Вторая, это – геометрическая парадигма. В ее основании положены пространство-время и материальные частицы, а поля физических взаимодействий рассматриваются как проявление геометрических свойств пространства-времени.

Существует и третья парадигма, названная реляционной [2], в которой основными категориями постулируются материальные частицы и взаимодействия между ними, а пространство-время – как следствие проявления взаимодействий между объектами.

Геометрическая парадигма, о которой будет идти речь далее, непосредственно связана с имеющимися в настоящее время двумя концепциями о природе пространства-времени. Одна из них – реляционная концепция пространства-времени, в которой оно рассматривается как следствие из сущест-

вованя материальных объектов и взаимодействий между ними. Как видно, именно эта концепция пространства-времени используется в реляционной физической парадигме.

В геометрической парадигме физики, естественно, используется субстанциональная концепция о природе пространства-времени. Насколько известно, эта концепция зародилась ещё в античную эпоху в пифагорейской философской школе (VI–V вв. до н.э.). Центральной идеей философии пифагорейцев было учение об основополагающих числовых соотношениях в устройстве мира. Они пришли к выводу, что каждая из «стихий», образующих вещи, – земля, вода, воздух, огонь, эфир – устроены геометрическим образом и состоят из своеобразных «элементарных частиц», симметричных тел, – правильных многогранников: частицы земли имеют форму куба, воздуха – октаэдра, огня – тетраэдра.

В раннем пифагореизме речь, конечно, не шла о додекаэдре и икосаэдре, открытых позднее в V в. до н.э. греческим математиком Теэтетом, доказавшим, что правильных выпуклых многогранников может быть только пять.

Учение о геометрически совершенном строении материи развил далее Платон (427 г. до н.э.). На его размышления о структуре материи повлияли исследования правильных многогранников Теэтетом. (Теэтет жил около 414 г. до н.э., крупный греческий математик, близкий Платону, ряд лет состоял в Академии Платона.)

Если вода, воздух и огонь превращаются друг в друга, то, рассудил Платон, их элементарные частицы, – это, соответственно, икосаэдр, октаэдр, и тетраэдр, поскольку у всех трёх грани правильные треугольники. Четвёртый многогранник – куб. Платон решил, что такую устойчивую форму должны иметь «элементарные частицы» земли. Куб не преобразуется в упомянутые выше многогранники, поскольку его грани квадраты, а не треугольники, поэтому Платону пришлось признать, что невозможно превращение земли в другие «стихии».

Последний многогранник – додекаэдр, грани которого правильные пятиугольники. Его, следовательно, нельзя преобразовать в остальные четыре многогранника. Такая форма, рассудил Платон, должна быть у «элементарных частиц» эфира.

Таким образом, «атомы» подлунной материи (земли, воды, воздуха и огня) – это куб, икосаэдр, октаэдр и тетраэдр. Их грани можно разложить на треугольники и, следовательно, образовать из них. Вот эти-то треугольники Платон и рассматривал как подлинно «элементарные частицы». Из них могут образовываться правильные многогранники различной величины. Этим и объясняются, согласно Платону, различные виды твёрдых, жидких и газообразных веществ.

Таким образом, учение Платона о строении вещества есть первая в истории геометрическая теория материи. Эта теория есть своеобразный геометрический атомизм, основанный на догадке о важной роли симметрии в

строении структурных уровней организации материи. Вдохновленный своим успехом в объяснении структуры и свойств материи на основе геометрических построений и восхищаясь тем, что и весь космос устроен идеальным геометрическим образом (орбиты планет – совершенные геометрические кривые – окружности, а их форма – самые совершенные геометрические фигуры – сферы), Платон провозгласил, что Бог был геометром.

Развитием геометрического подхода к объяснению устройства Вселенной можно считать геометрическую систему Птолемея (II в. н.э.). В его системе комбинацией круговых движений космических тел по дифферентам и эпициклам объяснялись все их наблюдаемые движения.

Система Птолемея является первой в истории науки математически обоснованной космологической моделью, имеющей предсказательную силу.

Традиция античной науки искать геометрические подходы к объяснению устройства Мира продолжалась и в Новое Время. Так, выдающийся астроном XVII в. И. Кеплер (1571–1630 г.) пытался построить орбиты планет Солнечной системы как последовательность концентрических сфер, вписанных или описанных вокруг концентрически расположенных правильных многогранников – тетраэдра, куба, октаэдра и т.д.

Великий итальянский ученый Г. Галилей (1564–1642 гг.) утверждал, что книга Природы написана на языке геометрии.

Геометрический подход к физике получил новый стимул с открытием неевклидовой геометрии Н.И. Лобачевским в 1826 г. Знаменательно то, что Н.И. Лобачевский не только показал возможность существования непротиворечивой геометрической теории, отличной от эвклидовой теории, но и открыл геометрию постоянной отрицательной кривизны (геометрию Лобачевского). Он обосновал возможность прямой зависимости геометрических свойств пространства от физических процессов, предвосхитив тем самым основную идею общей теории относительности (ОТО).

Впоследствии в середине XIX в. Б. Риман (1826–1866 гг.) открыл еще один вид неевклидовой геометрии, – геометрию постоянной положительной кривизны. Он же заложил основы геометрии произвольных искривленных пространств – римановых пространств и показал, что геометрия римановых пространств полностью описывается метрикой вида

$$dS^2 = g_{ik}dx^i dx^k \quad (i, k = 1, 2, 3), \quad (1)$$

где коэффициенты g_{ik} – есть компоненты метрического тензора.

Тогда же Б. Риман, может быть, впервые поставил вопрос о рассмотрении многомерных пространств, введя понятие о « n – кратно протяженной величине», рассматривая обычное пространство как «частный случай трижды протяженной величины».

Вопросы многомерности в XIX в. были сформулированы также в работах математиков Г. Гросмана (1809–1877), А. Кэли (1821–1895) и др. С другой стороны, Ф. Клейн в 1891 г. [3] обратил внимание на представимость

механических задач о движении материальной точки в виде задач оптики в соответствующих средах в пространствах высшего ($n > 3$) числа измерений.

Все эти работы укрепляли позиции субстанциональной концепции пространства, рассматриваемого наделённым многими геометрическими свойствами. Они же явились мощным стимулом развития геометрической парадигмы в физике.

Позднее некоторые физики стали рассматривать пространство как главную физическую категорию. Экстремальной точкой зрения в таком подходе является позиция выдающегося математика и физика-теоретика В. Клиффорда (1845–1879), первым поставившего вопрос о возможных физических проявлениях искривлённого пространства, а затем выдвинувшего программу геометризации всей физики.

В выдвинутой Клиффордом программе была поставлена задача представить всю физику как некое проявление искривлённого пространства, например, частицы он предлагал рассматривать как области сильно искривлённого пространства [4].

Таким образом, В. Клиффорд стоял на пороге создания общей теории относительности (ОТО), но не смог её создать, так как надо было говорить об искривлении не 3-мерного пространства, а 4-мерного пространства-времени. Физическим проявлением этого искривления является, согласно ОТО, гравитация.

Эта программа Клиффорда была подхвачена школой Дж. Уилера, провозгласившей: «В мире нет ничего кроме пустого искривлённого пространства. Материя, заряд, электромагнетизм и другие поля являются лишь проявлением искривления пространства. Физика – есть геометрия» [5].

Первой настоящей геометрической теорией, описывающей физические процессы, явилась специальная теория относительности (СТО) в формулировке Г. Минковского. Он показал, что все эффекты СТО есть результат вращений инерциальных систем отсчёта в 4-мерном пространстве-времени, описываемого метрикой:

$$dS^2 = dX^2 + dY^2 + dZ^2 - c^2 dt^2. \quad (2)$$

Эта метрика инвариантна относительно преобразований инерциальных систем отсчёта – преобразований Лоренца, которые есть суть вращения в 4-мерном пространстве-времени – в пространстве Минковского.

Этот результат означает, что 4-мерное пространство-время Минковского является абсолютным пространством, в то время как в теории Ньютона постулируется абсолютным 3-мерное пространство, инвариантное относительно преобразований Галилея.

По геометрической классификации, пространство-время Минковского является плоским псевдоевклидовым пространством.

Опираясь на результаты Г. Минковского о существовании 4-мерного пространства-времени, А. Эйнштейн смог сделать очень важный шаг в деле геометризации физики, разработав в конце 1915 г. общую теорию относи-

тельности (ОТО). Она включает в себя теорию гравитационного взаимодействия в геометрической трактовке как проявление кривизны 4-мерного пространства-времени. При наличии гравитационного поля 4-мерное пространство является искривлённым, то есть римановым пространством. Впервые в истории физики было геометризировано самое фундаментальное физическое взаимодействие – гравитационное.

Кроме того, оказалось, что в рамках ОТО уравнение геодезической в искривлённом 4-мерном пространстве-времени есть уравнение движения материальной частицы под действием гравитационного поля.

Эти успехи ОТО дали мощнейший импульс для дальнейшего развития геометрической парадигмы в физике.

После геометризации гравитационного поля встала задача – геометризация другого фундаментального физического взаимодействия – электромагнитного. Первый важный шаг в деле построения единой геометрической теории гравитации и электромагнетизма был сделан Г. Вейлем [6] после создания ОТО в 1918 г. Он предложил обобщение римановой геометрии, используемой в ОТО, введя в геометрию пространства-времени дополнительную геометрическую величину – так называемую вейлевскую неметричность, определяемую вектором Вейля W_k .

Г. Вейль постулировал, что масштабы длин и модули векторов при параллельном переносе в близкую точку изменяются пропорционально вектору W_k . Так, например, для любого вектора B_k изменение его модуля при переносе в близкую точку определяется выражением

$$\delta|B| = |B| W_k dx^k.$$

При этом Г. Вейль полагал, что вектор W_k должен быть пропорциональным электромагнитному потенциалу A_k :

$$A_k = \lambda W_k,$$

где коэффициент λ определяет соответствие между геометрической и физической величиной. Следовательно, в теории Вейля изменение масштабов при параллельном переходе определяется электромагнитным полем.

Первоначально теория гравитации электромагнетизма Г. Вейля была встречена очень благожелательно среди физиков-теоретиков, включая самого Эйнштейна. Но последующий её анализ развеял первоначальный оптимизм.

Оказалось, что в теории гравитации электромагнетизма Г. Вейля не получаются естественным образом уравнения движения заряженной частицы в гравитационном и электромагнитном полях, что является необходимым условием для геометризации этих полей.

Кроме того, теория гравитации и электромагнетизма Вейля не получается из геометрического лагранжиана R , где R – скаляр кривизны пространства-времени, при варьировании уравнений Максвелла, так как скалярная кривизна в геометрии Вейля не содержит в себе квадратов производных от

вектора Вейля W_k . Он, как указывалось выше, в теории Вейля отождествляется с точностью до коэффициента пропорциональности, с электромагнитным потенциалом A_k .

Эта трудность преодолевается, если к лагранжиану R добавить ещё один геометрический объект, – квадрат сегментарной кривизны $\Omega_{ik} = R_{iklm} g^{lm}$, так что его геометрический лагранжиан будет иметь вид

$$L_g = R_{iK} + \beta \Omega_{ik} \Omega^{ik}. \quad (3)$$

Такой лагранжиан будет содержать в себе квадрат производной вектора Вейля. Тогда при варьировании его по метрическому тензору g_{ik} и по вектору Вейля W_k получаем совместную систему уравнений Эйнштейна и Максвелла соответственно [7].

Несмотря на неудачу Г. Вейля в деле построения единой геометрической теории гравитации и электромагнетизма она оказала огромное влияние на развитие геометрической парадигмы в физике.

Во-первых, она дала свой мощный импульс к развитию и построению геометрических теорий физических взаимодействий. Во-вторых, она обогатила геометрическую теорию неевклидовых пространств, предъявив ещё одну неевклидову геометрию – геометрию Вейля, расширив риманову геометрию, в которой кроме римановой кривизны содержится ещё и неметричность вейлевского типа.

В дальнейшем Эддингтон обобщил геометрию Вейля, введя неметричность общего вида, описываемую тензором третьего ранга W_{ikl} , симметричного по двум последним индексам k, l .

Важный вклад в развитие геометрии неевклидовых пространств внёс Э. Картан в 1922 г., предложивший ввести в структуру пространства ещё один геометрический объект – кручение, определяемое антисимметричным тензором третьего ранга Q^i_{kl} [8]. Кручение по гипотезе Э. Картана может индуцироваться собственным моментом импульса материи. Оно определяет некоторую винтовую структуру в геометрии пространства, вследствие чего нарушается правило параллелограмма.

В результате благодаря работам Эйнштейна, Вейля, Эддингтона, Картана и др. была создана теория аффинно-метрических пространств, которые кроме метрики

$$dS^2 = g_{ik} dx^i dx^k,$$

определяющей риманову кривизну, оснащены еще неметричностью W_{ikl} и кручением Q^i_{kl} . У таких пространств существуют три независимых геометрических объекта: риманова кривизна, кручение и неметричность. Поэтому, как показал Схоутен [2], возможно существование $3^3=27$ разных аффинно-метрических пространств, в которых присутствуют в различных комбинациях указанные геометрические объекты.

Если рассматривать гравитационные теории, у которых в качестве гравитационного лагранжиана выбирается, как в ОТО Эйнштейна, скалярная

кривизна R соответствующего пространства, то получается что источником указанных трех геометрических объектов являются как раз три основные динамические характеристики материи: тензор энергии – импульс T_{ik} , тензор плотности момента импульса M_{ikl} и плотность потока массы ρU^k [9].

В результате получилась расширенная теория гравитации в аффинно-метрическом пространстве-времени – так называемая аффинно-метрическая теория гравитации. Она обобщает эйнштейновскую ОТО на случай учета возможных кручения и неметричности пространства-времени, которые рассматриваются как дополнительные компоненты гравитационного поля в его геометрической интерпретации, следуя линии Эйнштейна.

Такая аффинно-метрическая теория гравитации продолжает лишь геометризацию гравитационного поля, оставляя в стороне геометризацию других фундаментальных взаимодействий.

Но открытие метрических пространств с такой богатой геометрической структурой подготовило базу для последующих разработок различных геометрических моделей объединения фундаментальных физических взаимодействий.

Однако, как показывают последующие разработки в геометрофизике, самым перспективным направлением в проблеме геометризации физических взаимодействий оказалось развитие многомерных геометрических моделей объединения взаимодействий, и особенно с использованием достижений аффинно-метрических геометрических теорий.

Первый качественно новый и успешный шаг в направлении многомерия сделал Т. Калуца в 1919 г. [10]. Он построил вариант 5-мерной геометрической теории объединения гравитационного и электромагнитного взаимодействий. До этих результатов не дошёл великий А. Эйнштейн, несмотря на все многолетние попытки геометризации ещё и электромагнитного поля, поскольку он пытался сделать это в 4-мерных рамках (с 3 пространственными измерениями и одним временным). Несколько позже другой 5-мерный вариант теории предложил О. Клейн. Поэтому в дальнейшем многомерные ($n > 4$) геометрические теории объединения взаимодействий стали называть теориями типа Калуцы–Клейна.

Дополнительное 5-е измерение должно быть пространственно-подобным, как это сделал Т. Калуца, то есть в таких теориях существуют четыре пространственных измерения и одно временное. Это значит, что Мир надо описывать в рамках 5-мерного пространственно-временного многообразия с метрическим интервалом.

$$dI^2 = g_{AB} dx^A dx^B \quad (A, B = 1, 2, 3, 4, 5). \quad (4)$$

Здесь 5-я координата x^5 выбирается пространственно-подобной для того, чтобы плотность энергии геометризованного электромагнитного поля была положительно определённой.

В 5-мерной теории из 15-ти компонент метрического тензора g_{AB} строятся 10 компонент 4-мерного метрического тензора g_{ik} ($i, k = 1, 2, 3, 4$), опи-

сывающего гравитацию, и 4 компоненты электромагнитного потенциала A_k , пропорциональные четырем метрическим компонентам g_{k5} .

В качестве уравнений единого поля взяты 5-мерные вакуумные уравнения Эйнштейна:

$$R_{AB} = 0, \quad (5)$$

а в качестве уравнений движения материальных частиц брались уравнения геодезических в 5-мерном пространстве-времени.

При этом на 5-мерную метрику накладывалось условие цилиндричности по 5-й координате, то есть постулировалась её независимость от этой координаты.

Окончательную и полную формулировку 5-мерной геометрической теории объединения гравитационного и электромагнитного взаимодействий Т. Калуцы с физической интерпретацией всех её аспектов сделал Ю.С. Владимиров с помощью 5-мерного монадного формализма [11]. После физической интерпретации всех аспектов теории Т. Калуцы появились удивительные её результаты, описывающие основные свойства гравитации и электромагнетизма. В литературе их называют иногда «чудесами» теории Т. Калуцы.

Приведем главные результаты 5-мерной теории Калуцы:

1. Система 5-мерных уравнений Эйнштейна в пустом пространстве автоматически расщепляется на систему из 10 обычных уравнений Эйнштейна для гравитационного поля и 4 уравнений Максвелла для электромагнитного поля.

2. В полученной таким образом системе 4-мерных уравнений Эйнштейна в правой части автоматически возникает тензор энергии-импульса электромагнитного поля с требуемым положительным знаком.

3. Уравнения 5-мерных геодезических линий автоматически приводятся к четырем уравнениям движения заряженной частицы в гравитационном и электромагнитных полях, а пятое уравнение принимает смысл постоянства отношения заряда q к массе частицы m :

$$d/dS(q/m) = 0.$$

При этом 5-я компонента импульса частицы оказывается пропорциональной электрическому заряду:

$$P_5 = q/2\sqrt{G},$$

где G – гравитационная постоянная.

4. Известные в электродинамике калибровочные преобразования электромагнитного потенциала

$$A_k \rightarrow A_k + \partial\varphi / \partial x^k$$

следуют из допустимых преобразований 5-й координаты $x_5 \rightarrow x_5 + \varphi(x^k)$ вследствие наложения условия цилиндричности по 5-й координате.

Эти результаты 5-мерной теории Т. Калуцы говорят о том, что в действительности существует 5-мерное пространство-время с четырьмя пространственными измерениями и одним временным, но в котором дополнительное 5-е измерение, то есть 4-е пространственное измерение, непосредственно нами наблюдаться не может, а проявляет себя наличием электромагнитного поля, являющегося компонентой 5-мерного гравитационного поля, спроецированного на 4-мерное пространство-время.

Получается, что единственные два дальнедействующих поля – гравитационное и электромагнитное – являются компонентами 5-мерного гравитационного поля.

Вывод о реальности 5-мерного пространства-времени подкрепляет тот факт, что дираковские спиноры $\Psi(x^k)$, которые описывают все фермионы (электроны, нейтрино, другие лептоны 2-го и 3-го поколений, кварки) и из которых строятся ядра атомов, атомы и вся макроскопическая материя, являются также 5-мерными объектами, поскольку спинор $\Psi(x^k)$ (биспинор) является спинорным представлением алгебры Клиффорда $S(4, 1)$, соответствующей 5-мерному пространству.

Получается, что вещество, строящееся из фермионов, и дальнедействующее гравитационное поле, то есть вся наблюдаемая материя являются 5-мерными объектами и существуют в 5-мерном пространстве, но проявляют себя для нас, в силу нашей неспособности непосредственно наблюдать дополнительное измерение, как отдельные 4-мерные гравитационное и электромагнитное поля, а также наблюдаемое вещество.

Развитые в дальнейшем другие многомерные геометрические модели объединения подкрепляют вывод о 5-мерности пространства-времени. Но об этом мы скажем немного ниже.

В 80-е гг. XX в. и далее разработкой многомерных геометрических моделей фундаментальных физических взаимодействий, включая ещё и слабое взаимодействие, а затем и сильное, занялись в группе Ю.С. Владимирова. Были построены 6-мерные и 7-мерные модели гравитационного и электро-слабого взаимодействия [1; 11]. Эти работы внесли весомый вклад в развитие геометрической парадигмы в физике и в развитие многомерных геометрических теорий объединения фундаментальных физических исследований.

Особенно большим достижением указанных работ явилась разработка 8-мерной геометрической модели объединения гравитационных и сильных взаимодействий [1]. Интересной и важной особенностью этой модели является возможность её редукции к 7-мерной геометрической модели гравитационно-электро-слабых взаимодействий путём своеобразной «склейки» восьмого и седьмого измерений.

Но в этих геометрических моделях взаимодействий в основном, за исключением более ранних, использовались многомерные, то есть 6-мерные, 7-мерные и 8-мерные римановы пространства, без использования объектов аффинно-метрических пространств, за исключением римановой кривизны. Поэтому, по нашему мнению, там возникали некоторые трудности, при со-

поставлении этих геометрических моделей со стандартными полевыми моделями физических взаимодействий.

Если проблема геометризации фундаментальных физических взаимодействий и их объединения, как показывают результаты вышерассмотренных работ, можно считать разрешимой, то исследования по проблеме геометризации источников этих взаимодействий, – на квантовом уровне фермионов, описываемых спинорными полями, – пока не привели к решающему успеху.

Интересной попыткой геометризации спинорных полей явилось развитие в 70-х гг. XX в. теории суперсимметрии и супергравитации.

Основная идея суперсимметричной теории состоит в том, что фермионы и бозоны объединяются в единый супермультиплет, что ведёт к симметричному рассмотрению фермионных и бозонных полей физических взаимодействий.

Это достигается использованием в теории величин, зависящих как от обычных координат x^k , так и от дополнительных грассмановских антикоммутирующих спинорных координат θ_k ($\theta_i\theta_k + \theta_k\theta_i = 0$), являющихся компонентами действительного (майорановского) спинора θ .

Переменные x^k , θ_i являются координатами в суперпространстве, в котором действуют преобразования супертрансляций:

$$\Theta \rightarrow \theta + \varepsilon; x^k \rightarrow x^k + 1/2\varepsilon^*\gamma^k\theta,$$

где γ^k – матрицы Дирака, ε – постоянный спинор суперсдвига.

Суперпозиция двух суперпреобразований даёт преобразование сдвига (трансляций) в обычном 4-мерном пространстве времени.

Локализация группы суперсимметрии, $-\varepsilon \rightarrow \varepsilon(x^k, \theta_i)$ приводит к теории супергравитации.

В начале развития теории суперсимметрии и супергравитации с ними были связаны большие надежды на построение единой теории элементарных частиц и фундаментальных взаимодействий. Но к настоящему времени такие надежды не оправдались, так как ни одно предсказание теорий суперсимметрии не было подтверждено последующими экспериментами.

В частности, одним из первых главных предсказаний этой теории является необходимость существования у каждой микрочастицы соответствующего суперпартнёра – элементарной частицы, отличающейся на спин 1/2. Так, фотону со спином 1 сопоставляется фотино со спином 1/2, нейтрино со спином 1/2 – нейтралино со спином 0 и т.д.

Несмотря на все усилия физиков-экспериментаторов, ни одной из предсказанных суперчастиц не было обнаружено.

Большие надежды в этом были связаны с введением в строй Большого андронного суперколлайдера. На нём надеялись обнаружить существование как частицы Хиггса, так и какой-нибудь суперчастицы. Но если следы наличия частицы Хиггса вроде бы обнаружены (нужны последующие эксперименты), то никаких признаков наличия суперчастиц не обнаружено.

Здесь явно наметился тупик в исследованиях по теории суперсимметрии. В связи с этим, по мнению многих физиков-теоретиков, можно сделать вывод, что геометризовать и объединить можно лишь фундаментальные физические взаимодействия на основе геометрии многомерного пространства-времени (возможно аффинно-метрической теории), а материальные частицы – источники полей взаимодействий – следует рассматривать как отдельную физическую категорию.

В итоге подходим к дуалистической парадигме в физике; что существуют лишь две физических категории – материальные частицы и пространство-время, очевидно, многомерное, обладающее свойствами аффинно-метрического пространства, геометрические свойства которого проявляются в виде физических взаимодействий.

Однако удивительные результаты («чудеса») 5-мерной геометрической теории гравитации и электромагнетизма Т. Калуцы и наличие фермионов, описываемых дираковским спинорным полем, присущим 5-мерному пространству-времени, указывают именно на такое пространство в качестве наиболее подходящего для построения геометрических теорий фундаментальных физических взаимодействий.

Ещё больше подкрепляет такую гипотезу о достаточности пяти измерений для геометризации физических взаимодействий недавно разработанная 5-мерная геометрическая модель гравитационного, электромагнитного и слабого взаимодействий [7]. В этой модели геометризуются все основные фундаментальные взаимодействия, кроме сильного.

В этой геометрической модели, учитывая вышеуказанные достоинства 5-мерного пространства-времени, за счет использования дополнительных геометрических структур аффинно-метрических пространств – кручения и неметричности, удалось «сэкономить» дополнительные измерения и ограничиться одним дополнительным пространственным измерением. В указанной модели из пяти измерений – одно временное и четыре пространственных, как и в теории Т. Калуцы. Неметричность 5-мерного пространства-времени бралась вейлевского типа:

$$Q_{AGBC} = 2W_{AGBC} \quad (A, B, C = 1, 2, 3, 4, 5),$$

где W_A – 5-мерный вектор Вейля.

5-мерное кручение Q_{ABC} считалось состоящим из следовой части и полнотью антисимметричной части:

$$Q_{ABC} = 1/4 (Q_{AGBC} - Q_{BGAC}) + Q_{[ABC]},$$

где Q_A – след кручения.

В качестве лагранжиана геометрической модели грави-электрослабых взаимодействий по аналогии с лагранжианом ОТО бралась скалярная кривизна 5R -пятимерного аффинно-метрического пространства с кручением и неметричностью указанных выше типов. В такой геометрии есть 4 векторных поля: 5-мерная монада $\lambda^A = \delta^A_5$, след кручения Q_A , потенциал антисим-

метричной части кручения B^A и вектор Вейля W_A . После их проецирования на 4-мерное пространство-время они сопоставляются с четырьмя векторами стандартной теории электрослабых взаимодействий: электромагнитным потенциалом A_k , нейтральным бозоном Z_k и положительно и отрицательно заряженными бозонами W_K^+ , W_K^- . Электрически заряженные поля считались периодически зависящими от 5-й координаты, с периодом, пропорциональным элементарному электрическому заряду e_0 , то есть заряду электрона, как и в цитируемых выше 6 и 7-мерных геометрических моделях взаимодействий группы Ю.С. Владимирова.

При этом система из четырех пространственно спроецированных геометрических векторов, указанных выше, связывалась с системой четырех физических векторов (A_K, Z_0^K, W_K^+, W_K^-) невырожденным линейным преобразованием, коэффициенты которого находят из сравнения данных геометрической модели со стандартной моделью Вайнберга–Салама.

Далее, применяя метод (4+1)-разбиения с помощью монадного формализма, формулы для пятимерной скалярной кривизны 5R , получаем удивительные результаты: исходный лагранжиан нашей 5-мерной геометрической модели 5R разлагается на лагранжиан эйнштейновской теории гравитации 4R и лагранжиан теории электрослабых взаимодействий Вайнберга–Салама, включая и поля Хиггса.

Примечательно также и то, что предложенная модель удивительно информационно компактна. Вся информация и об эйнштейновской теории гравитации, и о теории электрослабых взаимодействий Вайнберга–Салама содержится в скалярной кривизне 5R 5-мерного аффинно-метрического пространства.

Такие удивительные соответствия между нашей 5-мерной геометрической моделью физических взаимодействий и стандартной моделью электрослабых взаимодействий и ОТО, а также её компактность (большое информационное описание в малом объёме) ещё более укрепляют уверенность в 5-мерности нашего пространства-времени.

В отсутствие кручения и неметричности данная модель переходит в теорию гравитации и электромагнетизма Т. Калуцы, то есть в геометрическую теорию далекодействующих взаимодействий, а в пренебрежении 4-мерной римановой кривизной, что справедливо для микромира, но при наличии кручения и неметричности эта геометрическая 5-мерная модель соответствует стандартной модели электрослабых взаимодействий Вайнберга–Салама.

Указанное последнее свойство нашей 5-мерной геометрической модели заставляет вспомнить высказывание Л. де Бройля о том, что в микромире господствуют другие пространственно-временные отношения, чем в макромире. При этом, учитывая вышеизложенное, можно считать, что в микромире решающую роль играют именно неримановы объекты пространства-времени – кручение и неметричность.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Владимиров Ю.С.* Геометрофизика. – М.: БИНОМ, 2007.
2. *Владимиров Ю.С.* Метафизика. – М.: БИНОМ, 2009.
3. *Клейн Ф.* Вариационные принципы механики. – М.: Физматгиз, 1960.
4. *Владимиров Ю.С.* Между физикой и метафизикой. – Кн. 2: По пути Клиффорда – Эйнштейна. – М.: ЛИБРОКОМ, 2011.
5. *Владимиров Ю.С.* Между физикой и метафизикой. – Кн. 3: Геометрическая парадигма: испытание временем. – М.: ЛИБРОКОМ, 2011.
6. *Вейль Г.* Континуум. Математическое мышление. – М.: Наука 1989.
7. *Кречет В.Г.* 5-мерная геометрическая модель гравитационно-электромагнитных взаимодействий // Известия ВУЗОВ. Физика. – Томск, 2013. – № 1.
8. *Картан Э.* Об обобщении понятия римановской кривизны и о пространствах с кручением // Альберт Эйнштейн и теория гравитации. – М.: Наука, 1979.
9. *Кречет В.Г.* Механика сплошной среды и неметричность пространства-времени // Известия ВУЗОВ, Физика. – Томск, 1989. – № 12.
10. *Калуца Т.* К проблеме единства физики // Альберт Эйнштейн и теория гравитации. – М.: Наука, 1979.
11. *Владимиров Ю.С.* Размерность физического пространства-времени и объединение взаимодействий. – М.: МГУ, 1982.

ON THE GEOMETRIC PARADIGM IN PHYSICS

V.G. Krechet, M.N. Lodi

A description is given of the history of the development of the geometric paradigm from classical times to our own day. Good prospects are shown for studies within the framework of multidimensional geometric models of physical interactions such as Kaluza's theory.

Key words: space-time, geometrophysics, gravitation, fundamental interactions, multidimensionality, affine-metric space.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В РАМКАХ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ПАРАДИГМЫ

Ю.С. Владимиров

*Физический факультет Московского государственного университета
имени М.В. Ломоносова,
Институт гравитации и космологии
Российского университета дружбы народов*

В работе рассмотрены состояние и перспективы исследований в рамках эйнштейновской теории гравитации и ее обобщений, то есть в рамках всего геометрического подхода к физике. Обсуждены достижения и проблемы в трех составляющих геометрической теории: фундаментальной (имеющей дело с основаниями теории), собственно общей теории относительности и экспериментальной (прикладной) составляющей. Делается вывод, что за прошедшее столетие принципы, заложенные в основание общей теории относительности и ее классических обобщений, в значительной степени выработаны и в настоящее время необходимо сосредоточиться на анализе теории пространства-времени и физических взаимодействий в рамках альтернативной, реляционной парадигмы.

Ключевые слова: общая теория относительности, геометрическая парадигма, геометризация взаимодействий, квантование гравитации, космология, реляционная теория пространства-времени.

Введение

Мнения относительно даты рождения общей теории относительности (ОТО) разнятся. Одни предлагают отсчитывать рождение ОТО от публикации статьи А. Эйнштейна и М. Гроссмана в 1913 г., в которой была высказана основополагающая идея о том, что гравитация описывается искривлением пространства-времени. Другие склонны вести отсчет от конца 1915 г., когда Д. Гильбертом и А. Эйнштейном были записаны уравнения Эйнштейна. Так или иначе, но уже есть достаточно оснований подводить итоги достижений и неудач 100-летнего развития идей общей теории относительности и сформированной на ее основе геометрической парадигмы в физике.

Поскольку мне посчастливилось близко наблюдать и участвовать в развитии гравитационных исследований в стране и мире в течение более полувека, участвуя в 1961 г. в организации 1-й Советской гравитационной конференции и всех последующих, а также в ряде международных гравитационных конференций (в Варшаве – 1962 г., в Лондоне – 1965 г., в Тбилиси – 1968 г., в Копенгагене – в 1971 г. и ряде других), пришлось быть ученым секретарем, а затем заместителем председателя секции гравитации Минвуза

СССР, то позволю себе высказать свое мнение о современном состоянии исследований в этой области теоретической физики и об их перспективах.

Прежде всего, напомним, что следует различать три составляющие теоретической физики и, в частности, данного её раздела – теории гравитации: 1) фундаментальная теоретическая физика, имеющая дело с анализом, обоснованием и возможными изменениями оснований и принципов теории, 2) собственно теоретическая физика, в сферу которой входит развитие уже сформулированных принципов и закономерностей данной теории, и 3) прикладная теоретическая физика, в задачу которой входят предсказания и расчеты возможных эффектов данной теории.

Отметим, что на отечественных и международных гравитационных конференциях, регулярно проводимых в течение более полувека, традиционно выделяются следующие пять секций:

- 1) классическая теория гравитации;
- 2) обобщения эйнштейновской теории гравитации;
- 3) космология и релятивистская астрофизика;
- 4) квантование гравитации;
- 5) гравитационный эксперимент.

С точки зрения данной выше классификации теоретических исследований по трем составляющим, к фундаментальным следует отнести, во-первых, обобщения эйнштейновской теории гравитации и, во-вторых, квантование гравитации вместе с сопутствующими этой тематике вопросами. Ко второй составляющей (к собственно общей теории относительности) следует отнести секции классической теории гравитации и космологии, основанной на решениях уравнений Эйнштейна. К третьей составляющей естественно отнести секцию «гравитационный эксперимент» и релятивистскую астрофизику, поскольку в настоящее время она базируется на реальных астрофизических наблюдениях. При этом следует иметь в виду, что современные исследования в рамках третьей составляющей (прикладная теоретическая физика) всегда неявно опираются на гипотезы в рамках фундаментальной составляющей.

Рассмотрим отдельно названные три составляющие общей теории относительности (ОТО) и даже шире – всей геометрической парадигмы, ядро которой составляет ОТО.

1. Фундаментальные (парадигмальные) проблемы ОТО и ее обобщений

Начнем обсуждение с фундаментальной составляющей общей теории относительности. Этот раздел исследований вплотную сомкнулся с метафизикой [1].

1.1. Главная метафизическая проблема геометрической парадигмы

Следует особо подчеркнуть, что ОТО является не только теорией одного из четырех видов физических взаимодействий – гравитационного, ее соз-

дание ознаменовало создание новой метафизической парадигмы – геометрической, согласно которой весь окружающий физический мир следует понимать в виде различных проявлений искривленности пространства-времени [2].

Строго говоря, эта идея была высказана английским математиком В. Клиффордом, скончавшимся в 1879 г. – в год рождения А. Эйнштейна. Однако Клиффорд тогда имел в виду искривленность лишь пространства, а данная идея, причем лишь частично, могла реализоваться в виде содержательной теории лишь в рамках 4-мерного пространства-времени, что можно было осуществить только после создания специальной теории относительности (СТО) в начале XX в. Лишь тогда сложились условия для создания общей теории относительности и тем самым была открыта дорога для формирования новой (метафизической) геометрической парадигмы в физике.

В рамках общей теории относительности идею Клиффорда удалось реализовать лишь для геометрического описания гравитационного поля. Однако как Эйнштейну, так и другим исследователям было ясно, что с точки зрения идеологии геометрической парадигмы в общей теории относительности остро ощущалась необходимость геометризации, по крайней мере еще одного взаимодействия, медленно убывающего с расстоянием, – электромагнитного. Для решения этой проблемы предпринимались настойчивые попытки обобщить эйнштейновскую теорию гравитации так, чтобы возникающие при этом новые характеристики пространственно-временного многообразия можно было использовать для описания компонент электромагнитного поля.

Назовем наиболее серьезные из них.

1. Попытки Германа Вейля решить эту проблему увенчались важным математическим результатом, сравнимым с открытием первой неевклидовой геометрии в первой трети XIX века, – уже в 1918 г. он открыл *первую негерманову геометрию (геометрию с неметричностью или с сегментарной кривизной)*. Суть этой геометрии состоит в том, что в ней, в отличие от римановой геометрии, векторы (тензоры) при параллельном переносе меняют свою длину. Вейль попытался связать это свойство геометрии с наличием электромагнитного поля. Получилась достаточно любопытная теория, в рамках которой были введены и другие важные для физики понятия, такие как конформные преобразования, тензор Вейля и др. Однако анализ этой теории показал ее непригодность для геометризации электромагнетизма, по крайней мере в рамках геометрической парадигмы. (Идеи Вейля оказались плодотворными при построении калибровочной теории взаимодействий в теоретико-полевого парадигме.)

Следует отметить, что Вейль использовал частный, так называемый *вырожденный* случай геометрии с неметричностью, когда обобщенная ковариантная производная от метрического тензора представляется в виде произведения тензора и вектора. Вскоре А. Эддингтоном было показано, что для данной цели можно использовать общий случай геометрии с сегментарной

кривизной, однако и это в принципиальном плане не помогло решить данную проблему.

2. В 1922 г. математик Эли Картан сделал другое важное открытие в геометрии, сравнимое с открытием второй неевклидовой геометрии Риманом, – была обнаружена *вторая нериманова геометрия – с кручением*. Она характеризуется антисимметричной частью коэффициентов связности, то есть к символам Кристоффеля добавляется антисимметричный по двум нижним индексам тензор кручения. В такой геометрии нарушается всем известное из школьной программы правило параллелограмма при сложении векторов.

Известно, что Эйнштейн перепробовал множество вариантов единых теорий гравитации и электромагнетизма. В последние годы жизни с этой целью он исследовал геометрию с *несимметричной метрикой*, когда обобщенный метрический тензор представляется в виде симметричной и антисимметричной частей, где последнюю было предложено отождествить с тензором напряженности электромагнитного поля. Эту теорию можно понимать как специальный случай геометрии с кручением.

Другой вариант геометризации электромагнетизма через тензор кручения развивался в работах В.И. Родичева. Однако ни один из этих вариантов не привел к желаемым результатам.

3. Схоутоном на рубеже 1920–1930-х гг. был произведен анализ возможных *обобщенных дифференциальных геометрий* и было показано, что в самом общем случае такие геометрии характеризуются тремя тензорными величинами: сегментарной кривизной, тензором кручения и третьим схоутоном – разностью коэффициентов связности, определяющих параллельный перенос ковариантных и контравариантных тензоров. Насколько нам известно, третий схоутен практически не использовался в физических исследованиях, вероятно, по той причине, что он существенен в теориях, где отсутствует метрика, которая является ключевым понятием в физике и геометрии.

4. Нельзя не упомянуть исследования так называемых *финслеровых геометрий*, в которых метрика определяется не квадратичным выражением, как это принято в римановой геометрии, а более сложными соотношениями, например, кубичными, четвертой степени или с учетом векторов из расслоенного пространства. Начало этим исследованиям положил сам Б. Риман в середине XIX в., затем важный шаг в этом направлении был сделан Финслером в 1918 г. С тех пор эти исследования то возрождаются, то затихают. Пока не было предъявлено веских оснований для использования подобных геометрий, тем не менее ряд авторов надеется на перспективность данных исследований.

5. Наиболее успешным *вариантом геометризации электромагнитных взаимодействий оказалась 5-мерная теория Калуцы*, опирающаяся на 5-мерную риманову геометрию (с определенными условиями на дополнительную пятую координату). В ней электромагнитный векторный потенциал

описывается дополнительными (смешанными) компонентами 5-мерного метрического тензора.

В наших работах было показано, что аналогичным образом можно геометрически описать электрослабые и даже сильные взаимодействия, если далее увеличить размерность пространственно-временного многообразия до восьми [2; 3]. Однако теории электрослабых и сильных взаимодействий уже были построены раньше в рамках доминировавшей в XX в. теоретико-полевой парадигмы. Таким образом, геометризация электрослабых и сильных взаимодействий не дала ничего существенно нового; было лишь показано, что на ранее полученные результаты можно взглянуть под новым углом зрения – с позиций геометрической парадигмы.

Важно отметить, что в рамках геометрической парадигмы удастся описать лишь бозонные поля переносчиков взаимодействий: электромагнитное поле, поля Z - и W -бозонов, глюоны, – но не описываются фермионные частицы – источники взаимодействий. Их приходится либо вводить волевым образом в правую часть уравнений Эйнштейна (или в лагранжиан теории), либо использовать теории с суперсимметриями, где опять-таки фактически вводятся дополнительные размерности, описываемые своеобразными грасмановыми переменными.

В многомерных геометрических моделях физических взаимодействий дополнительные размерности существенно отличаются от четырех измерений, используемых в ОТО, – они компактифицированы, то есть замкнуты с чрезвычайно малым периодом. Это породило ряд новых принципиальных проблем типа: Сколько нужно использовать дополнительных размерностей? Почему в координатном пространстве «раскрылись» лишь четыре классические размерности, а остальные остались компактифицированными? Что является более первичным: многомерное импульсное пространство или координатное, частично «раскрытое», частично компактифицированное? и т. д.

Нельзя упомянуть ставшие в последнее время модными исследования многомерных теорий, где дополнительные размерности не являются компактифицированными. Эти теории исследуются не на предмет геометрического описания известных видов взаимодействий, а с целью найти какие-то новые физические проявления геометрических теорий.

Постепенно крепнет убеждение, что принципы, заложенные в основания общей теории относительности, а также ее классических обобщений в рамках геометрической парадигмы, за прошедшие годы уже в достаточной мере исчерпаны. Тем не менее ряд авторов пытается найти какие-то новые возможности, не учтенные классиками геометрической парадигмы. На наш взгляд, такие исследования имеют смысл поиска геометрической интерпретации тех или иных результатов, полученных в рамках иных метафизических парадигм.

1.2. На стыке двух метафизических парадигм: геометрической и теоретико-полевой

Другой круг принципиальных проблем оказался тесно связанным с принципиальной необходимостью совмещения принципов общей теории относительности с закономерностями квантовой теории. Трудно согласиться с тем, что эти две основополагающие теории современной физики никак не связаны друг с другом. На попытки решения этой проблемы в XX веке были затрачены огромные усилия. Над ее решением работали А. Эйнштейн, Дж. Уилер, Р. Фейнман, П.А.М. Дирак и многие другие классики теоретической физики прошедшего века. Но никому так и не удалось решить данную проблему. Главная причина неудач носит метафизический характер: дело в том, что общая теория относительности и квантовая теория построены в рамках разных метафизических парадигм. Первая из них (ОТО) – в рамках геометрической парадигмы, а вторая – в рамках теоретико-полевой, а решить проблему пытались в рамках одной из двух названных парадигм. Так, А. Эйнштейн, Дж. Уилер, Ю.Б. Румер и некоторые другие пытались это сделать в рамках геометрической парадигмы, тогда как П. Дирак, Р. Фейнман и многие другие пробовали это сделать в рамках теоретико-полевой парадигмы.

Напомним, что в теоретико-полевой парадигме материя описывается посредством полей, определенных на фоне готового пространства-времени, тогда как в геометрической парадигме, по образному определению Дж. Уилера, «пространство-время не есть арена для физики, это вся классическая физика» [4. С. 334].

Здесь физики столкнулись не с одной, а с комплексом из трех неразрывно связанных друг с другом проблем: законов сохранения энергии-импульса в искривленном пространстве-времени, определения гравитационных волн и проблемой квантования гравитации, причем сразу же следует отметить, что эти проблемы носят (метафизический) парадигмальный характер. Дело в том, что при рассмотрении этих проблем во главу угла ставят аналогию с теорией электромагнитного поля, а последняя была построена в рамках теоретико-полевой парадигмы, принципиально отличающейся от геометрической парадигмы.

Согласно аналогии с электромагнетизмом, гравитационная волна должна обладать энергией, которая передается ей при излучении и воспринимается детектором при ее поглощении. А раз так, то естественно постулировать, что в гравитационных процессах, как и в случае электромагнетизма, имеют место законы сохранения энергии-импульса. Однако оказалось, что в общей теории относительности невозможно корректно определить эти законы сохранения. Здесь возможны несколько позиций. Во-первых, законы сохранения связаны с симметриями пространства-времени, которые в общем случае не заложены в основания ОТО и других дифференциальных геометрий. Во-вторых, для определения сохраняющихся тензорных компонент их нужно снести в одну точку и только потом производить суммирование (ин-

тегрирование), однако в искривленном пространстве-времени результат переноса тензорных величин зависит от пути переноса и нет критерия выбора преимущественных путей переноса. В-третьих, законы сохранения следуют из равенства нулю частной дивергенции от тензора энергии-импульса, тогда как в ОТО частная дивергенция заменяется на ковариантную, которая уже не позволяет применить теорему Остроградского–Гаусса.

Отметим, что отсутствие законов сохранения энергии-импульса в ОТО не означает их нарушения. До сих пор никто не смог предъявить хотя бы проект эксперимента, способного показать нарушение законов сохранения. *Любую корректно поставленную задачу в рамках ОТО можно решить, не пользуясь законами сохранения*, Проблемы возникают лишь при попытках решать некорректно поставленные в рамках ОТО задачи, к каковым относятся попытки описания гравитационных волн или квантования гравитации.

Однако физики-теоретики, следуя вере в аналогию с электромагнетизмом и вообще в принципы теоретико-полевой парадигмы, предпринимали, вопреки логике ОТО, настойчивые попытки введения законов сохранения с помощью псевдотензорного подхода, который, во-первых, далеко неоднозначен и, во-вторых, приводит к ряду неизбежных недоразумений и проблем. Следует напомнить, что К. Меллер еще в 60-х годах сформулировал пять требований [5], которым должен удовлетворять псевдотензор гравитационного поля, и доказал теорему о невозможности построить из компонент метрического тензора выражение, удовлетворяющее этим требованиям.

Второй составляющей данной группы проблем является определение критерия волновых решений уравнений Эйнштейна. Эту проблему пытались решить многими способами [6]: посредством классификации Петрова пространств Эйнштейна, с помощью монадных методов задания систем отсчета (референционный подход), с помощью диадного метода и т.д. Однако ни один из этих способов не оказался состоятельным. Всегда оказывалось возможным предъявить заведомо неволновое решение, удовлетворяющее тому или иному волновому критерию.

В этих условиях большинство исследователей ограничивается случаем слабых гравитационных волн, то есть использованием линеаризованной гравитации. Однако в этом случае получают теорию тензорного поля второго ранга на фоне плоского пространства-времени, что фактически означает замену геометрической парадигмы на теоретико-полевую.

Третья составляющая блока парадигмальных проблем – квантование гравитации – также не была решена в XX в., несмотря на многочисленные предпринимавшиеся попытки, о чем уже было сказано выше. Здесь следует особо подчеркнуть тот факт, что фактически речь шла не о наличии волновых проявлений в гравитационных процессах, а о введении нового вида геометрической материи, обладающей свойствами электромагнитного излучения.

После многолетних неудач некоторые исследователи начали высказывать мысль, что для решения данной проблемы недостаточно использовать

понятия и закономерности привычных используемых парадигм, – необходимо использовать какие-то новые представления о свойствах физической реальности. Но какие? Ответ на этот вопрос опять имеет метафизический характер: необходимо перейти к некоей новой метафизической парадигме, в рамках которой можно было бы вывести принципы и понятия как квантовой теории, так и общей теории относительности. Такая задача ставилась, например, в работах Р. Пенроуза [7], который для ее решения стал развивать свою твисторную программу. Однако и эта программа столкнулась с рядом не преодоленных Пенроузом трудностей, поскольку он фактически оставался в плену существующих парадигм.

2. Достижения и проблемы общей теории относительности

Несмотря на неудачи в решении ряда фундаментальных проблем общей теории относительности, нельзя сказать, что исследования в этой области оказались бесплодными.

2.1. Математические проблемы общей теории относительности

Прежде всего следует признать, что общая теория относительности адекватно описывает физическую реальность в рамках Солнечной системы. На ее основе можно решать задачи движения планет и других объектов в окрестности Солнца или других звездных систем. Здесь важное значение имеет поиск решений уравнений Эйнштейна с учетом всех источников искривления пространства-времени, а также исследования уравнений движения различных объектов в найденных метриках.

За прошедшее столетие здесь получено немало важных результатов, среди которых следует назвать получение ряда точных решений уравнений Эйнштейна: метрики Шварцшильда, Райсснера–Нордстрема, Керра и др. В этих метриках достаточно подробно изучены движения пробных материальных объектов. На их основе, в частности, объяснены классические эффекты ОТО.

Конечно, в этой составляющей ОТО имеется много нерешенных задач технического характера. Среди них следует назвать поиск решений для более сложных распределений материи, рассмотрение уравнений движения не только пробных тел, а объектов с более сложной структурой (протяженных, вращающихся) и т.д. Все эти задачи имеют нетривиальный характер и нуждаются в привлечении современных математических методов вычислений. Здесь можно ожидать немало новых результатов, однако они будут иметь специальный математический или прикладной характер.

