

МЕТАФИЗИКА

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

2025, № 1 (55)

Основан в 2011 г.

Выходит 4 раза в год

Журнал «Метафизика»

является периодическим рецензируемым научным изданием в области математики, физики, философских наук, входящим в *список журналов ВАК РФ*

Цель журнала – анализ оснований фундаментальной науки, философии и других разделов мировой культуры, научный обмен и сотрудничество между российскими и зарубежными учеными, публикация результатов научных исследований по широкому кругу актуальных проблем метафизики

Материалы журнала размещаются на платформе РИНЦ Российской научной электронной библиотеки

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС 77-45948 от 27.07.2011 г.

Учредитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6)

- **МЕТАФИЗИКА
КОСМОЛОГИИ**
- **МЕТАРЕЛЯЦИОННЫЕ
ОСНОВАНИЯ
ФИЗИКИ**
- **СОСТОЯНИЕ
И ПРОБЛЕМЫ
ТЕОРЕТИКО-
ПОЛЕВОЙ
И ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ
ПАРАДИГМ**
- **ЭКСПЕРИМЕНТЫ
И ИХ
ИНТЕРПРЕТАЦИЯ**
- **ПАМЯТИ
НАШИХ КОЛЛЕГ**

Адрес редакционной коллегии:
Российский университет
дружбы народов,
ул. Миклухо-Маклая, д. 6,
г. Москва, Россия, 117198
<https://journals.rudn.ru/metaphysics>

Подписано в печать 23.03.2025 г.
Дата выхода в свет 30.03.2025 г.

Формат 70×108/16.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 15,23.
Тираж 500 экз. Заказ 86.
Отпечатано
в Издательско-полиграфическом
комплексе РУДН
115419, г. Москва,
ул. Орджоникидзе, д. 3
Цена свободная

METAFIZIKA

SCIENTIFIC JOURNAL

(Metaphysics)

No. 1 (55), 2025

Founder:
Peoples' Friendship University of Russia
named after Patrice Lumumba

Established in 2011
Appears 4 times a year

Editor-in-Chief:

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

Editorial Board:

- V.V. Aristov**, D.Sc. (Physics and Mathematics), Professor at the Federal Research Center
“Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences
- V.I. Belov**, D.Sc. (History), Professor at the RUDN University (Executive Secretary)
- S.A. Vekshenov**, D.Sc. (Physics and Mathematics),
Professor at the Russian Academy of Education
- A.P. Yefremov**, D.Sc. (Physics and Mathematics),
Professor at the RUDN University,
Academician of the Russian Academy of Natural Sciences
- V.N. Katasonov**, D.Sc. (Philosophy), D.Sc. (Theology), Professor,
Head of the Philosophy Department of Sts Cyril and Methodius’
Church Post-Graduate and Doctoral School
- A.P. Kozyrev**, Ph.D. (Philosophy), Associate Professor at the Lomonosov Moscow State University
- Archpriest Kirill Kopeikin**, Ph.D. (Physics and Mathematics),
Candidate of Theology, Director of the Scientific-Theological Center
of Interdisciplinary Studies at St. Petersburg State University,
lecturer at the St. Petersburg Orthodox Theological Academy
- V.F. Panov**, D.Sc. (Physics and Mathematics),
Professor at the Perm State National Research University
- V.A. Pancheluga**, Ph.D. (Physics and Mathematics), Senior researcher,
Institute of Theoretical and Experimental Biophysics of the Russian Academy of Sciences
- V.I. Postovalova**, D.Sc. (Philology), Professor, Chief Research Associate
of the Department of Theoretical and Applied Linguistics at the Institute
of Linguistics of the Russian Academy of Sciences
- Yu.P. Rybakov**, Professor at the RUDN University
- A.Yu. Sevalnikov**, D.Sc. (Philosophy), Professor at the Institute of Philosophy
of the Russian Academy of Sciences, Professor at the Chair of Logic
at Moscow State Linguistic University
- S.V. Bolokhov**, Ph.D. (Physics and Mathematics),
Associate Professor at the RUDN University,
Scientific Secretary of the Russian Gravitational Society (Secretary of the Editorial Board)

ISSN 2224-7580

DOI: 10.22363/2224-7580-2025-1

МЕТАФИЗИКА НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Учредитель:
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Российский университет дружбы народов
имени Патриса Лумумбы»

2025, № 1 (55)

Основан в 2011 г.
Выходит 4 раза в год

Главный редактор –

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

Редакционная коллегия:

В.В. Аристов – доктор физико-математических наук,
профессор Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» РАН

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

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

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

В.Н. Катасонов – доктор философских наук, доктор богословия, профессор,
заведующий кафедрой философии Общецерковной аспирантуры и докторантуры имени
Святых равноапостольных Кирилла и Мефодия

А.П. Козырев – кандидат философских наук,
доцент Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

Протоиерей Кирилл Копейкин – кандидат физико-математических наук,
кандидат богословия, директор Научно-богословского центра
междисциплинарных исследований Санкт-Петербургского государственного университета,
преподаватель Санкт-Петербургской православной духовной академии

В.Ф. Панов – доктор физико-математических наук,
профессор Пермского государственного национального исследовательского университета

В.А. Панчелюга – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник
Института теоретической и экспериментальной биофизики РАН

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

Ю.П. Рыбаков – доктор физико-математических наук,
профессор Российского университета дружбы народов

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

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

ISSN 2224-7580

DOI: 10.22363/2224-7580-2025-1

CONTENTS

EDITORIAL NOTE (<i>Vladimirov Yu.S.</i>)	6
METAPHYSICS OF COSMOLOGY	
<i>Vladimirov Yu.S.</i> Foundations of fundamental physics, Mach’s principle and cosmology	8
<i>Levin S.F.</i> “Acceleration of the expansion of the Universe” and SNIa-type Supernovae in the theory of measurement problems	31
<i>Antipenko L.G.</i> On optical correction of Newton’s law of inertia: fundamental results	54
METARELATIONAL FOUNDATIONS OF PHYSICS	
<i>Zhilkin A.G.</i> Binary systems of complex relations as material projections of Leibniz’s monads	69
<i>Babenko I.A.</i> Pythagoras, Leibniz, Mach	84
<i>Molchanov A.B.</i> Mach’s principle and metarelativistic interpretation of the metric	98
STATE AND PROBLEMS OF FIELD-THEORETICAL AND GEOMETRIC PARADIGMS	
<i>Vizgin V.P.</i> From quarks to partons and from them to quantum chromodynamics	107
<i>Kononov V.G.</i> Should we put up with the paradox’s of the microcosm?	128
<i>Fil’chenkov M.L., Laptev Yu.P.</i> Properties of gravitationally bound quantum systems	137
EXPERIMENTS AND THEIR INTERPRETATION	
<i>Panchelyuga V.A., Panchelyuga M.S., Tomilin A.K.</i> On the possibility of high-frequency longitudinal electromagnetic waves in a freshwater environment	140
<i>Tomilin A.K., Panchelyuga V.A.</i> Longitudinal electromagnetic waves	149
<i>Lukin A.F.</i> High-frequency electromagnetic waves in the marine environment: A brief review	157
IN MEMORY OF OUR COLLEAGUES	
<i>Perminov Vasily Yakovlevich (1938–2024)</i>	167
<i>Sbytov Yuri Grigorievich (1936–2024)</i>	169
OUR AUTHORS	171