2.2. Ключевая роль методов задания систем отсчета

При решении задач ОТО необходимо иметь в виду, что эта теория принимает смысл, заключенный в ее названии, лишь при использовании мето-

дов задания систем отсчета в ОТО, и прежде всего – монадного метода [2; 8; 9].

После построения теории относительности и перехода к 4-мерному пространству-времени оказалось необходимым вспомнить, что мы воспринимаем мир (его наблюдаем) в терминах именно старых понятий пространства и отдельно времени, причем длины, промежутки времени и соответствующие компоненты тензорных величин оказались существенно зависящими от характера движения наблюдателя. Это заставляет развить обратную процедуру 1+3-расщепления обобщенной 4-мерной теории на 3-мерное пространственное сечение и 1-мерное ортогональное к нему направление времени, что осуществляется методами задания системы отсчета.

В специальной теории относительности (СТО) принято использовать квазидекартовы координатные системы и ограничиваться классом инерциальных систем отсчета, а переход от одной инерциальной системы отсчета к другой принято описывать при помощи линейных координатных преобразований с участием координаты времени – преобразований Лоренца. Однако в общей теории относительности, где допускаются произвольные (допустимые) координатные преобразования и рассматривается поведение систем в произвольных системах отсчета, в общем случае нельзя отождествлять переход от одной системы отсчета к другой с координатными преобразованиями. Такое отождествление часто приводило к ряду недоразумений.

Так, академик В.А. Фок неоднократно подчеркивал: «Понятие физической системы отсчета (лаборатории) не равносильно, в общем случае, понятию системы координат, даже если отвлечься от всех свойств лаборатории, кроме ее движения как целого» [10]. То же самое утверждал Н.В. Мицкевич: «Часто путают понятие системы отсчета и понятие системы координат. Однако между этими понятиями нет ничего общего...» [11]. Точнее, координатные преобразования можно связать с переходами между системами отсчета, однако это делается с помощью специальных условий (соглашений). Наиболее естественным (экономным) является монадный метод задания систем отсчета, развитый в 1950–1960-х гг. в работах А.Л. Зельманова, Н.В. Мицкевича, Э. Шмутцера и ряда других авторов. В математическом плане монадный метод задания систем отсчета (1+3-расщепления 4-мерного пространства-времени) оказался родственным методу 1+4-расщепления 5-мерной геометрической теории, предложенному в 30-х гг. в работе А. Эйнштейна и П. Бергмана.

Однако следует заметить, что долгое время методам задания систем отсчета не уделялось должного внимания. Так, уже в 1980-х гг. академиком А.А. Логуновым была предпринята попытка заменить ОТО на развиваемую в его группе так называемую релятивистскую теорию гравитации (РТГ). Одним из доводов необходимости замены был следующий: поскольку компоненты тензорных величин, на базе которых формулируется ОТО, существенно зависят от выбора координатной системы, а последние можно выбирать произвольно, то встает вопрос, что на самом деле может измерять экс-

периментатор. Однако в этих рассуждениях не были учтены уже развитые к тому времени монадные и другие методы задания систем отсчета, согласно которым измеримыми могут быть лишь скалярные величины, независимые от выбора координатных систем. По этой причине данные претензии к ОТО оказались безосновательными.

2.3. Проблемы космологии

Одной из побудительных причин развития исследований в рамках эйнштейновской теории гравитации явилась представленная в ее рамках возможность построения теории происхождения и эволюции Вселенной. Ранее этой проблемой занимались в рамках религиозных и философских учений, и вот возникла возможность на основе физической теории приступить к постановке и поиску конкретных решений таких всеохватывающих проблем мироздания. Другими словами, физикам представилась возможность возвыситься над достижениями мировых философско-религиозных учений! Это не могло не окрылить и не вдохновить многих ученых на исследования глобальных вопросов мироздания на основе точных решений уравнений Эйнштейна.

Исследования такого рода стали доминирующими в конце XX – начале XXI в., когда существенно расширились возможности астрофизических наблюдений. Появились данные, которые можно было трактовать не только как свидетельства расширения Вселенной (таковые были получены уже в конце 20-х гг.), но даже и об ускорении расширения, о реликтовом излучении, о возможной анизотропии и т.д. Стали интенсивно исследоваться гипотезы о существовании во Вселенной «черных дыр» и «кротовых нор». Стала проявляться неограниченная вера во всеобщую справедливость общей теории относительности, причем вопреки предупреждениям ряда выдающихся мыслителей. Например, В.А. Фок настойчиво подчеркивал: «Вообще любая физическая теория – пусть это будет даже теория тяготения Эйнштейна – имеет предел применимости, и неограниченно экстраполировать её нельзя. Рано или поздно становится необходимым введение существенно новых физических понятий, соответствующих свойствам изучаемых объектов и применяемым средствам их познания, а тогда выявляются и пределы применимости теории, притом возникают новые гносеологические вопросы» [12]. Аналогичной позиции придерживался и профессор Д.Д. Иваненко. Однако в настоящее время об этих предупреждениях предпочитают не вспоминать.

Тем не менее попытки распространения выводов ОТО на Вселенную в целом имеют важное значение в том смысле, что они могут способствовать выявлению пределов применимости эйнштейновской теории в больших масштабах. Как нам представляется, следует с осторожностью относиться к получившим в последнее время широкое распространение гипотезам о существовании «темной энергии» и «темной материи», которые по приводимым оценкам составляют примерно 96 процентов от существующей в мире материи. Ведь эти данные можно также расценивать как уже проявившиеся

свидетельства неприменимости ОТО для описания мира в таких масштабах. Более того, в настоящее время все более настойчиво высказывается мысль о том, что гипотеза о «темной материи» в галактиках может свидетельствовать об отклонениях даже от ньютоновского закона тяготения. Не случайно стали развиваться различные варианты так называемой теории МОНД (модифицированной ньютоновской динамики).

3. Прагматические ожидания от исследований в области ОТО

В XX в. далеко не все на первое место в исследованиях в области общей теории относительности ставили решение мировоззренческих проблем. Многие, особенно власть имущие, ожидали от этих исследований решения именно практических задач. Как уже отмечалось, автору посчастливилось оказаться в числе организаторов (техническим секретарем оргкомитета) и участником 1-й Советской гравитационной конференции в МГУ летом 1961 г. Именно в то время в нашей стране официально было признано, что общая теория относительности не является буржуазным идеалистическим учением, а является важной составной частью фундаментальных физических исследований. Это произошло после двух международных конференций по гравитации в США и во Франции, в которых приняли участие несколько советских ученых (академик В.А. Фок, профессора Д.Д. Иваненко и А.З. Петров). Эти конференции были вызваны ожиданиями зарубежной общественности того, что после больших успехов в ядерной физике (атомное оружие, электростанции), радиолокации и других областях науки последуют столь же грандиозные открытия в других разделах физики. Каких? Поскольку ядерная энергетика основывалась на формуле $E = mc^2$ из теории относительности, а Эйнштейн поддержал идею создания атомного оружия, в поле зрения попала общая теория относительности. Вернувшись с этих конференций, профессор Д.Д. Иваненко развернул бурную деятельность, призывая высокие инстанции активизировать в стране гравитационные исследования, дабы не оказаться отстающими от грядущих важных практических достижений в этой области в западных странах. Его призывы были услышаны и в высоких инстанциях было принято решение о проведении в Москве всесоюзной гравитационной конференции, а спустя год была создана секция гравитации научно-технического совета Минвуза СССР, призванная координировать гравитационные исследования в масштабе всей страны (см. [13]).

3.1. Гипотезы о следствиях ОТО в неволновой зоне

На этой конференции [14] состоялся обстоятельный обзор состояния гравитационных исследований в стране и за рубежом и были сформулированы основные практические ожидания от этих исследований, а таковых было немало. Перечислим главные из них: 1) выражались надежды на получение новых источников энергии из гравитационного вакуума, 2) обсуждались идеи о возможной антигравитации и о частицах с отрицательными мас-

сами, 3) выражались настойчивые ожидания обнаружения гравитационных волн, 4) предлагались новые эксперименты в неволновой зоне.

Кратко охарактеризуем судьбу этих ожиданий.

1) **Вопрос о получении энергии из гравитационного вакуума**, как и другие ожидания, был связан с попытками вульгарно-материалистической трактовки сущности общей теории относительности. Если пространство-время искривлено и это искривление ответственно за возникновение различных видов материи, обладающей энергией, то оно само представляет собой особую гравитационную субстанцию, также наделенную энергией. А если это так, то должны быть способы искусственного извлечения этой энергии из так называемого гравитационного вакуума. Тем более что раньше уже были опубликованы работы Дирака по теории частиц как дырок в вакууме и вообще идея вакуума была чрезвычайно модной в квантовой теории поля.

Так случилось, что профессор К.П. Станюкович, известный в военно-промышленных кругах своими работами в области теории взрывов и магнитной гидродинамики, убедил соответствующие инстанции в возможности решения данной проблемы. На эти исследования ему были выделены немалые средства, на которые была организована единственная в стране большая группа сотрудников, состоящая как из теоретиков, так и экспериментаторов, которая активно попеременно работала при ВНИИМСе и ВНИИФТРИ в 1960–1970-х гг. Сотрудники этой группы получили некоторые результаты в ОТО математического характера, однако ожидаемого прогресса в получении энергии из гравитационного вакуума так и не достигли.

2) **Идею о частицах с отрицательной массой** и о возможности антигравитации активно поддерживал профессор Я.П. Терлецкий. Для него был характерен принцип отрицания общепринятых постулатов в физике. Если в статистической физике утверждалось о существовании абсолютного нуля температуры, то Терлецкий развивал идею об отрицательных температурах. Если в специальной теории относительности говорится о предельной скорости света, то он развивал теорию тахионов – частиц, движущихся со сверхсветовой скоростью. То же самое им утверждалось относительно значений масс частиц. На эту тему он делал доклад на 1-й Советской гравитационной конференции. Замечу, что во время конференции состоялось выездное заседание в Объединенном институте ядерных исследований в Дубне. Сотрудники этого института выступили с опровержением этой гипотезы, поскольку она противоречила ряду принципов физики элементарных частиц.

Гипотеза отрицательных масс так и не нашла своего подтверждения ни у нас в стране, ни за рубежом, ни тогда, ни в последующие годы.

3.2. Проблема гравитационных волн

Проблема обнаружения гравитационных волн привлекала особо пристальное внимание как физиков-теоретиков, так и экспериментаторов. В экспериментальном плане также не удалось достичь положительных ре-

зультатов, несмотря на значительные усилия. Автору посчастливилось участвовать в 3-й Международной гравитационной конференции в Варшаве (1962 г.), на которой Дж. Вебер объявил о начале своих экспериментов по обнаружению гравитационных волн. Затем мы видели его в 1965 г. на 4-й Международной гравитационной конференции в Лондоне, куда он приехал утомленный из-за бессонных ночей, пытаясь на этой конференции объявить об открытии гравитационного излучения вездесущего происхождения. Но тогда ему это сделать не удалось. Наконец, мы видели его на 6-й Международной гравитационной конференции в Копенгагене в 1971 г., где Вебер объявил об открытии гравитационного излучения и даже говорил о направлении, откуда оно исходит, и о поляризации излучения. Тогда он ходил с высоко поднятой головой. Многие смотрели на него как на без пяти минут Нобелевского лауреата. Научный мир насторожился: ведь открытие гравитационных волн сулило человечеству необъятные перспективы. Во-первых, это сулило новый канал связи, не знающей преград, во-вторых, возник бы новый канал информации из космоса. Однако физики прекрасно знают, что открытие можно считать сделанным, если оно подтвердится независимыми экспериментами в ряде других лабораторий. Во многих лабораториях мира бросились повторять эксперимент Вебера. Первым на нужный уровень чувствительности вышел В.Б. Брагинский в МГУ, однако эксперимент показал отрицательный результат, – на этом уровне чувствительности гравитационные волны не наблюдаются. Затем необходимая чувствительность была достигнута в других лабораториях, и наблюдения дали также отрицательный результат. Открытие Вебера оказалось ложным.

В 1976 г. в Минске состоялась 4-я Всесоюзная гравитационная конференция, на которую приехали представители основных мировых экспериментальных групп по поиску гравитационного излучения. Выступавшие на конференции достаточно полно охарактеризовали сложившуюся на тот момент ситуацию в этой области. Все были согласны с тем, что гравитационное излучение пока не открыто. После одного из заседаний состоялась узкая дружеская встреча физиков-экспериментаторов и примкнувших к ним теоретиков. Завязался спор, когда будет открыто гравитационное излучение. Назывались разные цифры: через три года, через пять лет, через десять лет. Угадавшему правильную дату посулили ящик коньяка. А присутствовавший при этом профессор П. Бергман, сотрудничавший некоторое время с Эйнштейном, сказал: «А я думаю, – никогда!» Об этом мне рассказывал выступавший в этом споре в качестве рефери профессор М.Ф. Широков, причем он был полностью согласен с профессором Бергманом.

Примечательно, что и сам А. Эйнштейн, одним из первых заговоривший о гравитационных волнах, в конце жизни уже серьезно засомневался в их реальности. Об этом он писал в одном из своих писем Максу Борну: «Я вместе с одним молодым сотрудником получил интересный результат относительно того, что не существует волн гравитации, хотя в первом приближе-

нии все в этом были уверены. Это свидетельствует о том, что нелинейные общие релятивистские уравнения поля выражают или, наоборот, ограничивают значительно большее, чем об этом думали раньше. Если бы только не было столь гнусно искать строгие решения!» [15].

Таким образом, не оправдалось и это ожидание практических результатов от исследований в области общей теории относительности.

Заключение

Поскольку общая теория относительности признается как наиболее далеко развитая теория пространства-времени, то на конференциях и на других гравитационных форумах обычно рассматриваются идеи, касающиеся изменений общепринятых свойств классического пространства и времени не только в рамках геометрической, но также и в других парадигмах: теоретико-полевой и реляционной. Высказывалось немало идей. Среди них были различные варианты квантования пространства и времени, замена классических понятий на операторы, использование алгебры Галуа и т. д. На каком из вариантов остановиться?

Однако нельзя забывать, что на протяжении нескольких столетий продолжается дискуссия о выборе одной из двух концепций пространства и времени: субстанциальной или реляционной? Одни, в частности И. Ньютон, считали (и многие продолжают считать), что пространство и время являются самостоятельными сущностями (категориями), о которых можно говорить даже в отсутствии в них материальных объектов. Это фактически означает придание пространству-времени *субстанциальных* свойств с эфиром или без (плотности, упругости и т.д.).

Другой, *реляционный* подход к природе пространства-времени [16] состоит в том, что нет самостоятельной физической категории пространства-времени, оно представляет собой лишь удобную абстракцию от отношений (расстояний, промежутков времени, интервалов и т.д.) между событиями и материальными объектами. Такой позиции в разное время придерживались Г. Лейбниц, Р. Бошкович, Э. Мах, Ф. Хойл, Дж. Нарликар и ряд других естествоиспытателей.

Э. Мах писал: «Можно, пожалуй, сказать, что главным образом именно со времени Ньютона время и пространство стали теми *самостоятельными* и однако *бестелесными* сущностями, которыми они считаются по настоящее время... Для Ньютона время и пространство представляют нечто *сверхфизическое*; они суть *первичные*, независимые *переменные*, непосредственно недоступные, по крайней мере, точно не определяемые, направляющие и регулирующие все в мире. Как пространство определяет движение отдаленнейших планет вокруг Солнца, так и время делает *согласными* отдаленнейшие небесные движения с незначительнейшими процессами здесь на земле. <...> Этот взгляд лежит, как наследие Ньютона, в основе и современной физики, хотя, может быть, чувствуется некоторое нежелание открыто это признать»

[17]. Сделанное замечание не утратило своей актуальности и в наши дни. Так, общая теория относительности и весь геометрический подход к физическому мирозданию опирается на субстанциальную концепцию пространства-времени.

Реляционный же подход, согласно которому пространство и время имеют смысл системы отношений между событиями (телами), всегда был представлен в теоретической физике. Более того, нельзя забывать, что общая теория относительности была создана Эйнштейном на базе реляционных идей Э. Маха. Эйнштейн серьезно полагал, что, создавая ОТО, он реализует его взгляды. Несмотря на то что, создав ОТО, он отрекся от реляционных идей Маха, в конце жизни он высказывал сомнения относительно состоятельности общепринятых идей теории поля (а тем самым и всего субстанциального подхода). Так, в 1954 г. в письме к Бессо он писал: «Мне кажется вполне вероятным, что физику нельзя построить на полевой концепции, то есть на непрерывных структурах. В таком случае ничего не останется от всего моего воздушного замка, включая теорию гравитации, и от остальной физики» (цит. по [18. С. 347]).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Владимиров Ю.С.* Метафизика. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2002 – первое издание; 2009 – второе издание.
2. *Владимиров Ю.С.* Геометрофизика. (Второе издание) – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010.
3. *Владимиров Ю.С.* Пространство-время: явные и скрытые размерности. (3-е издание) – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012.
4. *Уилер Дж.* Гравитация, нейтрино и Вселенная. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1962.
5. *Møller Ch.* Ann. Phys., 1961, v. 12, p. 118; Math. Fys. Skr. Danske vid. Selskab. – 1961. – V. 1. – № 10.
6. *Захаров В.Д.* Гравитационные волны в теории тяготения Эйнштейна. – М.: Наука, 1972.
7. *Пенроуз Р.* Структура пространства-времени. – М.: Мир, 1972.
8. *Владимиров Ю.С.* Системы отсчета в теории гравитации. – М.: Энергоиздат, 1982.
9. *Владимиров Ю.С.* Классическая теория гравитации. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2014.
10. *Фок В.А.* Об основных принципах теории тяготения Эйнштейна // Современные проблемы гравитации: сб. – Тбилиси: Изд-во ТГУ, 1967. – С. 5.
11. *Мицкевич Н.В.* // Физическая наука и философия: сб. – М.: Наука, 1973. – С. 303.
12. *Фок В.А.* Квантовая физика и современные проблемы // Ленин и современное естествознание: сб. – М.: Мысль, 1969. – С. 200.
13. *Владимиров Ю.С.* Между физикой и метафизикой. Книга вторая «По пути Клиффорда-Эйнштейна». – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011.
14. Тезисы 1-й Советской гравитационной конференции. – М.: Изд-во МГУ имени М.В. Ломоносова, 1961.
15. *Эйнштейн А.* Переписка А. Эйнштейна и М. Бора / Эйнштейновский сборник. – 1972. – М.: Наука, 1974. – С. 26.

16. *Владимиров Ю.С.* Физика дальнего действия. Природа пространства-времени. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012.
17. *Мах Э.* Познание и заблуждение. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003. – С. 421.
18. *Визгин В.П., Кобзарев И.Ю., Явелов Б.Е.* Научное творчество и жизнь Альберта Эйнштейна // Эйнштейновский сборник 1984–1985. – М.: Наука, 1988. – С. 301–350.

GEOMETRIZATION OF THE UNOBSERVABLE AND THE GENERAL THEORY OF MECHANICS

Yu.S. Vladimirov

This article examines the present state of and future prospects for the development of research within the framework of the Einstein gravitation theory and its generalizations, i.e., within the framework of the entire geometric approach to physics. The achievements and problems in the three component parts of the geometric theory – its fundamental part, dealing with the foundations of the theory; the general relativity theory proper; and its experimental (applied) component part – are discussed. The conclusion is made that the principles underlying the general relativity theory and its classical generalizations have largely been worked out over the past hundred years, and today it is necessary to focus on the analysis of the theory of space-time and physical interactions within the framework of an alternative, relational paradigm.

Key words: general relativity theory, geometric paradigm, geometrization of interactions, quantization of gravitation, cosmology, relational theory of time-space.

ГЕОМЕТРИЗАЦИЯ НЕНАБЛЮДАЕМЫХ И ОБЩАЯ ТЕОРИЯ МЕХАНИКИ

А.П. Ефремов

*Институт гравитации и космологии
Российского университета дружбы народов*

«Геометрическое видение сущностей» рассматривается как один из основных методов исследования устройства мира. В качестве примеров обсуждаются физическая реальность временной координаты теории относительности и геометрические представления ненаблюдаемых элементов математики комплексных и гиперкомплексных чисел. В частности, вводится понятие 2D-ячейки – фрактального элемента физического пространства, неизменность которого при простых искажениях ячейки имеет своим следствием фундаментальное «условие стабильности». Детально описано, как условие порождает серию формулировок всех известных теорий механики: квантовой, классической и релятивистской; обычно рассматриваемые как практически отдельные эти теории в данном подходе составляют единую цепочку, связанную математической логикой.

Ключевые слова: геометрия; гиперкомплексные числа; квантовая, классическая, релятивистская механика.

В сознании человека физика и геометрия связаны неразрывно. В первую очередь потому, что так выстроена биологическая система человеческого восприятия и познания мира: из всех сенсорных устройств, обеспечивающих связь с внешней средой, самым мощным у здорового человека является зрение, которое передает в сознание формы, то есть геометрию, окружающих объектов. Пожалуй, и осязание немало добавляет к этому восприятию представление о материальности составляющих мира. И это всего лишь на бытовом уровне, который, впрочем, является базовым для зарождения и развития любой науки, в том числе и физики.

О картах и формулах

Но если уж говорить собственно о физике, причем физике любого уровня развития, включая самые точные измерения последних десятилетий, то здесь геометрия – уже в иной ипостаси – выходит на передний план. Я уже высказывался ранее на эту тему, но повторяюсь: сегодня все виды физических измерений на их конечном этапе сводятся исключительно к измерению длины. Имеется в виду, конечно, не собственно объект измерения – скорость частицы, напряженность силового поля или что-то иное – а непосредственный акт считывания показаний со шкалы прибора, даже в цифровом форма-

те. Хотя можно было бы на слух определять частоту звукового сигнала, на ощупь определять температуру тела, по запаху или на вкус – долю вещества в той или иной смеси. Но мы этого не делаем, потому что «первое чувство» – зрение оказывается самым точным инструментом измерения.

Есть еще один аспект геометризации физических объектов и сущностей, точнее, даже не геометризации, а визуализации, возможности увидеть. Увидеть – значит лучше понять, хотя это не всегда верно. Но, во всяком случае, иметь изображение объекта – значит иметь возможность многократно его рассматривать, анализировать, вникать в его сущность – но не только! Визуальное изображение существенно упрощает процесс передачи знания о данном объекте другим людям; без метода изображения существенно затрудняются процессы образования, фактически невозможной становится наука как явление общественное.

В качестве известного примера можно вспомнить, что изображение местности на одном листе современной топографической карты по количеству информации эквивалентно многостраничному тому, содержащему адекватное описание содержания такой карты. Понятно, однако, что топографические изображения значительно отличаются от реальных объектов, поскольку они в подавляющем большинстве имеют условный характер, и нужно иметь надлежащий опыт расшифровки, чтобы видеть в них натуральные черты изучаемой местности. Впрочем, обретение такого опыта – процесс недлительный и весьма не сложный. Гораздо больше труда и времени занимает получение куда более глубокого навыка «расшифровки картинок» – речь идет о понимании сути, заложенной в других криптограммах – математических формулах.

Оставаясь в рамках темы, я буду здесь иметь в виду только формулы, описывающие физические законы – те, об относительной точности которых люди более или менее договорились. Хотя на каком-то уровне рассуждений придется уйти в «метафизическую математику». Действительно, «хорошая» формула закона физики содержит в себе огромный объем информации. Так, одно из «наиболее концентрированных» выражений законов электродинамики $d^*da = j$, записанное в формализме дифференциальных форм, в тысячи раз короче изначальных развернутых формул тех же законов, впервые записанных Максвеллом во второй половине XIX в. Если же сравнивать с той же топографической картой уравнение Шредингера (длиной в четверть строки), то рядом с десятками и сотнями томов его описаний, решений и обсуждений одна книжка описания карты представляется бесконечно малой. Но об этом уравнении ниже.

Если задуматься, то математическое содержание (проверяемого на опыте) закона физики, записанное, как правило, в буквенных выражениях, тоже представляет собой не что иное, как зашифрованное геометрическое изображение, своего рода иероглиф, понимание сути которого доступно только носителям соответствующего специфического знания. Понятно, конечно, что «шифровальщики» – изобретатели символического языка математики –

представители земной цивилизации. Они предложили свои методы, термины и форматы записи и с годами «победили в конкурентной борьбе»: не флюксии Ньютона, но бесконечно малые Лейбница, не индийские, но арабские цифры, наконец, не египетские и не китайские иероглифы и даже не русские, но латинские и греческие буквы. Что же касается самой сути математических соотношений, то она оказывается универсальной для всего человечества, независимо от региональной или этнической принадлежности его групп.

Но вернемся к анализу формул – «геометрических картинок» законов физики. Из столетия в столетие история науки демонстрирует все большее внешнее упрощение, примитивизацию этих записей. Иногда говорят, что физики-теоретики редуцируют многостраничные системы своих уравнений к максимально компактным выражениям исключительно из соображений «наименьшего действия» (попросту – из-за лени). Возможно, здесь есть доля истины, но главное – другое, и это хорошо известно. Возможность компактификации уже известных и проверенных опытом формул позволяет «подняться над ползучей эмпирикой» и с высоты увидеть незамеченную в разрозненных записях новую общую закономерность. Так, Мопертюи в XVIII в. обнаружил, что эмпирический закон динамики Ньютона является следствием минимального значения функционала действия – введенной им некой абстрактной величины. С тех давних пор сотни тысяч публикаций уважаемых авторов в не менее уважаемых печатных изданиях посвящены тысячам «новых законов физики», у каждого из которых – свое персональное действие, придуманное автором. Другая знаменитая цепочка физических открытий за письменным столом: уравнения Максвелла, объединившие разрозненные законы электричества и магнетизма, – преобразования Лоренца, обеспечивающие инвариантность этих уравнений, – интервал пространства-времени, столь же лоренц-инвариантный и приведший к теории относительности Эйнштейна.

С того момента, когда у теоретиков стала получаться компактификация длинных формул, описывающих физические процессы и явления, началась эпоха открытия законов физики не за пультом экспериментальной установки, а над чистым листом бумаги, но притом – в глубинных недрах математики. Эксперименты ставили уже потом, чтобы подтвердить или опровергнуть теоретическое предсказание.

Возможно, это личное ощущение, но мне представляется, что тщательное изучение, даже просто осознанное наблюдение формулы «хорошего» физического закона («визуальный контакт» с ним) является одним из мощнейших инструментов «геометризации» физики в сознании исследователя. Такой визуальный контакт обнаруживает ассоциативные связи с иными математическими сущностями, может быть, виртуальными, еще не выраженными формально, но объективными и, как затем оказывается, – логически совершенными. Не знаю, насколько точно удастся передать этот процесс получения новых аналитических конструкций посредством интеллектуаль-

ного – но и интуитивного – погружения в математическую среду, но по опыту могу утверждать, что поиск новых связей математики и физики путем «настройки информационной антенны» исследователя оказывается весьма эффективным, и притом не слишком загадочным [1].

О гравитации и кривизне

Теперь несколько слов собственно о геометризации физических сущностей. Наиболее известный и широко обсуждаемый пример – гравитационное взаимодействие. Базируясь на гипотезе эквивалентности инертной и гравитирующей массы тела, Эйнштейн обнаружил, что в рамках созданной им теории относительности гравитационные силы могут интерпретироваться как следствие искривленности четырехмерного пространства-времени. Решения соответствующих уравнений эйнштейновской теории гравитации позволили объяснить и предсказать несколько кинематических эффектов движения планет, частиц света, динамики Вселенной, конечно, с определенной степенью точности и с целым рядом существенных упрощений, сегодня уже неудовлетворительных, с точки зрения некоторых наблюдательных данных. Не будем здесь приводить аргументы в пользу введения новых сущностей типа темной материи и темной энергии и затрагивать тему противоречий общей теории относительности (ОТО) и квантовой теории поля. Тем не менее теория гравитации Эйнштейна была, в известной степени, успешной, безусловно революционной, а главное – являла собой широкое поле для исследований. Все это, наряду с завораживающей красотой математики и экзотическими решениями, вызвало волну энтузиазма у нескольких поколений физиков, которые свято поверили в реальную кривизну мира.

Выскажу свое мнение на этот счет. Модель гравитации как кривизны, конечно, весьма привлекательна, но, скорее, как идея, нежели как физическая сущность. В чем смысл такого сомнения? Полезно вспомнить (специалистам, а неспециалистам – кратко опишу), что три известных опытных подтверждения состоятельности ОТО – смещение перигелия Меркурия, отклонение луча света в поле массивного тела и гравитационное красное смещение – следуют из решения Шварцшильда, описывающего эйнштейновскую гравитацию сферически симметричного тела в виде диагональной метрики. При этом потенциал классического ньютоновского закона «всемирного тяготения» в приближении слабого поля (в котором и рассчитываются все вышеперечисленные эффекты) входит как удвоенная величина в выражение временной компоненты метрического тензора пространства-времени. Подчеркиваю: знакомый из школьных учебников потенциал гравитации содержится в компоненте метрики, связанной с координатой геометрического времени.

Возникают два вопроса. Первый: существует ли геометрическое время как физическая сущность? Второй: есть ли иной «геометрический способ»

прийти к метрике с переменными коэффициентами и аналогичному выражению для гравитационного потенциала?

Обсуждая вопрос номер один, полезно вспомнить, что сам Эйнштейн в статье 1905 г., где, по сути, сформулирована специальная теория относительности, о геометрии не упоминает; четырехмерное пространство-время – это продукт Минковского. Но Минковский включил в свою геометрическую схему не просто временную координату, а мнимую временную координату. Говорят, что тем самым он всего лишь хотел сохранить знакопостоянную метрику – типа метрики Евклида, но в мире с большим числом измерений. Но скорее всего, Минковский сомневался в том, что время можно рассматривать как физическую сущность, и свою четырехмерную модель мира считал лишь моделью. Только позднее (вначале для удобства) евклидова метрика пространства-времени была заменена индефинитной, а координата времени – реальной переменной. Представляется, что именно этот чисто технологический шаг надломил барьер традиционно приземленного представления о физических объектах в психологии научных работников последующих лет; гравитация-геометрия искривленного пространства-времени добавила к этому разрушительному процессу, а еще чуть позже квантовая теория успешно добила физическое рации физиков теоретиков. (К слову сказать, сегодня никого из гравитационистов уже не смущают ни мнимые массы, ни отрицательные давления, ни замкнутые временноподобные линии – изучается и публикуется всё подряд; кризис жанра). Впрочем, я глубоко и искренне верю в известное лукавство высокоумных.

Однако вернемся к вопросу о геометрическом времени. Проживая в реальном мире, приходится заботиться о способах измерения его составляющих. Время измеряется двумя типами процессов: циклическим и линейным. С циклическим типом ясно: задается эталонный процесс, с которым сравниваются все иные. Что же касается второго типа, то новая возможность линейного измерения времени (помимо гномонов и водяных часов) появилась с введением электродинамической постоянной (по результатам опытов Вебера), идентификацией ее со скоростью света и эйнштейновским постулатом о ее фундаментальности. При этом значения интервала времени появляются как величина производная, полученная от деления измеренной пространственной длины на фундаментальную скорость. Это нормальный приземленный подход (хотя в реальности и не всегда осуществимый). Но вот варианты непосредственного измерения отрезка временной координаты что-то не припоминаются; так что наличие времени как физической сущности вызывает сомнение. Замечу, что эта точка зрения уже не раз обсуждалась со всеми возможными аргументами (см., например, статью [2], в также видеозапись доклада [3]). А прямым следствием проблем с координатой времени, является проблема с соответствующими метрическими коэффициентами. Впрочем, не известны методы физического детектирования и переменности пространственных (тем более смешанных – пространственно-временных) компонент метрики, ибо все заключения о физической кривизне мира явля-

ются косвенными, так как сводятся к анализу геометрии (в том числе девиации) автопараллельных линий.

Здесь можно было бы перейти к заданному выше второму вопросу. Однако ответ на него будет дан в самом конце этой работы (перед заключением), и этот ответ неожиданно оказывается положительным. Такой вывод следует после внимательного изучения криптограмм давным-давно известных формул законов физики (в том числе квантовой механики) и едва ли не всецелого погружения в математическую среду. Но сначала о неожиданных свойствах самой математической среды.

О геометризации ненаблюдаемых

С квантовой механики и начнем. Хорошо известно, что это – странная теория. Из физического мира, допускающего измерения, в ней остаются только характеристики частицы – масса, заряд, спин. Присутствующие же в уравнениях привычные пространственные координаты и параметр времени оказываются едва ли не чужеродными, поскольку в квантовой механике нет представлений о положении частицы, ее скорости, ускорении и траектории – всего того, что является предметом формулировки и решения «приемлемых здравым смыслом» задач классической механики. Следует акцентировать внимание также на том, что в квантовой механике нет и понятия силы, действующей на частицу, вместо нее в уравнение существенным образом входит внешний потенциал, то есть энергия, в физическом пространстве, как известно, непосредственно не измеряемая (следовательно, не наблюдаемая). Но самая удивительная и загадочная величина – та, что в идее описывает частицу, вернее, некоторое ее «состояние», зная которое можно некоторым образом найти все кинематические характеристики. В процессе осмысления эвристически возникшей абстрактной квантовой механики был предложен ряд интерпретаций «функции состояния», но ее смысл до сегодняшнего дня вызывает споры. Дело в том, что при вычислении наблюдаемых физических величин (то есть таких, которые можно измерить в трехмерном пространстве) приходится пользоваться своего рода квадратичными комбинациями этой функции, а такие фрактальные объекты – «корни квадратные» из обычной длины – ранее физике были чужды.

Была еще одна загадка. Базовое уравнение квантовой механики – уравнение Шредингера – внешне оказалось весьма похожим на уравнение Гамильтона-Якоби, одно из основных уравнений классической аналитической механики, содержащее в себе всю достаточную информацию о механике физического тела. Но, несмотря на явное сходство, «родственные связи» этих двух уравнений не просматривались, поскольку закон классической механики никак не получался из квантово-механического (см., например, [4]). В частности, и потому, что функция состояния квантовой механики непременно должна быть комплексным числом (точнее, комплексной функцией действительных переменных).

И если сделанные здесь предыдущие замечания связаны с поверхностным «осмыслением криптограммы» – анализом формата и содержания элементов уравнения Шредингера, то факт безусловной комплексности функции состояния перенаправляет вектор поиска в сущностную сферу математической среды ненаблюдаемых величин.

Дело в том, что возникшее в XVIII в. представление о мнимых (и комплексных) числах никак не связано с *наблюдаемой геометрией*, то есть оно не является отражением в сознании человека материального мира, но есть продукт «чистого разума». Отдавая себе отчет в том, что комплексные числа весьма необычны и желая представить их в наглядной форме, уже первые исследователи нашли их простые образы на поверхности – комплексной плоскости и сфере (Римана). Тем самым – для удобства понимания или под влиянием императива «максимального расширения мысли» – был осуществлен акт геометризации логической структуры, никак не следующей из окружающего мира. Последствия этого пионерского акта оказались еще более неожиданными. Проведенный уже в XXI в. анализ структуры комплексного числа, представленного не в традиционной «скалярной», а в простейшей матричной форме, выявил еще один его геометрический образ, имеющий вид так называемой конической пары. В этой модели комплексное число и ему сопряженные изображаются в виде двух взаимно перпендикулярных дисков, касающихся своими краями (окружностями) в одной точке и имеющих возможность вращаться на своих осях, также взаимно перпендикулярных и сходящихся к одной центральной точке. При этом поворот одного диска вызывает соответствующий поворот второго (рис. 1). Длина оси диска задает модуль числа, записанного в полярной форме, а угол его поворота – аргумент, или фазу, мнимый показатель экспоненты (см., например, [5]).

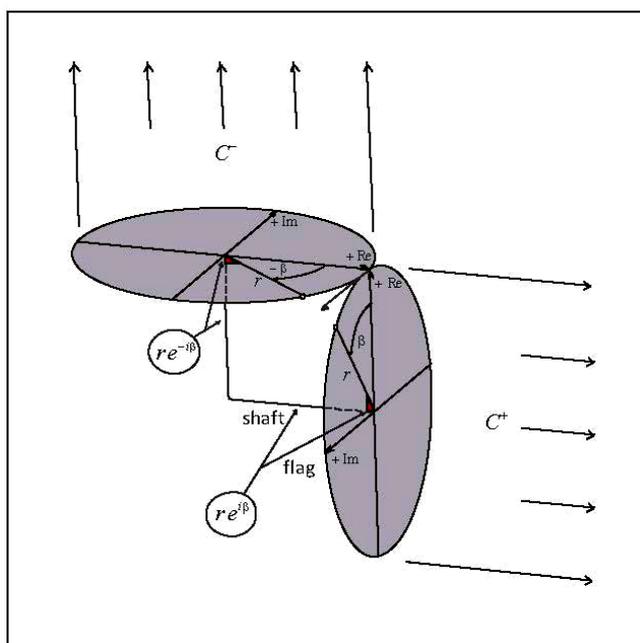


Рис. 1

В целом полученный объект представляет собой локальную область двумерного комплексного пространства – 2D-ячейку, реальное сечение которой (действительная плоскость) задается базисом – парой ортогональных и единичных векторов, направленных вдоль осей дисков. Такой базис называют диадой. При постоянном изменении фазы диски равномерно вращаются, реальные составляющие векторов базиса сокращаются, но возникают их мнимые составляющие, то есть площадка ячейки как бы перекачивается (мерцает) из действительного сектора в мнимый и обратно. Этот «макет» комплексного числа, очевидно, не слишком сложен даже в описании, и его совсем не трудно изобразить. И тем не менее, именно такая 2D-ячейка, как представляется, оказывается одним из базовых визуализируемых объектом как в математике, так и в физике.

Вначале о математике. Рассмотрим простейший случай, когда комплексное число унимодулярно; это означает, что длина оси каждого диска равна единице, то есть концы векторов диады определяют границу 2D-ячейки. Если из векторов одной такой диады построить все простейшие квадратичные комбинации в виде прямых произведений (а таких числовых комбинаций всего четыре), то – теперь внимание! – эти четыре числа оказываются базовыми единицами трех исключительных ассоциативных алгебр: действительных чисел, комплексных чисел и кватернионов. А несколько модифицированные квадратичные комбинации векторов той же диады представляют собой базовые единицы трех «плохих» ассоциативных алгебр (с делителями нуля) – алгебр двойных чисел, дуальных чисел и, конечно, бикватернионов.

Итак, прозвучало, пожалуй, главное: векторы диады 2D-ячейки – вполне визуализируемого объекта – математически оказываются своего рода «корнем квадратным» (фракталом), извлекаемым из единиц алгебр. Осталось только вспомнить, что три мнимых (векторных) единицы алгебры кватернионов еще со времен Гамильтона ассоциируются с тремя размерностями физического пространства. А если это так, то диаду 2D-ячейки можно рассматривать как фрактал физического пространства.

Однако в общем случае модуль комплексного числа отличен от единицы; тогда прежние квадратичные комбинации векторов диады уже не дают единиц алгебры (возникает метрический дефект). Следствием этого является нарушение правил умножения этих алгебр, а 2D-ячейка оказывается конформно растянутой. Однако визуальный образ комплексного числа – «коническая пара» – при этом не искажается, а преобразуется изометрически, с одинаковым удлинением осей каждого диска. Это наблюдение подсказывает простой способ устранения метрического дефекта, для этого нужно так «подредактировать» линейный масштаб картинки, чтобы с позиции наблюдателя «квадраты» векторов диады оставались единичными.

Ключевые слова здесь – с позиции наблюдателя; наблюдатель может находиться только в некотором внешнем по отношению к 2D-ячейке мире, в частности, в физическом трехмерном пространстве. Условие «редукции масштаба» оказывается очень простым: это нормализованный на единицу интеграл квадрата функции растяжения ячейки, определенный по объему внешнего пространства. И если этот интеграл есть функция свободного параметра, то единицы алгебр остаются таковыми «навечно» (в смысле параметра), когда подынтегральное выражение удовлетворяет уравнению типа непрерывности, включающему произвольный «вектор движения» 2D-ячейки во внешнем пространстве. Задача решена: хотя при растяжении 2D-ячейки метрический дефект «внутренне» существует, но с точки зрения наблюдателя, во внешнем пространстве он «сглаживается», остается незаметным. Существенно, что все величины, входящие в обсуждаемые соотношения, как и сами эти соотношения, являются чисто математическими; они никак не связаны с физикой, только с геометрическими и алгебраическими сущностями, поэтому все величины здесь безразмерны (не измеряются ни в каких физических единицах).

Но метафизическая взаимосвязь геометрии и физики такова, что описанные выше чисто математические манипуляции с ненаблюдаемыми субгеометрическими объектами, направленные, главным образом, на «сохранение масштаба картинки», неожиданно оказываются исходными позициями «общей теории механики», в которой логически последовательно возникают все известные до настоящего времени уравнения – квантовой, классической и релятивистской механики частицы.

Не вдаваясь в тонкости расшифровки криптограмм математических формул, представим общую логическую линию и основные пункты теории, неожиданно возникшей из попытки представить визуальный образ ненаблюдаемых объектов. (Тем же, кто заинтересуется строгими математическими формулировками, порекомендую статью, находящуюся в процессе издания [6].)

Общая теория механики в тезисах

Представленное здесь (пока не окончательное) словесное изложение теории содержит основные разделы (обозначены римскими цифрами), этапы развития теории (обозначены символами S-№) и главные пункты (обозначены символами P-№). Описанные выше начальные, чисто математические этапы развития теории вошли в данное изложение в пунктах P-1-P-7.

I. ПРЕДГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ 2D-ЯЧЕЙКА И УСЛОВИЕ СТАБИЛЬНОСТИ АЛГЕБР

S-1. Структура алгебраических единиц

P-1. Все базовые единицы ассоциативных алгебр чисел действительных, комплексных, двойных, дуальных и (би)кватернионов можно представить как квадратичные комбинации (прямые произведения) векторов одной диа-

ды – двумерного базиса, заданного на 2D-ячейке (локальной области) некоторой фундаментальной поверхности.

P-2. Три векторные (мнимые) единицы ассоциативной алгебры максимальной размерности (кватернионов и бикватернионов) геометрически эквивалентны направляющим векторам декартовой системы координат в 3D-пространстве. Скалярная единица (всех вышеназванных алгебр) геометрически эквивалентна метрике плоской 2D-ячейки.

P-3. Если 3D (физическое) пространство и объекты в нем ассоциируются с понятием «геометрия», то фундаментальная поверхность и объекты на ней (в том числе, 2D-ячейка, диада) могут ассоциироваться с понятием «предгеометрии» (термин Дж.А. Уилера [7]), поскольку «длина» векторов диады есть специфический корень квадратный (фрактал – в смысле дробной размерности) из длины 3D-пространства. С точки зрения 3D-пространства векторы диады являются спинорами.

S-2. Преобразования 2D-ячейки

P-4. Простейшее преобразование [SU(2)] векторов диады приводит к тому, что площадка 2D-ячейки «перекачивается» из реального сектора в мнимый с некоторой фазой; это мерцание не изменяет метрики, но соответствующая 3D-триада поворачивается на угол, равный двойной фазе. 2D-мерцание (следовательно, 3D-поворот) не нарушает размера единиц и правила умножения алгебр.

P-5. Посредством конформного преобразования диады мерцающую 2D-ячейку можно также растянуть; это вносит дефект 2D-метрики, изменяет длину вращающейся 3D-триады, что нарушает правила умножения алгебр.

S-3. Внешнее (абстрактное) пространство и условие стабильности алгебр

P-6. Задание интеграла, нормализующего квадрат диады в объеме некоторого абстрактного M-мерного пространства (в частности, 3D-пространства), сглаживает дефект 2D-метрики, и, с точки зрения наблюдателя во внешнем пространстве, восстанавливает единицы и правила умножения алгебр.

P-7. Правила умножения алгебр сохраняются «навсегда» в смысле свободного параметра, если нормализующий интеграл, рассматриваемый как функция этого параметра, постоянен; это «условие стабильности алгебр» приводит к уравнению типа непрерывности, включающему в его дивергентную часть некоторый «вектор движения» 2D-ячейки (propagation vector).

II. ПРЕДГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ УРАВНЕНИЯ МЕХАНИКИ

S-4. Варианты вектора движения и предгеометрические эквиваленты условия стабильности

P-8. Вариант 1. Если вектор движения 2D-ячейки – градиент фазы мерцания, то уравнение непрерывности распадается на два комплексно-сопряженных спинорных уравнения, каждое из которых является математическим эквивалентом уравнения Шредингера (уравнение 1).

P-9. Вариант 2. Если вектор движения, кроме градиента фазы, включает векторное поле, то уравнение непрерывности распадается на два эрмитово-сопряженных спинорных уравнения, каждое из которых является математическим эквивалентом уравнения Паули (уравнение 2).

P-10. Вариант 3. Если абстрактное пр-во является 3D-сечением 4D-пространства с метрикой Минковского, то из уравнения непрерывности следует спинорное уравнение типа уравнения Клейна–Гордона (уравнение 3).

S-5. Физические единицы и уравнения квантовой механики

P-11. Для перехода к физике внешнее пространство считается 3D-физическим пространством, а поскольку все математические уравнения и величины безразмерны, вводятся (микро)стандарты физической длины и времени. За единицу длины принята комптоновская длина волны (постоянная Планка, деленная на массу электрона и скорость света), единица времени – та же длина волны, деленная на скорость света.

P-12. Функция конформного растяжения 2D-ячейки трактуется как «относительная полуплотность массы» (фрактальная плотность), тогда в принятых физических единицах нормализующий интеграл приобретает смысл определения массы частицы.

P-13. Чисто математические уравнения 1, 2 и 3 в физических единицах становятся в точности уравнением Шредингера, Паули и Клейна–Гордона; из последнего разными способами можно получить фрактальные уравнения типа уравнения Дирака.

S-6. Разделение действительной и мнимой частей математического уравнения 1 (Шредингера)

P-14. Разделение уравнения 1 на действительную и мнимую части приводит к системе, аналогичной системе уравнений Бома [8]. Если при изменении аргументов все функции этой системы изменяются «одинаково быстро», то в физических переменных эта система эквивалентна уравнению Шредингера.

P-15. В особом случае, когда функция растяжения диады изменяется быстро («внутри» 2D-ячейки), а фаза мерцания изменяется медленно («вне» 2D-ячейки, в лаборатории), действительная часть системы Бома становится математическим эквивалентом уравнению сохранения массы, а мнимая часть системы распадается на статическое уравнение распределения фрактальной плотности и математический эквивалент уравнения Гамильтона–Якоби (уравнение 4).

P-16. Формат уравнения 4 с необходимостью предполагает, что математическим эквивалентом функции действия классической механики является фаза мерцания 2D-ячейки. Тогда в физических переменных уравнение 4 в точности становится уравнением Гамильтона–Якоби.

III. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ УРАВНЕНИЯ МЕХАНИКИ КАК СЛЕДСТВИЯ ПРЕДГЕОМЕТРИЧЕСКИХ

S-7. Уравнения механики Ньютона

P-17. Фаза мерцания 2D-ячейки вычисляется как функционал на отрезке свободного параметра, подынтегральное выражение которого следует из уравнения 4. Требование минимального значения фазы приводит к чисто математическому «динамическому» уравнению (уравнение 5).

P-18. В физических единицах уравнение 5 становится в точности уравнением динамики Ньютона, подынтегральное выражение функционала становится функцией Лагранжа классической механики частицы, а фаза мерцания оказывается функцией действия, измеренной в единицах постоянной Планка.

S-8. Предгеометрический и геометрический образ частицы

P-19. Предгеометрический образ частицы (проточастица, функция состояния квантовой механики, волновая функция) – мерцающая растянутая 2D-ячейка; в физических единицах – это 2D-ячейка, фрактальная плотность массы которой при изменении фазы «перекачивается» из действительного сектора в мнимый.

P-20. Соответствующий геометрический (лабораторный) образ частицы – материальная точка (масса в малом объеме с размером стандарта длины), в центр которой вморожена триада единичных векторов, способных вращаться; при этом угол поворота триады равен удвоенной фазе мерцания 2D-ячейки; половине угла поворота триады пропорциональна функция действия с множителем в виде постоянной Планка (рис. 1).