СОДЕРЖАНИЕ

ОТ РЕДАКЦИИ (Владимиров Ю.С.)	6
МЕТАФИЗИКА КОСМОЛОГИИ	
<i>Владимиров Ю.С.</i> Основания фундаментальной физики, космология и принцип Маха ...	8
<i>Левин С.Ф.</i> «Ускорение расширения Вселенной» и сверхновые типа SNIa в теории измерительных задач	31
<i>Антипенко Л.Г.</i> Об оптической коррекции закона инерции Ньютона: фундаментальные результаты	54
МЕТАРЕЛЯЦИОННЫЕ ОСНОВАНИЯ ФИЗИКИ	
<i>Жилкин А.Г.</i> Бинарные системы комплексных отношений как материальные проекции монад Лейбница	69
<i>Бабенко И.А.</i> Пифагор, Лейбниц, Мах	84
<i>Молчанов А.Б.</i> Принцип Маха и метареляционная трактовка метрики	98
СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ТЕОРЕТИКО-ПОЛЕВОЙ И ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ПАРАДИГМ	
<i>Визгин В.П.</i> От кварков к партонам, и от них – к квантовой хромодинамике	107
<i>Кононов В.Г.</i> Надо ли мириться с парадоксальностью микромира?	128
<i>Фильченков М.Л., Лаптев Ю.П.</i> Свойства гравитационно-связанных квантовых систем	137
ЭКСПЕРИМЕНТЫ И ИХ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ	
<i>Панчелюга В.А., Панчелюга М.С., Томилин А.К.</i> О возможности высокочастотных продольных электромагнитных волн в пресноводной среде	140
<i>Томилин А.К., Панчелюга В.А.</i> Продольные электромагнитные волны	149
<i>Лукин А.Ф.</i> Высокочастотные электромагнитные волны в морской среде: краткий обзор	157
ПАМЯТИ НАШИХ КОЛЛЕГ	
<i>Перминов Василий Яковлевич (1938–2024)</i>	167
<i>Сбытов Юрий Григорьевич (1936–2024)</i>	169
НАШИ АВТОРЫ	171

ОТ РЕДАКЦИИ

DOI: 10.22363/2224-7580-2025-1-6-7

EDN: WDMLLV

Данный выпуск журнала в значительной степени содержит статьи, отражающие содержания докладов, сделанных на очередной VIII Российской конференции «Основания фундаментальной физики и математики», которая состоялась на базе Института гравитации и космологии Российского университета дружбы народов с 12 по 14 декабря 2024 года. Публикуемые статьи сгруппированы в четырех разделах.

Первый раздел «Метафизика космологии» состоит из трех статей, в которых обсуждаются проблемы и состояние современных космологических моделей. В первой статье этого раздела отмечено, что в настоящий момент в фундаментальной физике идет настойчивый поиск самостоятельной системы понятий и закономерностей, присущих физике *микромира*, на основе которой обосновываются привычные понятия физики *макромира*. При этом ключевую роль играет обоснование свойств классического пространства-времени. Анализ этой проблемы показывает, что для решения данной проблемы необходимо также привлечь закономерности физики *мегамира*, причем ключевую роль здесь играет принцип Маха.

Кроме того, в этом разделе на основе тщательного анализа экспериментальных данных современной релятивистской астрофизики показывается, что значительная часть приводимых данных, якобы свидетельствующих о глобальном расширении Вселенной, может быть обоснована иными обстоятельствами, в частности неоднородностями в распределениях скоплений галактик.

Во втором разделе «Метареляционные основания физики», также содержащем три статьи, фактически обсуждается история метафизических принципов дуализма и тринитарности, лежащих в основании реляционной (а также метареляционной) парадигмы. О важности этих принципов в осмыслении окружающего нас мира высказывались известные мыслители еще со времен Античности. В более поздние времена об этом писали в своих работах Г. Лейбниц, Э. Мах и другие авторы.

Третий раздел журнала «Состояние и проблемы теоретико-полевой и геометрической парадигм» начинается с обстоятельной статьи одного из ведущих отечественных историков физики В.П. Визгина, в которой излагается

история создания современной хромодинамики. Кроме того, в этом разделе содержатся статьи, в которых обсуждаются попытки осмыслить необычные черты квантовой теории, а также проблемы совмещения принципов теоретико-полевой и геометрической парадигм.

В четвертом разделе «Эксперименты и их интерпретация» также в трех статьях обсуждаются проблемы обоснования ныне ведущихся экспериментов по распространению электромагнитного излучения в водной среде. Показывается, что эти эксперименты вызывают множество вопросов в рамках общепринятой теоретико-полевой парадигмы. Доклад по этой тематике В.А. Панчелюги вызвал оживленную дискуссию на конференции.

Наконец, в заключительной части данного номера журнала, как и в ряде предыдущих, мы с глубоким сожалением и грустью сообщаем о кончинах наших коллег, являвшихся авторами публикаций в нашем журнале. На этот раз ушедшими из жизни в самом конце минувшего года явились философ Василий Яковлевич Перминов (1938–2024), известный своими работами по основаниям математики, и Юрий Григорьевич Сбытов (1936–2024), физик-гравитационист, участник гравитационного семинара профессора Д.Д. Иваненко, писавший об истории этого семинара и о стиле его проведения.

Ю.С. Владимиров

МЕТАФИЗИКА КОСМОЛОГИИ

DOI: 10.22363/2224-7580-2025-1-8-30

EDN: WEBTBX

ОСНОВАНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ, КОСМОЛОГИЯ И ПРИНЦИП МАХА

Ю.С. Владимиров

Физический факультет

*Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова
Российская Федерация, 119991, Москва, Ленинские Горы, д. 1, стр. 2*

Институт гравитации и космологии

Российского университета дружбы народов

Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

Аннотация. В статье показано, что в настоящее время идет процесс пересмотра оснований фундаментальной физики. Необходимо учитывать, что современная физика строится на сложившихся представлениях макрофизики, которые распространяются на микрофизику и мегафизику, тогда как в настоящее время созрела убежденность в том, что необходима разработка самостоятельной системы понятий и закономерностей, присущих физике микромира и мегамира, из которых следуют представления макромира. При этом наиболее важно вывести из искомым понятий микро- и мегамира представления о классическом пространстве-времени, лежащем в основе макрофизики. Предложено использовать в качестве исходных понятий микромира теорию бинарных систем комплексных отношений, которые сказываются и в основаниях физики мегамира. Показывается, что в теории мегамира ключевую роль играет принцип Маха, в должной мере не учитываемый в современной космологии.

Ключевые слова: основания физики, микромир, макромир и мегамир, космология, принцип Маха, геометрия пространства-времени, бинарные и унарные системы отношений

Введение

В наших работах уже неоднократно обращалось внимание на то, что в настоящее время происходит коренной пересмотр оснований фундаментальной физики, что свидетельствует о чрезвычайной важности исследований в этой области физики. При этом следует иметь в виду, что реальный прогресс

в этой области может быть достигнут на основе учета неразрывной связи идей и достижений в трех разделах науки: физики, математики и философии [1].

В качестве последнего раздела – философии – здесь подразумевается метафизика, которую В.В. Миронов, декан философского факультета МГУ, определял как «пределный вид философского знания, связанный с наиболее абстрактной и глубокой формой рефлексии (размышления) человека над проблемами личного и мирового бытия» [2]. В наших работах неоднократно подчеркивалось, что ныне мало признания метафизики, – необходимо опираться на ключевые принципы метафизики. В качестве таковых следует понимать три метафизических принципа: дуализма, тринитарности и симметрии [1]. Использование трех названных разделов науки является одним из проявлений принципа тринитарности.

Для пересмотра ныне сложившихся представлений об основаниях физики необходимо отдавать себе отчет в том, что физика состоит из трех разделов: физики микромира, физики макромира и физики мегамира. При этом следует иметь в виду, что речь идет об обосновании понятий и принципов среднего раздела – физики макромира – на базе пересмотра оснований двух других разделов: физики микромира и физики мегамира.

В работах многих авторов особое внимание уделяется пересмотру, прежде всего, оснований физики микромира. Подчеркивается тот факт, что классическое пространство-время, на фоне которого ныне выстроена физика макромира, теряет силу в физике микромира. Об этом А. Эйнштейн писал: «...введение пространственно-временного континуума может считаться противоестественным, если иметь в виду молекулярную структуру всего происходящего в микромире» [3. С. 223]. Однако он тогда считал, что отказ от пространства-времени «смахивает на попытку дышать в безвоздушном пространстве».

Р. Фейнман также сомневался в применимости классического пространства-времени в физике микромира. Он писал: «Я сильно подозреваю, что простые представления геометрии, распространенные на очень маленькие участки пространства, неверны» [4. С. 184]. А ряд других известных физиков об этом заявлял более определенно. Так, Дж. Чью в своей статье с характерным названием «Сомнительная роль пространственно-временного континуума в микроскопической физике» писал: «Концепция пространства и времени играет в современной физике микромира роль, аналогичную той, что играл эфир в макроскопической физике XIX века» [5. С. 529].

Можно привести ряд других высказываний в этом же духе, причем в последнее время они делаются все чаще. В настоящее время уже настойчиво ставится задача поиска самостоятельной системы понятий и принципов, присущих физике микромира, из которой должны выводиться известные представления классического пространства-времени и используемые физические понятия на его фоне.

В опубликованных работах [6–8] показано, что искомая система понятий реализуется в идеях и в математическом аппарате бинарных систем комплексных отношений минимальных рангов. Основы этого математического

аппарата были заложены в работах Ю.И. Кулакова и Г.Г. Михайличенко в рамках развиваемой ими так называемой теории физических структур [9; 10]. Это направление исследований в свое время было одобрено академиком И.Е. Таммом [10].

Однако для обоснования понятий и принципов физики макромира этого недостаточно, – для решения данной проблемы необходим также пересмотр сложившихся представлений о физике мегамира (космологии).

1. Современные представления о космологии

Современные представления о мегамире строятся на базе общей теории относительности (ОТО), позволившей существенно переформатировать мировоззрение. До этого формирование представлений о мироздании в целом входило в компетенцию религии и философии, а теперь после создания общей теории относительности было перенесено в сферу физики. Теперь стало принятым строить представления о свойствах и структуре всей Вселенной на базе космологических решений уравнений Эйнштейна. Достаточно убедительные для большинства такие решения были найдены А. Фридманом в начале 20-х годов минувшего столетия, и с тех пор значительная часть физиков-гравитационистов занимается их анализом, обобщениями и совершенствованиями. В последнее время развитие космологии считается важным видом научных исследований в деле формирования научного мировоззрения.

Однако нельзя забывать, что при описании Вселенной как целого на основе уравнений Эйнштейна фактически производится экстраполяция представлений ОТО (как физики макромира) максимально далеко за пределы изученной области Вселенной.

1.1. Космологические модели Фридмана

Прежде всего, следует напомнить, что уже в XIX веке были известны три вида геометрий пространства: геометрия Евклида и два вида неевклидовых геометрий: гиперболическая геометрия Лобачевского и сферическая геометрия Римана, которые уже тогда обсуждались на предмет альтернативы общепринятой геометрии Евклида.

Открытие неевклидовых геометрий, а затем создание специальной теории относительности сыграли ключевую роль в создании Эйнштейном общей теории относительности. Основу этой теории составляют уравнения Эйнштейна, левая часть которых описывает свойства искривленного пространства-времени, а правая часть определяется тензором энергии-импульса помещенной в пространство-время материи (см., например, [12]). Было показано, что эти уравнения достаточно хорошо описывают гравитационные взаимодействия в надежно наблюдаемой области макромира.

Для описания Вселенной в целом естественно было полагать, что в правую часть уравнений Эйнштейна необходимо подставить тензор энергии-импульса всей материи мира: планет, звезд, галактик, межзвездной среды

и всего прочего. В силу того, что все это точно учесть невозможно, было предложено построение упрощенных моделей.

Во-первых, полагалось, что всю материю мира можно представить в виде сплошной среды наподобие пыли, когда в качестве отдельных пылинок выступают уже не отдельные звезды и даже не отдельные галактики, а скопления галактик.

Во-вторых, полагалось, что в глобальном пространстве распределение материи – пылинок – однородно и изотропно, то есть материя распределена равномерно вдоль каждого направления и одинаково по всем направлениям. Очевидно, что эти условия не выполняются в масштабах Солнечной системы, отдельной галактики или даже конкретного их скопления, однако полагалось, что по мере увеличения масштаба распределение материи все более становится близким к однородному и изотропному.

В-третьих, полагалось, что можно пренебречь пекулярными движениями материи (пылинок), то есть можно рассматривать материальную среду как бы «вмороженной» в пространство.

Сформулированные предположения о свойствах распределения материи фактически основаны на 1+3-расщеплении 4-мерного пространства-времени мегамира, когда время фактически становится конформным фактором рассматриваемых пространственных сечений.

В настоящее время полученные Фридманом на этих условиях *однородные изотропные космологические решения* составляют основу космологии, то есть ныне общепринятые представления об устройстве и эволюции всей Вселенной.

1.2. Проблемы современной космологии

Уже более чем вековые исследования космологических решений Фридмана, а также их многочисленных обобщений выявили ряд проблем принципиального характера.

1. В качестве первой из них назовем тот факт, что решения Фридмана определяют три вида космологий с пространственными сечениями, описываемыми тремя геометриями: Евклида, Лобачевского и Римана. Встал важный вопрос: какая из трех видов космологическая модель соответствует реальной Вселенной, в которой мы живем? Выяснилось, что из уравнений Эйнштейна для космологических решений Фридмана следует значение критической плотности материи во Вселенной: $\rho_0 = 3H^2 c^2 \kappa \approx 10^{-29} \text{ г/см}^3$ где H – постоянная Хаббла. Кроме того, из уравнений следовало, что, если окажется, что реальная плотность материи меньше критической плотности, то мир определяется открытой космологической моделью с пространственным сечением, описываемым геометрией Лобачевского. Если же реальная плотность больше критической, то мир определяется закрытой космологической моделью (с пространственным сечением, описываемым геометрией Римана), а если реальная плотность совпадает с критической, то пространственное сечение описывается геометрией Евклида.