S-9. Релятивистская частица и «спиральная версия» специальной теории относительности

P-21. Если частица вращается (с удвоенной частотой мерцания 2D-ячейки) и движется в 3D-пространстве, то точка на ее границе (предельная точка – на половине стандарта длины) описывает спиральную линию. Предельная точка свободной частицы описывает регулярную (правильную) спираль.

P-22. Скорость предельной точки считается всегда максимальной (скорость света); тогда разность квадратов элемента дуги спирали и малого пути частицы есть интервал пространства-времени специальной теории относительности.

P-23. Геометрический смысл интервала в этом случае – элемент длины дуги, описываемой предельной точкой в собственной системе отсчета частицы; если частица свободна, то скорости ее движения и вращения не изменяются, следовательно, длина дуги постоянна (отсюда инвариантность интервала пространства-времени).

P-24. Диаграмма Минковского получается из обсуждаемой модели, если цилиндрическую спиральную линию, описываемую предельной точкой свободной частицы, развернуть на плоскость. Иными словами, спиральная ли-

ния оказывается «четвертым» (или временным) измерением теории относительности; здесь это пространственная линия, но она действительно дополняет три измерения пространства, в котором задается вектор скорости частицы. Данную версию теории относительности можно назвать “spring theory” (теория пружины).

P-25. Вычисление (из формулы интервала) половины угла собственного поворота частицы (фазы мерцания 2D-ячейки) в физических единицах дает в точности известное выражение для действия релятивистской частицы; при этом спиральность частица с неизбежностью оказывается левой (триада частицы вращается по правилу левого винта).

S-10. Нерелятивистское приближение и формулы де Бройля

P-26. При переходе к нерелятивистскому пределу из полученной формулы интервала пространства-времени свободной частицы автоматически следуют (выводятся) известные выражения энергии и импульса частицы через постоянную Планка; при этом функция свободной проточастицы оказывается в точности волной де Бройля.

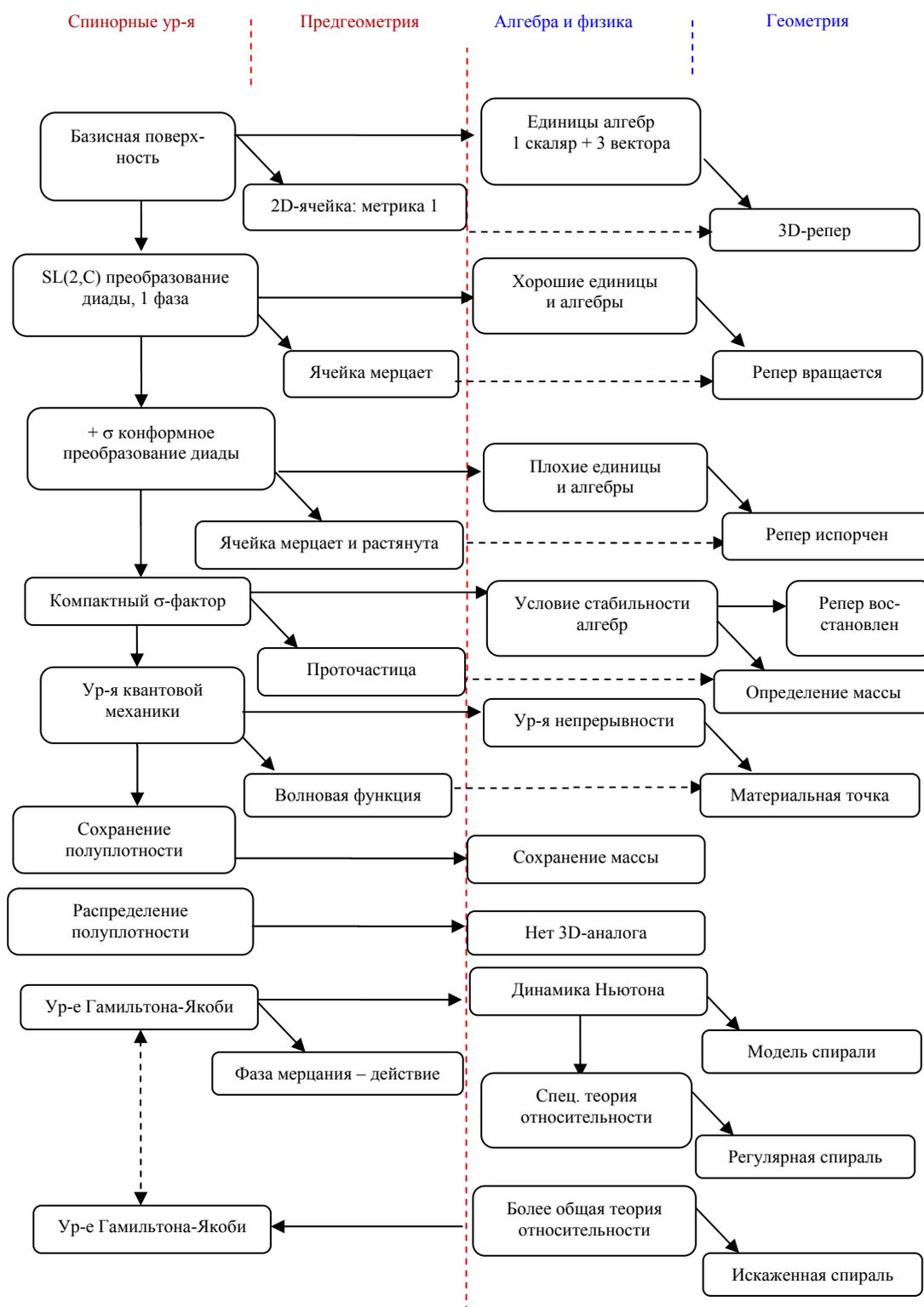
P-27. Как следствие выведенных соотношений классических и квантовых величин энергия покоя свободной частицы оказывается энергией ее собственного вращения.

S-11. Искаженная спираль и «более общая» теория относительности

P-28. Если частица несвободна, то ее предельная точка, очевидно, должна описывать нерегулярную спираль: искривленную и сжатую. Запись линейного элемента такой искаженной спирали приводит к формуле интервала «пространства-времени» с диагональной метрикой, имеющей переменные коэффициенты (как в общей теории относительности). При этом переменность шага спирали (сжатие) описывается временной компонентой, а кривизна траектории (оси спирали) – пространственными компонентами метрики. Динамика частицы в этом случае описывается уравнением экстремальной (геодезической) линии.

P-29. Нерелятивистским приближением формулы первой степени «пространственно-временного» интервала с неизбежностью оказывается классическое уравнение Гамильтона–Якоби (полученное здесь из другой логики) с геометризованным потенциалом внешней силы – частью временной компоненты метрики. Существенно, что здесь геометризованная сила может иметь произвольную природу (необязательно гравитационную).

Логическая карта «общей теории механики»



Заключение

Сегодняшняя человеческая цивилизация переживает трудные времена. Мир все более и более насыщается информацией самого разнообразного качества, и носителям частных информационных систем все сложнее «отсекать лишнее». Поток наукообразных фантазий, пустых выдумок и чьих-то ночных кошмаров несется с экранов, из наушников, с фундаментальной скоростью пронизывает эфир и летит по оптоволоконным сетям. Как сопротивляться этому нашествию? Какие фильтры позволяют выделить главное в бушующем информационном океане, и если ли вообще в нем фарватер?

Я полагаю, что есть и, поскольку здесь речь идет о науке, постараюсь остаться в рамках темы. Один из самых надежных, проверенных опытом поколений фильтров – здоровый консерватизм. Действительно, если есть общепринятые, проверенные практикой точки зрения, то зачем что-то еще? Бритва Оккама вот уже 700 лет как срезает никчемные сущности. Что касается физики, то в ней есть безусловные реперные точки – незыблемые законы Ньютона, Максвелла, Больцмана, Эйнштейна, наконец, Шредингера. Все замечательно вычисляется, конструируется и строится, корабли плавают, ракеты летают, связь работает, деньги печатаются. Этого достаточно. А если некие чудачки будут слишком уж суетиться с новыми идеями, мы напомним им, что у вечного огня великих научных достижений всегда кружились мотыльки. Этот фильтр очень эффективен, но он и безжалостно жесток: консерваторы зря включают в свой список Больцмана. Кроме того, включая такое мышление, мы все откладываем на завтра, а жизнь коротка. Но главное, консерватизм в науке – это уже своего рода религия. Ее основа – научная вера, а на эту тему сказано и написано достаточно.

В современной физике, на мой взгляд, есть и иной фильтр, позволяющий отсеять ошибки и фантазии. Несложно догадаться, что это инструмент математики. Но помимо контрольных функций, математика, будучи исключительно идеальной сущностью, расширяет возможности поиска новых физических реальностей. Однако, как и со сложной экспериментальной установкой, с ней следует обращаться осторожно. Она может увести далеко от физической реальности, и иногда (хочется сказать – зачастую) именно это и происходит. Так, на последней Российской гравитационной конференции (Казань, июль 2014 г.), в которой участвовали почти 200 исследователей, я пожелал, чтобы их изыскания непременно подтверждались на опыте. Это пожелание вызвало дружный, хотя и не очень веселый смех.

Но математика может вести за собой, как нить в лабиринте неизведанного. Именно такой случай тезисно описан в этой небольшой статье. Единая логическая линия, как нить, пронизывает и одновременно связывает между собой все разделы «общей теории механики» – от квантовых и классических спинорных уравнений до физических уравнений механики Ньютона и уравнений динамики релятивистской частицы. Уже немного привыкшего к этой теории автора, тем не менее, до сих пор изумляет сам факт того, что никак не связанные с физикой равенства, призванные сохранить некие фундамен-

тальные свойства геометрических и алгебраических конструкций, оказались не чем иным, как эмпирически открытыми сотни лет назад законами, управляющими объектами физического мира. Конечно, представленная теория в ряде деталей заметно противоречит устоявшимся взглядам, например, в трактовке квантовой волновой функции или исходного объекта теории относительности, и это – источник вызовов консервативному мышлению.

Целый ряд аспектов этой вынырнувшей из математики «универсальной механики», как представляется автору, стали заметным достижением. Среди них – возможность увидеть ранее загадочные абстрактные (но полезные) объекты в геометрических формах. В первую очередь, здесь выделяется фундаментальная поверхность и ее нагруженная «полуплотностью» массы ячейка, как куколка в бабочку, превращающаяся в частицу при переходе из фрактального мира в физический. И уж совершенно непредсказуемым оказался следующий из модели такой частицы вариант «спиральной» теории относительности, в которой инвариантность «пространственно-временного» интервала является не эвристическим постулатом, а естественным геометрическим следствием. Стоит упомянуть и аналитический вывод серии известных соотношений между классическими и квантовыми величинами. Конечно, эти соотношения получаются только в выбранной системе физических стандартов длины и времени; но это означает, что стандарты выбраны верно: ведь прежде данные соотношения вводились не иначе как предположения. Наконец теория, пожалуй, впервые дает геометрический образ «главного факела вечного огня великой физики» – функции действия классической механики. Введенная четверть тысячелетия назад, эта сущность до последнего времени оставалась абсолютной математической абстракцией. «Теория механики» утверждает, что абстрактное действие – это половина угла вращения точечной частицы вокруг своей оси; при этом человеку не виден ни размер частицы, ни сама ось, ни, конечно, сам этот угол вращения. Но теория настаивает, что он есть, и более того, что этот угол, равный функции действия, есть также фаза мерцания совсем уже не видимой фрактальной поверхности, которая также имеет геометрический образ.

Удивительное возникновение известных эмпирических и эвристических уравнений механики из глубин математической среды, аналитический вывод известных соотношений классической и квантовой механики, серия неожиданных геометрических образов абстрактных величин и объектов – все факты, объединившиеся в «общей теории механики», вряд ли можно считать случайным совпадением. Помимо логического заключения на этот счет у автора есть и некое метафизическое ощущение справедливости этого предположения.

А что касается практической пользы этой теории, то она может оказаться ключом к открытию новых представлений и методов, эффективно используемых при построении физико-теоретических моделей. Тогда как резервы пока еще правящего бал метода изобретения лагранжианов, как представляется, практически исчерпаны.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ефремов А.П.* Метафизика кватернионной математики // Метафизика, Век XXI: сб. – Т. 2 (под ред. Ю.С. Владимирова). – М.: Бином, 2007. – С. 223–269.
2. *Ефремов А.П.* «Природа пространства-времени // Основания физики и геометрии: сб. – М.: РУДН, 2008. – С. 6–22.
3. Интернет-сайт: URL: http://www.youtube.com/watch?v=UuzkDdNCew4&index=20&list=PLO_mgs762HSBiVSMM6yyZT1_I-XCSImMf
4. *Блохинцев Д.И.* Основы квантовой механики. – Изд. 5-е. – М.: Наука, 1970. – С. 136.
5. *Yefremov A.P.* Conic Gearing Image of a Complex Number and a Spinor-Born Surface Geometry // Gravitation & Cosmology. – V. 17. – 2011. – No 1. – P. 1–6.
6. *Yefremov A.P.* Structured Relativistic Particle, Helix-Type Minkowski Diagram, and More General Relativity // Gravitation & Cosmology. – V 20. – 2014. – No. 3.
7. *Wheeler J.A.* Pregeometry: motivations and prospects // Marlov A.R. (ed.), Quantum Theory and Gravitation (New York, Academic Press), 1980. – P. 1–11.
8. *Bohm D.* A suggested interpretation of the quantum theory in terms of “hidden” variables // Phys. Rev. – 85. – 1952. – P. 166–179.

GEOMETRIZATION OF NON-OBSERVABLES AND THE GENERAL THEORY OF MECHANICS

A.P. Yefremov

The main object in question is “geometric vision” regarded as a tool for better understanding the world. As meaningful examples reality of time dimension in relativity theory is discussed, and various geometric representation of non-observable elements of complex and hypercomplex numbers math are analyzed. In particular notion of 2D cell is introduced as fractal element of 3D physical space, whose stability under simple transformation of the 2D cell leads to a fundamental condition. It is described in detail that this condition represents a basement giving origin to all known mechanical theories, those of classical, quantum and relativistic mechanics; usually regarded as somewhat separate, these theories now become tightly linked within the chain of mathematical logics.

Key words: geometry; hypercomplex numbers; quantum, classical, relativistic mechanics.

ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ТЕОРИИ ГРАВИТАЦИИ

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ, КОНСТАНТЫ И ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ МЕТРОЛОГИЯ

В.Н. Мельников

*Центр гравитации и фундаментальной метрологии Всероссийского
научно-исследовательского института метрологической службы,
Институт гравитации и космологии
Российского университета дружбы народов*

Обсуждаются основные проблемы современной физики и метрологии, в частности гравитации и космологии: объединение физических взаимодействий и роль гравитации в этом объединении как одной из недостающих частей; современного ускоренного расширения Вселенной; вариаций фундаментальных констант и планируемого перехода на новые определения единиц СИ, основанные на фундаментальных константах. В решении этих проблем отмечена важная роль подхода построения интегрируемых многомерных моделей гравитации и космологии, развитого автором и его коллегами. Эти модели являются низкоэнергетическим пределом теорий объединения взаимодействий. Получены и проанализированы новые инфляционные решения, как с наблюдаемым ускоренным расширением Вселенной, так и с вариацией констант, а также несингулярные космологические решения. Описано сформулированное автором новое направление – гравитационно-релятивистская метрология, а также экспериментальные и наблюдательные данные по вариациям констант и проблемы перехода на новые определения единиц СИ, основанные на фиксированных значениях фундаментальных констант.

Ключевые слова: гравитация, космология, объединение взаимодействий, темная энергия, вариации констант, гравитационно-релятивистская метрология, новые определения единиц СИ.

Введение

Основными фундаментальными проблемами современной физики и метрологии, гравитации и космологии, в частности, являются:

- объединение всех известных физических взаимодействий и роль гравитации в этом объединении;
- наблюдаемое современное ускоренное расширение Вселенной, (Riess et al., 1998; Perlmutter et al., 1999); темная энергия и темная материя;
- возможные вариации фундаментальных физических констант (ФФК);
- переход на новые определения СИ, основанные на ФФК.

После периода изучения отдельных физических взаимодействий в предыдущем столетии в последние десятилетия основным направлением развития физики является тенденция к объединению четырех известных типов взаимодействий: гравитационного, электромагнитного, слабого и сильного [1-3]. В настоящее время теория единых электрослабых взаимодействий имеет надежное экспериментальное подтверждение в многочисленных экспериментах с элементарными частицами на ускорителях, и существуют хорошо разработанные и в основном подтвержденные модели ее объединения с сильными взаимодействиями (так называемая Теория Большого Объединения). Основная проблема в объединении четырех взаимодействий связана именно с гравитационным взаимодействием. До сих пор, в отличие от других фундаментальных взаимодействий, нет адекватного варианта квантовой теории гравитации, существуют и другие проблемы – проблема сингулярного состояния в космологии, при коллапсе сверхмассивных объектов и др.

Когда было сделано революционное открытие (1998 г.) в успешно прогрессирующей благодаря космическим аппаратам наблюдательной космологии – ускоренное расширение Вселенной в современную эпоху [4; 5], возникла еще более серьезная проблема, связанная с существованием темной (невидимой) материи (ТМ) и темной энергии (ТЭ), обеспечивающей это ускоренное расширение. Прецизионные данные этих наблюдений неплохо описываются космологической моделью с трехмерным плоским пространством и с ускорением Вселенной в современную эпоху при наличии в ней ТМ (около 26 %) и ТЭ (около 70 %) от полной плотности энергии. Что такое ТМ и ТЭ (более 94 %), мы не знаем! Делаются многочисленные попытки их объяснения, пока не приведшие к успеху. Это введение:

- космологической постоянной Λ (вакуум, универсальное поле отталкивания, его природа неизвестна);
- особых, тоже неизвестных, скалярных полей, называемых квинтэссенцией, к-эссенцией и других с экзотическим эффективным уравнением состояния;
- введение дополнительных измерений и др.

Третья фундаментальная проблема, связанная с двумя предыдущими и связанная с фундаментальной метрологией – это проблема стабильности ФФК или их возможных вариаций во времени и пространстве [6–12].

Новые открытия в квантовой физике (эффект Джозефсона и квантовый эффект Холла) позволили создать принципиально новые методы и средства измерений и сформировать новое направление в метрологии – квантовую метрологию. Применение приборов квантовой электроники (мазеров, лазе-

ров, комб-генераторов), атомных интерферометров и использование современных релятивистских теорий (в частности ОТО) резко повысило точность пространственно-временных измерений как на очень малых масштабах, так и на масштабах Земли и космоса.

Гравитационно-релятивистская метрология

В результате сформировалось ещё одно направление – гравитационно-релятивистская метрология (ГРМ) [1]. Оно возникло благодаря быстрому росту точности измерений:

- эталонов времени-частоты, неопределённости которых 10^{-15} – 10^{-16} ,
- угловых измерений с помощью радиоинтерферометров со сверхдлинной базой (РСДБ) на уровне 10^{-4} – 10^{-5} угловой секунды,
- радарных измерений расстояний до планет с неопределённостью порядка метров,
- лазерной локации Луны (ЛЛЛ) на уровне долей сантиметра,
- детекторов гравитационных волн с чувствительностью 10^{-20} – 10^{-22} и др.,

а также благодаря:

- распространению прецизионных измерений на большие расстояния (вне Солнечной системы),
- тенденциям в современной физике к созданию теорий объединения (ТО) взаимодействий и, следовательно, возможной связи между ФФК.

Основными направлениями ГРМ являются:

1. Разработка гравитационно-релятивистских моделей пространственно-временных измерений для РСДБ, миллисекундных и двойных пульсаров, радарных и лазерных измерений спутников и планет в ближнем и дальнем космосе. Разработка пульсарной шкалы времени. Использование двойных пульсаров как лабораторий для проверки фундаментальных физических теорий.

2. Измерения абсолютного значения G , других ФФК и их возможных вариаций. Их использование для перехода на новые определения единиц СИ, основанные на ФФК, и для проверки обобщенных теорий гравитации и теорий объединения (ТО) взаимодействий [3; 6].

3. Теоретические исследования теорий гравитации и ТО физических взаимодействий с возможными вариациями ФФК, например, скалярно-тензорных теорий (СТТ) [3; 8], теорий с произвольной зависимостью от кривизны – $f(R)$ [7], где R – скалярная кривизна, многомерных теорий [13–15] и др.

4. Разработка гравитационных экспериментов нового поколения, в особенности космических, для проверки как теории гравитации Эйнштейна и ее обобщений, так и ТО [2; 16; 17] с использованием метрологических средств высшей точности, в частности исследование эффектов кручения, эффектов вращения и эффектов второго порядка по v/c . Это, например, прецессия

Лензе–Тирринга. Она проверена с помощью лазерной локации спутников Лагеос и спутника Gravity Probe B только на уровне 1 %. Это проверка:

– принципа эквивалентности (ПЭ), гравитационного закона обратных квадратов (Ньютона) в диапазоне м и порядка 10 нм, а также на расстояниях, превышающих размеры Солнечной системы;

– возможных временных вариаций G , α , m_e/m_p и других констант;

– применения эталонов времени-частоты и других высокоточных устройств (атомная, молекулярная, нейтронная интерферометрия, атомная спектроскопия) в фундаментальных гравитационных экспериментах, особенно в космосе;

– применения атомной интерферометрии для точного определения значения G , детектирования гравитационных волн, проверки возможного нарушения локальной лоренц-инвариантности (ЛЛИ) и слабого ПЭ, создания абсолютных гравиметров и др.;

– получения новых данных по постньютоновским параметрам γ и β , характеризующим возможные отклонения теорий гравитации от ОТО в центрально-симметричном гравитационном поле (пока, по данным КА «Кассини», они следующие: $\gamma - 1 \leq 2,3 \times 10^{-5}$, $\beta - 1 \leq 5 \times 10^{-4}$) и по параметру СТТ Бранса-Дикке, обобщающей ОТО ($\omega_{\text{BD}} > 40000$).

5. Исследование космологических моделей и измерение космологических параметров («констант» в современную эпоху) с целью изучения фундаментальных свойств материи и получения ограничений на классы фундаментальных теорий, в частности изучение проблем ТЭ и ТМ [10]. Наиболее точные данные по космологическим параметрам (данные спутника WMAP): полная средняя плотность $0,98 < \Omega_{\text{tot}} < 1,08$, параметр Хаббла сегодня $H_0 = 0,72$, плотность ТЭ $\Omega_{DE} \sim 0,7$, плотность ТМ $\Omega_{DM} \sim 0,26$, плотность барионов $\Omega_B \sim 0,04$, плотность излучения $\Omega_R \sim 5 \cdot 10^{-5}$, параметр уравнения состояния $w = p/\rho < -1$. Данные этих, как и других наблюдений, постоянно уточняются.

Все это делает актуальным исследование того, как современные проблемы фундаментальной физики и их решения могут отразиться на фундаментальной метрологии и ФФК и, конечно, наоборот.

Исследования предыдущего столетия в области гравитации были посвящены главным образом теоретическим исследованиям и экспериментальной проверке общей теории относительности и альтернативных теорий тяготения с сильным уклоном на связь между явлениями макро- и микромира, или, другими словами, между классическим тяготением и квантовой физикой.

Так как все попытки проквантовать общую теорию относительности обычным способом не дали результата, и было доказано, что она ненормируема, стало ясно, что наиболее адекватный путь – объединение всех физических взаимодействий. Это и произошло в 70-х гг. XX в. И приблизительно в это же время начались экспериментальные исследования в сильных полях и гравитационных волн, что дало новый импульс в теоретических ис-

следованиях таких объектов, как пульсары, черные дыры (ЧД), кротовые норы (КН), квазары, активные ядра галактик, ранняя Вселенная и т. д., которые продолжают и теперь.

В настоящее время, когда мы думаем о самых важных направлениях развития в физике, мы можем предвидеть, что исследования в области гравитации и космологии будут важны не только сами по себе, но и как недостающее звено в проблеме объединения всех существующих физических взаимодействий.

Следующее поколение гравитационных экспериментов, проверяющих предсказания объединенных теорий, необходимо и в экспериментальных областях.

Среди них: спутники MICROSCOPE и STEP для проверки краеугольного камня в основании ОТО – ПЭ, SEE (Satellite Energy Exchange) [16; 17] – для проверки закона тяготения Ньютона (или новых ньютоновых взаимодействий), возможных изменений ньютоновой постоянной G со временем и абсолютного значения G с беспрецедентной точностью, лазерная локация Луны (LLR), КА PLANCK и др. Все эти эксперименты станут тестами не только самой теории Эйнштейна, но и объединенных моделей физических взаимодействий [2]. Конечно, проблема гравитационных волн, проверка эффектов кручения и вращения 2-го порядка по v/c и в сильных гравитационных полях также остается важной.

Мы можем предсказать также, что тщательное исследование самой гравитации и в рамках объединенных моделей даст в следующем столетии и тысячелетии даже больше для нашей повседневной жизни, чем электромагнитная теория дала нам в двадцатом столетии после очень абстрактных фундаментальных исследований Максвелла, Пуанкаре, Эйнштейна и др., которые никогда не мечтали о таких огромных приложениях их работ [3].

Другая очень важная особенность, которую можно предвидеть, это увеличивающаяся роль фундаментальных исследований физики, гравитации, космологии и астрофизики, в частности, в космических экспериментах [2]. Уникальная окружающая среда – микрогравитация и современное бурное развитие технологий создают почти идеальное место для гравитационных экспериментов, которым мешают на Земле её относительно сильное поле тяготения и поля тяготения соседних объектов вследствие того, что нет способов экранировки гравитации.

В развитии релятивистского тяготения и динамической космологии после А. Эйнштейна и А. Фридмана мы можем выделить три стадии:

1) сначала исследование теорий и моделей с источниками в виде идеальной жидкости, как было первоначально сделано Эйнштейном и Фридманом;

2) исследования моделей с источниками в виде различных физических полей, начиная с электромагнитных и скалярных в классических и квантовых случаях, что актуально и теперь;

3) применение идей и результатов объединенных моделей для рассмотрения фундаментальных проблем космологии и физики ЧД, особенно при высоких энергиях, и для объяснения самого большого вызова современной физике – существующего ускорения Вселенной, проблем ТМ и ТЭ [13].

Многомерные гравитационные модели играют существенную роль в последнем подходе. Необходимость изучения многомерных моделей гравитации и космологии мотивирована несколькими причинами [14; 15].

Во-первых, главная тенденция современной физики – объединение всех известных фундаментальных физических взаимодействий: все они используют дополнительные измерения, но мы все ещё не имеем хорошей модели, объединяющей все четыре взаимодействия.

Во-вторых, многомерные гравитационные модели, так же как СТТ гравитации, являются теоретическими подходами для описания возможных временных и пространственных вариаций ФФК. Эти идеи идут от ранних работ Е. Милна (1935) и П. Дирака (1937) о связях между явлениями микро- и макромира, и до сих пор они тщательно исследуются как теоретически, так и экспериментально.

Наконец, применяя многомерные гравитационные модели к основным проблемам современной космологии и физики ЧД и КН, мы надеемся найти ответы на такие давние проблемы, как [10]:

- сингулярное или несингулярное начальное состояние Вселенной;
- рождение нашей Вселенной, её массы и энтропии;
- космологическая постоянная;
- совпадение ТМ и ТЭ одного порядка;
- происхождение инфляции и определенных скалярных полей, которые могут быть необходимыми для ее реализации, выход из неё;
- изотропизация;
- стабильность и природа фундаментальных констант;
- устойчивая компактификация дополнительных измерений и др.

Принимая во внимание, что многомерные гравитационные модели являются определенными обобщениями ОТО, которая проверена надежно в слабых полях на уровне 10^{-4} – 10^{-5} и частично в сильных полях (двойные пульсары), весьма естественно задаться вопросом об их возможных наблюдательных или экспериментальных проявлениях.

Из того, что мы уже знаем, среди них:

- возможные отклонения от закона Ньютона и закона Кулона или новые взаимодействия;
- возможные изменения эффективной гравитационной постоянной по времени со скоростью на 3 и более порядка меньшей, чем хаббловское;
- возможное существование монополярных мод в гравитационных волнах;
- различное поведение объектов в сильных гравитационных полях типа многомерных ЧД, КН и р-бран;
- изменения стандартных космологических тестов;

– возможное несохранение энергии в сильных полях и ускорителях, если идеи мира на бране верны и т.д.

Нами реализована программа получения точных решений многомерной гравитации и космологии с различными источниками, выделены инфляционные, несингулярные, с современным ускоренным расширением и др. [13–15].

Впервые получено сигма-модельное представление в многомерной модели гравитации с полями форм и цепочкой пространств Эйнштейна, открывшее новый метод получения решений в многомерной космологии и гравитации. Получено семейство космологических и сферически-симметричных решений с бранами в случае цепочки риччи-плоских пространств и одного пространства Эйнштейна, которые описываются уравнениями типа цепочек Тода. Для этой модели получено уравнение типа Уилера–Де Витта и найдены его точные решения для стандартных (ортогональных) правил пересечения бран. Развита бильярдная модель в многомерной космологии с многокомпонентной анизотропной жидкостью (в классическом и квантовом случаях).

Предложен квантовый бильярдный подход в D -мерной модели гравитации с m полями форм. В этом подходе рассмотрено уравнение Уилера–ДеВитта и получено его асимптотическое решение, которое определено с помощью спектральных функций для оператора Бельтрами–Лапласа на бильярде (с условиями Дирихле на границе) в многомерном пространстве Лобачевского. Рассмотрены примеры бильярдов при $D = 4$ ($m = 3$) и при $D = 11$ ($m = 120$).

Для класса многомерных теорий гравитации с действием, нелинейным по кривизне, сформулирован новый метод построения моделей космологических и локальных конфигураций, основанный на приближении медленных (в планковском масштабе длины и времени) изменений. С использованием этого метода описан механизм стабилизации размеров дополнительных измерений в ходе космологической эволюции; получены изотропные (в нашем пространстве) космологические модели, описывающие эволюцию Вселенной от ранней инфляционной стадии до современного ускоренного расширения в согласии с наблюдательными данными; предложен механизм появления поля Хиггса и других бозонных полей Стандартной модели из дополнительных пространственных измерений; получены примеры космологических моделей, описывающих одновременно ускоренное расширение Вселенной и наблюдаемые вариации постоянной тонкой структуры («австралийский диполь»).

Так как современная космология уже стала уникальной лабораторией для проверки объединенных моделей физических взаимодействий при энергиях, которые намного превышают энергии, достижимые существующими и будущими ускорителями и другими устройствами на Земле, существует возможность использования космологических и астрофизических данных для выбора между будущими теориями объединения.

Данные относительно возможных изменений G во времени или возможных отклонений от закона Ньютона как новые важные тесты должны также внести свой вклад в выбор объединенной теории и выбор жизнеспособных космологических моделей [10].

Фундаментальные физические константы

В физических теориях, физических законах мы встречаемся с константами, которые характеризуют стабильность различных типов процессов и видов материи. Эти константы важны, так как они проявляются независимо в разных ситуациях и имеют одно и то же значение, по крайней мере в пределах современных точностей измерения. Более того, на данный момент они не могут быть вычислены через другие величины. Именно поэтому они называются фундаментальные физические константы (ФФК) [6; 18].

Строго определить это понятие и набор ФФК не представляется возможным, потому что константы, в основном размерные, присутствуют в определенных физических теориях. В процессе научного прогресса некоторые из этих теорий заменяются более общими со своими константами. При этом возникают соотношения между старыми и новыми константами и получаются ограничения на область применения старых теорий. Поэтому мы можем говорить не об абсолютном наборе ФФК, а только о наборе, соответствующем современному уровню науки [2; 3].

Как уже отмечалось, в настоящее время основным направлением развития физики является тенденция к объединению четырех известных типов взаимодействий.

Действительно, до создания единой теории электромагнитного и слабого взаимодействий С. Вайнбергом и А. Саламом и разработки некоторых теорий Великого объединения – ТВО (электрослабого и сильного взаимодействий) в качестве набора ФФК рассматривались:

$$c, \hbar, \alpha, G_F, g_s, m_p \text{ (или } m_e), G, H, \rho \text{ (или } \Omega), A, k, I,$$

где c – скорость света в вакууме, \hbar – постоянная Планка, m_p и m_e – массы протона и электрона; α , G_F , g_s и G – константы электромагнитного, слабого (Ферми), сильного и гравитационного взаимодействий, а H , ρ и A – космологические параметры (постоянная Хаббла, средняя плотность материи во Вселенной и космологическая постоянная), k и I – постоянная Больцмана и механический эквивалент тепла. Последние две играют в основном роль переводных множителей между температурой, с одной стороны, и энергией и механическими величинами – с другой, хотя, например, постоянная Больцмана k играет также большую роль в теории информации, термодинамике, проблеме энтропии, ЧД и др.

После утверждения в 1983 г. нового определения метра, связанного с определенной длиной волны света λ (а не с платино-иридиевым стержнем, как это было ранее), эту роль частично играет также и скорость света c ($\lambda = ct$). Теперь ее можно также рассматривать и как переводной множитель

между единицами времени (частоты) и длины, так как она определяется с абсолютной (нулевой) погрешностью измерений (набор констант сложился до 1970-х гг.).

В настоящее время теория единых электрослабых взаимодействий имеет надежное экспериментальное подтверждение и существует в основном хорошо разработанная и подтвержденная теория ее объединения с сильными взаимодействиями – ТВО, или стандартная модель (СМ). Имеется также хорошо проверенная в масштабах Солнечной системы (на уровне 10^{-4} – 10^{-5}) теория гравитации Эйнштейна (общая теория относительности – ОТО) и основанная на ней стандартная космологическая модель (СКМ, или Λ CDM-модель с космологической постоянной и холодной материей). При этом наиболее предпочтительным является уже следующий набор ФФК [6]:

$$\hbar, c, e, m_e, \theta_W, G_F, \theta_C, A_{КХД}, G, H, \rho \text{ (или } \Omega \sim 1), \Lambda, k, I.$$

Здесь e – заряд электрона, θ_W – угол смешивания Вайнберга, θ_C – угол Кабиббо, $A_{КХД}$ – параметр обрезания в теории сильных взаимодействий – квантовой хромодинамике, Ω – отношение плотности энергии во Вселенной ρ к критической плотности, определяющей тип космологической модели Фридмана: $\Omega = 1$ для модели с плоским пространством, $\Omega < 1$, для открытой модели и $\Omega > 1$ – для закрытой, причем модель с $\Omega = 1$, по данным наблюдений, пока предпочтительна. Как мы видим, во втором наборе ФФК константы, связанные с макроскопическими явлениями (гравитационная, космологические), остаются такими же, как и в первом наборе.

Конечно, СМ, ОТО и СКМ не лишены недостатков. В каждой из них имеются нерешенные проблемы, решение которых может привести к появлению соответствующих обобщенных теорий и, следовательно, других фундаментальных констант, а также к новым связям между ними. Так, константы, относящиеся к макроскопическим явлениям (гравитационная, космологические), в некоторых теориях объединения взаимодействий (например, многомерных, использующих идеи существования дополнительных измерений пространства-времени помимо четырех стандартных), могут быть связаны друг с другом и с константами микрофизики (e, h, m и др.) [13–15].

В последнее время появились экспериментальные факты, подтверждающие необходимость выхода за рамки СМ, ОТО и СКМ. К таким фактам относятся подтверждение существования нейтринных осцилляций и ненулевых масс нейтрино, а также в космологии, как мы уже говорили, – обнаружение новых видов физических субстанций – ТМ и ТЭ.

Необходимо отметить, что даже в рамках СМ остается нерешенным ряд проблем [19], таких как дальнейшее экспериментальное подтверждение существования хиггсовских частиц после открытия на Большом адронном коллайдере (БАК) бозона Хиггса, а также конфайнмента кварков и глюонов, суперсимметричных частиц и др. Возможно, часть этих проблем будет решена при помощи данных, полученных в дальнейших экспериментах на БАК в ЦЕРН (Швейцария) при активном участии российских ученых.

Конечно, если будет создана объединенная теория всех четырех известных сейчас взаимодействий, а на эту роль за последние десятилетия претендовали различные схемы: супергравитация, суперсимметрия, суперструны, а сейчас ещё не созданная М-теория, включающая модели супергравитации и суперструн, то, возможно, возникнет другой – третий набор, связанный с этой теорией. Фундаментальной константой может стать, например, число измерений D , необходимое для объединения всех взаимодействий (в струнных и суперструнных моделях используют $D = 26, 11, 10$, в других ТО – 5, 6, 7, 8), а также само число фундаментальных взаимодействий. Например, многомерные модели типа «мира на бране» предсказывают отклонения от закона Ньютона на малых масштабах порядка нескольких микрометров и менее, или новые неньютоновские взаимодействия [2; 9; 20], хотя простейшие модели типа Рендал–Сундрема не подтверждаются экспериментами на основе эффекта Казимира.

Точность определения ФФК весьма различна. Наиболее точно измеренной константой была и остается скорость света в вакууме. Когда существовали отдельные эталоны единицы времени и длины (до 1983 г.) она была измерена с неопределенностью 10^{-10} . Сейчас она считается (по определению) заданной с нулевой неопределенностью, а именно $c = 299792458$ м/с, относительная стандартная неопределенность $u_r = 0$ (точно). Микроскопические (атомные) константы e, \hbar, m известны с $u_r \sim 10^{-7} - 10^{-8}$; G – с $u_r \sim 10^{-4}$ (и даже более, см. далее); θ_W с $u_r \sim 10^{-3}$.

Еще более сложная ситуация сложилась с космологическими константами, которые стали определяться в последнее десятилетие намного точнее: H известно с точностью порядка 2 %, средняя плотность материи во Вселенной оценивается с точностью до процентов, а для космологической постоянной, значение которой в современную эпоху ранее считалось весьма малой или даже нулем, самые последние оценки дают значение (по эффективной плотности энергии), превышающее плотность материи во Вселенной, хотя и одного с ней порядка. Это так называемая проблема совпадений. Но осталась и другая проблема, связанная с космологической постоянной. Если она существует, то из квантовых соображений (модель физического вакуума) в ранней Вселенной она должна была быть очень большой, в 10^{120} раз больше, чем в настоящее время, и разумных механизмов такого её уменьшения пока нет.

Что касается природы ФФК, можно отметить несколько подходов к ее объяснению [1; 2]. Одна из первых гипотез принадлежит Дж.А. Уилеру: в каждом новом цикле развития Вселенной ФФК возникают заново вместе с новыми физическими законами, определяющими ее эволюцию в данном цикле. Тем самым ФФК и физические законы связаны с рождением и эволюцией Вселенной.

Менее глобальный подход к природе размерных ФФК предполагает, что они необходимы, чтобы сделать физические соотношения безразмерными или что они являются мерой асимптотических состояний. Действительно, в

релятивистских теориях скорость света обычно проявляется в виде отношения v/c , где v – скорость объекта. В то же время скорости всех тел не превышают скорости света c , так что она играет роль предельной скорости. Такой же смысл предельных величин имеют и ряд других ФФК: \hbar – минимальный квант действия в квантовой теории, e – минимально возможный наблюдаемый заряд (электрона) и т.п. G – наиболее универсальна, так как гравитация действует на все тела и она не экранируема.

Наконец, некоторые ФФК или их комбинации могут рассматриваться как естественные масштабы, характеризующие основные единицы физических величин: времени, длины, массы, которые в принципе достаточны для описания всех физических явлений. Такими масштабами (единицами) могут быть, например, планковские масштабы: длины $L \sim 10^{-33}$ см, массы $m_L \sim 10^{-5}$ г и времени $\tau_L \sim 10^{-43}$ сек, которые определяются как комбинации в некоторых степенях только из c , \hbar и G , связанных с основными физическими законами и теориями (Максвелла, квантовой теорией, Ньютона, Эйнштейна).

Другая интересная и широко обсуждаемая проблема, связанная с ФФК, – почему их значения лежат в весьма узком интервале, необходимом для возникновения и существования жизни на Земле (для стабильности атомов, времени жизни звезд главной последовательности, к которой принадлежит и Солнце, современной температуры Земли, существования океанов и т.п.). Есть несколько возможных и пока до конца не убедительных объяснений. Во-первых, это чисто случайно, что мы живем именно в таком мире и с такими ФФК, хотя вероятность этого факта ничтожна среди всех возможных наборов констант. Во-вторых, жизнь может существовать, по-видимому, и в других формах и для других наборов ФФК, о которых мы не знаем. В-третьих, любые другие наборы ФФК могут реализовываться в других вселенных, кроме нашей. Наконец, но, может быть, не в последнюю очередь, существует некоторый космический процесс тонкой настройки ФФК, приводящий к их современным значениям в течение долгой эволюции, возможно, через прохождение многих циклов развития Вселенной и т.п.

Что касается классификации ФФК, то их можно условно разделить на четыре группы по степени общности.

1. Универсальные ФФК, такие как постоянная Планка \hbar , которая разделяет все процессы и явления на квантовые и неквантовые (микро- и макромиры) и, до определенной степени, c , которая разделяет все движения и процессы на релятивистские (близкие к скорости света) и нерелятивистские (намного меньше c).

2. Константы различных физических взаимодействий, такие как α , θ_W , $A_{КХД}$, и G .

3. Константы элементарных составляющих материи, такие как m_e , m_p и т.п.

4. Переводные множители, такие как k , I и частично c .

Конечно, разделение на эти классы не является абсолютным. По мере развития науки многие ФФК переходили из одного класса в другой. Напри-

мер, e сначала был зарядом единичного объекта – электрона (класс 3), затем он стал характеризовать класс 2 (электромагнитное взаимодействие, $\alpha = e^2/\hbar c$ в комбинации с \hbar и c); скорость света c успела побывать почти во всех классах: из 3-го (скорость определенного объекта – света) перешла в класс 1 (предельная скорость всех типов движения), а затем частично и в 4-й (связь единицы времени-частоты с единицей длины). Некоторые константы перестали быть фундаментальными (например плотности, магнитные моменты и т. п.), так как они стали вычисляться через другие ФФК.

Что касается числа ФФК, то явно проступают две противоположные тенденции: число старых ФФК обычно уменьшается, когда возникают новые, более общие теории, но в то же время появляются новые области науки, новые процессы, виды материи, при которых появляются и новые константы. Тем не менее, возможно, мы придем к некоторому минимальному набору, характеризующему одной или несколькими ФФК, например связанному с так называемыми планковскими параметрами L , m_L , τ_L , составленными из c , \hbar и G . Роль этих параметров важна, так как $m_L c^2$ характеризует энергию объединения четырех известных типов фундаментальных взаимодействий: сильного, слабого, электромагнитного и гравитационного, а L характеризует масштаб, при котором классические понятия пространства и времени теряют свой смысл [9]. Существуют некоторые соображения в пользу того, что ТО взаимодействий приведут к уменьшению числа истинно фундаментальных констант до двух размерных констант – c и струнной длины λ_s (Veneziano, 2002) или ни одной (Duff, 2002), что на самом деле означает, что все они становятся переводными множителями.

Важную роль ФФК играют в создании системы единиц измерений и в их реализации – эталонах единиц основных физических величин, что, в свою очередь, составляет основу современной метрологии [19]. В 1832 г. Гаусс впервые измерил магнитное поле Земли, используя десятичную систему, основанную на трех единицах измерения в механике: сантиметре, грамме и секунде (СГС), которая и до сих пор часто используется физиками. Конечно, можно использовать разные системы единиц, что и делается на практике исходя из удобства. Так, в каждой области физики используют единицы, соизмеримые по величине с амплитудой описываемых ею эффектов; например, астрономия и астрофизика – световой год и массу Солнца вместо метра и килограмма системы СИ, атомная физика – нанометры, а не метры, ядерная физика – мегаэлектронвольты ($MэВ$), а не джоули и т.д. Хотя, как мы уже говорили, систему единиц, предложенную Планком и основанную на универсальных константах c , \hbar и G , можно считать привилегированной или естественной. Следует, правда, отметить, что еще до М. Планка (1899 г.) систему единиц, основанную на других фундаментальных константах c , e и G , предложил Стоуни (1881 г.)

Точное знание ФФК, прецизионные измерения и в целом метрология необходимы для проверки фундаментальных теорий, расширения наших знаний о природе и в конечном итоге для практических приложений этих

теорий [1]. В связи с этим возникают следующие теоретические проблемы: 1) развитие моделей, расчет эффектов для сравнения предсказаний фундаментальных теорий с экспериментальными данными в критических ситуациях (то есть для проверки ОТО и других обобщенных теорий гравитации, квантовой электродинамики, квантовой хромодинамики, ТО и т.п.); 2) установление более точных значений и пределов на возможные временные и пространственные вариации ФФК и 3) выбор будущих, более стабильных эталонов физических величин, основанных на ФФК, и способов их реализации.

Возможная переменность фундаментальных констант

Как мы уже говорили, помимо двух основных нерешенных проблем современной физики, указанных выше, – отсутствия ТО всех взаимодействий, включая гравитационное, и объяснения природы ТЭ и ТМ, составляющих в сумме около 95 % полной плотности материи во Вселенной, имеется еще и третья фундаментальная проблема, связанная и с фундаментальной метрологией, – стабильность или возможные вариации ФФК во времени и пространстве [7; 19–20].

Эта проблема возникла в связи с попытками объяснить связь между явлениями микро- и макромира. В 1937 г. П. А. М. Дирак первым предложил «Гипотезу больших чисел», согласно которой очень большие числа не могут естественно возникать в физических теориях, а должны быть связаны между собой и с возрастом Вселенной ($T \approx 10^{17}$ с, или, если его выразить через характерное ядерное время порядка 10^{-23} с, $T \approx 10^{40}$).

Общетеоретические соображения, связанные с центральной проблемой теоретической физики – объединением взаимодействий, а также и с требованием единства физической науки, по-видимому, неизбежно приводят к представлению о динамическом характере многих из известных ФФК. В то же время экспериментальные данные, свидетельствующие о такой переменности ФФК, пока не всегда надежны. Это касается возможных вариаций целого ряда констант, в частности, гравитационной постоянной G и постоянной тонкой структуры α . Однако измерения продолжают, и в распоряжение исследователей поступают новые, все более точные данные.

Поскольку предполагается переход к новым определениям единиц СИ с фиксированными значениями ФФК, вопрос о возможных вариациях констант в пространстве, во времени и в зависимости от энергетического масштаба представляется одним из важнейших. Исторически первые, довольно неуверенные (и впоследствии не подтвердившиеся) указания на такую переменность были получены в отношении гравитационной постоянной G в 1960-е гг.

В настоящее время можно указать три основные проблемы, связанные с G :

1. **Абсолютные измерения G .** Недавние результаты, полученные различными группами, согласуются друг с другом в пределах неопределенности $1,2 \times 10^{-4}$, что на порядки меньше неопределенностей измерений атомных ФФК.

Нужны дальнейшие эксперименты с применением новых методов, возможно, в космосе. Имеющаяся несогласованность в измерениях G наводит на мысль, что эта «постоянная» действительно может меняться от точки к точке даже на поверхности Земли в зависимости от какого-то неизвестного физического поля.

Это означает по существу, что либо пределы точностей измерения G в земных условиях достигнуты (невозможно устранить или учесть влияние окружающих объектов, нестабильность материала нитей и др.), либо в процессе измерения проявляется какая-то новая физика. Первое означает, что, может быть, следует перенести измерения G в более спокойный космос, а второе – следует более тщательно изучать теории, обобщающие ОТО или ТО взаимодействий.

Нами был разработан такой проект совместно с учеными США, основанный на рассмотрении ограниченной задачи трех тел – большого и малого тел, движущихся в капсуле на орбите Земли [21], который позволил бы снизить неопределенности на 2–3 порядка.

Существуют также спутниковые определения произведения $G M_3$, где M_3 – масса Земли, на уровне 10^{-9} , а также менее точные определения G в шахтах (использующие модели Земли). Но эти измерения не позволяют улучшить точность определения G из-за неопределенности с построением достаточно точной модели Земли.

2. **Возможные вариации G со временем**, предсказываемые обобщенными теориями гравитации и многомерными моделями объединения [20] (менее скорости расширения Вселенной), допускаются на уровне 10^{-13} – 10^{-15} в год и менее, поэтому существует необходимость в теоретических и экспериментальных разработках этой проблемы [22–23].

По многомерным моделям отметим наши исследования: многомерных теорий гравитации с нелинейными по кривизне лагранжианами [24–26]. Рассматривалось многомерное пространство-время, в котором в качестве подпространства выделено 4-мерное наблюдаемое пространство-время, а дополнительные измерения представляют собой прямое произведение некоторого количества фактор-пространств с высокой симметрией. Они могут быть сферами или компактными гиперболическими пространствами с радиусами кривизны (масштабными факторами), зависящими от точки в наблюдаемом пространстве-времени V_4 , и достаточно малыми, чтобы не наблюдаться в современных экспериментах. В теориях с геометрией этого класса (который обобщает пятимерную геометрию Калуцы–Клейна) эффективная постоянная тяготения зависит от точки (в однородных космологических моделях – только от времени) из-за переменности элемента многомерного объема, входящего в исходное многомерное действие.