Согласно современным астрофизическим данным, средняя плотность наблюдаемых видов материи оценивается величиной $\rho \approx 10^{-31}$ г/см³, что должно означать, что наше пространство описывается геометрией Лобачевского. Однако, скорее всего, пока учитываются далеко не все виды существующей материи (черные дыры, нейтрино с неравной нулю массой покоя и др.), поэтому по мере более надежного открытия новых видов материи плотность будет приближаться к критической, а может быть, и станет больше ее.

Таким образом, до сих пор реального ответа на этот вопрос не найдено.

2. Во всех трех моделях фридмановской Вселенной предсказывается «начальное» (сингулярное) состояние, обычно трактуемое как «рождение Вселенной» вследствие Большого взрыва. Во всех этих моделях плотность материи в окрестности начала стремиться к бесконечности. В связи с этим следует помнить справедливое утверждение, что как только в физической теории где-то возникает бесконечность, то это следует воспринимать как свидетельство, что вблизи этой сингулярности теория теряет смысл.

Таким образом, возникал вопрос уже метафизического характера, – с какой стадии развития Вселенной можно говорить о возможности пользоваться такими классическими понятиями, как время и пространство? Ставился вопрос и о том, что было до рождения Вселенной? И имеет ли смысл говорить об этом? Из чего образовалась Вселенная? Что означает рождение Вселенной из «ничего»? Дискутировались и другие метафизические вопросы космологии.

3. В конце 20-х годов XX века Э. Хабблом было обнаружено красное смещение в наблюдаемых спектрах далеких источников, причем оно оказалось зависимым от расстояния, – чем дальше источник, тем смещение больше. Более того, была обнаружена линейная зависимость относительного смещения принимаемой частоты (красного смещения) от расстояния (через значение постоянной Хаббла H).

Уже сразу же после открытия красного смещения возникла дискуссия – как объяснить это красное смещение. Высказывалось несколько идей, в том числе идея «старения» света. Однако победила другая идея: поскольку все найденные космологические модели оказались эволюционирующими, красное смещение было принято трактовать как следствие эффекта Доплера, причем это означало, что наша Вселенная находится на стадии расширения.

Тем не менее с течением времени высказывались и иные гипотезы.

4. По найденным законам расширения Вселенной можно сделать вывод о возрасте Вселенной. Если бы она всегда расширялась в наблюдаемом темпе, то для расширения от Большого взрыва до современного состояния понадобилось бы время порядка 10^{10} лет. Однако, поскольку в ранние этапы расширение происходило быстрее, нужно брать примерно две трети от этого значения. Это небольшой возраст, сравнимый с оценками возраста земной коры, даваемыми геологами. Выход из этого положения видится в использовании более сложных космологических моделей и, возможно, при учете ряда иных обстоятельств.

5. Выявился ряд проблем в связи с открытием черных дыр, пульсаров, нейтронных звезд и квазаров. Выдвигались идеи о возможности гиперонных звезд. Трудно было объяснить открытие квазаров – далеких космических источников невероятно мощного космического излучения.

6. Широко обсуждаются проблемы, связанные с открытием реликтового излучения. Это (почти) трехградусное излучение многими интерпретируется как излучение, оторвавшееся от вещества в эпоху его рекомбинации, когда все метagalacticкие расстояния были на три порядка меньше современных, а плотность на девять порядков выше, чем в настоящее время. А до этого плотность была еще на много порядков больше. Проблема заключалась в том, что при таких условиях уже нельзя пользоваться выводами общей теории относительности.

7. В последнее время широко обсуждаются проблемы, связанные с гипотезами темной энергии и темной материи. Они были высказаны для согласования последних астрофизических данных с выводами общей теории относительности. Если принять эти гипотезы, то на ныне наблюдаемые виды материи приходится всего лишь 4 %, тогда как остальные 96 составляют гипотетические виды темной энергии и материи.

Можно назвать и ряд других проблем современной космологии.

1.3. Надежды на космологические модели фридмановского вида

Несмотря на множество проблем, в настоящее время большинство физиков возлагают надежды на космологические модели фридмановского типа. В нашей стране приверженцами этого направления развития космологии явились академик Я.Б. Зельдович и члены его научной группы. Они не подвергали сомнениям применение общей теории относительности (классической теории макромира) для описания Вселенной в целом. Так, в своей книге «Строение и эволюция Вселенной» Я.Б. Зельдович и И.Д. Новиков признают, что «появление новых законов и новых обобщений в физике всегда было связано с тем, что старые законы вступали в непримиримое противоречие с опытом или оказывались логически, внутренне незамкнутыми и непригодными в новой области». Однако далее они написали: «Подойдем с такой меркой к общей теории относительности: применяя ее к безграничной Вселенной, мы не сталкиваемся ни с внутренними логическими противоречиями самой теории, ни с какими-либо вопиющими противоречиями между теорией и наблюдениями. Поэтому представляются необоснованными предположения о необходимости изменения ОТО при применении ее к космологии (если не считать вопроса о космологической постоянной – вопроса, стоящего в рамках ОТО). Нет никаких наблюдательных данных, указывающих на ограниченность применения ОТО к масштабам Вселенной» [13. С. 12–13].

В этой же книге авторы еще раз подчеркивают свою точку зрения и приводят другие доводы в ее пользу: «В космологии до сих пор мы не сталкиваемся с каким-либо неразрешимым противоречием теории и опыта или внутренними логическими трудностями теории. Более того, теория

расширяющейся Вселенной была создана до фактического открытия удаления Галактик, доказавшего расширение Вселенной; теория же горячей Вселенной была создана задолго до открытия реликтового излучения, подтвердившего эту теорию. Это говорит о правильности наших теорий, об их применимости к масштабам Вселенной. Нужно только подчеркнуть, что речь идет не об исключении нового: необычайное и принципиально новое, никогда не наблюдаемое в лаборатории, возникает в космологии как результат применения существующей теории» [13. С. 25].

Исследования космологических моделей в рамках таких представлений стали активно развиваться в нашей стране начиная с 80-х годов и продолжают по настоящее время. В последнее время активным исследователем в этом направлении был А.А. Старобинский [14], ученик и продолжатель идей Я.Б. Зельдовича.

2. Критические взгляды на современную космологию

Однако среди видных отечественных физиков-гравитационистов была и иная точка зрения. В связи с проблемами космологических моделей фридмановского типа, а также на основе ряда других соображений, наиболее авторитетные физики более раннего поколения относились к этим моделям негативно, рассматривая их как некие предварительные пробы, имеющие смысл лишь для выявления границ применимости классических представлений физики макромира.

2.1. Критические взгляды ведущих отечественных физиков на космологические модели

Таковыми были ведущие отечественные физики-гравитационисты 1960–1970-х годов: В.А. Фок, Д.Д. Иваненко, А.Л. Зельманов и ряд других (Д.Д. Иваненко и А.Л. Зельманов были непосредственными моими учителями).