В [24–26] рассматривались многомерные гравитационные лагранжианы достаточно общего вида

$$L_D = F(R) + c_1 R_{AB} R^{AB} + c_2 R_{ABCD} R^{ABCD}, \quad (1)$$

где $F(R)$ – произвольная функция скалярной кривизны R , c_1 и c_2 – исходные константы теории, R_{AB} и R_{ABCD} – соответственно тензор Риччи и тензор Римана D -мерного пространства-времени; латинские заглавные индексы отвечают всем его координатам и пробегают D значений. В [25; 26] некоторые варианты теории (1) применялись для построения космологических моделей, объясняющих наблюдательные данные по пространственно-временной переменности постоянной тонкой структуры α (так называемый австралийский диполь [27]) в предположении, что электромагнитное поле задается в многомерном пространстве-времени обычным максвелловским лагранжианом. В этом случае гравитационная постоянная меняется от точки к точке в точности по тому же закону, что и α . Согласно наблюдениям, вариации α на Земле ограничены 17-м знаком, а по космологическим наблюдениям [27] такие вариации находятся в пределах 10^{-15} в год. Поэтому можно заключить, что ограничение на вариации G в таких теориях выполнено автоматически, если построенная модель находится в согласии с наблюдениями по вариациям α . Данное рассуждение относится не только к конкретным моделям, построенным в [24, 25], но и к любым многомерным моделям с общими законами изменения параметров α и G .

Многомерные теории суперструнного происхождения и их обобщения. В данном направлении исследований [28–33], как и в других многомерных теориях, проблема тёмной энергии решается за счет свойств скалярных полей, возникающих из масштабных факторов дополнительных измерений при редукции теории к четырём измерениям; однако в данном классе теорий в общем случае имеются исходные скалярные поля, взаимодействующие с полями антисимметричных форм. Исходное действие задается формулой

$$S = \int d^D x \sqrt{|g|} \left\{ R[g] - h_{\alpha\beta} g^{MN} \partial_M \varphi^\alpha \partial_N \varphi^\beta - \frac{1}{2} \sum_{s=1}^m \exp[2\lambda_s(\varphi)] (F^s)^2 \right\}, \quad (2)$$

где g_{MN} – D -мерная метрика с детерминантом g , $R[g]$ – скалярная кривизна, φ^α – набор из l скалярных полей, $(h_{\alpha\beta})$ – постоянная невырожденная симметричная $l \times l$ -матрица, $F^s = F_{MN\dots P} dz^1 \dots dz^P$ – абелевы калибровочные поля, λ_i – 1-форма вида $\lambda_i(\varphi) = \lambda_{i\alpha} \varphi^\alpha$, $s = 1, \dots, m$, $\alpha = 1, \dots, l$; кроме того, $(F^s)^2 = F_{MN\dots P} F^{MN\dots P}$. К моделям этого вида приводят различные теории супергравитации и теории суперструн в низкоэнергетическом пределе так называемой М-теории.

В [28–32] в ряде вариантов теории (2) рассмотрены пространственно-плоские космологические модели, описывающие ускоренное расширение наблюдаемого трехмерного пространства и вариации G . В каждой из полученных моделей выделен подкласс, в котором наблюдаемое пространство расширяется ускоренно, а вариация G достаточно мала и удовлетворяет ус-

ловию (1) на некотором интервале космологического времени. В данном классе моделей ускоренное расширение наблюдаемого пространства возможно только при наличии как минимум одного «фантомного» (то есть с аномальным знаком кинетической энергии) скалярного поля. Несингулярные решения в многомерной модели с идеальной жидкостью, описывающие ускорение в современную эпоху с малой вариацией G , получены в [32], решения с вариацией G или константы Янга–Миллса – в [33], а новые ограничения на поправки к закону Ньютона на сверхмалых расстояниях – в [34].

Что касается имеющихся на сегодня наблюдательных данных по вариациям G , то ни пространственные, ни временные вариации G пока не обнаружены, поэтому речь идет о различных ограничениях на возможность таких вариаций [35]. Часть ограничений относится к современной скорости изменений G , полученных из данных лазерной локации Луны, радиолокации планет и космических аппаратов, тайминга пульсаров. Другая часть – к возможным различиям между значениями G в настоящий момент и в прошлом (из исследований эволюции Земли, Солнца и звезд, из данных о древних затмениях и нуклеосинтеза в ранней Вселенной).

Наиболее жесткие ограничения на переменность G следуют из анализа планетных эфемерид, полученных с использованием локационных и доплеровских данных: от космических аппаратов Mars Global Surveyor (1998–2006), Mars Odyssey (2002–2008), Mars Reconnaissance Orbiter (2006–2008) и других, вместе с новейшими данными по возмущениям от небесных тел из пояса астероидов и пояса Койпера, см. [35].

Поскольку ограничения относятся по существу к произведению $GM\Theta$, при получении результатов по переменности G учитывались потери массы Солнца на электромагнитное излучение и нейтрино ($\sim 0,7 \times 10^{-13}$ /год) и на солнечный ветер ($\sim 0,2 \times 10^{-13}$ /год). Наиболее жесткое ограничение, полученное по совокупности эфемерид, которое можно, несколько огрубляя, записать как

$$G^{-1} dG/dt = (0,16 \pm 0,6) \times 10^{-13}/\text{год}. \quad (3)$$

Уровень неопределенности при этом оказывается на порядок меньше, чем наилучший результат, полученный с помощью лазерной локации Луны.

Ограничения по таймингу пульсаров можно рассматривать лишь как ориентировочные, так как их неопределенность гораздо больше, чем у результатов анализа планетных эфемерид. Они лишь косвенно подтверждают неизменность G на указанном уровне точности.

Для интерпретации ограничений, связанных с гелиосейсмологией и первичным нуклеосинтезом, в форме оценок величины dG/dt приходится привлекать какую-либо модельную зависимость $G(t)$; обычно используется степенная зависимость $G(t)$. Фактически данные по первичному нуклеосинтезу лёгких элементов говорят о том, что приблизительно через 3 минуты после начала расширения Вселенной значение G отличалось от нынешнего не более чем на 20 %. Это ограничение, наряду с ограничениями на скорость

изменения G в современную эпоху, должно учитываться при отборе жизнеспособных космологических моделей и теорий гравитации.

Будущие миссии космических аппаратов к Марсу и Венере, данные радиолокации спутников Земли, планет, а также лазерная локация Луны, несомненно, решат эту проблему, так как чем больше интервалы времени между измерениями и, конечно, чем они точнее, тем более строгие результаты будут получены. К сожалению, все попытки послать космические аппараты к Марсу (США, Япония) и к его спутнику Фобосу (Россия, Россия и КНР) с этой целью после американской программы «Викинг» не увенчались успехом.

3. *Возможные вариации G с расстоянием* (или появление новых неньютоновских взаимодействий), предсказанные скалярно-тензорными и многомерными моделями гравитации (например, моделями «мира на бране») на малых расстояниях. Пока в области более 10 нм неньютоновские силы не обнаружены. Ожидается, что в ближайшие годы будут получены оценки в диапазоне < 1 нм.

Стабильность постоянной α , являющейся основной характеристикой интенсивности электромагнитного взаимодействия, особенно важна при выборе единицы времени – секунды и определения основной электрической единицы СИ – ампера. В то же время недавно появились крайне интересные и неожиданные новые данные о возможной переменности α , о которых пойдет речь ниже.

Самые жесткие и надежные ограничения на временные вариации констант связи и масс частиц в современной Вселенной следуют из измерений с использованием атомных часов. Для возможной эволюции α на основе прямого сравнения оптических частот в часах на ионах алюминия и ртути получено следующее ограничение [36]:

$$d(\ln \alpha/dt) = (-1,6 \pm 2,3) \cdot 10^{-17} / \text{год}. \quad (4)$$

Это ограничение уже приближается к результатам, полученным из анализа изотопного состава продуктов реакций в естественном реакторе Окло (Габон), действовавшем около двух миллиардов лет назад, что соответствует космологическим красным смещениям $z \sim 0,14$. Однако, в отличие от лабораторных измерений, ограничения, полученные на материалах Окло [37], и, в частности, наиболее жесткий результат для вариаций α [38]

$$d(\ln \alpha/dt) = (-0,4 \pm 0,5) \cdot 10^{-17} / \text{год}$$

содержат неявное дополнительное предположение о равномерном изменении константы за прошедшее с тех пор время. Это предположение выглядит довольно естественно, но в принципе ниоткуда не следует.

В любом случае из (4) следует, что если α и меняется в современную эпоху, то не быстрее, чем в 17-м знаке в год. Так как точность определения значений ФФК, на которых должны базироваться новые единицы СИ, не превосходит 10^{-8} , очевидно, что (при энергиях много меньше энергии объе-

динения электромагнитного и слабого взаимодействий и менее) такие вариации, даже если они реально существуют, не могут оказать существенного влияния на практические измерения, и в обозримое время не следует ожидать каких-либо изменений этой ситуации [39].

Однако некоторая зависимость $G(t)$ весьма желательна для понимания процессов, происходящих на Земле, – это «парадокс слабого Солнца» (Sahni V. and Shtanov Yu., 2014, ArXiv: 1405.4369). Модели эволюции Солнца предсказывают, что примерно 4 миллиарда лет назад светимость Солнца была примерно на 30 % меньше, чем сейчас. Тогда океаны Земли должны были быть полностью ледяными и безжизненными. Геофизические данные говорят о том, что около 4 миллиардов лет назад уже существовал жидкий океан с древнейшими формами жизни. Разрешение парадокса – переменность G . Известно, что светимость звёзд (в т.ч. Солнца) $\sim G^7$. Расчет показывает, что приближенное постоянство потока солнечной энергии на Землю обеспечивается, если величина G уменьшилась на ~ 4 % за 4 миллиарда лет. Но если $(1/G)dG/dt \sim 10^{-13}$ в год, то $\Delta G/G$ за 4 миллиарда лет составит лишь 0,04 %, что на 2 порядка меньше требуемого. Чтобы совместить эти требования, нужна нелинейная эволюция G , причем в настоящий момент функция $G(t)$ должна меняться медленно, возможно, быть близкой к минимуму. Отметим, что этим свойством обладают некоторые многомерные модели, обсуждавшиеся выше.

Что же касается применения единиц СИ в научных исследованиях, в частности, в теориях объединения взаимодействий, астрофизике и космологии, оперирующих временными отрезками в миллиарды лет и расстояниями в сотни мегапарсек, важны даже столь малые вариации ФФК, и для правильной интерпретации данных наблюдений необходимо учитывать, каким именно образом определены те единицы, в которых эти данные выражены.

Результаты новейших наблюдений за наиболее удаленными объектами в космосе – квазарами обнаруживают ряд весьма интересных особенностей. Так, применение многомультиплетного метода Уэбба и других [40], основанного на сопоставлении нескольких линий в различных выборках источников (сравниваются сдвиги линий, в разной степени чувствительных к вариациям α), к спектрам поглощения 128 источников в диапазоне красных смещений $0,5 < z < 3$ привело к следующему результату [41]:

$$\Delta\alpha/\alpha = (-0,54 \pm 0,12) \cdot 10^{-5}, \quad \Delta\alpha = \alpha - \alpha_0, \quad (5)$$

где α_0 – современное значение α . Эта и ряд других аналогичных оценок указывают на более низкие значения α в прошлом по сравнению с α_0 .

С другой стороны, в ряде работ исследовались особенности спектров излучения, а не поглощения. В частности, измерения сильных эмиссионных линий в выборке из 165 спектров квазаров привели к оценке [42]:

$$\Delta\alpha/\alpha = (1,2 \pm 0,7) \cdot 10^{-4},$$

но для сравнительно малых красных смещений. Эта и ряд других оценок дают $\alpha > \alpha_0$ в прошлом, в противоположность (5). Помимо объяснения этого противоречия наличием невыявленных систематических погрешностей, возможна и «оптимистическая» точка зрения, что таким образом проявляются пространственные вариации α , так как эмиссионный и абсорбционный методы чувствительны к значениям α в весьма различных физических условиях.

Ряд результатов 2010 г. подтверждает представление о пространственных вариациях α , теперь – в зависимости от направления, в котором ведутся наблюдения. Замечено [43], что ранее сделанные выводы о несколько меньших значениях α в прошлом по сравнению с α_0 , подобные оценке (4), опирались на наблюдения квазаров в северной части небесной сферы, например, при помощи телескопа Keck на Гавайских островах. Наблюдения же в Южном полушарии, в частности, при помощи VLT (Very Large Telescope, Чили), охватывающие противоположное направление во Вселенной, при аналогичном анализе приводят, напротив, к значениям $\alpha > \alpha_0$ в прошлом. На основании наблюдений авторы [43] делают вывод об анизотропии дипольного характера в распределении значений α .

Данные по возможному изменению константы слабого взаимодействия позволяют сделать вывод о том, что она не меняется на уровне 10^{-12} , а сильных взаимодействий – 10^{-18} в год [37].

Задача теоретиков вместе с экспериментаторами объяснить или опровергнуть эти данные с учетом того, что они получены при разных удалениях объектов (разных красных смещениях z), а их интерпретация происходит в рамках определенной космологической модели.

Переход на новые определения единиц Международной системы СИ, основанных на фиксированных значениях ФФК

СИ основана на семи основных единицах: *м, кг, с, А, К, моль и кд*, которым соответствуют семь основных величин: длина, масса, время, сила электрического тока, термодинамическая температура, количество вещества и сила света.

В октябре 2005 г. Международный комитет мер и весов (МКМВ) принял рекомендацию о подготовительных мерах по переопределению килограмма, ампера, кельвина и моля таким образом, чтобы эти единицы были привязаны к точно известным значениям ФФК, а не к артефактам, как современный прототип килограмма (МПК).

Предполагается дать новые определения этим четырем основным единицам, связывая их с точно определенными значениями (нулевая неопределенность) постоянной Планка h , элементарного заряда e , постоянной Больцмана k и постоянной Авогадро N_A . Это будет означать, что шесть из семи основных единиц СИ будут определены через истинные природные инварианты. Кроме того, не только эти четыре фундаментальные константы будут

иметь точно определенные значения, но и неопределенности многих других фундаментальных физических констант будут либо устранены, либо значительно уменьшены. Даны варианты возможных формулировок четырех новых определений. Конечно, потребуются преодолеть большие трудности по повышению точности определения k_2 с помощью ватт-весов или числа Авогадро с помощью установок с кремниевыми шарами и др.

Переходя снова к прогрессу в измерении ФФК, отметим, что в 2010 г. опубликованы результаты второго этапа завершившегося проекта Авогадро, который является рекордным по точности [44]. В этом эксперименте постоянная Авогадро была измерена с относительной стандартной неопределенностью $3,0 \times 10^{-8}$.

Согласно решениям МКМВ, требуемая для замены МПК относительная стандартная неопределенность значений постоянных Планка и Авогадро должна быть на уровне $2 \cdot 10^{-8}$. В рекомендации Консультативного комитета по массе (ККМ), принятой в 2010 г., были сформулированы требования к новому определению килограмма следующим образом:

– как минимум три независимых эксперимента, включая эксперимент с ватт-весами и эксперимент Международного координационного проекта Авогадро, должны дать значения соответствующих констант с относительными стандартными неопределенностями, не превышающими $5 \cdot 10^{-8}$. По меньшей мере, один из этих результатов должен иметь относительную стандартную неопределенность, не превышающую $2 \cdot 10^{-8}$;

– для каждой из этих соответствующих констант согласие между значениями, полученными в различных экспериментах, должно быть на уровне достоверности 95 %;

– должна быть подтверждена согласованность новых прототипов МКМВ с Международным прототипом килограмма и др. Эти ограничения являются в некотором смысле предельными, поскольку дальнейшее увеличение вышеупомянутых относительных стандартных неопределенностей измерений постоянных Авогадро и Планка может нарушить сложившуюся практику высокоточных измерений масс. Согласованные между собой минимальные результаты требуемой точности для постоянных Авогадро и Планка были получены только в начале 2014 г., однако требуется выявление причин расхождения более ранних результатов, а также поиск путей дальнейшего повышения точности их определения. Более того, наши исследования приводят к выводу о предпочтительности определения k_2 на основе фиксации только постоянной Авогадро, а не постоянной Планка.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Melnikov V.N.* Gravitational Measurements, Fundamental Metrology and Constants / eds. V. de Sabbata and V. N. Melnikov. Dordrecht: Kluwer Acad. Publ // 1988. – P. 283–297.
2. *Melnikov V.N.* Gravity as a Key Problem of the Millennium Proc. NASA/JPL Workshop on Fundamental Physics in Microgravity. NASA Document D-21522 // 2001. – P. 4.1–4.17.

3. *Melnikov V.N.* Gravity and Cosmology as Key Problems of the Millennium. A. Einstein Century Int. Conf., Paris. AIP Conf. Proc / eds. J.-M. Alimi, A. Fuzfa. 2006. – N 861. – P. 109.
4. *Riess A.G. et al.* Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant // *A. J.* – 1998. – V. 116. – P. 1009.
5. *Perlmutter S. et al.* Measurements of Ω and Λ from 42 High Redshift Supernova // *Ap. J.* – 1999. – V. 517. – P. 565.
6. *Melnikov V.N.* Fundamental physical constants and their stability: a Review // *Int. J. Theor. Phys.* 1994. – V. 33. – N 7. – P. 1569–1579.
7. *Станюкович К.П., Мельников В.Н.* Гидродинамика, поля и константы в теории гравитации. – М.: Энергоатомиздат, 1983.
8. *Melnikov V.N.* Fields and Constants in the Theory of Gravitation // CBPF-MO-002/02, Rio de Janeiro, 2002.
9. *Sabbata V. de, Melnikov V.N., Pronin P.I.* Theoretical Approach to Treatment of Non-Newtonian Forces // *Progr. Theor. Phys.* – 1992. – V. 88. – P. 623.
10. *Melnikov V.N.* Variations of Constants as a Test of Gravity, Cosmology and Unified Models // *Gravit. Cosm.* 2007. – V. 13. – N 2 (50). – P. 81.
11. *Зайцев Н.А., Мельников В.Н.* Теории гравитации с переменными массами и гравитационной постоянной // ПТГЭЧ. – 1979. – Т. 10. – С. 131.
12. *Bronnikov K.A., Melnikov V.N., Novello M.* Possible time variations of G in scalar-tensor theories of gravity // *Gravit. Cosm.* – 2002. – V. 8. – Suppl. – P. 18.
13. *Melnikov V.N.* Multidimensional Classical and Quantum Cosmology and Gravitation: Exact Solutions and Variations of Constants // *Cosmology and Gravitation I.* / ed. M. Novello, Edition Frontieres. – Singapore, 1994. – P. 147.
14. *Melnikov V.N.* Multidimensional Cosmology and Gravitation // *Cosmology and Gravitation II.* – 1996. – P. 465.
15. *Melnikov V.N.* Exact Solutions in Multidimensional Gravity and Cosmology III. CBPF-MO-003/02. – Rio de Janeiro, 2002.
16. *Sanders J., Melnikov V.N. et al.* Project SEE (Satellite Energy Exchange): an International Effort to Develop a Space-based Mission for Precise Measurements of Gravitation // *Class. Quant. Grav.* – 2000. – V. 17. – P. 2331.
17. *Kolosnitsyn N.I., Melnikov V.N.* Test of Inverse Square Law Through Precession of Orbits // *GRG.* – 2004. – V. 36. – N 7. – P. 1619.
18. *Кононогов С.А., Мельников В.Н.* Фундаментальные физические константы, гравитационная постоянная и проект космического эксперимента SEE // *Измерительная техника.* – 2005. – № 6. – С. 3.
19. *Кононогов С.А., Мельников В.Н., Хрущев В.В.* Вариации констант расширенной стандартной модели. I. Определение констант и оценки величин их возможных вариаций // *Измерительная техника.* – 2008. – № 8. – С. 3; II. Экспериментальные ограничения величин возможных вариаций // *Измерительная техника.* – 2008. – № 10. – С. 15.
20. *Bronnikov K.A., Kononogov S.A., Melnikov V.N.* Brane World Corrections to Newton's Law // *GRG.* 2006. – V. 38. – P. 1215.
21. *Alexeev A.D., Melnikov V.N. et al.* Measurement of the Gravitational Constant in Space (SEE Project): Sensitivity to orbital parameters and space charge effect // *Metrologia.* – 2001. – V. 38. – P. 397.
22. *Melnikov V.N.* FPC and Theoretical Models for Time Variation of G // *Progr. Theor. Phys., Suppl.* – 2008. – V. 172. – P. 182.
23. *Melnikov V. N.* Models of G Time Variations in Diverse Dimensions // *Frontiers of Physics.* – 2009. – V. 4. – P. 75.
24. *Бронников К.А., Кононогов С.А., Мельников В.Н.* Вариации постоянной тонкой структуры и многомерная гравитация // *Изм. техн.* – 2013. – № 1. – С. 7–12.

25. Bronnikov K.A., Skvortsova M.V. Modeling the Nonlinear Clustering in Modified Gravity Models // Grav. Cosmol. – 2013. – V. 19. – P. 114.
26. Бронников К.А., Кононогов С.А., Мельников В.Н. // Изм. техника. – 2014.
27. Webb J.K. et al. Evidence for time variation of the fine structure constant // Phys. Rev. Lett. – 2011. – V. 107. – P. 191101.
28. Dehnen H., Ivashchuk V.D., Kononogov S.A., Melnikov V.N. On Time Variation of G in Multidimensional Cosmology // Grav. Cosmol. – 2005. – V. 11. – No. 4. – P. 340–344.
29. Alimi J.-M., Ivashchuk V.D., Kononogov S.A., Melnikov V.N. Multidimensional Cosmology with Anisotropic Fluid: Acceleration and Variation of G // Grav. Cosmol. – 2006. – V. 12. – No. 2–3. – P. 173–178.
30. Ivashchuk V.D., Kononogov S.A. and Melnikov V.N. Electric S-brane Solutions Corresponding to Rank-2 Lie Algebras: Acceleration and Small Variation of G // Grav. Cosmol. – 2008. – V. 14. – No. 3. – P. 235–240.
31. Alimi J.-M., Ivashchuk V.D. and Melnikov V.N. S-brane Solution with Acceleration and Small Enough Variation of G // Grav. Cosmol. – 2007. – V. 13. – No. 2 – P. 137–141.
32. Ivashchuk V.D., Kononogov S.A., Melnikov V.N., Novello M. Non-singular Solutions in Multidimensional Cosmology with Perfect Fluid: Acceleration and Variation of G // Grav. Cosmol. – 2006. – V. 12. – P. 273–278.
33. Ivashchuk V.D. and Melnikov V.N. On time variations of gravitational and Yang-Mills constants in cosmological model of superstring origin // Grav. Cosmol. – 2014. – V. 20. – P. 26–29.
34. Klimchitskaya G.L., Mostepanenko V.M. New Constraints on Yukawa-type Corrections to Newtonian Gravity at Short Separations // Grav. Cosmol. – 2014. – V. 20. – N. 1 (77). – P. 3–9.
35. Pitjeva E.V. Updated IAA RAS Planetary Ephemerides-EPM2011 and Their Use in Scientific Research // Астрон. вестник. – 2013. – Т. 47. – № 5. – С. 419–435.
36. Rosenband T. et. al. Measurement of optical frequency ratios Al⁺/Hg⁺ // Science. – 2008. – V. 319. – P. 1808.
37. Shlyakhter A.I. Direct Test of the Time-Independence of Fundamental Constants // Nature. – 1976. – V. 264. – P. 340.
38. Fujii J. et. al. The nuclear interaction at Oklo 2 billion years ago // Nucl. Phys. B. – 2000. – V. 573. – P. 377.
39. Bronnikov K.A., Kononogov S.A. Possible variations of the fine structure Constant // Metrologia. – 2006. – V. 43. – P. R1.
40. Webb J.K. et. al. Indications of a spatial variation of the fine structure constant // Phys. Rev. Lett. – 1999. – V. 82. – P. 884.
41. Murphy M.T. et. al. Possible evidence for a variable fine-structure constant // Month. Not. R. Astron. Soc. – 2001. – V. 327. – P. 1208.
42. Bahcall J. et. al. Does the Fine-Structure Constant Vary with Cosmological Epoch? // Astroph. J. – 2004. – V. 600. – P. 520.
43. Webb J.K. et. al. Indications of a spatial variation of the fine structure constant // ArXiv: 1008.3907.
44. Leonard B.P. Why the dalton should be redefined exactly in terms of the Avogadro constant? // Metrologia. – 2010. – V. 47. – P. L5.

FUNDAMENTAL INTERACTIONS, CONSTANTS AND FUNDAMENTAL METROLOGY

V.N. Melnikov

Main problems of modern physics and metrology, gravitation and cosmology in particular, are discussed: unification of physical interactions and gravity role in this unification as one of missed parts; present accelerated expansion of the Earth; variation of fundamental constants and transition to new definitions of SI units based on fundamental constants. Important role in solving these problems of the multidimensional integrable models approach in gravitation and cosmology, developed by the author and his colleagues, is pointed out. These models are low energy limits of unification theories. Based on these models, new inflationary, with both present observed acceleration and variations of constants and non-singular cosmological solutions are singled out.

Gravitational-relativistic metrology as new field formulated by the author is described as well as experimental and observational data on variation of constants and transition to new definitions of SI units, based on fixed fundamental constants values.

Key words: gravitation, cosmology, unification of interactions, dark energy, variations of constants, gravitational-relativistic metrology, new SI units.

О ВОЗВРАЩЕНИИ ФИЗИКИ И МЕТАФИЗИКИ В ЛОНО ЕДИНОЙ КОСМОЛОГИИ

Р.Ф. Полищук

Физический институт имени П.Н. Лебедева Российской Академии наук

С акцентом на космологию излагается концепция космоцентризма как основы научного мировоззрения. В этой связи высказана гипотеза о связи масштаба великого объединения всех физических взаимодействий (10^{-28} см) с массой Метагалактики и о связи масштаба объединения слабых и электромагнитных взаимодействий (10^{-16} см) с массой средней звезды типа Солнца. Привлекаются идеи Т-дуальности струнной космологии и квантовых струнных добавок к классической теории гравитации Эйнштейна.

Ключевые слова: космоцентризм, гравитация, космология, общая теория относительности, пространство-время, Вселенная, квантовая метрика, вакуум.

Физика как «фюсис», природа, есть всё и то, как это всё устроено. Познание сущности природы не отменяет первичности её существования. Познание начинается с рождения познающим человеком идеализирующих конкретную полноту реальности абстрактных понятий, необходимо присутствующих в его воображении, но отсутствующих в самой природе вне человека. Сама наука есть развивающееся понятие, растущее из единого семени древо познания с растущей вверх ветвящейся кроной и углубляющейся в основание корневой системой всё более глубоких понятий. Синергетика как теория сложности говорит о членении единой реальности на качественно различные уровни. Например, атомы тела человека как мультистабильной системы с памятью возникли миллиарды лет назад в недрах взрывающихся сверхновых звёзд, но само существование человека как структурно устойчивого фрагмента космоса, понимаемого как иерархия космических мгновений (квантовая физика уловила мерцание, членение мира во времени – в дополнение к его структурированности в пространстве), предполагает интуиции теории катастроф (теории особенностей), соединяющих редкость явлений с их близостью к единому смысловому стержню реальности. Её познание есть единый ветвящийся противоречивый процесс. Начало познания мира разделило его первичную космологию на физику (в узком смысле слова – как эмпирию) и метафизику (как понятийный образ природы). Синергетика строит мосты между гуманитарным и естественнонаучным способами освоения реальности, и сегодня пора осуществить новый синтез физики и метафизики в рамках понимания мира как его единой космологии (такие попытки мы видим и у великого Хокинга). Здесь мы обратимся к упрощённой картине космологии с её связью больших чисел с природой типичных структур – частиц, звёзд и Метагалактики.

А. Д. Сахаров в своё время предложил удачный термин *космомикрофизика* для указания на связь микромасштабов и мегамасштабов нашей Вселенной. При этом мир понимается как самоорганизующаяся в духе *синергетики* (термин Германа Хакена) физическая система элементарных частиц. Каждая частица тождественна волне, а каждая излучаемая физическими источниками волна излучается дискретными порциями и характеризуется длиной волны и частотой (умноженной на постоянную Планка), равной результату деления скорости света на длину волны. Постоянная Планка превращает частоту частицы в её массу-энергию как её гравитационный заряд.

Волна одной частоты имеет определённый (переносящий массу-энергию) трёхмерный импульс (3-импульс) и занимает всё пространство. Масса-энергия безмассовой частицы равна модулю 3-импульса и образует с ним 4-импульс нулевой длины: в пространстве-времени квадрат массы покоя частицы равен *разности* квадратов временной и пространственной компонент (катетов), а не *сумме*, как в теореме Пифагора в обычной евклидовой геометрии (иначе время не отличалось бы от пространства). Из-за систематического взаимодействия с бозоном Хиггса (с массой около 126 ГэВ и размером, отвечающим масштабу объединения слабых и электромагнитных взаимодействий: $m_h = 1,56 \cdot 10^{-16} \text{ см}$) 3-импульс безмассовых частиц систематически изменяет направление (спиральность частицы) на противоположное и в определённой системе отсчёта даёт в среднем нулевое значение. Масса-энергия (а в релятивистской механике масса и энергия – это, по сути, одно понятие: при соединении камня из материи с камнем из антиматерии произойдёт чудовищный взрыв, который высвободит заключённую в веществе массивных камней массу-энергию в виде излучения) безмассовой частицы в среднем останется прежней: так работает механизм Хиггса появления массы покоя у частиц, всегда рождающихся в световом состоянии: ведь собственным значением квантового оператора скорости является только плюс-минус скорость света. Ломаная мировая линия частицы нулевой длины рождает в среднем размытую времени-подобную мировую линию частицы ненулевой длины, равной собственному времени этой частицы. При этом известно, что фотоны и другие безмассовые частицы (с ненулевым 4-импульсом и с ненулевой массой их *светового состояния* – ведь преодоление сопутствующим безмассовой частице воображаемым световым наблюдателем нулевого в его световой системе отсчёта продольного расстояния из-за предельного лоренцева сокращения длин за нулевое собственное время светового наблюдателя нельзя считать *движением*) в релятивистской квантовой теории поля в принципе не локализуемы: предел применимости понятию длины приносит и квантовая механика с её принципом неопределённостей, и релятивистская квантовая механика с её первичностью световых состояний частиц – в теории относительности физика *мира событий* (по инерции именуемого *пространством-временем*) с его световыми конусами первична по отношению к физике времени и физике пространства: интервалы времени и пространства получают комбинациями световых времён, отвечающих парам различ-

ных событий с нулевым расстоянием между ними. Первичны здесь именно световые образы.

Теоретически наложением множества импульсов-волн частицы можно получить её приближённую локализацию в ограниченном 3-объёме, за пределами которого значением импульса можно пренебречь. Произведение неопределённостей 3-импульсов на неопределённость локализации частицы-волны (пакета волн) не может быть более половины постоянной Планка, то есть более конечной величины. Это означает, что абсолютно точная локализация частицы до точки нулевого размера требует бесконечного значения плотности вещества. Но актуальной бесконечности в природе не существует [1]. Классическая общая теория относительности унаследовала от ньютоновой механики понятие материальной точки, точечной частицы с конечной массой и с бесконечной плотностью вещества, а квантовая механика описывает её с помощью дельта-функции бесконечной амплитуды, но с конечным интегралом по несуществующему в природе идеализованному интервалу нулевой длины. Однако квантовая механика ограничивает реальное значение плотности вещества (ведь понятие плотности образовано с привлечением понятий массы-энергии и длины, подчинённых принципу неопределённостей) их планковским значением $\rho_p = 5 \cdot 10^{93} \text{ g/cm}^3$, так что бесконечная плотность – это идеализация, не везде применимая.

Физика строится операционально, с опорой на показания физических приборов в фактических или даже просто мысленных экспериментах. Можно ньютоновой гравитацией приближённо описывать траектории планет Солнечной системы, считая их просто материальными точками, но для наблюдения точечных частиц требуются частицы нулевой длины волны, то есть бесконечной массы-энергии. Такие частицы невозможны, да они и разрушили бы измеряемую систему. Теория струн [2] приписывает частицам ненулевое пространственное измерение, а теория бран вводит квантовые объекты более высокой размерности: размерности 0, 1, 2, 3, 4 отвечают, соответственно, точке, струне, плёнке (2-бране), отвечающей эволюции струны или мгновенному состоянию пространственной плёнки, далее – истории эволюции плёнки (или мгновенному 3-пространству) и четырёхмерному миру событий. Применение скелетной 3-геометрии мгновенного состояния 3-пространства, понимаемой как его геометродинамическая координата точки известного бесконечномерного *суперпространства Уилера* 3-геометрий, свидетельствует об ограниченности применимости понятия мира событий в квантовой гравитации: ведь точное задание начальной 3-геометрии исключает её импульс, связывающий начальное состояние с состоянием следующим, то есть лишает понятие времени физического смысла: если эволюцию сравнивать с кинофильмом и сменой кадров киноплёнки, то точная картинка одного кадра делает совершенно неопределённым его смену каким-то другим кадром. Впрочем, точное задание одной 2-геометрии внутри исходной 3-геометрии и её эволюции совершенно размывает соединение 2-геометрий в 3-геометрию – задание 3-поверхностей с сигнатурами $(-++)$ и $(+++)$ восстанавливает симметрию геометродинамических переменных в принципе

неопределённостей, но исключает возможность одновременного наличия двух световых времён, дающих 4-мир событий, зато позволяет говорить о флуктуирующей сигнатуре $(\mp++)$ трёхмерного квантового пространства-времени [3]. Если остальные две пространственные координаты считать некоммутирующими комплексными квантовыми операторами с сигнатурой флуктуирующего одномерного пространственного измерения, то квантовую размерность макромира можно снизить до двух. По сути, размерность есть динамический параметр теории, соответствующий числу степеней свободы колебаний частиц-струн. При этом теория имеющих дробные размерности фракталов показывает, как маломерие может порождать многомерие (целочисленные размерности в ней должны быть связаны, видимо, с устойчивыми, непереходными, резонансными состояниями динамической системы).

Общая теория относительности свела четырёхмерное пространство-время к его римановой кривизне, а M -теория заменила нульмерные события (событие есть точка в пространстве, взятая в один момент времени) 6-мерными *многообразиями Калаби-Яу* [2] (компактными, то есть свёрнутыми в «зёрна» размером не более 10^{-28} см, отвечающим масштабу объединения взаимодействий, и при этом в «зёрна» риччи-плоские, то есть с бесследовым тензором Римана, отвечающим физическому вакууму без вещества), умноженными на одномерную окружность микроскопически малого радиуса. Дополнительные размерности пространства-времени числом 7 потребовались для геометризации вслед за гравитацией остальных физических взаимодействий.

Наличие дополнительных компактных измерений пространства ввело в игру дополнительные *топологические энергетические моды* частиц: каждая из них пропорциональна размеру и топологическому числу, равному числу намотки струны на компактное измерение. Размер же элементарной частицы отвечает её комптоновской длине волны, равной (при приравнении единице скорости света) результату деления постоянной Планка (при принятии ньютоновой гравитационной постоянной равной единице она равна квадрату планковской длины $l_p = 1,6 \cdot 10^{-33}$ см) на массу (тогда масса равна половине её гравитационного радиуса, мы назовём такую массу *геометрической*). Таким образом, *произведение размера частицы на её геометрическую массу равно квадрату планковской длины $l_p^2 = 2,6 \cdot 10^{-66}$ см²*.

Прежнее выражение массы частицы через частоту отвечающей ей волны называется *осцилляционной энергетической модой*. Если макроскопическое пространство-время условно изобразить линией, то микроскопические измерения превратят его даже не в двухмерный шланг (кажущийся издали линией), а в 7-мерные компактные пространства, прикрепленные к каждому событию макроскопического пространства-времени (чтобы «расколоть» каждый такой «орешек», требуется столкнуть его с другим таким же, кажущимся точкой, орешком с энергией, которой мы не обладаем не только в известном Большом адронном коллайдере, работу которого мы контролируем, но и в неконтролируемых нами космических лучах большей энергии, па-

дающих на Землю). Каждая частица со всеми её зарядами (масса как гравитационный заряд, электрический заряд, спин, изоспин и т.д.) есть резонансная мода колебания одной и той же струны (так и каждая скрипичная струна рождает у скрипача различные звуки), которая в свою очередь есть квант возбуждения вакуума. Современная физика удивительным образом соединила единое и многое совсем не так, как Демокрит, который считал каждое вещество состоящим из различных неделимых вечных и неизменных атомов (в том числе приписывал душе её сверхмалые атомы; сегодня для нас душа – не субстанция, не «что», но «как», форма, закон существования человека). Различные «звуки» превращающихся при высокой энергии друг в друга струн рождают симфонию Вселенной, и эта научная картина мира захватывает зрелый ум сильнее детских и взрослых волшебных сказок с их чудесами и надприродным началом природы.

Осцилляционная энергетическая мода обратно пропорциональна размеру частицы (её комптоновской длине волны во внешнем 3-пространстве), а топологическая мода прямо пропорциональна размеру, радиусу компактификации внутреннего пространства. Обозначим квадрат длины фундаментальной струны через l^2 . При инверсии размеров $R \rightarrow l^2 / R$ осцилляционные и энергетические моды струн физической системы меняются местами, но полная энергия физической системы сохраняется. Это означает эквивалентность обоих состояний физической системы и называется *T-дуальностью струнной космологии* [4]. Отсюда, в частности, вытекает эквивалентность бесконечно малых и бесконечно больших длин в квантовой гравитации. Известно, что каждое научное понятие имеет предел применимости, но за некоторым пределом понятие длины корректируется не только принципом неопределённостей Гейзенберга (на планковских масштабах флуктуации метрики сравнимы с самой метрикой, так что получаем колебания длин и светового конуса, что позволяет описывающим взаимодействия виртуальным частицам иметь пространственные мировые линии, то есть двигаться для усреднённой классической метрики как бы со сверхсветовыми скоростями), но и радикально переосмыслиется струнной космологией с её T-дуальностью: теперь нет возможности и необходимости проникать в глубь Вселенной путём просто неограниченного уменьшения масштабов её длин и интервалов времени. Ограничение (в духе Гильберта) масштабов и предела применимости понятия времени сверху (говорит же теология о *предвечности*) позволяет ограничить существование во времени самого космоса одним космическим мгновением с иерархией мгновений его подсистем, включающих человека и социум.

Перейдём к описанию некоторых структур, которые могут возникать при увеличении количества частиц. Как сказал Гегель, *количество есть хитрость, которая улавливает качество*. Гегелевская цепная линия мер сегодня реализуется в структурно-масштабной лестнице природы, основным параметром порядка которой является степень сложности системы, определяемая количеством и разнообразием образующих её элементов. Скачки ка-

чества определяются критическими значениями соответствующих параметров. Нобелевский лауреат Дэвид Гросс в своей публичной лекции в Президиуме РАН 13 мая 2006 г. по линии фонда «Династия» [5] сказал, что без большого количества нуклонов (протонов и нейтронов) в планетах жизнь на планетах была бы невозможна, а количество указанных нуклонов связано с их количеством на Солнце, почти равным кубу отношения планковской массы к массе нуклона. Как получить это число (впервые это сделал, по видимому, астроном Солпитер)? Исходим из *планкеона*, гипотетической частицы Планка с массой $2,177 \cdot 10^{-5} \text{ g}$, получаемой из трёх фундаментальных физических констант (скорость света, постоянные Ньютона и Планка). Его геометрическая масса отвечает планковской длине. Удвоенная геометрическая масса тела равна его *гравитационному радиусу*. Для Солнца он равен 3 км, для Земли – примерно 1 см: если сжать Землю до такого размера, она образует коллапсирующую чёрную дыру, на поверхности которой вторая космическая скорость равна скорости света. Планкеон – сама себе чёрная дыра (его размер практически равен его гравитационному радиусу). Масса нуклона на 19 порядков меньше массы планкеона, а размер, соответственно, на 19 порядков больше. Сколько нужно плотно упаковать нуклонов, чтобы он образовал чёрную дыру? Ясно, что в трёхмерном пространстве требуется 10 в степени 57 нуклонов (куб линейного отношения размеров нуклона и планкеона). Произведение этого числа на массу нуклона $1,67 \cdot 10^{-24} \text{ g}$ даёт массу Солнца $2 \cdot 10^{33} \text{ g}$, а умножение размера нуклона (комптоновской длины волны $l_n = 2,1 \cdot 10^{-14} \text{ cm}$) на $l_n / l_p = 0,768 \cdot 10^{19}$ даёт величину геометрической массы Солнца 1,5 км. Очевидно, что произведение размера нуклона на геометрическую массу нуклона $m_n = 1,24 \cdot 10^{-52} \text{ cm}$ даёт, как и должно быть, квадрат планковской длины: $l_n \cdot m_n = l_p^2 = 2,6 \cdot 10^{-66} \text{ cm}^2$.

Согласно общепринятым представлениям, расширение Вселенной началось со сверхплотного состояния. При этом естественно учитывать струнные добавки к классической теории гравитации Эйнштейна [4]. Эти добавки создают космологическую постоянную, превращающую воображаемый мир Минковского в реальный мир де Ситтера [6]. Во-первых, квантовая механика запрещает определённому плоскому вакууму иметь определённый нулевой импульс. Во-вторых, принцип неопределённостей размывает флуктуациями исходную квантовую метрику. Подобно тому, как в эксперименте с двумя щелями и интерференцией пропускаемых ими электронов следует считать, что электрон-волна проходит по всем возможным траекториям, так и флуктуирующую метрику можно считать сразу целым набором метрик, создающих на квантовом уровне исходную среднюю изотропную метрику: пары событий просто «не знают», какой сигнатуры и величины интервал их разделяет, так что всякий вектор становится собственным вектором тензора энергии-импульса (ТЭИ) нетривиальной квантовой материи (согласно идее Киржница и Линде закон сохранения материи выполняется для совокупности вакуума и вещества [7], мы же добавляем предположение, что исходное состояние было

вакуумом де Ситтера, эквивалентным нетривиальному скалярному полю). Таким образом, ТЭИ наследует лоренцеву сигнатуру, дающую при положительной плотности массы-энергии вакуума отрицательные давления (равные по модулю плотности энергии вакуума с известным уравнением его состояния $p = -\rho$), рождающие ускоренное расширение Вселенной.

Уравнения Эйнштейна имеют вид: тензор Эйнштейна равен ТЭИ источников (с известной постоянной Эйнштейна в качестве множителя): материя указывает геометрии мира событий, как ему искривляться (в мире де Ситтера кривизна постоянна, и космологическая постоянная равна: $\Lambda = 3/a^2$, где в знаменателе стоит квадрат радиуса кривизны), а кривизна указывает материи, как ей двигаться. Если ввести мнимое время, то мир де Ситтера примет вид комплексной 4-сферы постоянного радиуса кривизны с нулевой границей. Её действительным эквивалентом является однополостный гиперболоид (допускающий и плоские пространственные сечения, и сечения в виде 3-сфер переменного радиуса) с геодезически полной метрикой $ds^2 = -dt^2 + [a^2 / ch^2(t/a)]d\Omega^2$, где $d\Omega^2$ есть метрика пространственной единичной 3-сферы. Граница 3-сферы есть пустое множество, так что полная масса материи мира равна нулю: внешняя и внутренняя материя по разные стороны всякой 2-сферы имеет противоположные ориентации ортогональных ей единичных пространственных векторов, так что интегралы масс материи, сводящиеся к интегралам по границе, внутри и снаружи граничной сферы отличаются только знаком и друг друга компенсируют. Для островной физической системы с асимптотически плоским пространством в окрестности бесконечности ситуация иная: отрицательная потенциальная гравитационная масса-энергия локально пустого искривлённого мира вне источников компенсирует в жёсткой системе отсчёта только половину положительной массы-энергии источников (без излучения гравитационных волн), так что полная масса-энергия положительна [8]. Но распад материи источника островной системы увеличивает среднюю нулевую кривизну его бесконечного пространства до радиуса кривизны вакуума де Ситтера: бесконечные пространства, как и всякие другие актуальные бесконечности, как отметил ещё Гильберт, в природе отсутствуют, так что открытые космологические модели ждут пересмотра в рамках будущей квантовой космологии. В мирах с замкнутыми пространствами отрицательная потенциальная гравитационная масса-энергия полностью компенсирует положительные массы источников. Эйнштейн в своё время считал это недопустимым: нулевая полная энергия, по его мнению, не гарантирует физическую систему от растворения до нуля всех её источников. Это заключение ошибочно: свёрнутые тождества Бьянки означают сохранение как отрицательной гравитационной энергии, компенсирующей массу источников, так и порождающих кривизну самих материальных источников. При этом рябь гравитационных волн имеет положительную среднюю плотность массы (а кривизна шероховатостей поверхности воображаемого гравитационного «апельсина» делает его шаром). Тождества Бьянки имеют интегральную форму в виде нелокальных

интегральных законов сохранения [9, 10], но привлечение нашей концепции тетрадных токов [11–13] позволяет получить и калибрующую гравитационный вакуум нужную (каноническую, определяемую для метрики общего положения однозначно) систему отсчёта, и соответствующий ей локальный интегральный закон сохранения (для мира де Ситтера он требует лоренцевой калибровки тетрады).

После Большого Взрыва 13,7 миллиардов лет тому назад масса-энергия вакуума почти вся перешла в массу-энергию материи (с метрикой Фридмана–Леметра), тормозящую положительной гравитацией её расширение. Распад материи переводит её массу в массу вакуума, и пять миллиардов лет назад тормозящее действие материи сравнялось с ускоряющим действием вакуума, который сегодня даёт уже 0,7 вклада в полную массу-энергию вакуума и вещества. Даже распавшаяся (в мире Шварцшильда, почти совпадающем с плоским миром Минковского) до вакуумного состояния пылинка массы m даст мир де Ситтера, где источник связан с радиусом 4-кривизны мира и плотностью соотношением $2\pi^2 a^3 \rho = m$. Концом эволюции (до нового возможного релятивистского фазового перехода вакуума) станет мир де Ситтера с постоянной 4-кривизной. Горизонт событий (он определяется сверхсветовой скоростью изменения расстояний между пробными телами по его разные стороны, так что соответствующие наблюдатели считают мир за горизонтом виртуальной для него реальностью) у каждого наблюдателя свой (то же имеем и для наблюдателя на поверхности шарообразной Земли с его горизонтом в виде окружности). При этом части мира под горизонтом и вне него как бы уравниваются друг друга в едином четырёхмерном мире событий.

Из наблюдательной космологии следует, что в современную эпоху наша Метагалактика (с метрикой, близкой метрике де Ситтера) имеет радиус кривизны горизонта событий порядка $a = 1,5 \cdot 10^{28} \text{ см}$, а средняя (критическая) плотность материи вакуума и вещества такова: $\rho = 6 \cdot 10^{-30} \text{ г/см}^3$. Это даёт полную (геометрическую и в граммах) массу Метагалактики $m_U = a = 2 \cdot 10^{56} \text{ г}$. Если считать, что эта масса отвечала начальному миру де Ситтера с максимальной планковской плотностью вакуума $\rho_p = 5 \cdot 10^{93} \text{ г/см}^3$, то получим указанную массу мира $2\pi^2 l_U^3 \rho_p$ с радиусом 4-кривизны $l_U = 1,3 \cdot 10^{-13} \text{ см}$. Очевидно, что при этом $al_p^2 = 2\pi^2 l_U^3$. Таким образом, Большой Взрыв можно рассматривать как такую перестройку вакуума де Ситтера с его начальной планковской плотностью, что сохранилась запасённая в нём масса-энергия, равная массе-энергии струны планковского сечения (диаметра) с длиной, равной радиусу кривизны нового мира де Ситтера с его новой плотностью вакуума. Эта воображаемая струна словно разорвалась в результате Большого Взрыва и образовала огромную массу мелких частиц в виде расширяющегося однородного облака – с фридмановской стадией эволюции материи, переходящей в дальнейшем с рассеиванием излучения и вещества в новую деситтеровскую стадию. Что касается стадии инфляции, то она здесь не обязательна как умозрительная гипотеза [14].

Начальный мир де Ситтера в виде вакуума предельной (планковской) плотности соответствует тому, что Леметр называл *первоатомом*, так что это образование естественно назвать *атомом Леметра*. Подобно тому как геометрическая масса Солнца (половина её гравитационного радиуса) связана с нуклоном, множеством которых образована почти вся солнечная масса, атом Леметра можно связать с частицей размером $l_f = (l_U l_p)^{1/2} = 1,44 \cdot 10^{-23} \text{ cm}$, которую мы назвали *фридмоном* [15]. Она отвечает энергии $1,3 \cdot 10^9 \text{ GeV}$ и на девять порядков тяжелее нуклона ($0,94 \text{ GeV}$). Фридмон чисто гипотетически можно связать с симметрией, дуальной группе симметрии слабого взаимодействия: стабильность соответствующих дуальным группам частиц противоположна стабильности частиц, отвечающих группам Стандартной модели, и если частицы, отвечающие группе слабого взаимодействия, нестабильны (свободные нейтроны распадаются и рожают частицы разных поколений), то именно фридмоны могут соответствовать тяжёлым стабильным двухлептонным образованиям с удержанием типа кваркового [14; 16]. Поскольку частицы, связанные с дуальными симметриями, взаимодействуют только гравитационно с частицами Стандартной модели, а также из-за размера, в миллиард раз меньшего размера нуклона, их можно считать точечными и предложить на роль частиц *тёмной материи* (это даже не гипотеза, а просто фантазия – но обращение к дуальным группам симметрии в любом случае заслуживает серьёзного внимания).

Что касается связи констант Ньютона и Планка, то в естественных единицах (с единичной скоростью света) они определяют планковскую длину известным равенством: их произведение равно квадрату планковской длины, то есть планковской площади. В теории великого объединения взаимодействий три фундаментальные физические константы должны быть взаимосвязаны, и эту связь даёт планковская площадь, равная постоянной Планка при принятии постоянной Ньютона за единицу и, наоборот, равная гравитационной постоянной Ньютона при принятии за единицу постоянной Планка, – так связаны мир гравитации, задающей его астрономическую картину (гравитационное взаимодействие – слабейшее на макромасштабах, но отсутствие отрицательных гравитационных зарядов делает гравитацию доминирующей на космологических мегамасштабах), и этот же мир на уровне его квантового фундамента.

Отметим следующие равенства и совпадения:

$$\sqrt{l_f l_p} = l_{GUT} = 1,5 \cdot 10^{-28} \text{ cm}, \quad l_f = l_{GUT}^2 / l_p, \quad l_U = l_f^2 / l_p$$

$$\alpha l_n = l_n / 137 = 1,5 \cdot 10^{-16} \text{ cm}, \quad l_* = l_n^2 / l_p = 1,5 \cdot 10^5 \text{ cm}.$$

Здесь в правой части получаем масштабы великого объединения взаимодействий (в том числе гравитационного и сильного) и объединения (с привлечением постоянной тонкой структуры α и размера нуклона) электромагнитного и слабого взаимодействий (размер адронной струны, отвечающий бозону Хиггса). Размеры фридмона и планковский оказались

T-дуальными относительно квадрата длины струны, отвечающей объединению всех взаимодействий. Метагалактика оказалась связана с белой дырой де Ситтера (иначе говоря, с атомом Леметра, имеющим геометрию де Ситтера) как фридмонной звездой, а Солнце как типичная звезда оказалось естественно связанным с нуклонной чёрной дырой. После Большого Взрыва масштабы великого объединения взаимодействий стали масштабами их разъединения на гравитационное, сильное, слабое и электромагнитное.

Если структурно-масштабную лестницу природы изобразить на плоскости в первом квадранте на графике зависимости сложности системы от энтропии как меры хаотичности, то он будет выглядеть как часть параболы с вершиной вверху и ветвями вниз. Слева внизу будет математический маятник как простейшая упорядоченная физическая система, справа внизу будет газ как простейшая и максимально хаотическая система, а вершина будет соответствовать человеку как системе максимально сложной. Жизни можно дать следующее рабочее определение [17]: *жизнь есть поток негэнтропии (упорядочения), обеспечиваемый (при условии притока свободной энергии) самокоррекцией наследственного кода: в биосфере – биологического, в социуме – социокультурного*. Вся динамика в физике основывается на идее фейнмановского интеграла по путям: сложение всех возможных виртуальных эволюций системы приводит к реализации с наибольшей вероятностью той, что отвечает экстремуму действия (уравнениям Эйлера–Лагранжа).

Онтологический статус законов динамики равен таковому статусу законов сохранения, отвечающих симметрии системы относительно той или иной группы преобразований (обычно – группы Ли). Платон абсолютизировал понятие симметрии, и даже великий Пенроуз придавал идеальной математической реальности статус, равный статусу реальной природы [14]. У Платона активные идеи вырезали из пассивной материи, отождествляемой Платоном с пространством (сегодня мы отождествляем пространство с нетривиальным физическим вакуумом, калибруемым тетрадным полем как системой отсчёта, понимаемой как дополнительная инвариантная структура на мире событий), все геометрические фигуры. Для Галилея язык этих фигур стал языком самой природы. Птолемей и Коперник абсолютизировали окружности как совершенные траектории совершенных небесных тел. Кеплер деформировал их в эллипсы, а Ньютон абсолютизировал закон всемирного тяготения: теперь каждый атом каждого тела отзывался на все остальные атомы Вселенной, и если даже сдвинуть один электрон в 13-ти миллиардах световых лет от нас, то со временем молекула воздуха, которая через 50 столкновений столкнулась бы возле нас с другой молекулой, теперь пролетит мимо неё под влиянием указанного смещения электрона на краю видимого мира.

Теория калибровочных полей говорит, что *симметрия диктует взаимодействие*. Усиление симметрии её локализацией приводит к появлению компенсирующих калибровочных полей, описывающих динамику, нацеленную на максимально возможное восстановление симметрии системы, нару-

шенной тем или иным возмущением. Теория *самоорганизующейся критичности* описывает не только обрушение горки песка в песочных часах и землетрясения из-за динамики материковых плит земной литосферы, но и социальные фазовые переходы. Человек отделился от остальных животных тем, что стал сталкивать стихии и предметы природы друг с другом и с другими соплеменниками (для этого ему понадобились рисунки и звуки, родившие язык музыки и слов) и стал ставить цели, позволявшие минимизировать затраты усилий по сравнению с действиями инстинктивными. Здесь родились и духовные ценности, являющиеся (по Голосовкеру) *высшими инстинктами*. Жизнь человека по-прежнему течёт во времени, но (в силу ограниченной применимости самого понятия времени) по законам того, что выше времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гильберт Д. Познание природы и логика (1930) // Избранные труды. – Т. 1. – М.: Факториал, 1998. – С. 457–465.
2. Яу Ш., Надис С. Теория струн и скрытые измерения Вселенной. – СПб.: Питер, 2012.
3. Полищук Р.Ф. Гипотеза флуктуирующей сигнатуры квантового пространства-времени // Тезисы 8-й Российской гравитационной конференции. Пушино, 25-28 мая 1993 года. – Москва, 1993. – С. 196.
4. Грин М., Шварц Дж., Виттен Э. Теория суперструн: в 2 т. – М.: Мир, 1990.
5. Гросс Дэвид. Лекция в Президиуме РАН, 13 мая 2006 г. URL: <http://www.elementy.ru>
6. Полищук Р.Ф. Пост-эйнштейнова космология: кручение, струны, дуальная симметрия // Материалы Седьмой международной научной школы «Наука и инновации – 2012», 23–29 июля 2012 г. – Йошкар-Ола, 2012. – С. 116–126.
7. Киржниц Д.А., Линде А.Д. ЖЭТФ. – 1974. – Т. 67. – Вып. 4(10). – С. 1263.
8. Фаддеев Л.Д. Успехи физич. наук. – 1982. – Т. 136. – С. 435–457.
9. Полищук Р.Ф. Нелокальные интегральные законы сохранения и тетрадные токи. I. Нелокальные законы сохранения // Краткие сообщения по физике ФИАН. – 2013. – Т. 40(9). – С. 38–48.
10. Полищук Р.Ф. Нелокальные интегральные законы сохранения и тетрадные токи. II. Проблема законов сохранения и тетрадные токи // Краткие сообщения по физике ФИАН. – 2013. – Т. 40(10). – С. 3–13.
11. Polishchuk R.F. Quasi-Einsteinian Tetrad Equations // Gravitation and Cosmology. – 1996. – Vol. 2. – No. 3(7). – P. 244–246.
12. Polishchuk R.F. Maxwellization of the Einstein Tetrad Equations // Astronomical and Astrophysical Transactions. – 1996. – Vol. 10. – P. 83–84.
13. Полищук Р.Ф. Каноническая связность и законы сохранения в гравитации // Восьмая международная научная школа «Наука и инновации – 2013». – 7–12 июля 2013 г. – Йошкар-Ола, 2013. – С. 108–115.
14. Пенроуз Р. Путь к реальности, или Законы, управляющие Вселенной. – М.-Ижевск: РХД, 2007.
15. Полищук Р.Ф. Гипотеза фридмонов как частиц тёмной материи // Краткие сообщения по физике ФИАН. – 2012. – Т. 39(8). – С. 10–15.
16. Chan H.-M., Tsou S.T. Acta Physica Polonica B. – 2002. – Vol. 33 (12). – P. 4041–4100.
17. Polishchuk R.F. Life as a Negentropy Current and the Problem of Infinity // Fundamentals of Life (eds. G. Palyi, C. Zucchu and L. Caglioti) Elsevier and Accademia Nazionale di Scienze, Lettere e Arti (Modena), Paris. – 2002. – S. 141–151.

ON THE RETURN OF PHYSICS AND METAPHYSICS INTO THE BOSOM OF UNIFIED COSMOLOGY

R.F. Polishchuk

The concept of cosmocentrism is presented, with emphasis on cosmology, as the basis of scientific world outlook. In this connection, a hypothesis is proposed about the relation between the scale of grand unification of all physical interactions (10^{-28} cm) and the mass of the Metagalaxy and about the relation between the scale of unification of weak and electromagnetic interactions (10^{-16} cm) and the mass of a medium-sized star of the solar type. The ideas of the T-duality of string cosmology and quantum string additions to Einstein's classical gravitation theory are drawn on.

Key words: cosmocentrism, gravitation, cosmology, general relativity theory, space-time, the Universe, quantum metrics, vacuum.

ПРОБЛЕМЫ КОСМОЛОГИИ В ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ПАРАДИГМЕ

БОЛЬШОЙ ВЗРЫВ: ФИЛОСОФИЯ, СТАТИСТИКА И ФИЗИКА

С.Ф. Левин

Московский институт экспертизы и испытаний

Статья посвящена рассмотрению с позиций гносеологической схемы теории измерительных задач проблем Большого Взрыва в терминах космологических моделей и их связи со шкалой космологических расстояний.

Ключевые слова: Гносеологическая схема, Большой Взрыв, космологические модели, шкала космологических расстояний.

Введение

Роль шкалы расстояний в космологии хорошо известна. Ее как зависимость расстояния D от красного смещения в спектрах излучения галактик

$$D(z) = c \cdot z / H_0,$$

где c – скорость света, H_0 – постоянная Хаббла, в 1929 г. установил Эдвин Хаббл. Но ещё в 1922 г. Александр Фридман рассматривал красное смещение как эффект Доплера в качестве аргумента в пользу своей модели «расширяющейся Вселенной» – нестационарного решения гравитационных уравнений Гильберта–Эйнштейна. Продолжением этой модели в 1946 г. стала предложенная Георгием Гамовым теория «Большого Взрыва», предсказанием которой было остаточное микроволновое фоновое излучение. Оно и было случайно обнаружено через 19 лет. А в 1958 г. Вольфганг Маттиг получил строгое решение космологической модели Фридмана для фотометрического расстояния

$$D_L(z) = [c / (H_0 \cdot q_0^2)] \cdot [q_0 \cdot z + (q_0 - 1) \cdot (\sqrt{2q_0 \cdot z + 1} - 1)], \quad (1)$$

где q_0 – параметр замедления, и при $q_0 = 1$ оно давало закон Хаббла. Эти же два параметра, H_0 и q_0 , сохранились в качестве основных и в современных

космологических моделях, стандартной среди которых является Λ CDM-модель.

Исследование красного смещения внегалактических объектов и спектра микроволнового фонового излучения в рамках космологических моделей на основе существенного повышения точности астрофизических измерений в XXI в. стало не только источником информации о строении Вселенной, но и способствовало новому этапу актуализации философских проблем космологии. И центральными среди них стали проблемы «Большого Взрыва» и «расширяющейся Вселенной»: от пересмотра законов физики и многообразия космологических моделей до парадокса сингулярности и божественного творения.

Во многих философских концепциях исходными являются образующие пару категории «ВСЕЛЕННАЯ» и «НИЧТО». Если первое есть «содержание понятия всего существующего», то второе определяется в [1] более развёрнуто: «НИЧТО – отсутствие или даже небытие чего-либо, выражаемое в языке при помощи отрицания. Это отрицание может иметь лишь относительный смысл, означая отсутствие свойств, состояний, процессов в определённом нечто, или абсолютный смысл, если речь идёт об отсутствии бытия как такового. Иудейско-христианская космология пытается доказывать, что Бог создал мир из ничего; Платон и Плотин рассматривают материю как неистинно сущее, как теон (“ничего”). В индийской философии говорится о переходе бытия в ничто».

Философскую основу имеет и теория измерительных задач [2], рассматривающая методы структурно-параметрической идентификации математических моделей различных объектов измерений, в том числе и космологических моделей [3]. Непосредственно с теорией Большого Взрыва связана измерительная задача идентификации шкалы космологических расстояний.

Напомним, измерительная задача – задача установления количественного соответствия между свойствами физического объекта и характеристиками его математической модели в данных условиях с требуемой точностью путем измерений и вычислений [2]. В гносеологической схеме измерительной задачи субъектом является наблюдатель, который воспринимает свойства объектов физической реальности посредством средств измерений (рис. 1).

С точки зрения наблюдателя Вселенная разделена на физическую реальность (реальное) и её отображение в сознании наблюдателя (идеальное). Реальное рассматривается как иерархия объектов измерений, а его отображение в сознании наблюдателя – как иерархия математических моделей объектов измерений. Отображение свойств объекта измерений характеристиками математической модели относится к измерительным задачам идентификации, а приведение свойств объекта к заданным характеристикам модели – к измерительным задачам воспроизведения, и точность их решения проверяется идентификацией.

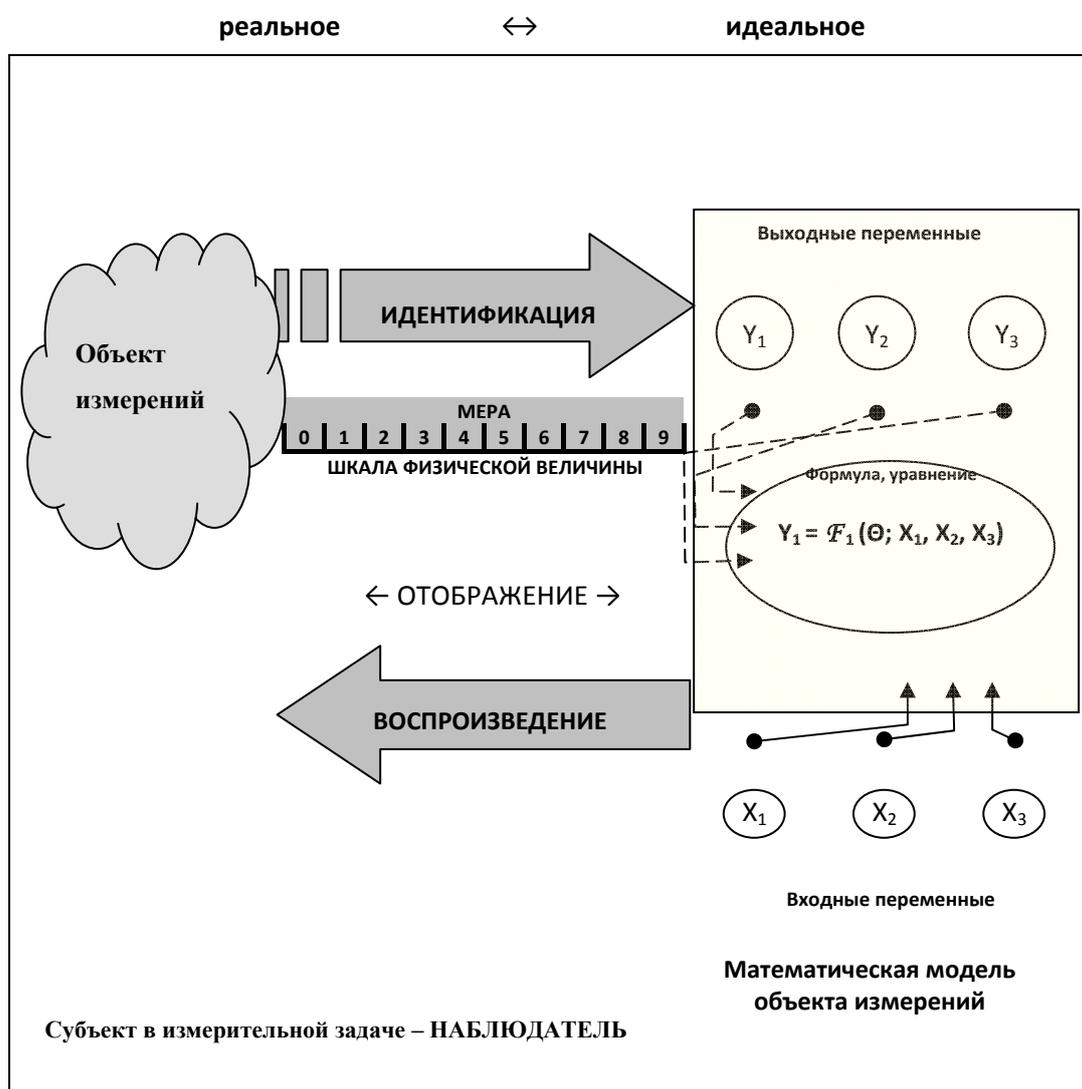


Рис. 1. Гносеологическая схема измерительной задачи

Специфика гносеологической схемы (рис. 1) заключена в следующем.

1. Посредниками между реальным и идеальным являются системы мер физических величин, образующие шкалы измерений, носителями которых являются средства измерений как средства познания реального. Каждая мера физической величины представляет собой соединение реального и идеального, а именно: с одной стороны, мера физической величины представляет собой стабильное воспроизведение количественного проявления свойства объектов реального, однородного для многих объектов измерений, а с другой стороны, этому количественному проявлению этого свойства присвоено число как элемент идеального. При этом между различными количественными проявлениями свойства и множеством действительных чисел наблюдателем в качестве необходимого условия установлены отношения единственности, однозначности и порядка согласно аксиоматике Дедекинда–

Кантора–Вейерштрасса. Более полное соответствие этой аксиоматике образуют метрические шкалы физических величин – шкалы разностей и отношений, которые разделяются на аддитивные и неаддитивные относительно суммирования, которому в реальности соответствует объединение объектов. При этом согласно принципу Ньютона–Эйлера [3] физический размер единицы физической величины может быть установлен наблюдателем произвольно, а числа есть отношения размеров к этой единице.

2. Математическая модель объекта измерений представляет собой вероятностное выражение причинно-следственной связи между физическими величинами, характеризующими свойства объекта измерений [2]. Характеристиками математической модели объекта измерений являются:

- а) входные $X = \{X_q: q = 1, Q\}$ и выходные $Y = \{Y_k: k = 1, K\}$ переменные;
- б) параметры, в т.ч. физические параметры, то есть переменные, полагаемые в задаче постоянными величинами, – $\Theta = \{\theta_m: m = 1, M\}$;
- в) характеристика положения

$$\tilde{y}_k = F_v(\Theta; x_1, x_2, \dots, x_q, \dots, x_Q) = F_v(\Theta; X)$$

с двоичным кодом $v = v_0v_1v_2\dots v_M$ –

$$\begin{aligned} \tilde{y}_{11\dots 1}(x) = \theta_0 + \sum_{m=1}^M \theta_m x^m &\xrightarrow{M=2} \tilde{y}_v(x) = v_0 \cdot \theta_0 + v_1 \cdot \theta_1 x + v_2 \cdot \theta_2 x^2 \\ &\xrightarrow{v=101} \tilde{y}_{101}(x) = \theta_0 + \theta_2 x^2 \end{aligned}$$

модель максимальной сложности M ;

- г) характеристика рассеяния, функция погрешности неадекватности – распределение погрешности неадекватности, для которого вид и параметры являются функциями опорных значений входных переменных [2].

В общем случае математическая модель объекта измерений имеет вид

$$y = F_v(\Theta; x_1, x_2, \dots, x_q, \dots, x_Q) \pm \zeta(\Theta; x_1, x_2, \dots, x_q, \dots, x_Q)$$

характеристика положения характеристика рассеяния.

Для математических моделей, заданных в виде алгебраических, дифференциальных или интегральных уравнений, это выражение является их решением.

3. Выбор математической модели в задачах идентификации осуществляется наблюдателем по критерию минимума погрешности неадекватности, каждое значение которой представляет собой разность расчётного значения выходной переменной математической модели объекта и результата ее измерения в соответствующих расчёту условиях $\tilde{\zeta} = F(\Theta; \hat{x}_1, \hat{x}_2, \dots, \hat{x}_q, \dots, \hat{x}_Q) - \hat{y}$, причём погрешность аппроксимации моделью данных измерений является составляющей погрешности неадекватности как погрешности предсказания моделью данных измерений выходной переменной по данным одновременных измерений входных переменных, которые не были использованы для построения самой. Этому условию соответствует схема перекрёстного наблюдения [2].

4. Для решения измерительных задач идентификации используют различные методы [3], но источником объективных данных о физической реальности остаётся исключительно метод прямого измерения [2], причём характеристика истинности относится именно к математическим моделям, а не к объектам.

Целью настоящей статьи является рассмотрение с позиций гносеологической схемы теории измерительных задач проблем Большого Взрыва в терминах космологических моделей и их связи со шкалой космологических расстояний.

Большой Взрыв, Λ CDM-модель и «неожиданные» результаты

Накопление и статистическая обработка данных астрофизических измерений дали ряд «неожиданных» результатов.

1. Уже первый вариант диаграммы Хаббла в виде зависимости красного смещения галактик от расстояния до них (рис. 2) продемонстрировал прогрессирующий статистический разброс относительно линии $z = (H_0/c) \cdot D$. Вопреки этому факту обычно утверждают, что относительный вклад в красное смещение пекулярных скоростей галактик с ростом расстояний становится пренебрежимо малым и можно использовать шкалу расстояний по эффекту Доплера:

$$D = \frac{c}{H_0} \cdot \frac{(z+1)^2 - 1}{(z+1)^2 + 1}. \quad (2)$$

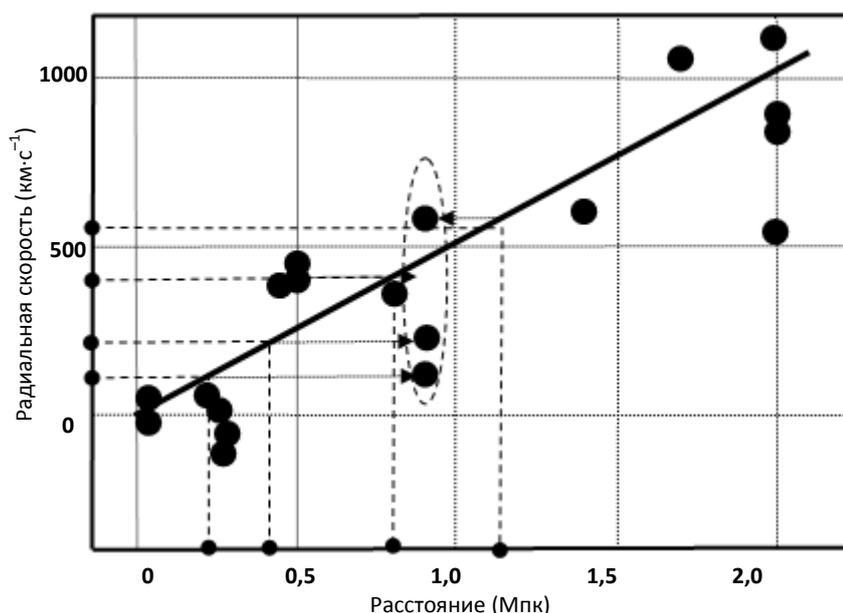


Рис. 2. Вид диаграммы Хаббла (1929 г.)

2. Оценка постоянной Хаббла 1929 г. $H_0 = 530 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпк}^{-1}$ к концу XX в. «пала» до $72 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпк}^{-1}$ с разбросом $(64,7 \pm 2,4 \dots 124,4 \pm 19,0) \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпк}^{-1}$

[4], из-за чего в 1970-е гг. H_0 называли «переменной Хаббла». В XXI в. по данным космических зондов WMAP [5] и Planck [6], «падение» H_0 продолжилось с 72,0 до 67,9 км·с⁻¹·Мпк⁻¹, а по результатам обработки данных Planck на декабрь 2013 г. эта оценка стала ещё ниже: $(67,3 \pm 1,2)$ км·с⁻¹·Мпк⁻¹. «Падения» не избежали и оценки параметра ускорения q_0 : от положительного значения в 1956 г. $(2,6 \pm 0,8)$ до отрицательного значения $(-1,0 \pm 0,4)$ в 1998 г. [7]. Теория измерительных задач, одним из базовых методов которой является структурно-параметрическая идентификация математических моделей объектов измерений, подобное явление связывает с некорректной параметризацией моделей и нарушениями условий применимости регрессионного анализа.

3. Обработка данных эксперимента Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) на основе Λ CDM-модели, «которая может объяснить наблюдаемую анизотропию (TT -спектр) и кросс-корреляцию анизотропии и E -моды поляризации (TE -спектр)», показала, что «для аппроксимации TT -спектра... вероятность принятия этой модели составляет только 3 %», а «для аппроксимации TT - и TE -спектров... 5 %» [8]. При этом авторы [9] утверждают, что «большинство параметров хорошо определяются в рамках принятой модели. Исключение составляют два параметра: спектральный индекс n_s и оптическая толщина τ . По этим параметрам существует явное вырождение. Так, функция правдоподобия меняется только на 0,05 при изменении оптической толщины в интервале $0,11 < \tau < 0,19$ » [8]. Это в отчётах WMAP названо «degeneration of Λ CDM-model» [10], а в математической статистике – «стохастическая мультиколлинеарность».

4. Первым результатом эксперимента WMAP стала глобальная евклидовость геометрии Вселенной, хотя длительное время в космологии обсуждались проблемы идентификации глобальной кривизны, «замкнутости» или «открытости» Вселенной. Так, ещё 21 марта 1960 г. на 44-й Гэтриевской лекции Фред Хойл с целью выявления неевклидовых эффектов предложил дополнить закон Хаббла для галактик квадратичным членом [11]:

$$c \cdot z = H_0 \cdot D + K \cdot D^2, \quad (3)$$

где K – коэффициент Хойла. Оценка постоянной Хаббла, полученная в 1956 г., составляла $H_0 = 170$ км·с⁻¹·Мпк⁻¹. Но в 1962 г. Алан Сэндейдж получил новую оценку $H_0 = (98 \pm 15)$ км·с⁻¹·Мпк⁻¹ и установил, что на расстоянии 10^9 световых лет галактики движутся на 10^4 км·с⁻¹ быстрее, чем следует из закона Хаббла. И в 1966 г. было замечено, что коэффициент Хойла $K \approx c \cdot (H_0/c)^2$, а модель (3) можно представить первыми двумя членами разложения в ряд нелинейной модели с точкой разрыва 2-го рода – интерполяционной модели:

$$z = (H_0/c) \cdot D \cdot [1 - (H_0/c) \cdot D]^{-1} \underset{D \ll c/H_0}{\approx} (H_0/c) \cdot D + (H_0/c)^2 \cdot D^2. \quad (4)$$

Интерполяционная модель (4) является частным случаем моделей вида [12]

$$z = [1 + (H_0/c) \cdot D/\alpha]^\alpha - 1 \text{ или } z = (H_0/c) \cdot D [1 + \alpha \cdot (H_0/c) \cdot D]^\alpha.$$

5. Вероятность согласия спектра флуктуаций микроволнового фона в Λ CDM-модели с данными WMAP по χ^2 -критерию оказалась лишь 0,096 [13] при негауссовости его карт [14]. Проблема в том, что максимуму правдоподобия Λ CDM-модели соответствует слишком малое абсолютное значение вероятности согласия с данными астрофизических измерений.

6. Данные Planck подтвердили данные WMAP об асимметрии средних температур на противоположных полусферах неба и о существовании «большого холодного пятна», размеры которого оказались значительно больше, чем ожидалось. В направлении Северного галактического полюса в Coma был обнаружен крупнейший структурный элемент наблюдаемой части Вселенной – сверхскопление сверхскоплений галактик [6]. В направлении же Южного галактического полюса в Eridanus и Aquarius находится система гигантских пустот размерами 11...150 Мпк, что в теории Большого Взрыва интерпретируется как флуктуации плотности барионного вещества под воздействием акустических волн на ранних стадиях развития Вселенной. Но еще в 1988 г. в Canes Venatici на расстоянии 0,47 Гпс был обнаружен Giant Void диаметром 300–400 Мпк, а в 2004 г. в Eridanus и Aries на расстоянии 2...4 Гпс – Great Void диаметром более 280 Мпк. Их размеры плохо вписываются в теорию барионных флуктуаций. С этими крупномасштабными неоднородностями связана дипольная анизотропия микроволнового фона и красного смещения галактик, радиогалактик и квазаров, включая «фиолетовое смещение» в Местном объеме. Образование крупномасштабных неоднородностей требует большего времени и связано с ранними стадиями развития Вселенной, тогда как согласно стандартной Λ CDM-модели Вселенная должна быть изотропной. И хотя, по данным зонда Planck, снижение оценки постоянной Хаббла привело к увеличению «возраста Вселенной» до $(13,796 \pm 0,058)$ млрд лет [6], Ия Масанори (Японская национальная астрономическая обсерватория) предсказал, что обнаружение галактик с красными смещениями $z = 15...20$ из-за нехватки времени на их формирование может стать «полномасштабным кризисом Λ CDM-модели». Нехватка времени имеет место и для других следствий Λ CDM-модели.

Эти «неожиданные» результаты обычно не комментируют, так как они не столько стали аргументами против гипотезы о Большом Взрыве, сколько породили сомнения в состоятельности стандартной Λ CDM-модели.

4 апреля 2013 г. в МГТУ имени Н.Э. Баумана с лекцией о Большом Взрыве выступал физик-теоретик и философ Роджер Пенроуз, соавтор известной теоремы Хокинга–Пенроуза. Он дал обстоятельные ответы на все вопросы.

Исключение составила просьба прокомментировать перечисленные выше и хорошо известные специалистам «неожиданные» результаты в космологии.

Сэр Роджер начал было отвечать, но возникла заминка. Как заметил Юрий Владимиров (кафедра теоретической физики МГУ), в синхронном переводе перечня этих результатов были пропущены некоторые термины. После уточнений ответ уже не требовал перевода: «I am not authorized to make comments on results of other researchers». Оставалось только поблагодарить сэра Роджера за прочитанную с юношеским задором лекцию, ведь месяцем ранее ему исполнилось восемьдесят два.

Статистический фактор в измерительных задачах космологии

Причины «неожиданных» результатов многообразны, но наиболее многочисленную их категорию в измерительных задачах космологии составляют нарушения условий применимости статистических методов. К ним относятся условия статистической однородности, центрированности, гауссовости, некоррелированности и неконфлюэнтности данных измерений, а также неограниченности переменных модели и её полноты, единообразия принципов определения точности и, самое главное, корректности формулировки измерительной задачи.

Статистическая неоднородность данных ведет к дополнительным случайным погрешностям оценок и некорректному применению популярных алгоритмов математической статистики, что иллюстрируют логарифмические диаграммы Хаббла $\lg[cz(m)]$, где m – видимая звездная величина объекта, для внегалактических объектов различных морфологических типов – галактик, радиогалактик и квазаров. Их характеристики положения при стандартном параметре наклона $\sim 0,2$ отличаются нуль-пунктами и параметрами рассеяния (рис. 3). Это обстоятельство делает невозможным объединение данных о красном смещении внегалактических объектов различных морфологических типов при построении шкалы космологических расстояний.

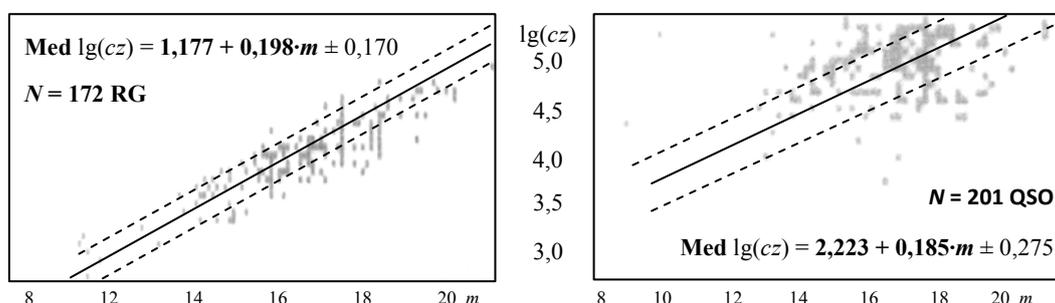


Рис. 3. Диаграмма Хаббла для радиогалактик (RG) и квазаров (QSO)

Нарушение условия *центрированности* вызывается неисключенными систематическими погрешностями измерений и использованием статистик, несоответствующих виду распределения. Статистическая обработка данных WMAP ведется методами максимального правдоподобия и байесовского оценивания. Их используют в режиме «подгонки» при введении дополнительных параметров, и для одних и тех же данных они дают различные оценки. На эти различия только в 2006 г. обратил внимание Михаил Прохоров (ГАИШ МГУ).

Так, неожиданно малую амплитуду квадруполь и октуполь микроволнового фонового излучения, по данным WMAP, авторы [15] анализируют при помощи частотных и байесовских статистик несоответствия с точки зрения статистической значимости и, вопреки [16], делают вывод об отсутствии необходимости привлекать новую физику для объяснения эффекта, списывая явление на ошибку при вычитании фона Галактики. Но применение частотных и байесовских статистик корректно только в рамках соответственно частотной концепции Пуассона–Мизеса и субъективной концепции Бернулли–Бейеса.

На оценки мультиполей микроволнового фонового излучения влияет эффект «интерполяции» сферическими гармониками, характерный и для разложения Фурье, гармоники которого привязаны к интервалу наблюдения. Для его преодоления сканируют по периоду для выявления действительных гармоник.

Нарушение условия *гауссовости* является жестким ограничением на применение регрессионного анализа – его оценки теряют привлекательные свойства. Отсутствие альтернатив гипотезе гауссовости в сочетании с группированием данных и критерием χ^2 , придающим больший вес наиболее надежной части данных на краях распределений, упрощает вычисления, но искажает вид распределения и завышает вероятность согласия.

Так, одни специалисты команды WMAP [17] объявили о 95 % достоверности гауссовости фона реликтового излучения. Они представили карту ILC (Internal Linear Combination), не предназначенную для исследования микроволнового фонового излучения из-за «сложных свойств шума». Они же утверждают, что в плоском пространстве 6-параметрическая Λ CDM-модель дает приемлемое описание экспериментальных данных о спектрах, но величины χ^2 для нее недопустимо велики, а вероятность принятия модели ~5 %. Другие специалисты команды WMAP [18] объявили о гауссовости карт FCM (Foreground Cleaned Map) и WFM (Wiener-Filtered Map). Однако некоторые специалисты команды WMAP [9] ранее указали, что избыток χ^2 обусловлен гравитационным линзированием, угловыми вариациями диаграммы направленности антенной системы зонда WMAP и небольшим негауссовым шумом.

Роль «небольшой негауссовости» в качестве помехи, имитирующей выбросы, демонстрирует схема « ϵ -загрязнения» Тьюки в виде смеси

$$f_{\varepsilon}(\xi) = (1 - \varepsilon) \cdot f_G(\theta_{G1}, \theta_{G2}; \xi) + \varepsilon \cdot f_G(\theta_{G1}, \beta\theta_{G2}; \xi), \quad (5)$$

где $0 \leq \varepsilon \leq 1$ – доля, $f_G(\theta_{G1}, \theta_{G2}; \xi)$ – плотность распределения вероятностей Гаусса с параметрами положения θ_{G1} и рассеяния θ_{G2} , β – параметр масштаба « ε -загрязнения». Так, в задаче Эддингтона–Фишера [19] для оценок равной точности параметра рассеяния смеси при $\varepsilon = 0$ и $\beta = 3$ среднеквадратическое отклонение (СКО) требует на 12% меньшего объема выборки, чем среднее абсолютное отклонение (САО). Но при $\varepsilon > 0,0018$ это отношение меняется (табл. 1), а при $\varepsilon = 0,05$ превышает 200 % в пользу САО.

Таблица 1

Асимптотическая относительная эффективность оценок при возмущающем распределении Гаусса [19]

ε	0	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,10	0,15	0,25	0,5	1
СКО/САО	0,876	0,948	1,016	1,198	1,439	1,752	2,035	1,903	1,689	1,371	1,017	0,876

Негауссовость данных WMAP обнаружила группа Олега Верходанова [14], что было позднее подтверждено в целом ряде зарубежных исследований.

При негауссовом возмущающем распределении резко снижается эффективность среднего как оценки параметра положения (табл. 2).

Таблица 2

Эффективность оценок [20]

Оценка	ε	Вид возмущающего распределения			
		Гаусса	Лапласа	Равномерное	Коши
среднее	0	1	1	1	1
медиана		0,637	0,637	0,637	0,637
среднее	0,05	0,808	0,682	0,362	0,282
медиана		0,669	0,894	0,781	0,765
среднее	1	1	0,5	0,063	0,032
медиана		0,637	1	0,835	0,811

«Выбросы» на фоне «гауссовости» являются признаком распределения Коши, для которого дисперсия и математическое ожидание не существуют.

Миссия Planck негауссовость флуктуаций не подтверждает, так как использует «фидуциальную гауссову аппроксимацию», но на масштабах $> 6^\circ$ вероятность согласия модели спектра оказалась ещё ниже, чем по данным WMAP (рис. 4).

Нарушение условия гомоскедастичности проявляется снижением эффективности оценок параметров модели и существенным занижением оценок дисперсий и ковариаций параметров, что и показывает схема « ε -загрязнения».

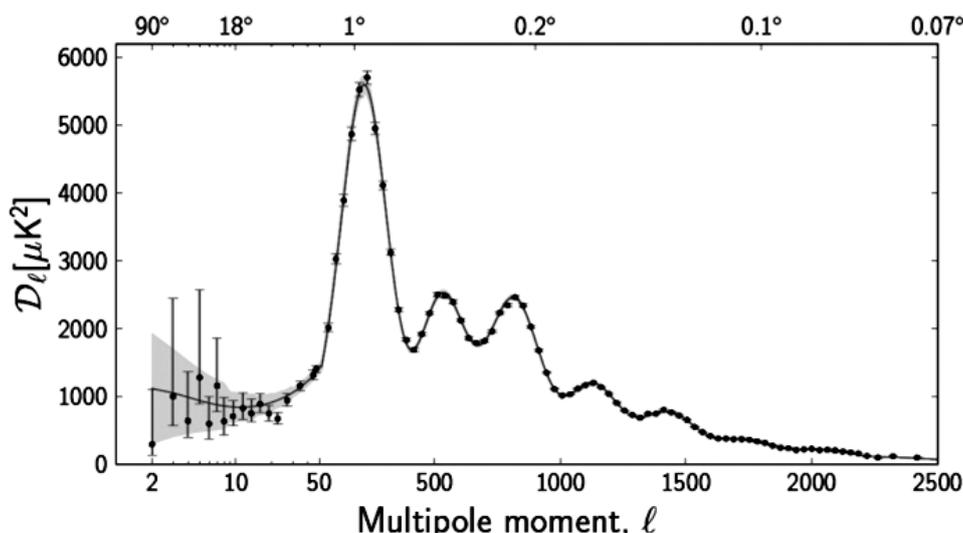


Рис. 4. Согласие спектра флуктуаций в рамках Λ CDM-модели [6]

Часто полагают, что объединение «неравноточных» данных путём «взвешивания по дисперсиям» повышает точность конечного результата. Это такой же застаревший предрассудок, как и то, что «среднее арифметическое результатов измерений является результатом измерения» [21]. Так, в Hubble Space Telescope Key Project (HST KP) постоянную Хаббла оценивали различными методами¹ ($H_0 \pm s \pm \sigma$, км·с⁻¹·Мпк⁻¹) [4]:

- по сверхновым типа Ia – $H_0 = 71 \pm 2 \pm 6$;
- по соотношению Талли–Фишера – $H_0 = 71 \pm 2 \pm 7$;
- по флуктуациям поверхностной яркости – $H_0 = 70 \pm 5 \pm 6$;
- по сверхновым типа II – $H_0 = 72 \pm 9 \pm 7$;
- по среднему – $H_0 = 82 \pm 6 \pm 9$;
- по среднему взвешенному – $H_0 = 72 \pm 8$ («лучшая» оценка).

Оценка параметра рассеяния среднего взвешенного в \sqrt{N} раз меньше оценки параметра рассеяния смеси распределений, и конечный результат в принципе не может быть точнее наиболее точного компонента смеси распределений!

В методе максимального правдоподобия весовые коэффициенты определяют долями данных источников, и в проекте HST KP корректную оценку характеристик точности дала бы схема «ε-загрязнения» (5). По данным более точных измерений зонда Planck – $H_0 = (67,80 \pm 0,77)$ км·с⁻¹·Мпк⁻¹ [6]!

Вместе с тем «Открытия», сделанные при объединении данных WMAP с данными менее точных экспериментов, были «закрыты» [22]. Но не все.

Нарушение условия некоррелированности приводит к тому, что:

- оценки параметров не смещены, но теряют эффективность;
- дисперсия оценки регрессионной модели занижается;

¹ Здесь: s – СКО случайной, σ – стандартное отклонение систематической погрешности.

– дисперсии оценок параметров смещены, а статистически незначимые входные переменные могут быть признаны значимыми;

– нарушаются условия применимости критериев Стьюдента и Фишера.

Со «статистическим рецептом» Рональда Фишера в отношении спецификации параметрической модели этими критериями, основанными на гипотезе нормальности, связан парадокс Эльясберга–Хампеля. В этом «рецепте» нет ни слова о возможном отсутствии независимости и катастрофической неробастности F -критерия. Ни слова о том, что различные критерии согласия оценивают различные (в т.ч. и несущественные) аспекты подгонки, что при достаточно больших выборках практически все критерии превышают уровень значимости. И, самое главное, ни слова о том, что «плавную», неизолированную нулевую гипотезу никогда статистически доказать нельзя, статистически ее можно только опровергнуть [23], что и получило название парадокса Эльясберга–Хампеля.

Примерами «статистических доказательств», которые уже стали «классическими примерами статистической безграмотности», особенно богата история физики начала XX в.

Условие неконфлюэнтности нарушают случайные величины в регрессионной матрице, при этом смещение регрессоров занижает оценки дисперсии, а оценки параметров теряют состоятельность.

Ограниченность переменных ведет к мультиколлинеарности [24]:

– оценки становятся неустойчивыми (добавление или исключение даже одного отсчета ведет к сильному изменению оценок параметров регрессионной модели и к резкому уменьшению точности предсказания по модели);

– за счет округления неустойчивой становится процедура оценивания;

– корреляция оценок параметров модели лишает смысла ее интерпретацию;

– дисперсии оценок параметров модели увеличиваются;

– критерии значимости, в которые входят СКО, становятся ненадежными.

Часто полагают, что увеличение числа параметров модели повышает точность аппроксимации экспериментальных данных и что такой же эффект сопровождает увеличение числа измерений. Методами же борьбы со стохастической мультиколлинеарностью является исключение параметров модели с «паразитной» корреляцией и также увеличение объема данных измерений.

Рост объема данных действительно ослабил корреляцию $n_s \times \tau$. Но при этом усилилась положительная корреляция между амплитудой флуктуаций плотности галактик в радиусе 8 Мпк и плотностью «холодной темной материи» $\sigma_8 \times \Omega_c \cdot h^2$, спектральным индексом и плотностью «барионной материи» $n_s \times \Omega_b \cdot h^2$. Усилилась также отрицательная корреляция плотности «темной энергии» с плотностью «холодной темной материи» $\Omega_\Lambda \times \Omega_c \cdot h^2$ и амплитудой флуктуаций плотности галактик $\Omega_\Lambda \times \sigma_8$. В итоге мультиколлинеарностью оказались пораженными все 6 параметров Λ CDM-модели. Тем не менее специалисты WMAP показали, что за 7 лет увеличение объема данных изме-

рений до 3 раз увеличило точность Λ CDM-модели в 1,5 раза, введение же одного дополнительного параметра – в 1,9 раза, а введение двух – в 2 раза (табл. 3). Если, конечно, не считать дополнительными параметры Ω_c и Ω_Λ , не имеющие определенного физического смысла и используемые для подгонки модели под данные измерений.

Показателем точности космологических моделей фактически является точность оценивания постоянной Хаббла. Так, модель с квинтэссенцией при уравнении состояния $w = -0,5$ с параметрами $\Omega_m = 0,47$ и $H_0 = 57 \text{ км}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{Мпк}^{-1}$ удовлетворяет данным WMAP так же хорошо, как и стандартная Λ CDM-модель. Но она была отвергнута, так как получающееся значение постоянной Хаббла на 2σ меньше, чем её значение, полученное в HST КР. Была отвергнута и модель с неплоским пространством, $H_0 = 32,5 \text{ км}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{Мпк}^{-1}$, $\Omega_\Lambda = 0$ и $\Omega_{\text{total}} = 1,28$ [8]. Поэтому последняя колонка табл. 3, характеризующая точность Λ CDM-модели при наличии дополнительных параметров, комментариев не требует.

Таблица 3

Эффекты увеличения числа параметров модели M [13]

Λ CDM-модель и дополнительные параметры	M	$\frac{\text{WMAP-5}^*}{\text{WMAP-7}}$	Оценка параметра	$H_0, \text{ км}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{Мпк}^{-1}$
Λ CDM $\{\Omega_b, h^2, \Omega_c, h^2, \Omega_\Lambda, \sigma_8, n_s, \tau\}$	6	1,5	–	$71,0 \pm 2,5$
Λ CDM + r (тензорно-скалярное отношение)	7	1,9	$< 0,36$ (95% CL)	$67,5 \pm 3,8$
Λ CDM + $\frac{dn_s}{d \ln k}$ (логарифмическая производная)	7	1,7	$-0,034 \pm 0,026$	$73,5 \pm 3,2$
Λ CDM + $r + \frac{dn_s}{d \ln k}$	8	3,0	$< 0,49$ (95% CL); $-0,048 \pm 0,029$	$69,1^{+4,0}_{-4,1}$
Λ CDM + α_{-1} (кривизна CDM с корреляцией «-1»)	7	1,9	$< 0,011$ (95% CL)	$74,5^{+3,1}_{-3,0}$
Λ CDM + α_0 (кривизна CDM с корреляцией «0»)	7	1,9	$< 0,13$ (95% CL)	$73,6 \pm 3,2$
Λ CDM + N_{eff} (масса нейтрино)	7	1,8	$> 2,7$ (95% CL)	$82,6^{+8,9}_{-8,7}$
Λ CDM + $\Omega_k = 1 - \Omega_{\text{tot}}$ (пространственная кривизна)	7	1,8	$-0,080^{+0,071}_{-0,093}$	53^{+13}_{-15}
Λ CDM + w (параметр состояния темной энергии)	7	1,5	$-1,12^{+0,42}_{-0,43}$	75^{+15}_{-14}

Примечание. * Отношение корней квадратных из детерминантов корреляционных матриц параметров WMAP-5/WMAP-7.

Более того, за 9 лет измерений WMAP ожидаемого в условиях гауссовости уточнения параметров Λ CDM-модели, обратно пропорционального корню квадратному из объема данных, так и не произошло. Некоторый прогресс был достигнут по данным зонда Planck (табл. 4).

В итоговом отчете команды WMAP [26] сведения о повышении точности Λ CDM-модели при введении дополнительных параметров уже отсутствовали.