1. Так, наиболее авторитетный тогда в этой области физики академик В.А. Фок писал: «Вообще любая физическая теория – пусть это будет даже теория тяготения Эйнштейна – имеет предел применимости, и неограниченно экстраполировать ее 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» [15. С. 200]. А в своей широко известной монографии «Теория пространства, времени и тяготения» он выделял из трех вариантов космологических решений, найденных Фридманом, модель с пространственным сечением, описываемым геометрией Лобачевского, и называл его пространством Фридмана – Лобачевского. Это делалось по той причине, что данное решение позволяет избежать известного парадокса Зелигера, состоящего в том, что ньютонов потенциал от равномерного распределения масс не существует.

При этом он писал: «Прежде всего, неправильно видеть в нем (в решении Фридмана – Лобачевского. – Ю.В.) какую-то модель мира в целом: такая точка зрения представляется неудовлетворительной в философском отношении. Пространство Фридмана – Лобачевского может, самое большее, служить фоном для ограниченного числа галактик, подобно тому, как галилеево пространство служит фоном для объектов, подобных Солнечной системе. Сама применимость уравнений Эйнштейна в их классическом виде к таким огромным пространствам не является столь бесспорной, как их применимость в более ограниченных масштабах. Не исключено, что для космических масштабов эти уравнения потребуют изменения или обобщения» [16. С. 495].

2. Аналогичной позиции придерживался и профессор Д.Д. Иваненко. Он призывал к построению новой единой картины мироздания, которую он понимал следующим образом: «Максимально объединенная, естественная картина мира должна дать ответ на эти трудные вопросы, перед которыми беспомощна эйнштейновская гравитационная динамика, по-видимому способная претендовать на описание гравитации и обычной материи в основном в неклассическом пределе, притом лишь в масштабах примерно галактики» [17].

На своих семинарах и в выступлениях он неоднократно выражал сомнения в правомерности распространения закономерностей ОТО на описание Вселенной в целом и говорил о построении «естественной картины мира в известном нам участке Вселенной», причем для этого считал естественным привлечь современные данные из физики элементарных частиц, в частности связь констант микромира с глобальными космологическими свойствами и т. д.

В этой связи Иваненко указывал на неэйнштейновские теории гравитации, например на «теорию стационарной и расширяющейся Вселенной (Хойл, Бонди), в которой постоянная плотность поддерживается за счет добавочного порождения материи, учитываемого дополнительным гипотетическим членом в уравнениях Эйнштейна». При этом он пытался привлечь для решения данных проблем многочисленные идеи, высказываемые различными авторами.

3. Важно также напомнить позицию крупнейшего отечественного космолога того времени А.Л. Зельманова, который писал: «В основе космологии лежат (в порядке возрастающей общности): во-первых, эмпирические, прежде всего, астрофизические сведения об охваченной наблюдениями области вселенной; во-вторых, основные физические теории, прежде всего, теория тяготения; в-третьих, общие, по существу – философские, соображения» [18. С. 110]. (Заметим, что в то время пользоваться термином «метафизические соображения» было не принято.)

Далее он продолжал: «Приняв в качестве физико-теоретической основы космологии наиболее общую из существующих теорию тяготения (эйнштейнову), не следует дополнять ее какими-либо упрощающими предположениями, в частности, основанными на экстраполяции идеализированных эмпирических данных на всю вселенную, например, предположениями однородности и изотропии».

Позже, уже в начале 1970-х годов Зельманов писал: «Несмотря на свою логическую стройность и безупречность, общая теория относительности не свободна от затруднений. Обычно думают, что в ней нет никаких проблем. Это заблуждение». После перечисления таких проблем, в числе которых он называл проблему законов сохранения в ОТО и проблему гравитационного излучения, он продолжил свою мысль: «Есть и проблемы, которые заведомо не могут быть решены в рамках общей теории относительности. Это относится, в частности, к релятивистской космологии» [19. С. 277].

Анализируя известные на тот момент астрофизические данные, которые большинством интерпретировались как рождение Вселенной в результате Большого взрыва, Зельманов писал: «Итак, весьма вероятно, что в прошлом наша Метагалактика, по крайней мере, та ее часть, которую мы можем теперь наблюдать, прошла через состояние, описать которое современные физические теории не могут, состояние, подведомственное новой, еще неизвестной физической теории» [19. С. 276].

Одним из главных недостатков космологии, построенной на основе общей теории относительности, Зельманов считал то, что она не дает единственного решения: «Это показывает, что общая теория относительности не настолько обща, чтобы правильно решить вопрос о модели Вселенной. Если в упомянутой выше новой, более общей физической теории наиболее общие уравнения не будут дифференциальными, возможно, что эта теория даст одну, а не множество космологических моделей» [18; 45. С.117]. Другими словами, Зельманов ожидал решение ряда космологических проблем от некоей новой теории будущего.

2.2. Математики о понятии бесконечности и о геометриях, содержащих бесконечности

В связи с тем что ныне значительная часть физиков склоняется к выбору космологических моделей с пространственными сечениями, описываемыми геометрией Евклида или Лобачевского, то есть с бесконечным пространством, естественно вспомнить высказывания ряда математиков о сути понятия бесконечности.

Так, в статье П.К. Рашевского с характерным названием «О догмате натурального ряда» отмечалось: «Натуральный ряд и сейчас является единственной математической идеализацией процессов реального счета. Это монополярное положение осеняет его ореолом некоей истины в последней инстанции, абсолютной, единственно возможной, обращение к которой неизбежно во всех случаях, когда математик работает с пересчетом своих объектов. Более того, так как физик использует лишь тот аппарат, который предлагает ему математика, то абсолютная власть натурального ряда распространяется и на физику и – через посредство числовой прямой – предопределяет в значительной степени возможности физических теорий. ...Быть может, положение с натуральным рядом в настоящее время имеет смысл сравнивать с положением евклидовой геометрии в XVIII веке, когда она была единственной

геометрической теорией, а потому считалась некой абсолютной истиной, одинаково обязательной и для математиков, и для физиков. Считалось, само собой понятным, что физическое пространство должно идеально точно подчиняться евклидовой геометрии (а чему же еще?). Подобно этому мы считаем сейчас, что пересчет как угодно больших расстояний в физическом пространстве и т. п. должен подчиняться существующим схемам натурального ряда и числовой прямой (а чему же еще?)» [20. С. 244].

П.К. Рашевский поставил вопрос и высказал гипотезы относительно обобщений свойств координатного пространства, а в работах В.Л. Рвачева (см. [21; 22]) эта идея была подхвачена и конкретизирована. Он связал появление бесконечностей в математике и физике с привычкой следовать аксиоме Архимеда. Он писал: «Ключевым в наших рассуждениях является отказ от аксиомы Архимеда, которая была первоначально сформулирована для отрезков: если даны два отрезка, то, отложив достаточное число раз меньший из них, всегда можно получить отрезок, превосходящий больший из них. Затем эта аксиома перешла в арифметику и приняла вид: если даны величины a и b , $0 < a < b$, то всегда можно найти такое целое число n , что $an > b$. Но представим себе, что у нас будут другие арифметические операции, отличные от классических. Тогда „арифметическое звучание“ аксиомы Архимеда может оказаться отличным от геометрического и, в частности, вытекающее из этой аксиомы представление о неограниченности числовой оси может оказаться необязательным при построении арифметики» [22; 44. С. 18].