Таблица 4

Оценки постоянной Хаббла H_0 , км·с⁻¹·Мпк⁻¹ [5, 6, 25]

WMAP 1-й год	WMAP 3-й год	WMAP 5-й год	WMAP 7-й год	WMAP 9-й год	Plank 21.03.2013	Plank 12.12.2013
$0,72 \pm 0,05$	$73,2^{+3,1}_{-3,2}$	$71,9^{+2,6}_{-2,7}$	$71,0 \pm 2,5$	$70,0 \pm 2,2$	$67,9 \pm 1,5$	$67,3 \pm 1,2$

Заметим, что введение неевклидовых геометрий можно рассматривать как следствие исчерпания ресурса точности описания математическими моделями космических объектов измерений в рамках эвклидовой геометрии.

Условие адекватности нарушается избыточностью модели, вызывающей рост дисперсий оценок, или её неполнотой, что смещает остатки. В теории измерительных задач понятие адекватности для математических моделей объектов измерений не имеет смысла ввиду наличия погрешностей неадекватности.

Погрешность неадекватности математической модели, полученной при решении измерительной задачи структурно-параметрической идентификации, содержит три составляющие – размерностную или инструментальную, параметрическую и структурную [2]. *Размерностная* составляющая определяется погрешностями исходных данных, округлением промежуточных результатов, прерыванием вычислений и математическими операциями с приближенными числами, данными измерений; *параметрическая* составляющая – методом оценивания параметров и параметризации переменных; *структурная* составляющая – выбором структуры модели и реализацией вычислительной схемы.

Основными методами идентификации Λ CDM-модели в отчётах миссий WMAP и Plank являются методы максимального правдоподобия и критерий χ^2 , но их существенный недостаток заключается в ориентации не на погрешности неадекватности, а на погрешности аппроксимации.

Нарушения *условия единообразия принципов определения характеристик точности* требуют более подробных пояснений. Так, в целом ряде отчётов по анализу данных WMAP оценки точности результатов с символом «±» сопровождают метки «68 %», «CL 68 %», «68 % CL uncertainties», «the corresponding 68 % intervals», «68 % confidence intervals», «CL 95 %», реже – «99,5 % confidence». Завышение точности в оценках такого рода часто связано с игнорированием того обстоятельства, что полной характеристикой результата решения измерительной задачи является распределение вероятностей. Это очевидное обстоятельство получило международное признание в т.н. «законодательной метрологии» только в 2007 г., правда, в примечаниях 3-й редакции словаря VIM-3 [27]. Путаницу в этот вопрос внесла произвольная интерпретация «Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement» (GUM) [28], термины которого «confidence level» и «confidence interval» («coverage interval») не соответствуют одноименным терминам математической статистики «доверительная вероятность», «уровень доверия» и «доверительный интервал», что отмечено непосредственно в GUM. Пута-

ницы добавил некорректный перевод термина «tolerance interval» как «допустимый интервал» в ГОСТ Р 50779.10–2000 [29]. Правильное определение дано ГОСТ Р ИСО 16269-6–2005 [30] и МИ 2916–2005 [31]. Ошибочное определение термина «толерантный интервал» исправлено только в 2012 г. при введении в действие ГОСТ 54500.3–2011 [32], но схема оценивания «неопределённости измерения» для метода косвенного измерения в этом стандарте осталась прежней – точечное оценивание с формулой Тейлора.

Корректность формулировки цели измерительной задачи [2] связана не только с характеристиками положения, но и с характеристиками рассеяния зависимостей между физическими величинами. При данных значениях аргументов им соответствуют параметры положения и рассеяния. А так как СКО оценки параметра положения в \sqrt{N} раз меньше СКО s величины, то нахождение погрешностей входной переменной по погрешностям оценивания линейной регрессии – грубая ошибка, так как доверительная зона линии регрессии уже размаха распределения. И это относится ко всем регрессионным моделям.

К этим обстоятельствам следует добавить и то, что на сегодняшний день наиболее эффективными критериями статистической проверки гипотез в метрологии являются критерии на основе характеристик погрешности неадекватности математических моделей не только зависимостей между физическими и расчётными величинами, но и моделей функций распределений. За последние полвека этот подход прошёл путь от идеи Майкла Кенуя и метода «складного ножа» Джона Тьюки до схемы перекрёстного наблюдения погрешности неадекватности [2], связанной с погрешностями предсказания моделью данных измерений, которые не были использованы при её построении. Причём контурные оценки погрешности неадекватности позволили получать «безопасные» решения даже при неправильных гипотезах и стимулировали поиск «менее неправильных» моделей по критерию минимума погрешности неадекватности.

Ошибку совершают уже при постановке измерительной задачи, не замечая различий между «измерением как сравнением с мерой» и «измерительной задачей как математической задачей, решаемой путём вычислений по данным измерений», полагая «результатом измерения» согласно [21] статистическую оценку параметра положения данных многократных измерений. Это различие согласно принципу Ньютона–Эйлера заключается в том, что результат измерения – рациональное число, а результат вычисления – действительное.

Следствием некорректной постановки задачи становятся еще три ошибки.

Во-первых, точность точечной оценки параметра положения совокупности данных многократных измерений (вычислений в методе косвенного измерения) характеризуется оценкой параметра рассеяния для возможных значений оценки параметра положения. Для распределения Гаусса она меньше

оценки параметра рассеяния возможных значений искомой величины в \sqrt{N} раз.

Но среднее арифметическое в методе максимального правдоподобия является оценкой только параметра положения искомой в задаче величины. И хотя ГОСТ 8.207–76 [21] с 1 января 2013 г. заменён на ГОСТ Р 8.736–2011 [33], а слова «среднее арифметическое значение исправленных результатов измерений» как «результат измерения» заменены «оценкой измеряемой величины», вычислительная схема и этого стандарта не изменилась.

Во-вторых, точность точечных оценок параметров распределений характеризуют доверительными интервалами, границы которых в стандартном методе максимального правдоподобия связаны с оценками параметров рассеяния коэффициентами на основе распределений Стьюдента и χ^2 .

Введённое с 1 января 2011 г. Изменение № 2 метрологической терминологии в РМГ 29–99 [34] в определённой степени исправило некорректные определения и формулы в отношении статистических оценок для рядов измерений.

Фактически же Изменение № 2 стало признанием того, что коэффициент Стьюдента $t_{\alpha, \nu}$ ранее использовался в нормативных документах ГСИ не по назначению. Он входит в формулу для доверительных границ оценки параметра положения нормальной совокупности данных и характеризует не исключённую систематическую, а не случайную составляющую композиции распределения погрешности, для которой применяют коэффициенты доверительных границ оценки параметра рассеяния на основе распределения χ^2 .

В-третьих, интервальной оценкой точности результата решения размерностной измерительной задачи является не доверительный, а толерантный интервал, содержащий с заданной вероятностью не менее чем заданную долю распределения искомой величины, а не долю распределения возможных значений параметра положения для распределения величины!

Толерантные интервалы можно строить и с использованием доверительных интервалов для оценок параметров распределения, но с коррекцией нормы доверительной вероятности для композиции в зависимости от числа параметров, как это указано для распределения Гаусса в ГОСТ Р 50779.21–2004 [35].

Дефект метки «CL 68 %» для « $\pm 1\sigma$ -интервала» исчезает только при точно известных параметрах распределения Гаусса, чего не бывает никогда!

Статистический разброс данных измерений и погрешности измерений характеризуют различными распределениями вероятностей, к ним в результате решения измерительной задачи добавляются погрешности неадекватности математической модели, представляющей этот результат, по свертке которых и находят толерантный интервал. Для не исключённых систематических погрешностей в поверочных схемах принято равномерное распределение, поэтому свёртка, даже в случае распределения Гаусса для случайной составляющей, уже не будет распределением Гаусса, а правила её построения в теории вероятностей установлены якобианом преобразования.

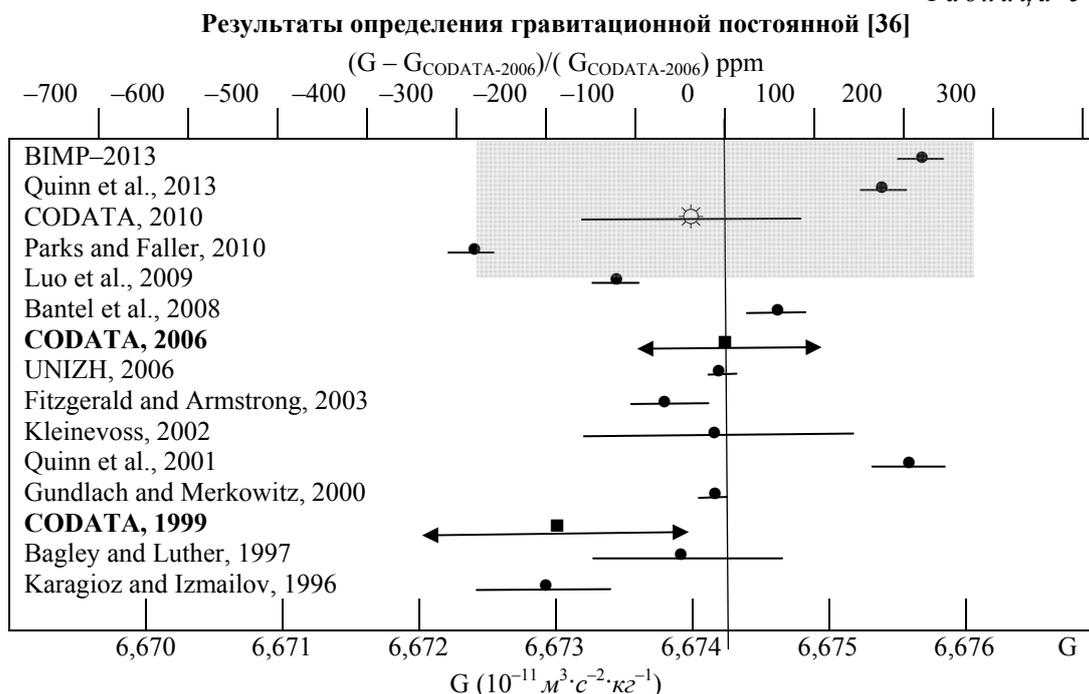
Особая роль в космологических моделях отведена гравитационной постоянной, причём известно, что в качестве оценок фундаментальных физических констант принято использовать среднее арифметическое данных многократных измерений и СКО для среднего арифметического. Последнюю оценку традиционно используют для построения доверительного интервала, характеризующего точность определения соответствующей константы.

Эта традиция в 1998 г. была нарушена, когда Комитет по данным для науки и технике (CODATA) принял «менее точное» значение гравитационной постоянной $(6,663...6,683) \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{кг}^{-1}$, тогда как в 1986 г. было установлено $(6,67174...6,67344) \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{кг}^{-1}$.

Фактически это стало первым шагом перехода от доверительного интервала к толерантному, и в 1999 г. значение гравитационной постоянной было уточнено: $G = (6,673 \pm 0,001) \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{кг}^{-1}$. Но в 2006 г. CODATA вновь рекомендовало шестизначную оценку $G = (6,67428 \pm 0,00067) \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{кг}^{-1}$.

Однако эксперименты 2010–2013 гг. в различных лабораториях, в том числе и в лаборатории Международного бюро мер и весов (BIMP), снова поставили вопрос о согласовании их результатов (табл. 5).

Таблица 5



Разброс оценок стал ещё больше и превысил 500 ppm!

И теперь вопрос о доверительных границах погрешности определения одной из важнейших для космологии физических констант остаётся открытым.

Следует заметить, что на сегодняшний день данные о вековом изменении фундаментальных физических констант отсутствуют, что указывает на стабильность соответствующих физических законов во времени.

Большой Взрыв, интерполяционная модель и «неожиданные» совпадения

В 1967 г. опытный астроном Хелтон Арп, в прошлом – ассистент Эдвина Хаббла, собрав каталог взаимодействующих галактик и квазаров с существенно различающимися красными смещениями, предположил, что аномально большие красные смещения квазаров не соответствуют закону Хаббла. Так, например, на фоне галактики NGC 7319 при $z = 0,0225$ наблюдается квазар при $z = 2,11$. Гипотезу Арпа поддержали известные исследователи квазаров Джеффри и Маргарет Бербиджи: они отметили, что для квазаров диаграмма Хаббла представляет функцию светимости, и предложили для красного смещения квазаров модель

$$z = (1 + z_g)(1 + z_k) - 1, \quad (6)$$

где гравитационная составляющая

$$z_g = [1 - 2GM/(rc^2)]^{-1/2} - 1 \text{ или } z_g \xrightarrow{GM/(rc^2) \ll 1} GM/(rc^2), \quad (7)$$

G – гравитационная постоянная, M и r – масса и радиус квазара [37].

Тогда космологической составляющей красного смещения может соответствовать строгое решение уравнения Маттига (1) [38]:

$$z_k = q_0 \cdot (H_0/c) \cdot D_L - (q_0 - 1) \cdot [\sqrt{1 + 2(H_0/c) \cdot D_L} - 1]. \quad (8)$$

В 1992 г. Х. Арп указал, что красное смещение z_0 квазара определяет его абсолютная светимость μ (K -эффект), а в работе [39] было показано, что

$$z_0 = K \cdot 10^{-0,2\mu}, \quad (9)$$

где $K = 2,6 \cdot 10^{-6}$ – параметр наклона линии регрессии, построенной по данным о лучевой скорости различных звёзд и взаимодействующих галактик.

K -эффект в линейном приближении (7), по данным [39], не отличается от гравитационного красного смещения, которое выражается через эффективную температуру T_e , фотометрическое расстояние $D_L = 10^{-5+0,2 \cdot (m-\mu)}$ [1], а также абсолютную μ и видимую m звёздные величины квазара [40]:

$$z_g = [1 - 2K_g T_e^2 \cdot 10^{-0,2\mu}]^{-1/2} - 1 \text{ или } z_g \cong K_g T_e^2 \cdot 10^{-0,2\mu} \text{ при } K_g T_e^2 \cdot 10^{-0,2\mu} \ll 1, \quad (10)$$

где $K_g = (G/c^2) \cdot M_C \sqrt{4\pi\sigma/L_C} \cdot 10^{0,2\mu_C} \sim 5,76 \cdot 10^{-13} \text{ К}^{-2}$, M_C , L_C , μ_C – соответственно масса, светимость и абсолютная звёздная величина Солнца, σ – постоянная Стефана–Больцмана. Тогда модель (6) принимает вид

$$z = [1 - 2K_g T_e^2 D_L 10^{5-0,2m}]^{-1/2} (1 + z_k) - 1$$

$$\text{или } z \cong (1 + K_g T_e^2 D_L 10^{5-0,2m}) \cdot (1 + z_k) - 1. \quad (11)$$

В работе [40] для космологической составляющей красного смещения по данным об объектах различных морфологических типов (табл. 6) были рассмотрены строгие решения уравнения Маттига (8) при $q_0 = \{-1/2; 0; 1/2; 1\}$ и интерполяционная модель (4) при $H_0 = (74,2 \pm 3,6) \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпс}^{-1}$ [44].

Таблица 6

Данные, использованные для шкалы космологических расстояний [40]

Объекты	z	m	Объем выборки	Источник
квазары	0,036...2,877	12,8...20,07	201	[41]
радиогалактики	0,00086...0,4614	6,98...20,11	172	[41]
ярчайшие скопления галактик	0,004...0,140	12,5...21,0	10	[42]
галактики Местной группы	0,0017...0,0026	7,63...18,13	67	[43]

Ограничение $z < 0,0017$ ($cz < 500 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1}$) связано с методами определения расстояний в Местном объеме (по цефеидам, красным гигантам и сверхновым, по Талли–Фишеру и Фабер–Джексоу), а ограничение сверху – с эффектом Ганна–Питерсона. Критерием структурно-параметрической идентификации был принят минимум среднего модуля погрешности неадекватности (СМПН) модели космологической составляющей красного смещения d_z . Следствием же гравитационной поправки (10) стал переход от диаграммы Хаббла к шкале фотометрических расстояний и «обнуление» рассеяния космологической составляющей красного смещения, что прямо указывает на её изотропию. При этом наиболее точными оказались модель (1) при $q_0 = 1$ и модель (4). Однако близость СМПН моделей к «машинному нулю» для 15-разрядной десятичной сетки используемого средства вычислений потребовала уточнения критерия идентификации по набору свойств моделей без искусственного увеличения числа параметров. При использовании средств вычислений с более широкой разрядностью круг конкурирующих моделей расширился, а СМПН достиг $d_z \sim 10^{-16}$ [45].

Сравнение моделей (1) и (4) показало следующее.

1. В модели (4) при $c = 299\,792,458 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1}$ точке разрыва соответствует расстояние $R_0 = c/H_0 = 13,16^{+0,67}_{-0,61}$ млрд световых лет, тогда как «возраст Вселенной» $T_{\text{WMAP-9}} = (13,74 \pm 0,11)$ и $T_{\text{Planck}} = (13,796 \pm 0,058)$ млрд лет. Для оценок H_0 $_{\text{WMAP-9}} = (70,0 \pm 2,2) \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпс}^{-1}$ и H_0 $_{\text{Planck}} = (67,9 \pm 1,5) \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпс}^{-1}$ радиус Хаббла R_0 $_{\text{WMAP-9}} = 13,953^{+0,452}_{-0,425}$ и R_0 $_{\text{Planck}} = 14,385^{+0,325}_{-0,311}$ млрд световых лет. В модели же (1) при $q_0 = 1$ функциональный смысл параметра H_0/c – только параметр наклона, и структурные ограничения на рост лучевой скорости $c z$ отсутствуют. При $q_0 < 1$ решения выходят за радиус Хаббла $R_0 = c/H_0$, а при $q_0 < 0$ уравнение (10) для квазаров 5C 02.56 и QS 1108 +285 действительных корней не имело. В модели (4) радиус Хаббла является естественным ограничением.

2. Шкала космологических расстояний на основе модели (4) изменяет оценки абсолютных светимостей и расстояний до объектов. Это ослабляет

ограничение на красные смещения для Λ CDM-модели из-за несоответствия «космологического возраста» времени формирования неоднородностей в виде сверхскоплений галактик, квазаров и гигантских пустот.

3. Доплеровская интерпретация красного смещения в модели (4) даёт эквивалентные скорость v_3 и ускорение w_3 «расширения Вселенной»

$$v_3 = c \cdot \frac{D_L / R_0 - 0,5 \cdot D_L^2 / R_0^2}{1 - D_L / R_0 + 0,5 \cdot D_L^2 / R_0^2} \text{ и } w_3 = \frac{d v_3}{d D_L} = c H_0 \cdot \frac{1 - D_L / R_0}{[1 - D_L / R_0 + 0,5 \cdot D_L^2 / R_0^2]^2},$$

где $w_3(0) = c \cdot H_0 = 7,21 \cdot 10^{-10} \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$, $w_{3 \text{ макс}} = 9,59 \cdot 10^{-10} \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$ при $D_L = 5,43 \cdot 10^9$ световых лет и $z_k = 0,732$ (рис. 5).

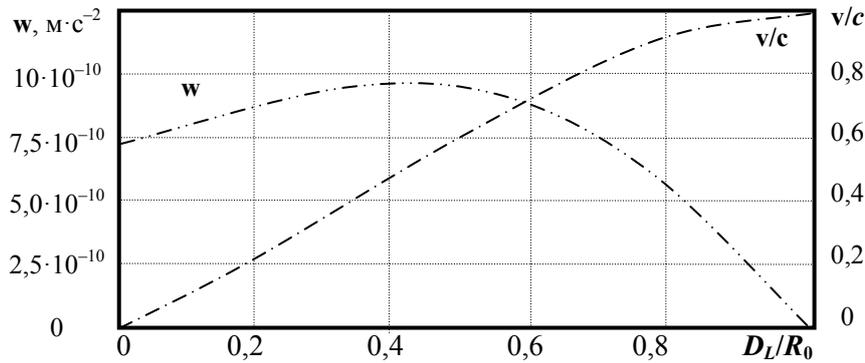


Рис. 5. Зависимость эквивалентного ускорения w и скорости v/c от расстояния, нормированного радиусом Хаббла

Это соответствует оценке [46], согласно которой переход между замедлением и ускорением «расширения Вселенной» произошёл при $z \approx 0,73$ или 5,4 млрд лет тому назад. При этом положение максимума эквивалентного эффекту Доплера ускорения в модели (4) не зависит от собственной составляющей красного смещения объектов.

4. В ряде работ «аномалия Пионеров» и космологическое красное смещение рассматриваются как явления одной и той же природы. По абсолютному значению «ускорение расширения» в нуль-пункте $w(0)$ и оценка «аномального ускорения» космических аппаратов Pioneer $(8,74 \pm 1,33) \cdot 10^{-10} \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$, обработка данных о котором велась на основе гипотезы о его постоянстве, были близки. Более поздний анализ данных за вдвое больший промежуток времени [47] показал, что на 10 % более точный результат даёт гипотеза о линейном или экспоненциальном изменении ускорения. И оценка аномальной составляющей ускорения Pioneer-10 на 23-м году полета совпала с указанным ранее в модели (4) начальным значением $w(0) = c H_0 = 7,21 \cdot 10^{-10} \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$ [45] с тенденцией к росту.

Однако проблема заключается в том, что «аномальная составляющая» доплеровского сдвига в «аномалии Пионеров» соответствует не красному, а фиолетовому смещению.

5. Интерполяционная модель (4) и закон Хаббла содержат один параметр – (H_0/c) , тогда как модель (1) – еще и параметр замедления q_0 . В теории измерительных задач при равных характеристиках точности предпочтение отдается более простым моделям. Поэтому в линейном приближении для собственной составляющей шкала фотометрических расстояний, объединив диаграмму и закон Хаббла по красным смещениям z и звездным величинам m на интервале $(0,21\dots9,16) \cdot 10^9$ световых лет, приняла изотропный вид [40]

$$D_L = z \cdot \{(1+z) \cdot (H_0/c) + K \cdot 10^{5-0,2m}\}^{-1}.$$

Строгое уравнение (10) с моделью (4) для шкалы имеет вид

$$(1 - D_L/R_0) \sqrt{1 - 2K_g T_e^2 D_L 10^{5-0,2m}} = 1/(1+z). \quad (12)$$

Это уравнение сводится к кубическому уравнению относительно D_L , и его решение выражается в аналитическом виде, но в данном случае его удобнее решать численными методами. Решение системы уравнений (12) для выборки из 201 квазара [41] при «стандартной» эффективной температуре для квазаров порядка 30 000 К [37] даёт шкалу, на которой наиболее удалённый квазар из выборки находится на расстоянии $D_{L \max} = 90$ Мпс.

Это значит, что или «стандартная» эффективная температура квазаров не согласуется с их видимой звёздной величиной, или гипотеза Арпа о не полностью космологической природе красного смещения квазаров правдоподобна. Тем самым более правдоподобной причиной дипольной анизотропии красного смещения и фонового излучения становится собственная составляющая (10), диполь которой близок к галактической полярной оси.

Самым неожиданным совпадением оказалось соответствие интерполяционной модели (4) простейшему разлёту «фрагментов» с запаздыванием [12]:

$$v = D/(T - D/c) = D/(1/H_0 - D/c) = \frac{H_0 \cdot D}{1 - (H_0/c) \cdot D}. \quad (13)$$

Таким образом, необходимым (но не достаточным) условием истинности математической модели в гносеологической схеме теории измерительных задач является предсказание моделью свойств или характеристик объекта измерений, которые на этапе построения модели специально в неё не закладывались. Но предсказание в рамках математической модели свойств объектов измерений остаётся в теории измерительных задач только методом косвенного измерения.

Большой Взрыв и нуль-пункт шкалы космологических расстояний

В 1971 г. Алан Сэндейдж отметил, что оценка постоянной Хаббла не зависит ни от направления на галактику, ни от интервала усреднения, то есть как внутри, так и за пределами ячеек однородности структуры Вселенной

порядка 300 Мпк, и «однородный поток Хаббла» наблюдается с расстояний 1,5...2,0 Мпк. Однако в этом потоке есть фиолетовая составляющая – 37 галактик Местного объема [43] в виде полосы в Andromeda, Camelopardalis, Ursa Minor, Draco и Pegasus в Северном экваториальном полушарии. Полоса вытянулась «подковой» между точками пересечения эклиптики и галактического экватора с центром на границе Virgo и Leo (рис. 6а). А 167 галактик Местного объема с красным смещением группируются к Северному галактическому полюсу в Canes Venatici, Coma, Virgo и Centaurus более равномерно [43] (рис. 6б).

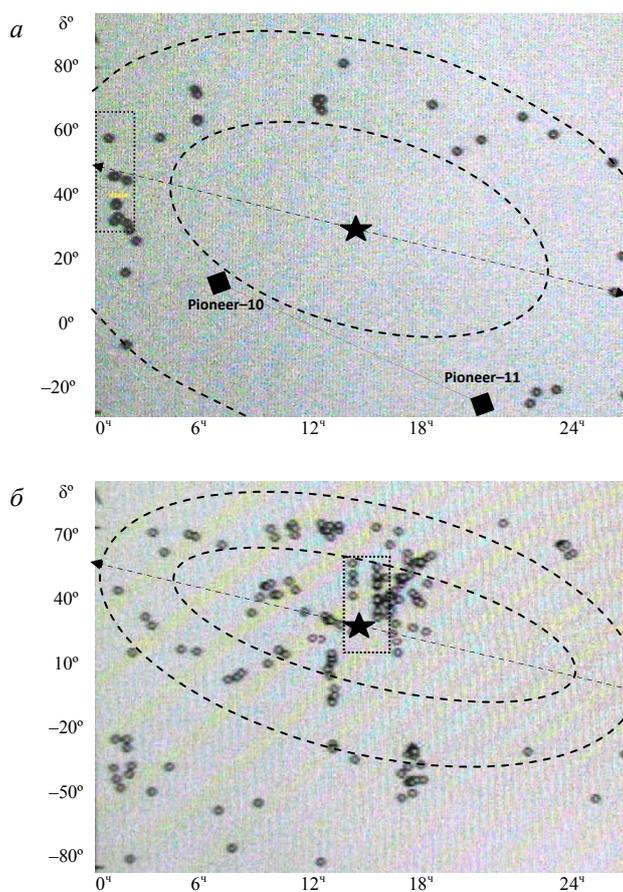


Рис. 6. Распределение по небесной сфере галактик Местного объёма:
а) с фиолетовым смещением; б) с красным смещением (звездочка – апекса Солнца относительно микроволнового фона, прямоугольники – выборки по оси «диполя»)

Другими словами, в Местном объёме существует красно-фиолетовый диполь (рис. 7), совпадающий с диполем анизотропии красного смещения [38].

Выделение из Местного объема галактик на оси красно-фиолетового диполя по узлам эклиптики на интервале [4,09...19,0] Мпк со структурными изменениями на интервале [-0,62...3,92] Мпк дает композиционную

ММКМНК-оценку [2] для характеристики положения закона Хаббла: $\bar{V}_h = -264,5 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1}$ на интервале $[-0,91 \dots -0,62]$ Мпк и $\bar{V}_h = 346,0 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1}$ вне его. Объединение галактик с фиолетовым и красным смещением на интервале $[-2,3 \dots 10,4]$ Мпк в 90%-х толерантных границах дает

$$\tilde{V}_h = -151,761 + 72,846 \cdot D \pm 193,876 \text{ [км} \cdot \text{с}^{-1}]$$

с близким к постоянной Хаббла параметром наклона $72,85 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпк}^{-1}$ при эквивалентной скорости в точке наблюдения $V_h(0) = -151,76 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1}$.

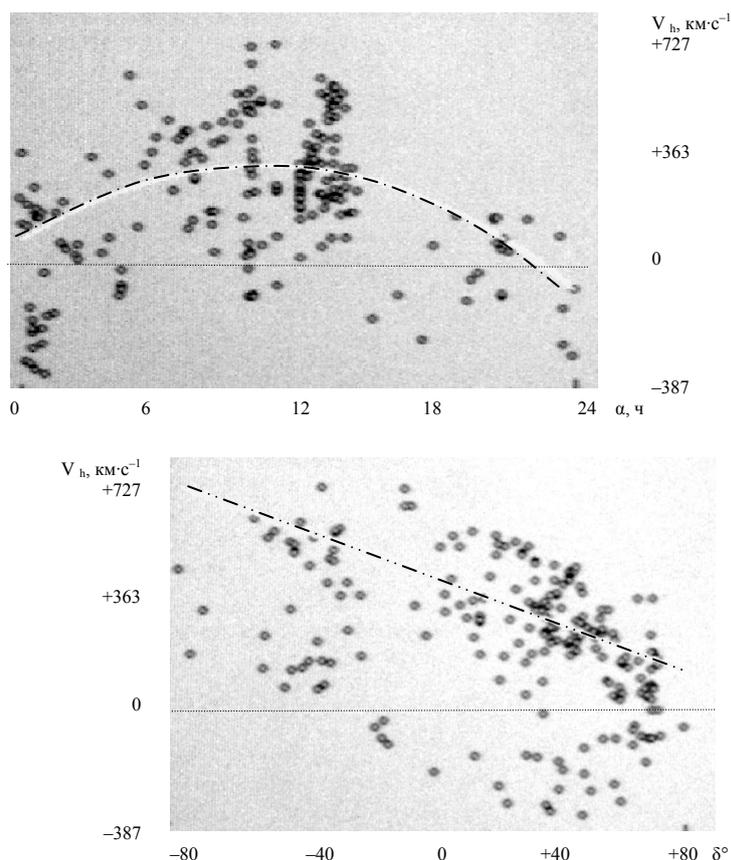


Рис. 7. Распределение лучевых скоростей галактик Местного объема:
а) по прямому восхождению; б) по склонению

Аналогичная зависимость по 151 галактике Местного объема из 167, но для модуля расстояния, даёт параметр наклона $(64 \pm 2) \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпк}^{-1}$ [43].

Ненулевая гелиоцентрическая скорость в точке наблюдения может быть связана с тем, что гравитационным смещением в спектрах членов Местного объема можно было бы пренебречь, так как их большинство – карликовые неправильные галактики. Этот вывод мог быть справедливым и для других объектов, но расширение модели (7) пекулярным эффектом Доплера означало бы, что из 167 вышеупомянутых объектов Местного объема с космологическим красным смещением останется только 9.

Кроме того, ненулевая гелиоцентрическая скорость в точке наблюдения означает, что физический нуль-пункт шкалы космологических расстояний находится на расстоянии примерно 2 Мпк в направлении Северного галактического полюса. Но именно на этом расстоянии, согласно данным Алана Сэндейджа, начинается «однородный поток Хаббла», и в этом направлении имеет место облако галактик, среди которых ближайшей является галактика NGC 3741, а гравитационным взаимодействием между ними можно пренебречь [48].

В 1959 г. Луиза Волдерс показала, что кривая вращения спиральной галактики M33 не соответствует ньютоновской динамике для наблюдаемого распределения вещества [49]. В 1970-х гг. этот результат был распространён на многие другие спиральные галактики, причём предполагалось, что на больших расстояниях от их центров может находиться значительное количество невидимого вещества [50]. А в 1983 г. Хелтон Арп обнаружил, что в группах галактик Местного объема M31 и M81 красное смещение центральных спиральных галактик систематически меньше, чем у сопутствующих карликовых галактик. Та же картина в системе «Галактика – Магеллановы облака» [51]. На рост локальной постоянной Хаббла на расстояниях (1...2) Мпк, полагая его следствием торможения потока Хаббла притяжением Местной группы, в 1986 г. указывал и Алан Сэндейдж. В 1988 г. Brent Tully в диапазоне (7...30) Мпк обнаружил пик локальной постоянной Хаббла до $90 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпк}^{-1}$. А в 1997 г. в Местном объеме Игорь Караченцев и Дмитрий Макаров обнаружили аналогичный пик постоянной Хаббла $H_0(2 \text{ Мпк}) \sim 90 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпк}^{-1}$. При этом среднеквадратическое отклонение пекулярных скоростей в Местном объеме почти одинаково для гигантских и карликовых галактик и составляет $(72 \pm 2) \text{ км} \cdot \text{с}^{-1}$ при вариации не более 3 % [43]. Эти «пики» указывают на распределение вокруг спиральных галактик кокона «темного вещества», с которым, по всей видимости, и связано открытие Хелтона Арпа в группах галактик M31 и M81.

Проверка по данным [43] подтвердила открытие Хелтона Арпа, хотя к этому факту многие космологи ранее относились скептически.

Таким образом, фиолетовое смещение в ближней зоне Местного объема – продолжение красного смещения, избыточные красные смещения в группах галактик связаны с гравитационными аномалиями «темного вещества», а «однородный поток Хаббла» начинается гораздо ближе, чем отметил Алан Сэндейдж.

Так уж получилось, что Pioneer-11 движется в направлении центра Галактики, а Pioneer-10 – в противоположном направлении, причём эти направления близки к точкам пересечения эклиптики и галактического экватора, то есть находятся в области не красного, а фиолетового смещения (рис. ба), и одновременно в плоскости диска наиболее плотной части кокона «тёмного вещества». Возможно, это и объясняет различие аномальных составляющих ускорения аппаратов. Для аппарата Pioneer-11, удаляющегося от центра Галактики, она больше.

В итоге «неожиданные» совпадения стали играть роль необходимых (но, естественно, не достаточных) условий истинности математических моделей, связанных со шкалой космологических расстояний.

Заключение

Итак, удалось построить шкалу космологических расстояний, в которой учет наблюдаемых звёздных величин и поправка на гравитационное красное смещение в спектрах внегалактических источников позволил принципиально уменьшить рассеяние оценок и объединить внегалактические объекты различных морфологических типов в общую изотропную зависимость.

Эта чисто метрологическая интерпретация данных измерений на грани «машинного нуля» перенесла критерии выбора моделей красного смещения в область описания эффектов без искусственной параметризации и прямой подгонки под данные измерений. Список «неожиданных результатов» пополнили «неожиданные совпадения». Самыми «неожиданными» из них оказались:

1) совпадение апекса движения Солнца, диполей анизотропии микроволнового фона, параметра замедления, красного смещения внегалактических объектов, а также фиолетового смещения галактик с полярной галактической осью с крупнейшим структурным элементом наблюдаемой части Вселенной в северном направлении и системой гигантских пустот в южном направлении;

2) совпадение эквивалентного эффекту Доплера ускорения «расширения Вселенной» в интерполяционной модели космологического красного смещения с разрывом 2-го рода максимумом с так называемой эпохой «начала ускоренного расширения Вселенной» и минимумом с абсолютной величиной «аномального ускорения» космических аппаратов Pioneer, но для фиолетового смещения;

3) совпадение существенной части красного смещения квазаров с гравитационным эффектом;

4) совпадение результата введения поправки на собственное красное смещение квазаров в их наблюдаемое красное смещение с гипотезой изотропии космологической составляющей за счёт компенсации статистического разброса для космологической составляющей;

5) совпадение интерполяционной модели с примитивной моделью разлета с постоянными скоростями при учёте запаздывания и ограничения радиуса гравитационного действия.

Гипотезы о природе космологического красного смещения высказывал еще Поль Дирак, полагая его следствием изменения гравитационной постоянной или «старения» фотонов за счет потери энергии на преодоление сопротивления среды. Джеффри и Маргарет Бербиджи рассматривали красное смещение как эффект Доплера и гравитационный эффект. Причинами красного смещения, помимо «стандартного расширения Вселенной», указыва-

лись в качестве альтернативных гипотез вязкость эфира, спонтанная радиолюминесценция атомов водорода, флуктуации вакуума и эффект потери кинетической энергии, переходящей в энергию флуктуаций вакуума, и многое другое.

Вместе с тем стабильность фундаментальных физических констант и изотропия космологической составляющей красного смещения остаётся существенным аргументом против гипотезы о Большом Взрыве.

А самой простой гипотезой на фоне гипотез о «тёмной энергии» и «тёмном веществе» остаётся «затухание темной природы» излучения, пропорциональное пройденному расстоянию от источника, и в конце концов окончательно «затухающее».

ЛИТЕРАТУРА

1. Философский энциклопедический словарь. – М.: ИНФРА–М, 2001.
2. Р 50.2.004–2000 ГСИ. Определение характеристик математических моделей зависимостей между физическими величинами при решении измерительных задач. Основные положения.
3. Левин С.Ф. Философские проблемы и статистические методы фундаментальной метрологии // Метафизика. – 2012. – № 3 (5). – С. 89–118.
4. Freedman W.L. et al. Final Results from the Hubble Space Telescope Key Project to Measure the Hubble Constant // *Astrophysical Journal*. – 2001. – V. 553. – P. 47–72.
5. Hinshaw G. et al. 9-year Wilkinson microwave anisotropy probe (WMAP) observations: Cosmological parameter results. URL: http://wmap_9yr_cosmology_results.
6. Planck Collaboration. Planck 2013 results. I. Overview of products and scientific results // *Astronomy & Astrophysics* // arXiv:1303.5062v1[astro-ph.CO].
7. Riess A.G. et al. Observational evidence from supernovae for an accelerating universe and a cosmological constant // *Astronomical Journal*. – 1998. – V. 116. – P. 1009–1038.
8. Сажин М.В. Анизотропия и поляризация реликтового излучения. Последние данные // УФН. – 2004. – Т. 174. – № 2. – С. 197.
9. Spergel D.N. et al. First-year WMAP observations: Determination of cosmological parameters // *Astrophysical Journal Supplements*. – 2003. – V. 148. – P. 175.
10. Hinshaw G. et al. 5-year Wilkinson microwave anisotropy probe observations: Data processing sky maps, and basic results // *Astrophysical Journal Supplements*. – 2009. – V. 180. – P. 225–245.
11. Хойл Ф. Проверка космологии наблюдениями // Уилер Дж. Гравитация, нейтрино и Вселенная. – М.: ИЛ, 1962. – Приложение IV. – С. 372–400.
12. Левин С.Ф. Оптимальная интерполяционная фильтрация статистических характеристик случайных функций в детерминированной версии метода Монте-Карло и закон красного смещения. М.: НСК АН СССР, 1980.
13. Larson D. et al. 7-year Wilkinson microwave anisotropy probe observations: power spectra and WMAP-derived parameters. URL: http://wmap_7yr_power_spectra.
14. Верхованов О.В. Методы и результаты наблюдательной радиокосмологии. URL: <http://sed.sao.ru/~vo/disser/intro.html>.
15. Efstathiou G. The Statistical Significance of the Low CMB Multipoles // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* Printed 3 November 2009. URL: <http://arXiv: astro-ph/0306431v3> 1.
16. Kesden M., Kamionkowski M., Cooray A. // Can Cosmic Shear Shed Light on Low Cosmic Microwave Background Multipoles? URL: <http://arXiv: astro-ph/0306597v2>.

17. *Komatsu E. et al.* First Year WMAP observations: Tests of Gaussianity // *Astrophysical Journal Supplement*. – 2003. – V. 148. – P. 119–134.
18. *Tegmark M., de Oliveira-Costa A., Hamilton A.J.S.* A high resolution foreground cleaned CMB map from WMAP. URL: <http://arXiv:astro-ph/0302496v4>.
19. *Хьюбер П.* Робастность в статистике. – М.: Мир, 1984.
20. *Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д.* Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных. – М.: Финансы и статистика, 1983.
21. ГОСТ 8.207-76. ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения.
22. Что измерил WMAP. URL: <http://www.astronet.ru/db/msg/1187213>.
23. *Хампель Ф. и др.* Робастность в статистике: Подход на основе функций влияния. – М.: Мир, 1989.
24. *Фёрстер Э., Рёнц Б.* Методы корреляционного и регрессионного анализа. – М.: Финансы и статистика, 1983.
25. *Planck Collaboration.* Planck 2013 results. XVI. Cosmological parameters. URL: <http://arxiv.org/abs/1303.5076>.
26. *Bennet C.L. et al.* 9-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Final Maps and Results. URL: http://wmap_9yr_basic_results.
27. International Vocabulary of Metrology: Basic and General Concepts and Associated Terms / 3rd edition. Final 2007-05-18. JCGM/WG 2. Document N 341.
28. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. Sec. Ed. Geneva: BIMP, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, 1995 (Пер. с англ.: Руководство по выражению неопределенности измерения. – СПб.: ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, 1999).
29. ГОСТ Р 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
30. ГОСТ Р ИСО 16269-6-2005. Статистические методы. Статистическое представление данных. Определение статистических толерантных интервалов.
31. МИ 2916-2005 ГСИ. Идентификация распределений вероятностей при решении измерительных задач.
32. ГОСТ Р 54500.3-2011/Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения.
33. ГОСТ Р 8.736-2011 ГСИ. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения.
34. РМГ 29-99. ГСИ. Метрология. Основные термины и определения.
35. ГОСТ Р 50779.21-2004 Статистические методы. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным. Часть 1. Нормальное распределение.
36. *Schlaminger S.* The measurement of Newton's constant of gravitation. URL: http://www.schlammi.com/ti_g.html.
37. *Бербидж Дж., Бербидж М.* Квазары. – М.: Мир, 1967.
38. *Левин С.Ф.* Измерительная задача идентификации анизотропии красного смещения // *Метрология*. – 2010. – № 5. – С. 3–21.
39. *Хайдаров К.А.* Температура эфира и красные смещения [Электрон. ресурс]. <http://www.inauka/blogs/article78500.html>.
40. *Левин С.Ф.* Шкала космологических расстояний на основе интерполяционной модели красного смещения // *Измерительная техника*. – 2012. – № 6. – С. 12–14; *Levin S.F.* Cosmological distances scale based on a red shift interpolation model // *Measurement Techniques*. – 2012. – V. 55. – N 6. – P. 609–612.
41. *Ленг К.* Астрофизические формулы. – Ч. 2. – М.: Мир, 1978.

42. Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии. – М.: Наука, 1971.
43. Макаров Д.И. Движения галактик на больших и малых масштабах. URL: <http://w0.sao.ru/hq/dim/PhD/full/phd.html>.
44. Riess A.G. et al. A Redetermination of the Hubble Constant with the Hubble Space Telescope from a differential distance ladder. URL: [http://arXiv:0905.0695v1\[astro-ph.CO\]](http://arXiv:0905.0695v1[astro-ph.CO]).
45. Левин С.Ф. Шкала космологических расстояний: парадоксы моделей красного смещения // Измерительная техника. – 2013. – № 3. – С. 3–6; Levin S.F. Cosmological distances scale: paradoxes in red shift models // Measurement Techniques. – 2013. – V. 56. – N 3. – P. 217–222.
46. Perlmutter S. et al. Measurements of Ω and Λ from 42 high-redshift Supernovae // Astrophysical Journal. – 1999. – V. 517. – P. 565–586.
47. Turyshev S. Support for temporally varying behavior of the Pioneer anomaly from the extended Pioneer 10 and 11 Doppler data sets. URL: [http://arXiv:1107.2886v1\[gr-qc\]](http://arXiv:1107.2886v1[gr-qc]).
48. Karachentsev I.D. et al. Galaxy Flow in the Canes Venatici I Cloud. URL: <http://arxiv.org/pdf/astro-ph/0210414v1.pdf>.
49. Volders L. Neutral hydrogen in M 33 and M 101 // Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands. – 1959. – V. 14. – P. 323–334.
50. Roberts M.S., Rots A.H. Comparison of rotation curves of different galaxy types // Astronomy & Astrophysics. – 1973. – V. 26. – P. 483.
51. Arp H. How Non-velocity red shifts in Galaxies Depend on Epoch of Creation // APEIRON. Winter-Spring. – 1991. – № 9–10. – P. 53–80.

THE BIG BANG: PHILOSOPHY, STATISTICS AND PHYSICS

S.F. Levin

The article considers the theory of measurement tasks of the Big Bang's problems from the positions of gnoseology schema in terms of cosmological fashion models and their relationship with the scale cosmological distances.

Keywords: gnoseology scheme, the Big Bang cosmological model, scale cosmological distances.

ГЕОМЕТРОФИЗИКА И ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ

В.Ф. Панов

*Пермский государственный национальный
исследовательский университет*

Рассматривается связь геометрофизики и эволюции Вселенной. Предлагается на основе некоторых новых систем отношений, обобщающих физические структуры Кулакова, предложить новые твисторные геометрии, а также геометрию праспиноров. Дается обоснование того, что в мультиверсе могут быть вращающиеся вселенные.

Ключевые слова: квантовая космология, метафизические парадигмы, геометрофизика, эволюция Вселенной, реляционное миропонимание, твисторы, праспиноры, сверхсветовые движения, мультиверс, космологическая модель с вращением.

В современной квантовой космологии рассматривается рождение Вселенной из ничего [1, 2]. Начальное состояние, предшествующее туннелированию, – это вселенная с нулевым радиусом, то есть попросту отсутствие вселенной [1]. До туннелирования пространства и времени не существует, так что вопрос о том, что было раньше, не имеет смысла. «Ничто» – состояние без материи, без пространства и без времени – по-видимому, единственное, что удовлетворяет требованиям к начальной точке творения. Мы считаем, что Вселенная не существовала всегда, – она эволюционировала, поэтому должен быть акт творения Вселенной!

Вместе с тем в современной фундаментальной физике рассматриваются различные метафизические парадигмы. В работе [3] предложен куб физического мироздания, построенный на трёх метафизических категориях. Одна из вершин куба выбрана в качестве начала координатных осей, олицетворяющих три категории: по вертикали – категория пространства-времени, по горизонтали вправо – категория полей переносчиков взаимодействий, по горизонтали вперед – категория частиц. Можно сказать, что физические теории триалистической парадигмы описывают мироздание через своеобразные его проекции на оси – ребра куба [3]. Геометрическим миропониманием назван взгляд на куб физической реальности со стороны его задней грани, характеризуемой ортами категорий пространства-времени и полей переносчиков взаимодействий. К этому миропониманию относится вся геометрофизика, в которой центральное место занимает эйнштейновская ОТО, но в рамках многомерия геометризуются и другие виды физических взаимодействий. Физическим миропониманием назван вариант теорий, основанный на объединении категорий частиц и полей. В [3] физическое миропонимание соотносится со взглядом на куб снизу. Асимметрия бозонных и фермионных полей в калибровочном подходе заставила сторонников физического миропо-

нимания искать такие способы введения бозонных и фермионных полей, где бы они присутствовали равноправно, причем стремились сохранить калибровочный принцип. Это удалось сделать на основе принципа суперсимметрии. Суперсимметричные теории опираются на две обобщенные категории: суперпространство и поле суперсимметричного мультиплета, объединяющего категории бозонных и фермионных полей.

Взгляд на физическую реальность с позиций категорий пространства-времени и частиц назван реляционным миропониманием [4, 5].

В геометрическом миропонимании объединяются категории пространства-времени и полей переносчиков взаимодействий в одну обобщенную категорию искривленного (многомерного) пространства-времени, тогда как фермионные поля не геометризуются, а представляют собой вторую категорию [3]. Они учитываются добавлением фермионных слагаемых к гиперплотности скалярной кривизны. Традиционная геометрофизика обладает существенным недостатком: в ее рамках, то есть с помощью её классических средств, невозможно описать спинорные свойства частиц [3].

Если считать, что Вселенная эволюционировала, то и о «кубе физического мироздания» можно говорить только после рождения Вселенной. Для решения фундаментальных проблем современной фундаментальной физики необходимо привлечение принципиально новых идей [6; 7]. В теории твисторов, предложенной Пенроузом, выдвигается новый геометрический подход к описанию физических явлений [7]. В теории твисторов Пенроуза точки пространства-времени лишаются той первичной роли, которую они всегда играли в физической теории. Пространство-время становится (вторичной) конструкцией, построенной из более примитивных твисторных элементов [7]. На наш взгляд, следует развивать твисторную программу. Целесообразно на основе некоторых новых систем отношений, обобщающих физические структуры Кулакова, предложить новые твисторные геометрии, а также разрабатывать квантовую твисторную космологию.

С другой стороны, перспективно, на наш взгляд, развитие геометрофизики в следующем направлении. В работах [8; 9] Иваненко и Сарданашвили предложили в качестве исходных первичных элементов различные конфигурации, из которых можно обеспечить всё многообразие наблюдаемых полей, частиц и субчастиц, считать – праспиноры. При этом праспиноры могут выступать как физические, логические и топологические объекты, а их исследование даёт возможность моделировать «праматерию» и «прагеометрию» [9]. Праспиноры имеют двойственную (и даже тройственную) природу, выступая как первичные элементы и «праматерии», и «прагеометрии» (своего рода «геометрические» преоны, определяющие структуру пространства-времени, а также как логические элементы) [9]. Это создает базу для суперобъединения на основе праспиноров не только гравитации и элементарных частиц, но и вообще обычной материи и геометрического фона, «праматерии» и «прагеометрии», что в наиболее исчерпывающем виде решало бы задачу объединения всех фундаментальных элементов физического

мира: полей, частиц и субчастиц, вакуума, гравитации, пространства-времени и космологии [9]. По мнению авторов [9], допланковская Вселенная представляла собой образование (прасгусток), в котором все – частицы, поля, вакуум, пространство – было слито воедино, разделение его на «праматерию» и «прагеометрию» в результате какого-то первичного фазового перехода дало начало эволюции Вселенной. Поэтому, на наш взгляд, целесообразно на основе некоторых новых систем отношений, обобщающих физические структуры Кулакова, предложить геометрию праспиноров, а также рассмотреть её применение для моделирования сверххранной Вселенной.

Отметим далее, что развитие геометрофизики приведёт к новым способам управления пространством-временем. Укажем, что наблюдение относительной динамики некоторых космических объектов обнаруживает их сверхсветовые движения. Сверхсветовая скорость оказывается в данном случае следствием расширения пространства-времени. В работе [10] Алькубьерре выдвинул идею на основе современной теории, которая предполагает возможность использовать для движения в космосе кривизну пространства, созданную и управляемую космическим кораблем. Таким образом, в будущем может появиться возможность передвижения в космосе со сверхсветовыми скоростями.

Отметим, наконец, что в научной литературе сейчас обсуждается возможность существования множества параллельных вселенных (мультиверс) [1; 11; 12]. Причем параллельные вселенные могут иметь физические свойства, совершенно отличные от свойств нашей Вселенной. Так, в [12] рассматривается мультиверс Гёделя–Дойча. Космологическая инфляционная теория – подход, в котором ранние моменты существования связаны с колоссальным взрывом молниеносно расширяющегося пространства, – порождает собственную версию параллельных миров [11]. Инфляционное расширение в отдаленных областях прямо сейчас может порождать вселенную за вселенной и делать это вечно [11]. По общепринятым представлениям, даже если в ранней Вселенной космологическое вращение было существенным, то после первой стадии инфляции оно практически затухает и Вселенная на современной стадии будет невращающейся. Однако мы считаем, что в мультиверсе возможны вселенные с глобальным вращением. Подтверждением этого может быть наша космологическая модель с вращением с фантомной материей [13]. В рамках нашей модели [13] установлено, что если в ранней Вселенной фантомная материя не передает вращение невращающейся материи, то в современный период скорость вращения фантомной материи будет порядка 10^{-11} год⁻¹.

ЛИТЕРАТУРА

1. Виленкин А. Мир многих миров: Физики в поисках параллельных вселенных / пер. с англ. А. Сергеева. – М.: Астрель, 2011.
2. Гуц А.К. Физика реальности. – Омск: Изд-во КАН, 2012.

3. *Владимиров Ю.С.* Геометрофизика. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005.
4. *Владимиров Ю.С.* Реляционная теория пространства-времени и взаимодействий. – Ч. 2: Теория физических взаимодействий. – М.: Изд-во МГУ, 1998.
5. *Владимиров Ю.С.* Физика дальнего действия: Природа пространства-времени. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012.
6. *Владимиров Ю.С.* Твисторная программа Пенроуза и бинарная геометрофизика // Метафизика. – 2013. – № 3 (9). – С. 33–54.
7. *Пенроуз Р.* Путь к реальности, или Законы, управляющие Вселенной. Полный путеводитель. – М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2007.
8. *Иваненко Д.Д., Сарданашивили Г.А.* Расширения эйнштейновской гравитации и перспективы единой теории поля // Известия вузов. Физика. – 1980. – № 2. – С. 54–66.
9. *Иваненко Д.Д., Сарданашивили Г.А.* Гравитация. – Киев: Наукова думка, 1985.
10. *Alcubierre M.* The warp drive: hyper-fast travel within general relativity // Class. Quant. Grav. – 1994. – Vol. 11. – L73-L77.
11. *Грин Брайан.* Скрытая реальность: Параллельные миры и глубинные законы космоса / пер. с англ.; под ред. В.О. Малышенко. – М.: УРСС: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013.
12. *Гуц А.К.* Элементы теории времени. – Омск: Изд-во Наследие. Диалог-Сибирь, 2004.
13. *Кувшинова Е.В., Панов В.Ф., Сандакова О.В.* Космологическая модель с вращением с фантомной материей // Фридмановские чтения: тез. докл. междунар. науч. конф. (Пермь, 24 июня – 28 июня 2013 г.) / гл. ред. В.Ф. Панов; Перм. гос. науч. исслед. ун-т. – Пермь, 2013. – С. 55.

GEOMETROPHYSICS AND THE EVOLUTION OF THE UNIVERSE

V.F. Panov

The relation between geometrophysics and the evolution of the Universe is examined. It is proposed, based on certain new sets of relations generalizing Kulakov's physical structures, to advance new twistor geometries, as well as a praspinor geometry. Substantiation is provided of the point that there may exist rotating universes in the multiverse.

Key words: quantum cosmology, metaphysical paradigms, geometrophysics, evolution of the Universe, relational world view, twistors, praspinors, superluminal movements, multiverse, cosmological model with rotation.

ПУТЕВЫЕ ЗАМЕТКИ О ВРЕМЕНИ И ВСЕЛЕННОЙ ПАССАЖИРА ПОЕЗДА, ИЗ КОТОРОГО НЕВОЗМОЖНО ВЫЙТИ

Ю.Г. Игнатъев

Казанский (Приволжский) федеральный университет

Высказываются некоторые соображения о необходимости на современном этапе развития теории пространства и времени провести более детальный анализ соотношения субъективного и объективного в нашу картину мира, в частности, выявить объективный компонент в способе временного упорядочения событий. По мнению Автора, в настоящую эпоху необходимо создать теорию взаимодействия человека с миром точно так же, как в начале XX в. была создана теория измерения в квантовой механике.

Ключевые слова: время, упорядочение, математическая структура, отображения, сознание.

Вместо предисловия

Меня попросили высказать на страницах этого уважаемого издания свои мысли о гравитации в философском, метафизическом аспекте. Когда меня спрашивают, что я думаю о Вселенной, мне всегда становится страшно, как маленькому мальчику, которого вдруг вывели в круг беспощадного света перед огромной классной доской в классе, в котором потолком служит бездонное звездное небо, и перед тобой предстоит непостижимый Вопрошающий. Откровенно говоря, я не знаю, что мне ответить на этот вопрос. Конечно, есть разные философские схемы и математические модели Всего. Но я им как-то никогда не доверял. Мы все – дети своего времени. Это – безусловная истина. Вторая истина заключается в том, что мы не можем выпрыгнуть из этого поезда времени, которое движется независимо от нас всегда в одну сторону. Третья истина заключается в том, что мы никогда не сможем смотреть на мир независимо от себя: своих глаз, нерв, чувств, мыслей... Все, что мы видим, обоняем, осязаем, понимаем, есть следствие нашего положения в Мире, его аномально сильного воздействия на нас в каждом нашем движении и помышлении. Его преломления, через призму наших ощущений, видимого нами в форме многоцветной радуги неизвестно каких различий. Как нам выпрыгнуть из этого поезда, как нам, отуманенным сильными связями и страстями этого мира, понять ту Структуру, которая, наверняка, таится за его фасадом? Некоторые люди думают, что понимают Ее, поскольку они могут использовать некоторые Алгоритмы, с помощью которых могут извлекать некоторые фрагменты Ее проявления и использовать их для доказательства своего понимания Структуры. Это даже служит источником их вдохновения, думающих, что они играют на струнах звезд-

ной арфы и, как мне представляется, даже составляет смысл их жизни. Лично мне эти игры кажутся детскими играми на песочке морского пляжа, создающими детские песочные модели того бесконечного Океана, который по Чьей-то непонятной милости лишь ласково накатывает на песчаные отмели нашего земного существования. Когда-то и я, будучи шестилетним мальчишкой, где-то в 53 году, возился в таком песочке на Рижском взморье и играл с этим песочком, наполняя им металлический баульчик. На баульчике был изображен мальчик, наполняющий морским песочком точно такой же баульчик. И тут, посреди теплого и ласкового балтийского дня, на меня вдруг накатил страх, когда я подумал о том, что нарисовано на баульчике того мальчика, что был нарисован на баульчике. Я до сих пор помню этот страх – среди ясного, теплого дня вдруг повеяло на меня беспощадным ледяным холодом Бесконечности. Это было что-то от Структуры. С тех пор я никогда не забывал о Ней. И до сих пор я не смогу дать определенный ответ на вопрос, что я думаю о Вселенной. Тем не менее некоторые отблески своих размышлений, эти путевые заметки, я попытаюсь описать ниже. Я понимаю, конечно, что далеко не все, прочитавшие эти заметки, согласятся со мной, поэтому, предваряя это несогласие, хочу дать некоторые предварительные заметки, которые описывают реальные факты моей жизни, а с другой стороны, являются моделями других, более серьезных вещей. Пусть Читатель не будет слишком строг к моим нестрогим рассуждениям. Я ничего не пытаюсь доказать, а лишь могу дать повод задуматься над многими вопросами.

1. Сны и сновидения

Первую такую заметку я хотел бы написать об идеологии. Я давно обратил внимание на то обстоятельство, что когда у некоторого человека нет чего-то и никогда не было, а ты изо всех сил пытаешься ему описать то, что есть у тебя, ты приобретаешь себе самого лютого врага, который на каком-то подсознательном уровне будет ненавидеть тебя. Помню, как-то на кафедре теории относительности и гравитации Казанского университета, где-то в конце 1970-х – начале 1980-х гг. в перерыве между занятиями группа молодых преподавателей обсуждала разные интересные проблемы, которых было очень много и в обществе, и в науке, и в жизни. Обычные разговоры тех лет... И вот, не помню, по какому поводу, я рассказал свой достаточно необычный и яркий сон. В этом рассказе, среди всего прочего, я упомянул о тех необыкновенных красках, которые я видел во сне и которые меня поразили, как художника-любителя, поскольку сам я такого придумать никак не мог. И вот тут началось... Один из молодых преподавателей, Сергей, стал мне с пеной у рта доказывать, что цветных снов не бывает, сам он их никогда не видел, и наука доказала, что нам просто *кажется*, что сны цветные. Я попытался объяснить ему, что с такой степенью цветовой детализации, вряд ли можно создать мысленный образ. Но мой оппонент впал в ярость и

пришел в какое-то совсем агрессивное состояние по отношению ко мне. «Сережа, – попытался я успокоить его, – а тебе не кажется, что сны нам *кажутся*. И то, что для тебя только кажущееся, для меня – непреложный факт...» Так мы и остались в дальнейшем врагами, можно сказать, споткнувшись, *казалось бы*, на пустом месте. Потом где-то я вычитал, что только у 20 % видящих сны людей они цветные, у остальных – черно-белые. Кроме того, почти половина людей вообще снов не видит. Постепенно, взрослея, я начал осознавать тот факт, что идеологические разногласия являются самыми острыми и непримиримыми и фактически невидимо разделяют людей на сообщества. Говоря об идеологии, я имею в виду именно строй мыслей человека, его внутреннюю систему аксиом. Не уверен, что кто-нибудь в состоянии изменить эту внутреннюю структуру, эту человеческую матрицу.

2. О камне и Боге

Я окончил Казанский университет в 1970 г. На третьем курсе физфака у нас был такой интересный предмет «Научный атеизм», а нам, молодым, любознательным студентам-теоретикам, тогда – поголовно атеистам, были, безусловно, интересны мировоззренческие проблемы, в частности, отношение разума и Вселенной. Мы очень горячо обсуждали эти вопросы с нашими преподавателями и между собой, ничего не принимая на веру, а все подвергая жесткой дискуссии. Преподавателям тогда, конечно, было тяжело с нами работать, и это касалось не только философских предметов, но и физики и математики. И вот на одном из семинаров молодая красивая блондинка, преподавательница этого атеизма, привела следующее классическое доказательство отсутствия бытия Бога: «Если Бог всемогущ, смог бы Он создать такой большой камень, который не смог бы поднять Сам?» Меня очень поразило и задело тогда изящество этого логического доказательства, тем более что я учился тогда на 3-м курсе физфака, на единственной в СССР кафедре теории относительности и гравитации А.З. Петрова. Дома я весь вечер размышлял над этим силлогизмом. На следующем семинаре я поднял руку и сказал примерно следующее: «Да, если Бог есть, он всемогущ. И, следовательно, смог бы создать камень любого размера и массы. Давайте представим, что создается такой камень, все большей и большей массы. Он будет весить все больше и больше. И нам, смертным, все труднее будет его поднять. Но представим, что масса камня сравнялась по порядку с массой Земли и даже стала превосходить ее. Тогда уже не камень надо поднимать, а Землю. Стало быть, понятие “поднять”, как действие по перемещению тела от Земли “вверх”, полностью потеряло смысл. Следовательно, классическое “доказательство” небытия Бога основано на распространении ключевого в доказательстве понятия в ту область, в которой оно теряет смысл. Доказательство неверно». Так и мы часто пытаемся распространить свои теоретические модели и представления в те области, в которых они лишены смысла.

Я думаю, что об этом должны всегда помнить те специалисты, которые занимаются построением модели Вселенной.

3. Дежавю

Я не знаю точно, но, наверное, состояние «дежавю» испытывали многие люди, иначе бы не появился соответствующий термин. Лично я в своей жизни испытывал это состояние неоднократно, и эти моменты запомнил на всю жизнь, как и другие, наиболее яркие моменты жизни, которые можно было бы «измерить прибором, сфотографировать и т.п. ...». Расскажу об одном дежавю. Когда я работал на кафедре теории относительности и гравитации еще, кажется, ассистентом, мне часто снился такой странный сон. Будто стою я у окна помещения, заставленного огромными старинными книжными шкафами, в неизвестном мне здании с казарменной зеленой окраской стен и из окна мне видится в подробностях некоторый городской пейзаж, о нем я скажу ниже. По прошествии лет десяти я перешел из Казанского университета на заведование кафедрой геометрии в Казанский педагогический институт. Как-то вечером, когда я был в кабинете кафедры один, я подошел к окну кабинета и в общем-то рассеянно смотрел в окно, занятый своими мыслями. И вдруг меня как током ударило – я держался правой рукой за стену с казарменной зеленой окраской и перед моими глазами был тот же городской пейзаж из моих снов. Обернувшись назад, я увидел те же самые огромные старинные книжные шкафы. Но самое интересное заключалось в том, что здание, которое находилось предо мной, был казанский ТЮЗ, крыша которого и некоторые постройки на ней с задней стороны я видел в своих снах и которые можно было увидеть только с этого ракурса, третьего этажа здания № 3 КГПИ, в котором раньше я никогда не был. Я не уверен, что это называется «дежавю». Конечно, можно сказать: «Тебе кажется, что детали совпадают» или «Тебе кажется, что ты видел этот сон». Но я уже говорил о цветных снах. Лично для меня это «дежавю», как и многие другие, которые я записывал, являются объективным фактом, говорящим о том, что мы далеко не все понимаем о времени. Можно даже сказать «ничего не понимаем». Поэтому когда строятся теоретические модели, описывающие пространство и время, я отношусь к ним, как может быть, полезным вещам, но имеющим весьма отдаленное отношение к истине.

4. О порядке и упорядочении

Когда мы начинаем приводить в порядок наши представления о мире, всегда возникает, первым делом, мысль о порядке, то есть о способе упорядочения. Каким образом мы укладываем в свой мозг различные вещи различной природы? Лично у меня всегда возникал вопрос: «Насколько объективна наша логика? Насколько наша логика не зависит от нас самих и нашего способа восприятия мира? Не слишком ли мы ей доверяем?» Ведь именно

логикой мы упорядочиваем мир. Возникает вопрос: «Всякой ли логикой можно полностью упорядочить всякий мир?» И вот первый вопрос, который я задал себе: «Насколько наша логика объективна, и может ли она быть таковой, тем инструментом, который объективно упорядочит (расчленил) весь мир и позволит производить над ним адекватные мысленные манипуляции?» Ведь именно на логике, то есть на определенных правилах мысленных манипуляций, основана любая наука, в том числе и философия, и метафизика, и математика, и физика. Что стоит за этими правилами? Являются ли они объективными законами либо системой договоренностей между людьми (так принято)? Если объективными законами, то кто их нам дал изначально, чтобы по ним мерить Вселенную? Если системой договоренностей, то насколько они зависят от самой природы людей? Тогда возникает вопрос, может ли какое-нибудь сообщество людей, договорившись о каком-либо замкнутом множестве законов (правил), адекватно упорядочить Бесконечное Неведомое. Либо эти законы объективны, потому что сами эти люди равномогнны Неведомому, то есть фактически совпадают с ним? Как бы там ни было, но человек упорядочивает объекты в пространстве, пользуясь их различиями. Но кроме различных объектов для упорядочения в пространстве необходимы и более-менее тождественные объекты, которые играют роль вех, масштабов, «свечей» в астрофизике. Однако самое главное, что человек упорядочивает объекты по времени. Тем не менее и здесь необходимы вехи – объекты, которые остаются почти тождественными себе. Эти почти незыблемые объекты тоже играют роль свечей. Наличие таких свечей позволяет нам установить «причинно-следственные связи», то есть упорядочить изменения. Для упорядочения объектов и явлений человек придумал математику. Придумал?.. Математика, включающая в себя и логику, является безапелляционным инструментом, с помощью которого человек упорядочивает мир вокруг себя, то есть научно описывает его.

Но что же такое сама математика? Существом математики являются математические структуры. Эти структуры, в свою очередь, состоят из **базовых множеств** (с их элементами), **отношений** на базовых множествах и **свойств отношений**, обычно закрепляемых **аксиомами**. Для понятия отношений весьма важно понятие **декартова произведения** множеств $M = M_1 \times M_2 \times \dots \times M_r$, элементами которого является упорядоченный набор элементов соответствующих множеств $a = (x_1, x_2, \dots, x_r)$, при этом k -кратное произведение множества самого на себя называется k -й степенью множества. Понятие декартова произведения позволяет математику перемножать любые множества, что создает первую основу для оцифровки мира. Далее, некоторое упорядоченное подмножество декартового произведения, содержащее n элементов $\mu(x_1, x_2, \dots, x_n)$, называется **n -арным отношением** (рис. 1). Эти отношения, в свою очередь, наделяются некоторой системой свойств (аксиом). Все это вместе составляет *математическую структуру* определенного рода, скажем T .

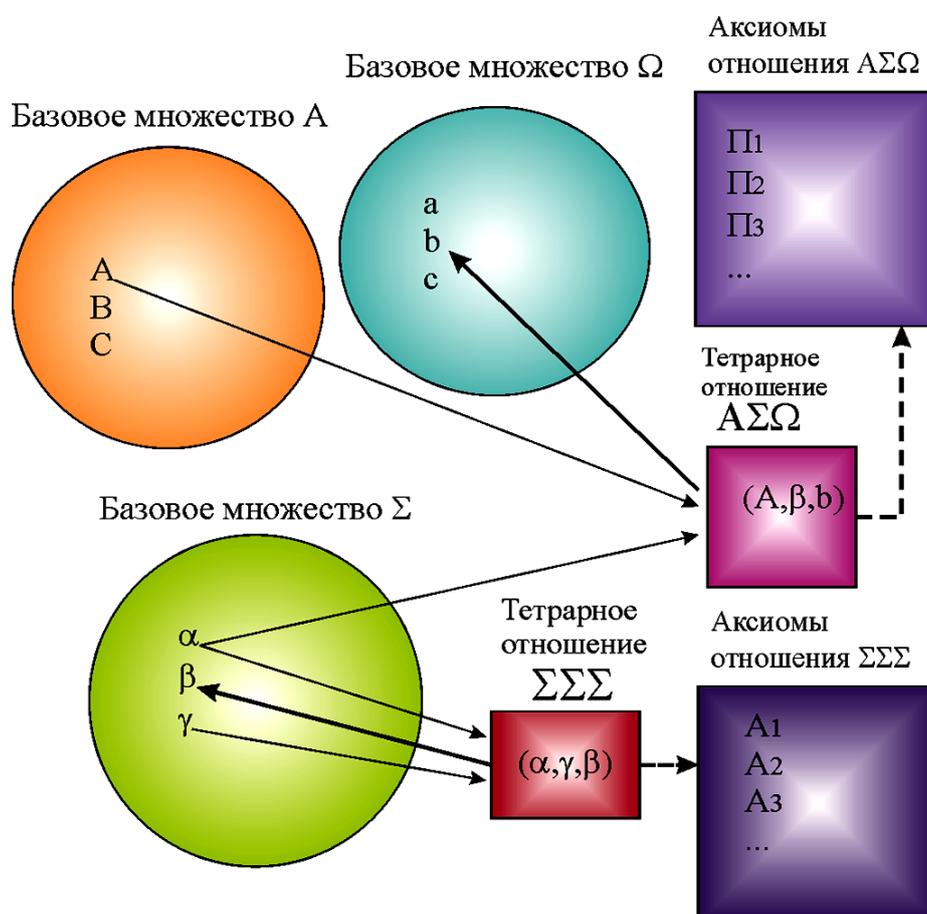


Рис. 1. Математическая структура рода T

Важно отметить, что сами элементы базовых множеств не могут быть определены средствами математики. Реализация математической структуры на конкретных базовых множествах называется *интерпретацией* системы аксиом или *моделью* структуры. Второй важной основой математики является понятие отображения, а особенно биекции – взаимно однозначного отображения множеств, являющегося, с другой стороны, бинарным отношением. На биекции основано важнейшее понятие *изоморфизма математических структур*. Изоморфизмом структур называется биекция между двумя математическими структурами, как между элементами базовых множеств, так и системой отношений на этих множествах. Типичным примером изоморфных структур являются структуры аналитической геометрии Вейля и конструктивной геометрии Гильберта. Еще более простым известным примером является изоморфизм абстрактного векторного пространства и арифметического векторного пространства.

Эти примеры показывают, как с помощью изоморфизма структур можно свести исследование геометрических фигур и объектов (векторов, тензоров, спиноров) к арифметическому исчислению *чисел*. Но с другой стороны, понятия изоморфизма структур и декартова произведения как раз и являют-

ся основой построения математических моделей Мира. Мне кажется, что это есть главная суть математики. Но возникает следующий вопрос: «Эта суть математики, создающая инструмент упорядочения мира, есть отображение свойств внешнего Мира или отображения свойств нашего мышления?». Мне представляется, что эта суть математики является отображением устройства нашего мышления. При этом, как мы видели, природа элементов базовых множеств структуры является внешней по отношению к математической структуре. А как быть с отношениями? Если хорошенько разобраться, то можно увидеть, что все отношения с помощью отображений различной сложности сводятся в конечном итоге к тетрарному отношению арифметического сложения и, конечно, к бинарному отношению самого отображения. Я думаю, что именно эти два отношения и лежат в природе мышления и являются тем острым инструментом познания, которым рассекается всякая вещь. Остальные отношения построены по принципу декартова произведения этих.

По-видимому, тетрарное отношение является наиболее фундаментальным и лежит где-то в основе нашего сознания, а бинарное отношение в форме отображения отвечает за связь нашего мозга с внешним миром. Можно предположить, что тетрарными отношениями, как основой аналитики, занимается наш мозжечок (*cerebellum* – малый мозг), отвечающий за координацию движений, регуляцию равновесия и управление мышцами, а отображениями – оба полушария мозга. В такой схеме мозжечок является аналогом процессора, а полушария мозга – всей остальной начинкой компьютера: памятью, видео- и аудио-картами, сенсорными картами и т.п. Я помню, как в школе учительница по математике строго покрикивала на меня: «Игнатьев, ты чем думаешь?! Мозжечком?!» Сейчас бы ответил: «Конечно, а чем же еще?»

5. Стрела времени

Следующим важным и неустранимым фактором в нашем познании, то есть в упорядочении объектов внешнего мира, является время. Так, например, пространство не является таким необходимым условием для упорядочения. Это легко понять, слушая простую человеческую речь. Кстати, речь, как форма языка, является выражением мышления и, как думают многие, и им самим. Что такое язык? Именно с его помощью строятся логические конструкции, проводятся доказательства. Неважно, о каком языке идет речь: о русском, английском, математическом, музыкальном и т.п. Я думаю, что все они изоморфны между собой, потому что не может быть в сознании человека несколько центров сознания, иначе возникало бы раздвоение, разтроение, разчетверение и т.д. сознания. А это означало бы, что в одном человеке живут несколько – не было бы цельного человека. И такое, конечно, тоже бывает, но это – клинический случай. Таким образом, у нормального человека должен быть один фундаментальный центр сознания, а потому, конечно, все

языки должны быть изоморфны. Как же устроен этот язык? Например, я говорю: «Яблоко красное», «девушка красивая», «погода отвратительная» и т.п. Во-первых, надо понимать, что это не полные предложения, а умолчания. Предложением называется законченная часть речи, другими словами, мыслеединица. В обычной речи человек часто опускает подразумеваемые слова. Так, например, вместо «прямая линия», «кривая линия» мы говорим «прямая», «кривая» и т.д. Наиболее распространенным умолчанием в современном языке является глагол «есть», в древнерусских текстах такие глаголы никогда не опускались. Поэтому вместо «Яблоко красное» правильнее было сказать, если уж говорить все без умолчаний: «Это яблоко есть яблоко красное». В этом предложении есть два существительных, если не мелочиться с прилагательными. («яблоко» и «яблоко красное»), и одно сказуемое, «есть». Фактически, с одной стороны, яблоко приравнивается яблоку красному, конкретизированному цветом яблоку, то есть это предложение имеет такую же структуру, как и уравнение (рис. 2), в котором глагол «есть» полностью эквивалентен знаку равенства. Так раньше и говорили «один да два есть три», а еще чаще «два плюс три будет пять». В этом уравнении явно присутствует время и его направление. Было бы глупо сказать – «яблоко красное есть яблоко».

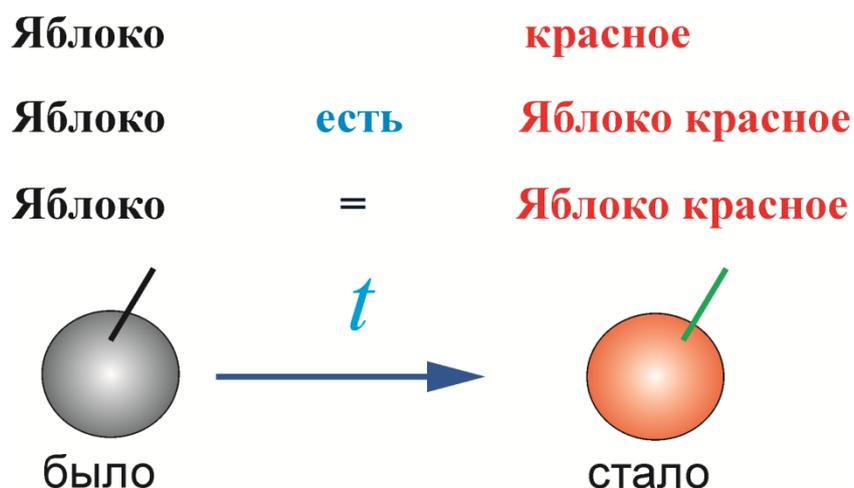


Рис. 2. Мыслеединица – предложение русского языка

Точно так же глупо было бы сказать «четыре равно два плюс два». Мы здесь сталкиваемся со стрелой времени (рис 3). С математической точки зрения в тетрарном отношении сложения чисел (a,b,c,+) чрезвычайно важен порядок: именно операция $a + b = c$ определена однозначно, а операция $c = a + b$ однозначно не определена, а, вообще говоря, имеет несчетное множество реализаций. Таким образом, посредством упорядочения стрела времени уже введена в простейшую арифметическую операцию сложения. По-видимому, само упорядочение уже предполагает введение времени. Ясно, что оно не связано с пространством, достаточно сопоставить операцию упорядочения со временем: следующий, следующий, следующий, ...

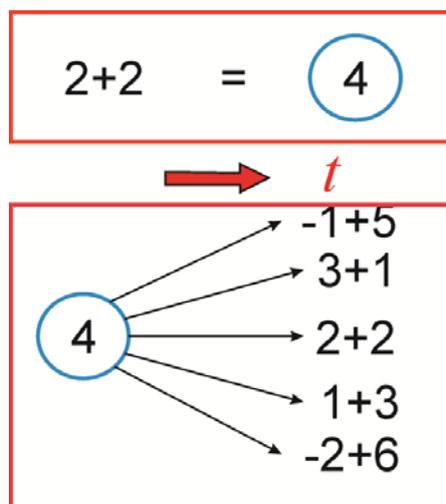


Рис. 3. Операция сложения как упорядочение

Что же получается? Время нельзя никоим образом исключить из самой возможности мысленно упорядочивать элементы, то есть из самой возможности мыслить? Но тогда, поскольку время является неустранимым фоном и глубинной основой нашего мышления, можно сказать, пользуясь квантовой терминологией, вакуумом мышления, можно ли с помощью его препарировать мир, то есть можно ли, образно говоря, имея бревно в своем глазу, увидеть соринку в другом? Наш мыслительный аппарат имеет большой изъян?

6. Моральный аспект времени

Для того чтобы убедиться в том, что что-то есть правильное в том, о чем говорилось выше, можно нарисовать временную диаграмму взаимодействия (или Фейнмана), которую часто рисуют теоретики (рис. 4).

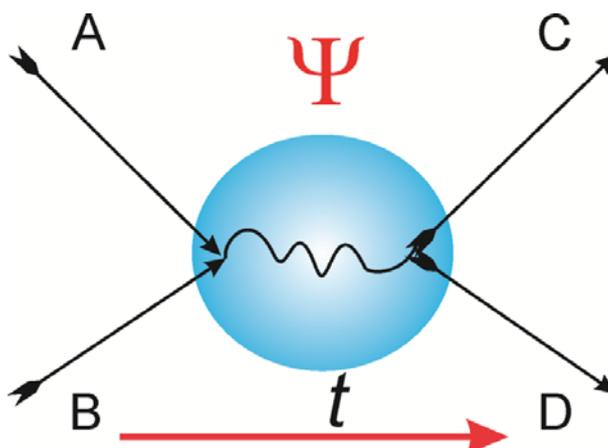


Рис. 4. Диаграмма взаимодействия

Эта диаграмма знакома всем теоретикам: сталкиваются 2 частицы, А и В. В результате взаимодействия Ψ в некоторый момент времени образуются две другие частицы (состояния), С и D. Причем в физике элементарных частиц большинство взаимодействий Т-инвариантны. То есть, если обратить

время вспять и столкнуть частицы С и D, в результате получатся частицы А и В.

В мире людей все не так. Во-первых, здесь основную роль в отношениях играют категории Добра и Зла, а они вовсе не Т-инвариантны, а совсем наоборот. Рассмотрим простой пример. Бандит нападает на человека, убивает его и похищает его вещи. Все понятно – это стопроцентное зло. Однако обратим время вспять. Человек с драгоценными вещами склоняется над умершим человеком, в теле которого торчит нож, вкладывает ему в сумку эти вещи, вынимает из его тела нож и возвращает его к жизни целым и невредимым, сам скромно исчезая в толпе. Это чудо и стопроцентное добро. Остальные примеры Вы можете привести сами в неисчислимом множестве, не найдя контрпримеров. Зло при обращении во времени становится Добром, и наоборот.

Что из этого следует?

Из этого может следовать многое. Но мне кажется, что настал такой этап в познании человеком окружающего мира, на котором дальнейшее продвижение к его основам может ничего не дать, если мы не будем учитывать взаимодействие субъекта и объекта. В какой-то момент произошла коренная ломка представлений о нашем мире, когда появилась квантовая механика и неразрывно связанная с ней теория измерения, апеллирующая к макроскопическому прибору. Мне кажется, что настало время человеку проанализировать свой мыслительный аппарат и построить аналогичную теорию измерения субъектом внешнего мира. Весьма любопытным, с моей точки зрения, в этом смысле был доклад А.П. Ефремова на прошедшей гравитационной конференции «Предгеометрическая структура ассоциативных алгебр и кватернионные пространства как математическая среда обитания физических законов», в котором фактически показано, как на основе математических структур с другими базовыми множествами получаются основные законы современной теоретической физики. Аналогичная в этом смысле работа, как мне представляется, проводится давно Ю.С. Владимировым, Ю.И. Кулаковым и их учениками. Эти работы, как и другие, показывают, по моему убеждению, что структуры современной физики фактически заложены в нашем способе мышления и другими вряд-ли могут быть.

**TRAVELLING NOTES ABOUT TIME AND THE UNIVERSE
OF THE PASSENGER OF THE TRAIN WHICH IT IS IMPOSSIBLE
TO LEAVE**

Y. Ignatyev

Some observations are made about necessity at the present stage of development of the theory of space and time to carry out more detailed analysis of a parity of the subjective and objective in our picture of the world, in particular, to reveal an objective component in a way of time streamlining of events. According to the Author during the present epoch it is necessary to create the theory of interaction of the person with the world just as in the beginning of XXth century the measurement theory in the quantum mechanics has been created.

Keywords: Time, ordering, mathematical structure, mapping, consciousness.

ИЗ НАСЛЕДИЯ ПРОШЛОГО

ЕДИНАЯ ТЕОРИЯ ПОЛЯ: ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА²

Петер Г. Бергман

Краткое содержание. Начав с изложения эйнштейновского понимания достоинств и недостатков общей теории относительности, мы переходим к рассмотрению того, какой, по мнению Эйнштейна, должна быть завершенная единая теория. В настоящей работе кратко описываются и обсуждаются четыре теории, которые можно рассматривать как «единые», а именно теории Вейля и Калуцы, разработанные полстолетия назад, и теории с кручением и суперсимметрией, привлекающие внимание в настоящее время. Мы приходим к выводу, что на любую будущую теорию должны оказывать влияние достижения физики элементарных частиц, что этой теории придется объяснить принципиальные противоречия между классической и квантовой теориями поля и что она в конечном счете может привести к изменению современной модели пространства-времени как четырехмерного многообразия.

Когда более сорока лет тому назад я встретился с Эйнштейном, он уже потратил много лет на создание единой теории поля, которая могла бы отвечать всем его требованиям. Эйнштейн никоим образом не отрицал больших достижений общей теории относительности, но, будучи ее создателем, хорошо осознавал как ее достоинства, так и недостатки, и пытался создать физическую теорию, которая бы впитала в себя все достоинства общей теории относительности и в то же время была шире ее.

Что же ценного имеется в общей теории относительности? Успешное объяснение смещения перигелия Меркурия, предсказания отклонения лучей света Солнцем и красного смещения спектральных линий, испускаемых из областей большого гравитационного потенциала? С точки зрения Эйнштейна, это были сравнительно небольшие достижения, несомненно удовлетворяющие нас, но едва ли равнозначные огромным умственным усилиям, за-

² Перепечатка из сборника «Проблемы физики: классика и современность» (М.: Мир, 1982, С. 69–85), посвященного 100-летию со дня рождения А. Эйнштейна.

траченным на создание этой теории. Однако помимо этого в теории содержалось универсальное утверждение о равенстве гравитационной и инертной масс, откуда следовало, что все тела, большие и малые, испытывают одинаковые ускорения в окружающем гравитационном поле. Этот факт, известный еще Галилею и Ньютону, был строго введен в основы теории лишь в общей теории относительности.

Это равенство, известное как принцип эквивалентности, приводит к отказу от инерциальных систем отсчета, используемых как в ньютоновской физике, так и в специальной теории относительности, и замене их чисто локальной свободно падающей системой отсчета. Кроме того, это равенство приводит к равноправию в глобальном смысле всех систем отсчета пространства-времени, которых формально бесконечно много, и к совершенно универсальным четырехмерным системам координат. Общая теория относительности, и только она одна, из всех современных жизнеспособных физических теорий обходится без инерциальных систем отсчета, которые операционально не могут быть определены в присутствии гравитационного поля. Это одно из основных достижений общей теории относительности.

Из всех классических полевых теорий только в общей теории относительности движение пробных частиц определяется уравнениями поля; при этом отпадает необходимость в отдельно постулируемых уравнениях движения. Чтобы показать, насколько важно это обстоятельство, я рассмотрю ситуацию в электродинамике. В теории Максвелла – Лоренца мы имеем, с одной стороны, электромагнитное поле, подчиняющееся уравнениям Максвелла, а с другой стороны – заряженные частицы, движение которых определяется силами Кулона – Лоренца. Они в свою очередь зависят от полей в точке нахождения частиц, но эти поля являются бесконечными! Необходимо разложить поле на две части, а именно на собственное поле частицы (являющееся бесконечным) и на остающееся конечное поле. Последнее поле, которое существует даже в отсутствии частицы, рассматривается как внешнее, или падающее, поле. Частица изменяет состояние своего движения в основном под влиянием этого поля. К сожалению, разложение полного поля на собственное и падающее является в лучшем случае неоднозначной процедурой, поскольку существует несколько различных правил определения собственного поля. В теории, в которой уравнения поля нелинейны, как, например, в общей теории относительности, вообще нет корректного метода определения падающего поля.

Когда я приехал в Принстон в Институт высших исследований, общая теория относительности была в основном завершена, и Эйнштейн, Инфельд и Хоффман преуспели в разработке систематического метода, позволяющего определить движение массивной частицы, если полное поле, окружающее частицу, известно даже не в точке нахождения частицы, где оно бесконечно, а лишь в ее окрестности. Годом позже В. Фок получил аналогичный результат несколько отличающимся способом; в последующие годы оба этих метода были согласованы друг с другом и усовершенствованы.

Все это и составляет основные достижения общей теории относительности. В чем же, с точки зрения Эйнштейна, заключались ее недостатки? Прежде всего, в общей теории относительности гравитация играет особую роль, отличающуюся от той роли, которую играют все другие поля, встречающиеся в природе. В рамках этой теории можно представить физические ситуации, когда имеются лишь гравитационные поля, а другие поля отсутствуют. Обратное невозможно: поскольку все физические поля переносят энергию и давление, а следовательно, и массу, теория просто не допускает существования только негравитационных полей. Таким образом, имеется фундаментальная асимметрия, которая, по мнению Эйнштейна, несовместима с единым рассмотрением физической вселенной.

С более формальной точки зрения такая асимметрия характеризуется тем, что совокупность всех полей, встречающихся в природе, расщепляется инвариантным способом, а как представление основной группы инвариантности (группы диффеоморфизмов) поля являются приводимыми.

Одна из замечательных особенностей природы состоит в том, что элементарные частицы встречаются в различных видах – электроны, протоны, позитроны и т. д. – и что внутри каждого вида отдельные частицы обладают одинаковыми свойствами: массой, зарядом и т. д. Совершенная теория природы должна объяснить существование таких видов и предсказать свойства элементарных частиц, исходя из нескольких основных принципов, и эти принципы, в свою очередь, должны являться частью всеобъемлющего описания природы. Такую задачу общая теория относительности решить не может.

Отмеченный выше недостаток общей теории относительности тесно связан с другим ее недостатком. В этой теории частицы рассматриваются как сингулярности, то есть как области, в которых полевые переменные становятся бесконечными или обнаруживают сингулярное поведение другого типа. Появления сингулярностей нельзя избежать даже в случае пустого пространства; действительно, несколько последних работ Р. Пенроуза и С. Хокинга показывают, что во многих случаях возникновение сингулярностей с математической точки зрения неизбежно. В классической теории поля сингулярность представляет собой область пространства-времени, в которой полевые уравнения, описывающие законы природы, становятся неприменимыми. Другими словами, наличие сингулярностей свидетельствует о недостатках теории, претендующей на полное описание природы. Они указывают на внутреннюю противоречивость теории и необходимость ее дальнейшего усовершенствования.

Создание единых теорий поля представляет собой попытку сохранения общих идей классической теории поля и в то же время преодоления отмеченных недостатков общей теории относительности.

Прежде чем приступить к обсуждению единых теорий поля я должен обрисовать, хотя и не очень точно, отношение Эйнштейна к квантовой теории. Хорошо известно, что на заре квантовой физики Эйнштейн играл ве-

душую роль в ее создании. Работа Макса Планка 1900 г. убедила его в том, что энергия электромагнитного излучения распространяется в виде неделимых порций, величина которых пропорциональна частоте излучения. На основе этой идеи Эйнштейн разработал теорию фотоэффекта. За этим последовал целый ряд пионерских работ, представляющих значительный вклад Эйнштейна в классическую квантовую теорию.

Однако после того как квантовая теория приняла свой современный вид, Эйнштейн не принял её. Его скептицизм основывался на серьезных философских опасениях. В современной квантовой теории физические законы не применяются к отдельным физическим объектам, а только к их статистическим ансамблям. Математический аппарат квантовой теории исключает одновременное количественное описание всех физических переменных, откуда делается строгий вывод о невозможности одновременного определения их посредством наблюдений. В этом и состоит смысл знаменитых соотношений неопределенности. Располагая максимальной доступной информацией, квантовая теория не предсказывает последующее поведение физической системы, а скорее определяет вероятность наблюдения того или иного конкретного события. Статистический характер как описания, так и предсказаний является фундаментальным свойством квантовой теории. Именно это Эйнштейн считал неприемлемым.

Позицию Эйнштейна следует понимать, исходя из его убеждения, что физическая вселенная существует независимо от наблюдателя. Хотя в молодости Эйнштейн находился под сильным влиянием философии Эрнста Маха, к тому времени, когда я приехал работать с ним, ему нравилось называть себя «реалистом», однако, по моему мнению, он скорее был материалистом. Эйнштейн сравнивал ученого со студентом, пытающимся увидеть и познать окружающую его физическую вселенную, которая существует независимо от него. Именно по этой причине Эйнштейн считал, что описание физической системы при помощи квантово-теоретического вектора состояний (в гильбертовом пространстве) является несовершенным.

Критически относясь к квантовой теории, Эйнштейн полагал, что истинно удовлетворительная теория должна быть не квантовой, а классической в том смысле, что физические явления должны полностью описываться, если известны значения всех рассматриваемых физических переменных.

Характеристики единых теорий поля

Совершенная единая теория поля должна включать в себя достижения общей теории относительности. В то же время она должна быть свободной от недостатков, присущих последней.

1. Все физические поля должны являться составными частями единой структуры, которая могла бы иметь вид (хотя это и необязательно) геометрической структуры пространства-времени. В мире, в котором мы живем, с его довольно слабыми гравитационными полями различные физические поля проявляются по-разному. Однако в случае сильных полей отмеченные различия могут затухать.

В этом можно убедиться, вспомнив характеристики электромагнитного поля. Пока наблюдатели движутся относительно друг друга со скоростью, малой по сравнению со скоростью света, электрическое и магнитное поля являются отдельными сущностями; при переходе к релятивистским скоростям мы сталкиваемся с тенденцией смещения их в единую структуру. Может быть, такая аналогия и несовершенна. До тех пор пока не создана совершенная единая теория поля, мы не можем с уверенностью предсказать, как гравитационное поле может быть связано со всеми другими физическими полями. С формальной стороны единая структура или поле в еще не существующей теории должна являться неприводимым представлением инвариантной группы этой теории, группой, которая каким-то образом должна содержать в себе группу инвариантности общей теории относительности, то есть группу диффеоморфных отображений пространства-времени самого на себя, однако, вероятно, более широкую.

2. Группа инвариантности и ее представление должны в некотором смысле быть единственными. Нам нужна такая теория, чтобы каждый мог убедиться в том, что она логически более проста и эстетически более приятна, чем возможные конкурирующие теории.

По общему мнению, логическая простота и эстетичность до некоторой степени являются субъективными критериями. Все попытки создания единых теорий поля, предпринятые Эйнштейном, а также другими исследователями, свидетельствуют о том, что их интерпретация претерпевала существенные изменения.

3. Теория должна объяснять свойства элементарных частиц, возможно, рассматриваемых как дискретный набор свободных от сингулярностей частицеподобных решений уравнений поля (предположительно нелинейных).

В этом смысле Эйнштейн надеялся, что в конечном итоге все квантовые явления должны быть объяснены в рамках теории, свободной от сингулярностей. Он ожидал, что в существенно нелинейной теории поля суперпозиции частицеподобных решений должны оставаться свободными от сингулярностей в случае, если положение и движение этих частиц подчиняются строгим начальным условиям.

4. Теория должна быть строго причинной. Если в какой-либо момент времени имеется достаточно информации о состоянии физической системы, то ее дальнейшее поведение должно предсказываться полевыми уравнениями. На формальном языке последнее означает, что теория допускает решение задачи Коши.

Это далеко не тривиальное требование. Примером физической теории, удовлетворяющей этому условию, является теория электромагнитного поля Максвелла. Уравнения Максвелла должны быть дополнены соотношениями, устанавливающими связь между напряженностью электрического поля и электрической индукцией, а также напряженностью магнитного поля и магнитной индукцией. Используя отмеченные соотношения, а также задавая электрические токи и заряды, являющиеся источниками поля, можно опре-

делить значения полевых переменных в любой момент времени, если известны их значения в любой предыдущий момент времени.

Этого нельзя сказать об электромагнитных потенциалах, которые определяются с точностью до так называемых градиентных преобразований. Градиентные преобразования добавляют к вектор-потенциалу градиент произвольной скалярной функции с произвольной зависимостью от времени, а к электрическому потенциалу отрицательную производную по времени от того же скалярного поля. Считается, что такая степень свободы с физической точки зрения несущественна, поскольку при этом электрическое и магнитное поля, проявляющиеся в физических наблюдениях и измерениях, не изменяются. Потенциалы рассматриваются как удобные вспомогательные величины.

Является ли общая теория относительности детерминистической теорией? На этот вопрос уже есть ответ, и ответ не является простым. Из него вытекает, что, имея соответствующие данные в некоторый момент времени (на пространственно-подобной трехмерной гиперповерхности), можно предсказать эволюцию поля с точностью до 4 произвольных функций пространственных координат и времени. Указанные 4 произвольные функции отражают изменение четырехмерной системы координат, существовавшей в начальный момент, – не более и не менее. Как только система координат зафиксирована посредством наложения соответствующих координатных условий, уравнения поля становятся строго детерминистическими. Доказательство этого получили почти двадцать лет назад Я. Шокью и независимо другими методами П.А.М. Дирак.

Что касается новой единой теории поля, то заранее нельзя сказать, будет ли она детерминистической теорией. Я полагаю, что в настоящее время имеются методы исследования этой проблемы, однако в каждом конкретном случае должны быть проведены соответствующие проверки.

Примеры единых теорий поля

Перейдем к краткому рассмотрению двух единых теорий поля, ставших уже достоянием истории, авторами которых являются Г. Вейль и Т. Калуца.

Начнем с теории Вейля. Общая теория относительности основана на геометрической идее, состоящей в том, что в окрестности произвольной точки пространства-времени можно установить связь между двумя любыми мировыми точками, как и в специальной теории относительности. Геометрическое обобщение означает распространение получаемого метрического соотношения на конечные области. В этом случае геометрия Минковского должна быть заменена римановой (или псевдоримановой) геометрией, в которой структура метрики определяется квадратичной формой не с постоянными, а с переменными коэффициентами, зависящими от пространственных и временной координат. Одна из замечательных особенностей такого обобщения состоит в том, что при параллельном переносе вектора вдоль произвольной кривой результат такого переноса зависит от выбранной кривой. В случае параллельного переноса вектора вдоль замкнутой кривой (как, на-

пример, окружности) он по возвращении в исходное положение не будет равен первоначальному вектору. Операция такого параллельного переноса является неинтегрируемой или неголономной. Однако неинтегрируемость параллельного переноса связана с изменением направления вектора; его длина остается неизменной, то есть интегрируемой.

Вейль обобщил геометрию Римана. Он предположил, что длина вектора также не является инвариантной величиной, т.е. она не должна быть интегрируемой. Для реализации своей идеи Вейль расширил группу инвариантности общей теории относительности, введя дополнительную группу – так называемую группу калибровочных преобразований. При калибровочных преобразованиях длины всех векторов в некоторой точке пространства-времени должны быть умножены на один и тот же произвольный коэффициент, который может изменяться от точки к точке. Определение параллельного переноса в геометрии Вейля зависит от выбора калибровки, а не от самой операции параллельного переноса вдоль заданной замкнутой кривой. Изменение длины вектора после такого переноса является мерой ее неинтегрируемости.

Проведенное Вейлем обобщение римановой геометрии, составляющей математическую основу общей теории относительности, означает необходимость использования полей с большим числом компонент. Римановы многообразия полностью описываются метрическим тензором, имеющим 10 алгебраически независимых компонент. В геометрии Вейля также используется метрика, имеющая в действительности лишь 9 компонент, поскольку ее десятая компонента может рассматриваться как произвольная величина (в любой заданной системе координат), зависящая от калибровки. Однако в то время как в римановой геометрии метрика полностью определяет соответствующую «аффинную связность», то есть поле, вводимое при параллельном переносе векторов, в геометрии Вейля это не так. Изменение длины вектора при параллельном переносе должно определяться независимо от метрического поля; при этом вводится квазивекторное поле, связанное с калибровочными преобразованиями, при которых возникает дополнительный градиент. Четырехмерный ротор этого поля является калибровочно-инвариантным, и, таким образом, мы естественно можем физически интерпретировать последний как тензор электромагнитного поля. Это кососимметрическое поле (на геометрическом языке) определяет меру неинтегрируемости нормы вектора при параллельном переносе вдоль замкнутой кривой.