В.Л. Рвачев предложил конкретное изменение общепринятой аксиоматики арифметики, что автоматически приводило к представлениям о замкнутой Вселенной. По этой причине он в своих работах обсуждал модель Вселенной, описываемую геометрией Римана (постоянной положительной кривизны) [44. С. 18].

Отметим, что аналогичной точки зрения придерживался и ряд других авторов, в частности, Рвачев ссылался на работу К. Авинаши в которой писалось: «Физические теории должны быть построены в соответствии с принципом конечности и определенности всех физических величин во Вселенной. Например, во Вселенной конечны суммарная масса вещества и суммарный заряд. Отсюда следует, что мы должны постараться найти начальные истоки концепции бесконечных величин и исключить их» [23]. Такой начальной концепцией Авинаши и Рвачев считали именно аксиому Архимеда [44. С. 18].

3. Принцип Маха и космология

С позиций развиваемой в нашей группе метареляционной парадигмы, идеи которой реализуются на базе математического аппарата бинарных систем комплексных отношений, в основу реалистичной космологии (физики мегамира) должен быть положен принцип Маха.

3.1. Принцип Маха

Известно, что А. Эйнштейн, создавая общую теорию относительности, находился под влиянием реляционных идей Маха, а создав ее, возвел в ранг принципа Маха часть его реляционных идей. Так, в 1919 году Эйнштейн в своей статье «Принципиальное содержание общей теории относительности» писал: «Теория, как мне кажется сегодня, покоится на трех основных положениях, которые ни в какой степени не зависят друг от друга». К третьему основанию он отнес «Принцип Маха» [24]. Согласно этому принципу, свойства материальных объектов определяются не локальными обстоятельствами, как это ныне принято считать, а обусловлены отношениями к объектам всей Вселенной, то есть фактически свойствами всей Вселенной. Как писал Мах: «Дело именно в том, что природа не начинается с элементов, как мы вынуждены начинать. Для нас во всяком случае счастье то, что мы в состоянии временами отвлечь наш взор от огромного целого и сосредоточиться на отдельных частях его. Но мы не должны упускать из виду, что необходимо впоследствии дополнить и исправить дальнейшими исследованиями то, что мы временно оставили без внимания» [25. С. 199]. Учет принципа Маха состоит в реализации дополнения теории тем, что «временно было оставлено без внимания».

Под принципом Маха наиболее часто понимается его определение, данное Эйнштейном, – обусловленность сил инерции (масс) тел воздействием на них со стороны всей окружающей материи мира. А Эддингтон, развивая эту идею [26], предложил конкретную формулу для массы электрона:

$$m_e = e^2 N^{1/2} / c^2 R,$$

где e – электрический заряд электрона, $N \approx 10^{80}$ – число Эддингтона (количество нуклонов во Вселенной), $R \approx 10^{28}$ см – радиус Вселенной.

Однако в работах ряда авторов было продемонстрировано, что закономерности окружающего мира обуславливают и другие свойства, как классических систем, так и микросистем. В связи с этим в наших работах (см., например, [27]) было предложено более широкое **определение принципа Маха: как принципа обусловленности локальных свойств материальных объектов закономерностями и распределением всей материи мира.** Предлагается придерживаться именно этого понимания принципа Маха.

Отметим, что Р. Фейнман как в ряде своих классических работ, выполненных совместно с Дж. Уилером, так и значительно позже, придавал большое значение принципу Маха. В своих «Фейнмановских лекциях по гравитации» он писал: «Мах чувствовал, что концепция абсолютного ускорения относительно „пространства“ не имеет глубокого смысла, что вместо этой концепции обычные абсолютные ускорения классической физики должны быть перефразированы как ускорения относительно распределения удаленного вещества. <...> Когда мы рассматриваем это понятие как фундаментальное предположение или постулат, оно известно как принцип Маха. Возможно, что эта концепция сама по себе может привести к глубоким физическим

результатам, многие из которых могут быть получены на том же самом пути, что и принцип относительности» [28].

Дж. Уилер во время посещения физического факультета МГУ в 1971 году написал на стене кафедры теоретической физики: «Не может быть теории, объясняющей элементарные частицы, которая имеет дело только с частицами». Как следовало из разговора Дж. Уилера с профессором Д.Д. Иваненко, в этой фразе он имел в виду влияние окружающего мира на свойства элементарных частиц, то есть фактически принцип Маха.

Профессор Д.Д. Иваненко, выступая в 1988 году на семинаре в МГУ, посвященном 150-летию со дня рождения Э. Маха, сказал: «Мах не просто продвинул вопрос об инерции, и его идеи сыграли свою роль. Идеи Маха нужно расширить. Не только инерция, но и другие свойства тел: квантовые, цвет, красота и т. д., – тоже должны быть связаны с космологическими свойствами. Мы выдвигаем тезис универсальной махизации в физике. Это в духе единой теории. <...> Мы думаем, что возможна универсальная космологизация или, точнее, махизация. Для построения единой теории нужно связать элементарные частицы с космологией. Мы, наша группа, являемся умеренными махианцами» [29. С. 253–254].

Далее он сказал: «Встал вопрос: как же быть с Махом и его идеями? Считать, что идеи Маха сыграли вспомогательную, историческую роль? Как же обстоит дело на сегодняшний день? ОТО сейчас разработанная теория. Она предсказывает новые эффекты. Как же быть с Махом? Сказать, что он ошибался? Все оказалось много сложнее. Если посмотреть современную литературу, то можно увидеть массу ссылок на Маха. Продолжаются дискуссии. Если в идеях нет смысла, то их авторы обычно забываются. Здесь же дело обстоит иначе. Факт налицо: идеи Маха об относительности движения, неабсолютности пространства являются вполне современными. Вопрос об инерции также обсуждается. Есть махианские и немахианские решения уравнений ОТО» [29. С. 255].

К важному этапу развития идеи принципа Маха следует отнести построение реляционно-статистической теории, основанной на реализации в рамках реляционной парадигмы идеи о статистической (макроскопической) природе классического пространства-времени и других понятий современной физики. Эти идеи высказывались неоднократно в разные годы второй половины XX века, в частности, Ван Данцигом, П.К. Рашевским, Е. Циммерманом, Р. Пенроузом [30] и рядом других авторов.

Особое место занимает серия работ, в которых принцип Маха пытались реализовать в рамках теории прямого межчастичного электромагнитного взаимодействия. Как известно, в теории прямого межчастичного взаимодействия, как и в общепринятой теоретико-полевой парадигме, возникают опережающие и запаздывающие решения уравнений. Многие исследователи пытались теоретически обосновать волевое исключение опережающих взаимодействий.

Так, в работе Дж. Уилера и Р. Фейнмана [31] была предпринята попытка устранить опережающие взаимодействия между парами заряженных

объектов путем учета опережающих же воздействий на них со стороны материи всего окружающего мира. Полученный ими результат выглядел убедительным. Более того, ими на этой же основе было дано обоснование возникновения силы тормозного электромагнитного излучения в уравнениях движения заряженных частиц. Эти результаты, естественно, трактовались соответствующими принципу Маха.