Геометрия Вейля может рассматриваться как первый пример «расслоения». Понятие «расслоения», введенное геометрами, в настоящее время играет большую роль в теоретической физике, поэтому я уделю ему несколько минут.

Рассмотрим некоторый геометрический объект, например, вектор, тензор или аналогичную структуру, характеризуемую набором величин, которые могут принимать любые значения (действительные или комплексные).

Область значений всех компонент образует пространство, обычно имеющее конечную размерность – «слой». Например, все четырехвекторы образуют четырехмерное пространство; все действительные числа – одномерное пространство и т.д. Такое пространство представляет интерес, если в дополнение к его первоначальной структуре ввести группу преобразований, «структурную группу», элементы которой соответствуют определенным отображениям слоя самого на себя. Например, мы можем объединить со слоем четырехвекторов группу Лоренца, элементы которой определяются лоренцевыми преобразованиями векторов, образующих слой.

«Расслоение» реализуется, если одну «копию» нашего слоя связать с каждой точкой некоторого другого многообразия, например с точками четырехмерного пространства-времени. Это многообразие называется «базисным многообразием» расслоения. Целое расслоение само по себе является многообразием, а его размерность определяется суммой размерностей базисного многообразия и слоя. В случае, когда рассматриваемый слой представляет собой набор всех действительных чисел вместе с пространством-временем базисного многообразия, расслоение имеет размерность $(4 + 1)$, то есть является пятимерным.

Для описания конкретного поля в расслоении необходимо связать с каждой точкой базисного многообразия одну точку слоя. Набор всех таких точек в расслоении называется сечением расслоения; сечение эквивалентно некоторому полю. В рассматриваемом случае не существует единственного метода, позволяющего связать точку одного слоя с точкой соседнего слоя, что объясняется наличием структурной группы. Для получения такой однозначной связи в расслоении вводится новое геометрическое понятие, а именно понятие «горизонтальности». Смысл этого понятия состоит в том, что перемещение на слое вблизи фиксированной точки базисного многообразия соответствует вертикальному смещению, а переход от одного слоя к соответствующей точке близлежащего слоя – горизонтальному смещению. При этом вертикальное смещение является тривиально интегрируемым – мы просто остаемся на исходном слое, тогда как горизонтальное смещение обычно неинтегрируемо. При перемещении вдоль кривой, замкнутой относительно базисного многообразия и в то же время горизонтальной в расслоении, мы по возвращении к исходному слою получим чисто вертикальное смещение. Неинтегрируемость формально определяется переменной, которую можно назвать коммутатором горизонтальных смещений. Очевидно, что «горизонтальность» в расслоениях представляет собой некоторое обобщение понятия параллельного переноса векторов в римановом пространстве, или в геометрии Вейля, а коммутатор является аналогом тензора кривизны Римана–Кристоффеля.

Вернемся теперь снова к геометрии Вейля. Предположим, что существует пространство-время расслоения со скаляром – нормой векторов, и введем в качестве структурной группы локальное калибровочное преобразование, а именно умножим все нормы (в некоторой точке пространства-

времени) на один и тот же произвольный коэффициент. Пусть этот коэффициент различен в каждой точке пространства-времени, но в то же время непрерывен и дифференцируем. Тогда для сохранения понятия «тот же самый вектор» для близлежащих точек пространства-времени необходимо выполнение специального «соотношения горизонтальности», которое, в частности, может иметь следующий вид:

$$dN = -N\phi_\rho dx^\rho,$$

где ϕ_ρ – псевдовектор, как отмечалось ранее. Если в каждой точке умножить N на коэффициент α , выбираемый произвольно, $N^* = \alpha N$, то для сохранения «соотношения горизонтальности» необходимо заменить ϕ_ρ на $\phi_\rho^* = \phi_\rho - (\ln \alpha)_{,\rho}$. Коммутатор «соотношения горизонтальности» является калибровочно-инвариантным тензорным полем $\phi_{\rho\sigma} = \phi_{\rho,\sigma} - \phi_{\sigma,\rho}$.

Как это ни удивительно, геометрия Вейля может быть адекватно описана без введения калибровочных преобразований и расслоений. Единственное, что нужно сделать, – это заменить метрический тензор римановой геометрии тензорной плотностью, детерминант которой равен 1 (или -1). Тогда норма вектора не будет скаляром, а является скалярной плотностью, меняющейся при преобразовании координат. Метрическая плотность определяет аффинную связность не полностью, но с точностью до набора четырех произвольных компонент, образующих псевдовектор. При преобразованиях координат это поле преобразуется аналогично вектору с единственным отличием, состоящим в том, что к нему необходимо добавить логарифмический градиент якобиана координатного преобразования. Любая ковариантная величина, которая может быть образована в исходном формализме Вейля, имеет точно определенный аналог в таком «обедненном» формализме, что не оставляет места для расслоений и структурной группы.

Я немного остановился на геометрии Вейля с тем, чтобы показать, что использование формализма расслоений необязательно для введения в геометрию новых элементов, которые не могут быть введены без него. Однако это не отрицает полезность формализма расслоений, дело исследователя – использовать его или нет; следует лишь помнить об его эквивалентности другим, совершенно иным формализмам.

Калуца предложил другой подход к проблеме объединения гравитационного и электромагнитного полей. Для описания физического пространства-времени он ввел не четырехмерное, а пятимерное многообразие, которое также является римановым. В этом случае метрика имеет пятнадцать компонент, являющихся функциями 5 координат. Однако физическое пространство-время, очевидно, является четырехмерным, а пятая размерность до некоторой степени не имеет физического смысла. Калуца предложил ограничение, накладываемое на пятимерную метрику; оно состоит в том, что должна существовать одномерная группа отображений, при которых каждая геометрическая фигура остается неизменной, сохраняя присущие ей свойства.

В частности, сегмент кривой должен отображаться в сегмент кривой той же самой длины. Такое условие «цилиндричности» известно как условие Киллинга, по имени его автора. Конгруэнтные отображения, вводимые условием Киллинга, могут быть осуществлены посредством бесконечно малого конгруэнтного отображения. Последнее в свою очередь определяет векторное поле, известное как вектор Киллинга, который локально указывает направление от любой заданной точки к ее отображению при бесконечно малом преобразовании, или смещении. Такое векторное поле A_ρ удовлетворяет набору дифференциальных условий, а именно уравнению Киллинга

$$A_{\rho;\sigma} + A_{\sigma;\rho} = 0.$$

Теперь в нашем пятимерном многообразии имеются метрика и векторное поле Киллинга.

Из условий Киллинга вытекает, что в пятимерном многообразии можно ввести частный вид системы координат, такой, что как метрика, так и поле Киллинга зависят в ней лишь от четырех из 5 координат. В этой координатной системе вектор Киллинга имеет следующие контрвариантные компоненты: $(0, 0, 0, 0, 1)$. Введение указанной системы координат позволяет построить дополнительные координатные системы такого же типа посредством следующих отображений: сначала каждая точка перемещается вдоль кривой, касательной к которой является вектор Киллинга, а затем все точки, лежащие на одной из таких кривых, отображаются на другую кривую аналогичного типа. Рассматриваемые отображения, или преобразования координат, содержащие 5 функций 4 независимых переменных, образуют группу. Однако эта группа не является простой, – она гомоморфна отображениям кривых Киллинга на кривые Киллинга без перемещений, а эти отображения изоморфны отображениям четырехмерного многообразия (как, например, пространства-времени) на само себя.

Теория Калуцы содержит 15 полевых переменных, которые зависят от 4 координат (в частных системах координат), что затрудняет физическую интерпретацию, поскольку должно быть 10 гравитационных потенциалов и 4 электромагнитных. Пятнадцатая полевая переменная является скаляром (в четырехмерном пространстве) и, по-видимому, лишней. Исходя из соображений инвариантности, Калуца положил этот скаляр равным единице (скаляр представляет собой просто норму вектора Киллинга). Впоследствии такое скалярное поле рассматривалось Эйнштейном и мною, Йорданом, Тирри и совсем недавно Дикке и Брансом.

Последнее обобщение исходной теории Калуцы в настоящее время известно как скалярно-тензорная теория. Эта теория наряду с гравитационным и электромагнитным полями содержит также дальнедействующее (подчиняющееся закону обратных квадратов) поле спина нуль. Согласно имеющимся экспериментальным данным, которыми я располагаю, маловероятно, что такое поле действительно существует в природе, поскольку все проведенные измерения релятивистских эффектов подтверждают выводы ОТО

Эйнштейна, сделанные в 1916 г., причем по мере усовершенствования методики согласие улучшается.

Ни теория Калуцы, появившаяся в 1921 г., ни скалярно-тензорные теории в действительности не позволяют объединить гравитацию и электромагнетизм. Введение третьего поля не облегчает решение проблемы объединения полей. Эти два или три поля алгебраически отделены друг от друга инвариантным образом, не зависящим даже при использовании достаточно сложного формализма (как, например, формализма расслоения) от введения частных систем координат. Все, что остается от рассмотренных попыток построения единой теории поля, это привлекательная идея модели вселенной более высокой размерности.

Разрешите мне кратко остановиться на различных попытках, предпринятых Эйнштейном, Баргманном и мною, которые датируются приблизительно 1940 г. Эйнштейн решил отказаться от условия Киллинга и заменить его предположением, что пятимерное многообразие является замкнутым в пятом измерении, напоминая трубку. Длина окружности трубки может быть весьма малой, например, порядка комптоновской длины волны элементарной частицы, и, следовательно, не поддающейся макроскопическим измерениям.

Возникает вопрос о том, будет ли сохраняться неизменной длина окружности с течением времени. Нами был сделан вывод, что постоянство длины окружности трубки может быть обеспечено следующим независимым предположением: потребуем просто, чтобы геодезические (кратчайшие кривые), соединяющие каждую точку многообразия с самой собой при обходе трубки, осуществляли это однозначно и имели непрерывную касательную; это требование обеспечивает повсюду постоянство длины окружности. Чтобы наглядно представить себе это, соединим точку на бумажном конусе саму с собой кривой, которая является прямой линией (геодезической) в случае, когда бумага лежит на плоском столе. Тогда в исходной точке на конусе «выходящая» и «входящая» кривые образуют некоторый угол. Если мы проделаем аналогичный эксперимент с бумажным цилиндром, то указанный угол равняется нулю. Формальное доказательство рассмотренных случаев в общем виде не представляет трудности.

После того как было сделано предположение, что геодезические переходят сами в себя без скачкообразного изменения направления, мы будем иметь одну и только одну геодезическую, проходящую через каждую точку пятимерного многообразия. Такая конгруэнция геодезических играет роль, аналогичную кривым Киллинга в исходной теории Калуцы. Основная новая особенность состоит в том, что полевые переменные, компоненты метрики, зависят от всех 5 координат, при этом от пятой координаты циклически. Для первых компонент Фурье мы имеем дифференциальные уравнения, похожие на уравнение Клейна–Гордона. Эйнштейн и мы некоторое время надеялись, что такая предполагаемая классическая теория смогла бы объяснить квантовые явления, а также привести к созданию моделей элементарных частиц.

Однако тщательное изучение двух различных систем возможных полевых уравнений привело нас к выводу, что наши надежды неосуществимы, и поэтому мы отказались от дальнейшей разработки изложенной идеи.

Современные исследования

В этом разделе мне хотелось бы кратко рассмотреть два основных типа единых теорий, которые в настоящее время вызывают значительный интерес, а именно теории Эйнштейна–Картана и теории супергравитации.

Теории Эйнштейна–Картана основаны на геометрических моделях, обобщающих риманову геометрию. При их описании часто используется формализм расслоений, однако последнее не является абсолютно необходимым. В основном обобщение состоит в расширении правил параллельного переноса векторов. В римановой геометрии оказывается возможным такой выбор системы координат в окрестности любой точки пространства-времени, что в этой точке: 1) компоненты метрики такие же, как и в геометрии Минковского при использовании лоренцевых (то есть стандартных) координат; 2) первые производные компонент метрики по координатам равны нулю и 3) правило параллельного переноса просто устанавливает, что вектор переносится на бесконечно малое расстояние из исходной точки в нее же, если в первом порядке его компоненты не изменяются. Коммутатор, или тензор кривизны, зависит от производных второго порядка; в случае, когда связность является неинтегрируемой, не все производные второго порядка метрики или параллельно переносимого вектора могут быть положены равными нулю.

Обобщение Картана позволяет ввести правила параллельного переноса, для которых третье из трех отмеченных выше свойств локально оптимально выбранной системы координат может не выполняться. В случае выполнения первых двух условий в этой системе координат параллельно переносимый вектор испытывает лоренцево вращение.

Такое вращение является новым элементом структуры пространства-времени, не имеющим аналога в римановой геометрии. Поскольку имеется 6 параметров, описывающих бесконечно малое лоренцево вращение, и поскольку эти параметры могут быть выбраны независимо друг от друга для 4 независимых направлений смещения, эта новая структура («кручение») описывается 24 компонентами, причем 4 компоненты образуют одно подпространство, а 20 – другое. Что касается объединения геометрии с кручением, то по этому вопросу, по-видимому, имеется мало конкретных предложений. К римановой метрике, которую геометрия кручения оставляет неизменной, добавляется одна или две дополнительных структуры, отделяемых от римановой геометрии инвариантным образом. С точки зрения формализма расслоений и «калибровок» интересно отметить, что введение кручения позволяет связать с каждой точкой пространства-времени не только векторное пространство, подвергаемое лоренцеву вращению, но и пространство Минковского, в котором возможны как лоренцевы вращения, так и трансляции. Как часто случалось в истории создания единых теорий поля, необос-

нованное усложнение в рамках одного подхода выглядело как наиболее естественное обобщение с точки зрения другого подхода.

В действительности введение кручения также может быть физически обосновано. В теории Эйнштейна тензор энергии-импульса материи является источником гравитационного поля. Однако в большинстве физических теорий энергия-импульс связывается с трансляциями. Лоренцевы вращения генерируются моментом количества движения (и бустами). Как можно доказать, в общерелятивистской теории должно существовать «что-то», источником которого является плотность момента количества движения материи. Это «что-то» и есть кручение. Я считаю, что объединение лоренцевых вращений, момента количества движения и кручения, представляет интерес для теорий с кручением. Среди физиков и математиков, работающих в этой области, я отмечу Киббла, Шаму, Траутмана, Хеля и их коллег.

Теперь перейдем к теориям, включающим суперсимметрию, и далее к теориям супергравитации. В настоящее время теории супергравитации образуют процветающую область исследований, в которой работают как чистые математики, так и физики-теоретики из многих стран. Первоначально эти теории рассматривались как одно из следствий довольно абстрактных математических идей, а именно идей градуированной алгебры Ли.

Обычная алгебра Ли тесно связана с представлением инфинитезимальной группы, или группускулой. Если элементы группы непрерывно зависят от конечного числа параметров, как, например, группы Лоренца и Пуанкаре, то их свойства могут быть в значительной степени изучены путем исследования инфинитезимальной окрестности единичного элемента; то же самое имеет место для реализаций групп – групп преобразований. Элементы инфинитезимальной группы могут быть связаны линейной зависимостью, и они образуют линейное векторное пространство. Помимо возможности образования линейных комбинаций, элементы инфинитезимальной группы могут образовывать комбинации второго типа, а именно кососимметричную билинейную комбинацию, соответствующую теоретико-групповому коммутатору, называемому скобками Ли. Скобки Ли удовлетворяют набору тождеств, известных как тождества Якоби, соответствующих ассоциативному закону, которому подчиняются элементы группы.

В градуированной алгебре Ли некоторые из скобок Ли заменяются симметричными билинейными выражениями в соответствии со строгим иерархическим принципом, который называется градуированием. Для реализации градуированной алгебры Ли удобно ввести вместо обычных действительных или комплексных чисел так называемые элементы Грассмана, а именно символические числа, произведение которых антикоммукативно, то есть $ab+ba=0$. Произведение двух элементов Грассмана образует коммутативное произведение со всеми числами, обычными или символическими, тем не менее само оно является не обычным числом, а «нильпотентным»; это означает, что некоторая конечная степень такого числа равна нулю. Например, в рассмотренном выше случае $(ab)^2 = 0$.

Совершенно очевидная идея состоит в том, что градуированные алгебры Ли позволили бы ввести поля, которые могли бы имитировать свойства квантовых состояний фермионов, изменяющих знак при перестановке любых двух тождественных частиц. Кроме того, использование градуированной алгебры Ли позволяет осуществлять инфинитезимальные преобразования «суперполей», в которых «нечетные» и «четные» элементы Грассмана должны перемешиваться друг с другом. Разделение полного поля на поле бозонов и фермионов зависело бы от «суперсистемы», выбранной для его описания. «Суперкалибровочные преобразования» должны были бы представлять новую симметрию в природе, выходящую за пределы общей теории относительности и электродинамики, но включающую их.

Однако принцип симметрии включает не только алгебру, которая просто соответствует инфинитезимальным преобразованиям. Как я понимаю настоящую ситуацию, «градуированные группы» на самом деле могут быть получены из всех градуированных алгебр Ли. Такие градуированные группы могут зависеть от конечного или бесконечного набора параметров. В первом случае эти группы в абстрактном смысле являются обычными группами Ли, а во втором случае они похожи на унитарные группы в бесконечномерных пространствах Гильберта. Следовательно, с абстрактной точки зрения суперконцепции могут быть не настолько революционными, какими они казались сначала.

Тем не менее суперсимметрия и супергравитация представляет собой новую точку зрения. В действительности соответствующие группы симметрии могут оказаться не столь простыми, и каждый по этой причине может отказаться от них, как от основы единой теории поля. Однако они, по видимому, открывают новый подход, заключающийся в возможности объединения принципов симметрии, являющихся полуэмпирическими в физике элементарных частиц, с принципами симметрии классической (макроскопической) физики. Если такая надежда осуществится, то, по моему мнению, это будет иметь огромное значение. Возможно, пройдет некоторое время, прежде чем математические и физические принципы новых теорий будут уточнены настолько, что можно будет прийти к окончательному решению.

Перспективы на будущее

Поиски Эйнштейна в области единой теории поля не привели к общепризнанным результатам, несмотря на его гениальность и упорство. По моему мнению, это связано с отсутствием новых экспериментальных данных, которые могли бы служить путеводной звездой. Ядерная физика при жизни Эйнштейна была в основном статистической. Имевшихся в то время экспериментальных данных было достаточно для создания поразительно успешной теории атомного ядра; однако в то же время, ввиду ограниченности эмпирических данных, трудно было сделать какие-либо выводы о природе взаимодействия барионов. В настоящее время положение резко изменилось. Независимо от того, являются ли частицы «элементарными» или нет, являются ли кварки или глюоны предельными кирпичиками для всех известных

адронов, в настоящее время имеется твердо установленный и согласованный набор принципов, которые нельзя не учитывать при построении любой теории, претендующей на фундаментальную. Как я отмечал, по моему мнению, еще рано говорить о том, что супергравитация является жизнеспособной теорией, однако она, по крайней мере, представляет собой серьезную попытку объединения понятий как классической теории поля, так и современной теории физики элементарных частиц. Это, по моему мнению, является серьезной заявкой на будущее. В настоящее время опубликован ряд работ, в которых предлагаются методы объединения супергравитации и теорий с кручением.

Возможно, в ближайшем будущем не удастся ликвидировать пропасть между классической и квантовой теориями. Однако мы не должны терять надежды и принимать точку зрения, которую в последние годы своей жизни отстаивал Эйнштейн и которая состояла в том, что квантовая теория должна в дальнейшем остаться неизменной, а классическая теория должна рассматриваться как макроскопическое приближение. Я надеюсь, что отмеченная проблема будет решена, однако не в рамках общепринятых классических или квантовых концепций, а с помощью новых идей, которые придут им на смену. Только будущее может дать ответ на этот вопрос.

В заключение уместно сказать несколько слов о многообразии как модели пространства-времени. В то время как в классической механике координаты частиц являются динамическими переменными (а следовательно, в квантовой механике q -числами), координаты в теории поля являются просто непрерывными индексами (а следовательно, s -числами) и неизменно служат основой для восприятия и описания динамики соответствующих полей. Не существует убедительных причин, которые позволяли бы или не позволяли бы использовать многообразие в этой роли. Мы не можем наблюдать мировую точку как таковую, а в лучшем случае наблюдаем события, происходящие в этой мировой точке; в принципе могут существовать причины, в силу которых мы не можем воспринимать события, происходящие в близлежащих мировых точках, как отдельные события. Но даже если экспериментальное разрешение близлежащих мировых точек ограничено, тем не менее многообразие может оставаться и остается удовлетворительным способом описания природы.

В случае, когда многообразие пространства-времени является расслоенным, расслоение представляет собой новое многообразие все еще конечной размерности, но уже не четырехмерное. Пространство-время остается базисным многообразием со всеми образующими его различными объектами, если отображение расслоения на базисное многообразие инвариантно относительно группы симметрии. Несколько лет тому назад А. Комар и я пришли к выводу, что можно ввести группу симметрии для стандартной общей теории относительности, причем такая группа будет намного шире, чем группа диффеоморфизмов; она не переводит мировую точку в мировую точку (и слой в слой) и даже не является отображением расслоения самого на

себя. Это описание может оказаться чисто формальным. С другой стороны, можно надеяться, что использование концепции многообразия четырехмерного пространства-времени в конце концов приведет к новым идеям. По всей вероятности, супергравитация позволит расширить группу симметрии, хотя мы не вполне уверены в этом.

В заключение мне хотелось бы выразить надежду, что в обозримом будущем удастся достигнуть прогресса в унификации нашего понимания физической вселенной. При любом продвижении вперед по этому пути несомненно возникнут новые проблемы, которых мы еще не знаем, однако отчаиваться не следует. Природа приготовила нам бесконечное число загадок, но я уверен, что с ними вполне можно справиться. Эйнштейн был убежден: «Господь бог изощрен, но не злонамерен».

UNIFIED FIELD THEORY: YESTERDAY, TODAY, TOMORROW³

Peter G. Bergman

³ A reprint from the collection of articles *Problemy fiziki: klassika i sovremennost* [Problems of Physics: Classics and Modernity] (Moscow, Mir Publishers, 1982. – P. 69–85) dedicated to the 100th anniversary of the birth of Albert Einstein.

О ДОПУСТИМОЙ МЕРЕ КРИВИЗНЫ ПРОСТРАНСТВА⁴

К. Шварцшильд

Если я позволю себе преподнести Вам некоторые замечания, не имеющие ни практического применения, ни особенного математического значения, то меня должна извинить тема, которой они посвящены. Тема эта, несомненно, имеет для многих из Вас особенную притягательную силу, ибо она касается вопроса о расширении наших образов представления далеко за пределы доступного нам опыта и открывает чудеснейшие перспективы для возможных впоследствии опытов. То, что при этом приходится отрешиться от ряда традиционных представлений, особенно прочно укрепившихся в головах астрономов, представляет лишь новое преимущество рассматриваемой темы в глазах всякого, кто убежден в относительности наших познаний.

Дело идет о допущении кривизны пространства. Вам известно, что в 19 столетии наряду с евклидовой геометрией развился ряд других – неевклидовых – геометрических систем, во главе которых находятся геометрические системы так называемого сферического и так называемого псевдосферического пространств, с коими мы и будем здесь иметь, главным образом, дело. Можно развить детальнейшим образом картину того, что наблюдалось бы в мире сферического или псевдосферического искривленного пространства. Я ограничусь лишь ссылкой на статью Гельмгольца: «О происхождении и значении геометрических аксиом». Мы здесь попадаем, так сказать, в геометрическую сказочную страну, но в этой сказке особенно прекрасно то, что в конце концов мы не знаем, не представляет ли она вовсе действительность. Мы здесь рассмотрим вопрос, насколько можно раздвинуть границы этой сказочной страны, какова *максимальная возможная кривизна пространства, каков минимальный возможный радиус кривизны его*.

Обыкновенно на вопрос этот дают неудовлетворительный ответ, – неудовлетворительный, по крайней мере, для астронома. В евклидовой геометрии сумма углов треугольника равна $2d$; в неевклидовой же она тем более разнится от этой величины, чем больше рассматриваемый треугольник. И вот указывают, что даже в случае величайших измеренных треугольников, вершиной которых является какая-нибудь неподвижная звезда, а основанием – диаметр земной орбиты, даже в них сумма углов не разнится заметным образом от $2d$ и что, следовательно, кривизна пространства должна быть необыкновенно малой. Но при этом забывают, что угол при звезде вовсе не измеряется, что расстояние до звезды и величину тре-

⁴ Доклад на собрании астрономического общества в Гейдельберге в 1900 г. Перепечатка из сборника «Новые идеи в математике». Сборник № 3 Пространство и время II / под ред. проф. А.В. Васильева. – СПб.: Изд-во «Образование», 1913. – С. 56–70.

угольника вычисляют исходя из теорем евклидовой геометрии, правильность которой ведь и является здесь предметом рассмотрения. Кроме того, астроном не удовлетворяется указанием, что можно пренебречь кривизной пространства до ближайших неподвижных звезд, параллакс которых доступен измерению: чтобы получить представление о строении звездного мира, он должен привлечь к рассмотрению расстояния до слабейших, отдаленнейших звезд.

Я приступаю к рассмотрению этой проблемы, исходя из такого пункта, который дает в то же время возможность обсудить до известной степени теоретико-познавательное значение неевклидовой геометрии. Для определения по трем точкам треугольника мы будем пользоваться лучами света, идущими из одной точки к другой. Длины сторон мы будем определять промежутками времени, в которые свет проходит их, а углы α , β , γ будем измерять обыкновенным астрономическим инструментом. Опыт показывает нам, что плоская тригонометрия верна в пределах точности наблюдения для всех треугольников. Но допустим, что обыкновенная тригонометрия не абсолютно точна и что в действительности стороны и углы в треугольниках связаны следующими равенствами:

$$\sin \alpha : \sin \beta : \sin \gamma = \sin \frac{a}{R} : \sin \frac{b}{R} : \sin \frac{c}{R} \quad (a)$$

$$\cos \frac{c}{R} = \cos \frac{a}{R} \cdot \cos \frac{b}{R} + \sin \frac{a}{R} \cdot \sin \frac{b}{R} \cos \gamma \quad (b)$$

Здесь R представляет некоторый данный, очень большой, отрезок, который мы назовем «радиусом кривизны пространства», не заботясь, однако, об особенно тесной аналогии с понятием радиуса кривизны в случае геометрии двух измерений. Приведенные выше равенства совпадают с основными формулами сферической тригонометрии, которые, как известно, переходят в обыкновенные тригонометрические формулы, когда стороны треугольника малы по сравнению с радиусом шара R . Но если взять R достаточно великим, то стороны любого измеренного треугольника становятся малыми по сравнению с R . Поэтому, увеличивая R , можно всегда добиться того, чтобы в пределах точности наблюдения формулы (a) и (b) совпадали с обыкновенными тригонометрическими формулами. *Иначе говоря, достаточно соответственно увеличить R , чтобы формулы (a) и (b) никогда не противоречили опыту.*

Мы здесь не станем рассматривать чисто математическую проблему, вправе ли мы принять – без внутреннего противоречия – формулы (a) и (b) для любого пространственного треугольника. Как известно, на этот вопрос существует утвердительный ответ. Кроме того, исследование показывает, что требование применимости сферической тригонометрии ко всем треугольникам в пространстве не дает ещё однозначного определения отношений связи пространства. Среди всех возможных форм пространства, допускающих сферическую тригонометрию, простейшими и известнейшими яв-

ляются так называемое «сферическое пространство» и так называемое «эллиптическое пространство». Сферическому и эллиптическому пространствам присущи следующие общие свойства: пространство конечно, объем его тоже конечен и зависит от радиуса кривизны. Если следовать за каким-нибудь лучом света, то, пройдя известное большое расстояние, мы возвращаемся снова к исходному пункту. Отношения в какой-нибудь плоскости пространства совершенно сходны с отношениями на поверхности шара согласно обычному воззрению. При этом плоскость в искривленном пространстве определяется, как и всегда, всеми прямыми, всеми лучами света, проходящими через два пересекающихся луча света. Всякой прямой в плоскости искривленного пространства соответствует большой круг на поверхности шара. Если построить две параллельные прямые, т.е. линии, пересекающие третью прямую под равными углами (например, прямыми углами), то им соответствуют примерно два меридиана, пересекающих экватор под прямыми углами. И подобно тому, как меридианы пересекаются в точке полюса, так и параллельные прямые в искривленном пространстве пересекаются на расстоянии $\frac{\pi}{2}R$. Скажут, что в плоскости искривленного пространства две прямые должны постоянно пересекаться дважды, подобно двум большим кругам на шаре. Эта гипотеза и лежит, действительно, в основе сферического пространства. Но точно также возможно, что две прямые пересекаются лишь однажды; эта предпосылка приводит нас к «эллиптическому» пространству. Отображение какой-нибудь плоскости искривленного пространства на обыкновенной шаровой поверхности можно, действительно, произвести таким образом, что с каждой точкой плоскости будет сопряжен не радиус, а диаметр и, значит, две диаметрально противоположные точки шаровой поверхности. Поэтому если мы возьмем большие круги, проходящие через какую-нибудь точку шаровой поверхности и пересекающиеся в диаметрально противоположной точке, то в плоскости искривленного пространства исходная точка и диаметрально противоположная точка соответствуют одной и той же точке, и в этой единственной точке пересекаются соответственные прямые. Отсюда следует в то же время, что мы возвращаемся к исходной точке, пройдя отрезок длиной в πR (а не $2\pi R$) и что максимальное расстояние между двумя точками равно $\frac{\pi}{2}R$. В дальнейшем мы займемся этим *эллиптическим* пространством, простейшим из пространств со сферической тригонометрией (говоря выше о сферическом пространстве вместо эллиптического, мы просто пользовались более известным и привычным выражением).

Но сперва мы должны упомянуть еще об одном, весьма простом, обобщении неевклидовой геометрии. Если в (a) и (b) заменить R мнимой величиной iR , то мы получаем

$$\sin \alpha : \sin \beta : \sin \gamma = \sin \frac{a}{R} : \sin \frac{b}{R} : \sin \frac{c}{R} \quad (a')$$

$$\cos \frac{c}{R} = \cos \frac{a}{R} \cdot \cos \frac{b}{R} - \sin \frac{a}{R} \cdot \sin \frac{b}{R} \cos \gamma, \quad (b')$$

где прописные буквы должны обозначать гиперболические функции. И эти равенства переходят с возрастанием R в формулы плоской тригонометрии. Существует целый ряд пространственных форм, в которых имеет силу особая тригонометрия, основывающаяся на формулах (a') и (b'). Простейшая и известнейшая из этих пространственных форм – это так называемое «псевдосферическое» или гиперболическое пространство. Это пространство бесконечно. В нем через каждую точку проходит пучок прямых, не пересекающих некоторую данную прямую. Геометрия на какой-нибудь из плоскостей его аналогична геометрии на так называемой псевдосфере, поверхности постоянной отрицательной кривизны.

Теперь мы обратимся к задаче определения *параллакса* для обоих случаев эллиптического и гиперболического пространств. Всякое определение параллакса сводится к тому, что в две эпохи, отделенные между собою промежутком в полгода, измеряется угол, образуемый при земле двумя прямыми, соединяющими ее с какими-нибудь двумя звездами. Допустим для простоты, что одна из этих двух звезд S_1 находится как раз на продолжении соответственного диаметра земной орбиты, а другая, S_2 , приблизительно перпендикулярна к этому направлению. Если E_1 и E_2 представляют положения земли в обе эпохи (причем $E_1 E_2 = r$ означает диаметр земной орбиты), то из наблюдения мы получим оба угла $S_1 E_1 S_2 = \alpha$ и $S_1 E_2 S_2 = \beta$. Величину $p = \frac{\alpha - \beta}{2}$ обыкновенно называют параллаксом звезды S_2 . Задача заключается в том, чтобы, зная элементы α , β , $2r$, вычислить расстояния $E_1 S_2 = a$ и $E_2 S_2 = a$ звезды S_2 для обоих положений земли, и притом один раз в предположении сферической, другой раз в предположении псевдосферической тригонометрии. Так как прямая, направленная к S_2 , должна быть приблизительно перпендикулярной к $E_2 E_1 S_1$, то можно положить $a = rb = d$, где d будет означать расстояние до нашей звезды. Если далее принять во внимание, что параллакс p представляет всегда очень небольшой угол и что радиус кривизны пространства, несомненно, должен быть очень большим по сравнению с диаметром земной орбиты, то мы легко получим для определения расстояния следующие формулы (в случае эллиптического пространства)

$$\cot \frac{d}{R} = \frac{R}{r} \cdot p \text{ или } \sin \frac{d}{R} = \frac{r}{\sqrt{p^2 R^2 + r^2}} \quad (c)$$

(в случае гиперболического пространства)

$$\cot \frac{d}{R} = \frac{R}{r} \cdot p \text{ или } \sin \frac{d}{R} = \frac{r}{\sqrt{p^2 R^2 - r^2}} \quad (c')$$

Последняя из этих формул легко приводит к некоторому выводу касательно *гиперболического пространства*. Действительно, для каждого веще-

ственного расстояния d должно иметь место неравенство $pR > r$. Поэтому здесь существует минимальный параллакс $p = \frac{r}{R}$, который должен быть наблюдаем даже у самых далеких звезд. Но так как мы достоверно знаем, что есть много звезд, не обнаруживающих параллакса в $0''.05$, то величина этого минимального параллакса должна быть меньше $0''.05$. Отсюда мы получаем в качестве нижнего предела для радиуса кривизны гиперболического пространства: $R > \frac{r}{\operatorname{arc} 0''.05}$ или $R > 4\,000\,000$ радиусов земной орбиты.

Согласно с этим кривизна гиперболического пространства так мала, что она не дает себя знать ни в каких измерениях, производимых в планетной системе. А так как гиперболическое пространство также бесконечно, как и евклидово, то в нем невозможно открыть при наблюдении звездного неба никаких необычных явлений.

Прежде чем перейти к рассмотрению *эллиптического пространства*, я сделаю замечание более общего характера. Как показал недавно проф. Зейлигер, наиболее правильное представление, какое можно составить себе на основании наличного фактического материала насчет строения звездной системы, состоит в предположении, что все видимые звезды (число которых не более 40 миллионов) заключены внутри пространства, диаметр которого в несколько сот миллионов раз больше радиуса земной орбиты и за которым начинается огромное, сравнительно пустое, пространство. Уже сама по себе концепция эта имеет нечто успокаивающее, так как, согласно ей, полное изучение этой ограниченной звездной системы является особым этапом в развитии нашего познания мира. Но это успокаивающее и удовлетворяющее нашу мысль действие стало бы еще значительно больше, если бы мы могли представить себе само пространство замкнутым в себе, конечным и совершенно или приблизительно заполненным этой звездной системой. Действительно, будь это так, то должно было бы наступить время, когда пространство было бы исследовано вдоль и поперек, как изучена земная поверхность, и когда макроскопическое исследование прекратилось бы и должно было бы замениться исключительно микроскопическим исследованием. Этими – разумеется, довольно далекими – перспективами объясняется, как мне кажется, значительная доля интереса, вызываемого в нас гипотезой эллиптического пространства.

Посмотрим теперь результаты *определения параллакса в эллиптическом пространстве*. Из вышеприведенной формулы

$$\cot \frac{d}{R} = \frac{R}{r} \cdot p$$

можно получить для любого измеренного параллакса p определенное вещественное, всегда возможное, расстояние до звезды d , *какое бы значение мы ни приписали радиусу кривизны R* . Мы видим таким образом, что ошибочно думать, будто из одних лишь результатов измерения параллаксов звезд

можно найти предел для R . Согласно этим измерениям, пространство могло бы быть так сильно искривлено, что, уже пройдя отрезок, равный, примерно, тысячекратному расстоянию Земли от Солнца (т.е. такой величины, что свет проходит его в несколько дней), мы бы вернулись к исходному пункту. Поэтому не чисто метрические, а физические основания побуждают сделать допущение о большем радиусе кривизны.

Слишком небольшой радиус кривизны привел бы, правда, к метрическим противоречиям в планетной системе. Так как мы вскоре и без того найдем более высокую границу, то здесь достаточно указать, что в случае радиуса кривизны, равного 30000 радиусов земной орбиты, перестает замечаться влияние кривизны пространства даже для треугольников, простирающихся до орбиты Нептуна. Этот радиус кривизны соответствует длине, не составляющей и десятой доли того расстояния, которое обыкновенно приписывают ближайшим неподвижным звездам.

Итак, примем $R = 30000$ радиусов земной орбиты и вычислим по формуле (с) расстояние звезд, соответствующее различным параллаксам. Мы получим

$$\text{(для } p = 1''.0) \quad 0.908 \quad \frac{R\pi}{2} = 42800 \text{ радиусов земной орбиты;}$$

$$(0''.1) \quad 0.991 \quad \frac{R\pi}{2} = 46700 \quad \text{“ ... “ ... ”}$$

$$(0''.0) \quad 1.000 \quad \frac{R\pi}{2} = 46700 \quad \text{“ ... “ ... ”}$$

Легко заметить, что мы пришли к довольно нелепым результатам. Звезд с параллаксом $p > 0,1''$ имеется, может быть, около сотни. Таким образом эти 100 звезд должны были бы быть рассеяны на расстояниях, не больших 46700 радиусов земной орбиты, между тем как для остальных миллионов звезд осталась бы часть пространства размерами в 400 радиусов земной орбиты. Солнце в этом случае находилось бы в пространстве с исключительно ничтожной звездной плотностью, между тем как повсюду на определенном расстоянии от него было бы необыкновенное скопление звезд. Чтобы наглядно представить меру сгущения этого скопления звезд, я вычислил объем пространства размерами в 46700 радиусов земной орбиты и объем остальной части всего пространства и определил затем среднее расстояние двух звезд при допущении, что в целом имеется круглым счетом всего 100 миллионов звезд. Оказалось, что для сравнительно пустого пространства вокруг солнца среднее расстояние между звездами равно приблизительно 15000 радиусов земной орбиты, между тем как для густо заполненной части пространства это расстояние равно лишь 40 радиусам земной орбиты. Невозможно, конечно, допустить, чтобы звезды были так близки друг к другу, ибо иначе это обнаружилось бы в их физических взаимодействиях. Отсюда следует, что радиус кривизны в 30000 радиусов земной орбиты слишком мал.

Ясно, что, увеличивая R , можно справиться с этими трудностями, ибо они ведь не имеют места для $R = \infty$ (как это обыкновенно принимают). Достаточно взять R столь большим, чтобы принятые нами 100 миллионов звезд с параллаксами, меньшими $0,1''$, занимали пространство в миллион раз большее, чем пространство, занятое 100 звездами с параллаксами, большими $0,1''$. Простое вычисление показывает, что это имеет место для $R = 160.000.000$ радиусов земной орбиты.

При подобном радиусе кривизны свет прошел бы путь вокруг мира πR в 8000 лет. Соответствующее эллиптическое пространство все еще не имело бы тех размеров, которые обыкновенно приписывают звездной системе. Оно имело бы, примерно, величину, которую Зейлигер принимает для конечной системы неподвижных звезд. Можно было бы также уменьшить R в два или три раза, и это не вызвало бы еще ненормальной пустоты звезд в окрестностях Солнца и чрезмерного изобилия их на большем расстоянии от него.

Итак, мы приходим к заключению, что допущение, согласно которому R равно, примерно, 100.000.000 радиусов земной орбиты, нисколько не противоречит опытным фактам. В случае подобного порядка величины можно было бы представить себе, что все конечное пространство приблизительно равномерно заполнено видимыми нами звездными массами.

Здесь надо обратить особое внимание еще на один пункт. В эллиптическом пространстве всякий световой луч возвращается, обойдя все это пространство, обратно к своему исходному пункту. Световые лучи, излучаемые в пространство невидимой нами стороной солнца, возвращаются, обогнув все пространство, и встречаются землю. Они должны дать противообраз солнца, диаметрально противоположный действительному солнцу. Противообраз этот не должен сам по себе уступать в яркости действительному солнцу, так как лучи, возвращаясь к исходному пункту, снова сгущаются, как если бы они приходили прямым и кратчайшим путем от источника света. Но так как фактически не наблюдается вовсе подобный противообраз солнца, то приходится допустить, что свет в своем пути вокруг пространства испытывает поглощение, достаточно сильное, чтобы уничтожить противообраз. Для этого надо допустить поглощение, равное приблизительно 40 звездным величинам. Нет никаких фактов, мешающих допущению подобного поглощения, которое с точки зрения земных расстояний имеет ничтожную величину.

Резюмируя, мы получаем следующий результат: *можно, не вступая в противоречие с опытными фактами, вообразить себе, что мир заключен в гиперболическом (псевдосферическом) пространстве с радиусом кривизны, большим 4 миллионов радиусов земной орбиты, или в эллиптическом пространстве с радиусом кривизны, большим 100 миллионов радиусов земной орбиты, причем в последнем случае приходится еще допустить поглощение света, равное 40 звездным величинам для оборота вокруг пространства.*

И этим придется пока ограничиться. Я, по крайней мере, не вижу, как можно было бы с помощью теперешних методов исследования сделать какой-нибудь принципиальный шаг вперед, т. е. как можно было бы доказать,

что объем пространства велик по сравнению с объемом видимой нами звездной системы или что пространство, действительно, имеет определенную положительную или отрицательную кривизну.

Однако я приведу кое-какие соображения, которые, хотя и не содержат в себе определенного решения, могут склонить нас к предпочтению того или иного определенного значения R в вышеуказанных нами пределах. Как известно, астрономы, желая дать себе отчет в пространственном положении неподвижных звезд, исходят из по возможности простых и рациональных гипотез о средних яркостях звезд, затем они распределяют их на различных расстояниях от Солнца таким образом, чтобы прийти к полученным из наблюдений числам для звезд каждой величины. Подобное исследование – главный результат которого был упомянут уже выше – было недавно предпринято проф. Зейлигером. Его можно было бы произвести аналогичным образом для псевдосферического или эллиптического пространства. Я вычислил, какова была бы зависимость в обеих этих пространственных формах числа звезд от величины их при допущении, что яркость всех звезд одинакова, а также, что одинакова их средняя плотность во всех частях пространства. Я нашел, что число звезд растет вместе с величиной их в псевдосферическом пространстве медленнее, а в эллиптическом пространстве быстрее, чем при тех же предположениях в евклидовом пространстве. В действительности, как известно, число звезд растет медленнее, чем этого требуют указываемые простые гипотезы в евклидовом пространстве. Можно было бы на основании этого сделать заключение о реальности псевдосферического пространства. Но, конечно, этим рассуждениям нельзя приписывать серьезного значения, так как в действительности гипотезы равной яркости и плотности звезд, наверное, не имеют места. Однако, как я уже сказал, можно было бы и в случае искривленного пространства развить теорию из тех же общих основ, на которых построил ее проф. Зейлигер для евклидова пространства. Сравнение с опытом могло бы, может быть, показать тогда, что простейшая картина распределения звезд получается при допущении пространства некоторой определенной кривизны. Разумеется, вряд ли можно рассчитывать, что ответ здесь получится решительный и определенный. Поэтому нам остается, в конце концов, констатировать тот печальный факт, что есть мало надежды, чтобы мы могли в скором времени получить твердое убеждение в конечности пространства.

Дополнение. В предыдущем материале из всех пространственных форм, в которых имеет место «свободная подвижность твердых тел», были рассмотрены только *основные типы* (по выражению Ф. Клейна). Чтобы вполне исчерпать нашу тему, следует сравнить и прочие пространства, представляющие это свойство, с астрономическими данными. Но я бы при этом исключил «сферическое пространство» и вообще так называемые «двойные пространства», в которых весь исходящий от какой-нибудь точки свет собирается и еще в некоторой другой точке, так как нет нужды прини-

мать столь сложные гипотезы. В таком случае у нас остаются так называемые *«простые пространственные формы Клиффорда–Клейна»*.

Из этих пространственных форм замечательна особенно одна, показывающая весьма простым образом, что признание евклидовой геометрии во все еще не равносильно, как это обыкновенно думают признанию бесконечности пространства. Вообразим себе, что в результате колоссально разросшегося астрономического опыта мы узнали, что вселенная состоит из бесчисленных тождественных повторений нашего Млечного Пути, что бесконечное пространство может быть разделено на множество кубов, каждый из которых заключает в себе некоторую систему, абсолютно равную системе нашего Млечного Пути. Неужели мы бы, действительно, остановились на допущении бесконечно многих тождественных повторений одного и того же мирового целого? Чтобы понять всю абсурдность этого, задумаемся хотя бы в вытекающее отсюда следствие, что и мы сами, наблюдающие субъекты, должны были бы существовать в бесчисленно многих повторениях. Мы охотнее, конечно, склонимся к допущению, что эти повторения лишь кажущиеся, что в действительности пространство представляет такие своеобразные отношения связи, благодаря которым мы, покидая вышеуказанный куб с какой-нибудь стороны и идя все по прямому направлению, снова входим в него с противоположной стороны. Предполагаемое нами при этом пространство есть не что иное, как простейшая из пространственных форм Клиффорда–Клейна, конечное пространство с евклидовой геометрией. Легко сразу же заметить то единственное условие, которому должно удовлетворять ввиду данных астрономии подобное пространство Клиффорда–Клейна. Так как до сих пор еще ничего не было замечено насчет (кажущихся) повторений системы Млечного Пути, то объем пространства должен быть больше, чем тот объем, который мы приписываем Млечному Пути на основании теорем евклидовой геометрии.

Что касается других простых пространственных форм Клиффорда–Клейна, то относительно них мы ограничимся лишь немногими словами, так как они математически еще не вполне изучены. Они все получаются аналогичным образом путем кажущихся тождественных повторений одного и того же мирового целого или в евклидовом, или в эллиптическом, или в гиперболическом пространстве. Данные опыта приводят опять-таки к тому условию что их объем должен быть больше, чем объем видимой звездной системы.

(Перевод П. Юшкевича)

ON THE PERMISSIBLE NUMERICAL VALUE OF THE CURVATURE OF SPACE

K. Schwarzschild

НАШИ АВТОРЫ

БЕРГМАН Петер Г. – американский физик-теоретик, гравитационист, в течение ряда лет сотрудничал с А. Эйнштейном, автор переведенной на русский язык книги «Загадка гравитации» (1969 г.).

ВИЗГИН Владимир Павлович – доктор физико-математических наук, профессор Института истории естествознания и техники РАН (Москва).

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

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

ИГНАТЬЕВ Юрий Геннадиевич – доктор физико-математических наук, профессор механико-математического факультета Казанского (Приволжского) федерального университета.

КРЕЧЕТ Владимир Георгиевич – доктор физико-математических наук, профессор Московского государственного технологического университета «Станкин», профессор Ярославского государственного педагогического университета имени К.Д. Ушинского, академик РАЕН.

ЛЕВИН Сергей Федорович – доктор физико-математических наук, профессор Московского института экспертизы и испытаний.

МЕЛЬНИКОВ Виталий Николаевич – доктор физико-математических наук, профессор Центра гравитации и фундаментальной метрологии ВНИИМС, профессор Института гравитации и космологии Рос-

сийского университета дружбы народов, президент Российского гравитационного общества.

ПАНОВ Вячеслав Федорович – доктор физико-математических наук, профессор кафедры высшей математики Пермского государственного национального исследовательского университета.

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

ШВАРЦШИЛЬД Карл (1873–1916) – немецкий астроном и физик, автор известного сферически-симметричного решения уравнений Эйнштейна, на основе которого описываются классические эффекты общей теории относительности.

МЕТАФИЗИКА

**Российский университет
дружбы народов**

Научный журнал

2014, № 3 (13)

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 27.08.2014 г. Формат 60×84/8.
Печать офсетная. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 22,79. Тираж 500 экз. Заказ 998.

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

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

Общие требования по оформлению статей для журнала «Метафизика»

Автор представляет после согласования с Главным редактором:

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

Формат текста:

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

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

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

Например:

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

ЛИТЕРАТУРА

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

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

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

¹ Медное кольцо заменялось на серебряное.

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

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

Будем рады сотрудничеству!

Контакты:

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

Для заметок