Следует отметить также работы по развитию идей Маха, выполненные Ф. Хойлом и Дж. Нарликар в большой серии работ 1964–1979 годов (см. [32]) в рамках названной ими теории прямого межчастичного гравитационного взаимодействия. Впоследствии Нарликар, продолжая исследования реляционного подхода к мирозданию, пришел к важным выводам. Он писал: «Теперь можно обсуждать всю совокупность явлений квантовой электродинамики без обращения к теории поля. В результате этого устраняется любое возражение против принципа дальнего действия, поскольку он применим к электродинамике. Решающую роль во всем процессе вычислений играет отклик Вселенной... Введя отклик Вселенной в локальный электродинамический эксперимент, мы, по существу, включили принцип Маха в электродинамическую теорию» [33].

Приведем здесь также высказывание Р. Дикке из его статьи с характерным названием «Многоликий Мах»: «Итак, мы видели, что у Маха много лиц – почти столько же, сколько было исследователей, рассматривающих принцип Маха. Будучи основан на глубоких философских идеях, этот принцип является интуитивным, и его трудно возвысить (или, если угодно, низвести) до уровня количественной теории. Но то, что самого Эйнштейна к его чрезвычайно изящной теории гравитации привели соображения, вытекающие из этого принципа, говорит о многом. Принцип Маха еще может быть очень полезным для физиков будущего» [34. С. 249].

3.2. Космологическая модель Эйнштейна, соответствующая принципу Маха

Махианским решением уравнений Эйнштейна было первое космологическое решение, найденное самим Эйнштейном [35].

1. Как уже отмечалось, Эйнштейн, создавая общую теорию относительности, находился под влиянием идей Маха. Именно в связи с этим первая космологическая модель, полученная Эйнштейном из его уравнений, соответствовала пространственному сечению, описываемому геометрией Римана. Это было сделано при помощи добавления в уравнения Эйнштейна специального космологического члена $\Lambda g_{\mu\nu}$:

$$R_{\mu\nu} - (1/2) R g_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \kappa T_{\mu\nu},$$

где $R_{\mu\nu}$ – тензор кривизны Риччи; Λ – космологическая постоянная; κ – эйнштейновская гравитационная постоянная.

Отметим, что данное обобщение не противоречит соображениям, использованным при записи (постулировании) этих уравнений. Таковыми были

условия обращения в нуль ковариантных дивергенций от отождествляемых величин.

2. Используя условие статичности (независимости метрики от времени), Эйнштейн получил статическую космологическую модель с пространственным сечением, описываемым геометрией Римана (с постоянной положительной кривизной). Метрика в этой геометрии записывается в виде

$$dl^2 = R^2 \{ (d\alpha)^2 + \sin^2 \alpha [(d\theta)^2 + \sin^2 \theta (d\varphi)^2] \}.$$

Объем 3-мерного пространственного сечения конечен $V = 2 \pi^2 R^3$. Из этой модели также следовали конечные значения для массы и радиуса мира:

$$M = \rho V = 4\pi^2 R / \kappa c^2, \quad \rho = 2 \Lambda / \kappa c^2.$$

При радиусе $R \approx 10^{28}$ см плотность материи получается порядка $\rho \approx 10^{-29}$ г/см³.

3. Отметим, что в космологическом решении Эйнштейна отсутствует подавляющее большинство недостатков и трудностей решений Фридмана.

Во-первых, данное решение соответствует лишь одному варианту геометрии пространственного сечения – геометрии Римана.

Во-вторых, в этом решении отсутствует трудность, связанная с наличием начала (и конца в закрытой модели) мира, что приводило к сингулярностям в метрике.

В-третьих, решение Эйнштейна снимает вопрос о времени существования Вселенной. Более реалистично считать, что Вселенная существовала всегда. Отметим, что это соответствует философско-религиозным системам Востока.

В-четвертых, принятие этой космологической модели снимает ряд других трудностей, связанных с введением темной материи и энергии и т. д.

На первый взгляд, остаются трудности с обоснованием космологического красного смещения, однако в развиваемый здесь метареляционной парадигме имеется обоснование этого явления, изложенное ниже.

4. Отметим, что сторонники решений Фридмана долгое время предлагали исключить из рассмотрения космологическую постоянную, введенную Эйнштейном. (Д.Д. Иваненко входил в число немногих, кто всегда настаивал на учете космологической постоянной в уравнениях Эйнштейна.). Лишь к концу XX века был сделан вывод о необходимости учета этого слагаемого в уравнениях Эйнштейна. При этом было ясно, чтобы не противоречить наблюдениям в ограниченных масштабах, космологическую постоянную нужно полагать чрезвычайно малой. Используя представления о наблюдаемых размерах Вселенной порядка 10^{28} см, полагали $\Lambda < 10^{-56}$ см⁻².

5. Космологическая постоянная может принимать три значения: положительное, нулевое и отрицательное. Положительные значения космологической постоянной соответствуют своеобразному космическому отталкиванию, а отрицательные значения – космическому притяжению. В модели Эйнштейна использовалось положительное значение космологической постоянной.

Кроме того, следует отметить, что пока оставался открытым физический смысл космологической постоянной Λ .

6. Наконец напомним, что Эйнштейн, узнав о решениях Фридмана, опубликовал заметку с утверждением, что Фридман ошибся. В результате усилий коллег, убедивших Эйнштейна перепроверить вычисления Фридмана, им была опубликована другая заметка с признанием правоты А.А. Фридмана. Десятью годами позже, когда Хаббл открыл космологическое красное смещение, Эйнштейн заявил, что «космологический член» был «самой большой нелепостью в его жизни».

Оказывается, кроме идей Маха была и другая причина, которая привела Эйнштейна к статической космологической модели. Об этом Дж. Уилер писал: «Почему Эйнштейн сначала отказался от своего выдающегося открытия? Почему он думал, что Вселенная была и должна существовать вечно, хотя для каждого, кто рос в традициях иудейско-христианских представлений, акт первоначального творения должен был казаться вполне естественным. Я чрезвычайно благодарен профессору Гансу Кюнгу, обратившему мое внимание на то большое влияние, которое оказал на Эйнштейна пример Спинозы. Почему двадцатичетырехлетний Спиноза в 1656 году был отлучен в Амстердаме от синагогальной общины? Потому, что он отклонял учение о сотворении мира. В чем была слабость этого учения? Где во всем том „ничто“, которое предшествовало творению, могли висеть часы, сказавшие Вселенной, когда она должна начать существовать?» [36. С. 91].

В связи с этим следует также напомнить, что в 1920-х годах после получения Фридманом своих космологических решений с начальными сингулярностями известный физик и пастер Ж. Леметр заявил своему учителю А. Эддингтону, что эти решения фактически подтверждают Библию. На это Эддингтон ему сказал, что, может быть, можно рассуждать и так, но «Ваша идея отвратительна».

Отказ Эйнштейна сначала от идей Маха, а затем от космологического члена в своих уравнениях, то есть и от своего космологического решения, фактически лишний раз свидетельствует о том, что мировое общественное мнение часто оказывается сильнее приверженности исходным идеям, приводящим к необычным (но важным) открытиям.

3.3. Космология, соответствующая неархимедовой геометрии

В пользу выбора именно космологического решения Эйнштейна свидетельствуют и соображения, высказанные математиками П.К. Рашевским и В.Л. Рвачевым. Поясним уже упомянутые в предыдущем разделе соображения Рвачева [21; 22] о необходимости переработки представлений об используемой ныне арифметике.

1. Как известно, в множестве вещественных чисел определены две групповые операции: сложения (и обратная – вычитания) и умножения (и обратная – деления). Как уже неоднократно отмечалось, эти две операции и их двойность соответствуют проявлениям метафизического принципа дуализма.

При обычном понимании этих операций их многократное применение приводит к появлению неограниченно больших чисел. Рвачев предложил так изменить определения групповых операций, чтобы в принципе не появлялись числа, большие некоторого предельного числа $c = 1/\alpha$.

2. Введенные им новые операции сложения и вычитания двух чисел x и y следующим образом определяются через привычные операции сложения и умножения:

$$x + y \rightarrow (x + y) / (1 + \alpha^2 xy); x - y \rightarrow (x - y) / (1 - \alpha^2 xy),$$

где $\alpha = 1/c$.

3. В этой операции сразу же можно усмотреть проявление закона сложения скоростей v_1 и v_2 в специальной теории относительности (в пространстве скоростей): где значение скорости света c соответствует $1/\alpha$. Таким образом, в работах Рвачева было показано, что изменения свойств натурального ряда фактически уже воплощены в физике в виде закономерностей специальной теории относительности. По этой причине введенная операция была названа *релятивистским сложением (вычитанием)*. Она удовлетворяет всем привычным групповым свойствам, то есть определенные операции имеют обратные операции и удовлетворяют свойствам коммутативности и ассоциативности. Для них имеется нуль с обычными свойствами, но, главное, в результате релятивистских сложений не появляются числа, большие $c = \alpha^{-1}$.

4. Следует отметить, что в специальной теории относительности фактически ограничиваются одной операцией релятивистского сложения, тогда как в новой арифметике определена и вторая операция – релятивистское умножение (деление), которая является коммутативной, обладает свойством ассоциативности, для нее определена обратная операция и имеется единица с обычными свойствами.

В рамках релятивистской арифметики [22] были определены и другие известные функции: степенная, экспоненты, логарифмы, тригонометрические и др. Более того, в теории, опирающейся на релятивистскую арифметику, вводятся специфические релятивистские производные и интегралы, обладающие свойствами соответствующих операций в общепринятом математическом анализе.

5. Характеризуя свою теорию, В.Л. Рвачев писал: «Классическому случаю соответствует значение $\alpha = 0$, и только в этом случае возникает в математике бесконечность. Выходит, что появлению этой (потенциальной) бесконечности математика обязана именно „рукам человеческим“ или точнее – пальцам, с помощью которых люди научились считать. В принципе же, как это следует из приведенных результатов, для построения математики (впрочем, мы вправе говорить только о прикладной математике) допустимы, как мы видим, и другие пути, без бесконечности с порождаемыми ею парадоксами и различного рода монстрами. Прав был П.К. Рашевский, когда выступал против догматического взгляда на натуральный ряд. Что же касается ответа на вопрос, к каким последствиям для физических теорий может привести

разрушение «монопольного положения натурального ряда», то его должны дать физики» [21].

Физиками уже был дан ответ на этот вопрос при создании специальной теории относительности в рамках теории пространства скоростей.

6. Рвачев и сам попытался исследовать, к каким физическим следствиям может привести обобщение теории именно координатного пространства-времени на основе его теории. Он показал, что развитая им теория (в согласии с идеями Рашевского) приводит к максимально возможному значению масштабного фактора R_0 . Это означает, что для любого наблюдателя Вселенная должна представляться в виде гипершара радиуса R_0 .

4. Геометрия Римана, отвечающая принципу Маха

Поскольку как космологическая модель Эйнштейна, так и соображения названных математиков приводят к геометрии с пространственным сечением, описываемым геометрией Римана, обсудим важные свойства этой модели, а также рассмотрим обоснование наблюдаемого «космологического» красного смещения в ней.

4.1. Геометрия Римана

1. Прежде всего, следует отметить, что в развиваемом в нашей группе метареляционном подходе к мирозданию геометрия Римана описывается реляционным законом унарной системы вещественных отношений (УСВО) ранга (5), который представляет собой равенство нулю 5×5 -детерминанта, элементами которого являются скалярные произведения (парные отношения) между 5 произвольными векторами (элементами) одинаковой длины, равной радиусу R гиперсферы. В общепринятом виде это означает, что гиперсфера характеризуется уравнением в декартовых координатах:

$$(y_1)^2 + (y_2)^2 + (y_3)^2 + (y_4)^2 = R^2.$$

2. В связи с этим отметим, что реляционная трактовка геометрии Римана, как и геометрии Лобачевского, была изложена еще в трудах группы Ю.И. Кулакова и Г.Г. Михайличенко на базе математическом аппарата теории физических структур на одном множестве элементов. Геометрия Лобачевского в реляционной трактовке характеризуется тем же реляционным законом, однако отличается сигнатурой. Таким образом эти две геометрии в данном подходе, во-первых, соответствуют не координатным пространствам, как это понимается в космологических моделях, а двум разным пространствам: импульсному (или пространству скоростей) и координатному. Уже это следует воспринимать как одну из реализаций метафизического принципа дуализма. Во-вторых, в этих двух геометриях реализуются два вида сигнатур: $(+ - - -)$ – в импульсном пространстве и $(+ + + +)$ – в координатном пространстве.

3. Можно показать, что координатную геометрию Евклида можно трактовать как приближенный вариант геометрии Римана вблизи любой точки риманова пространства. При этом этот приближенный вариант также можно представить в реляционном виде, когда закон описывается унарной системой вещественных отношений ранга (5; a).

Напомним, что когда в XIX веке были открыты неевклидовы геометрии, их авторы уже тогда трактовали геометрию Евклида как приближенную в этих обобщенных геометриях.

4. Выше уже было отмечено, что в настоящее время решается задача обоснования понятий физики **макромира** посредством пересмотра оснований физики микромира и физики мегамира. В наших работах (см., например, [6 – 8]) было показано, что в основе физики микромира лежат понятия и закономерности, описываемые бинарными системами комплексных отношений (БСКО) ранга (3,3). Элементами этой системы отношений являются 2-компонентные комплексные спиноры, причем они вводятся без использования понятий классического пространства-времени и классической физики.

Еще в работах группы Ю.И. Кулакова и Г.Г. Михайличенко было показано, что от бинарных систем отношений имеется переход (путем своеобразной склейки элементов двух множеств) к унарным системам вещественных отношений. В данном случае таковым является переход от спиноров к УСВО ранга (5) с законом, соответствующим геометрии импульсного пространства (геометрии Лобачевского).

5. В БСКО ранга (3,3) тройки элементов двух множеств расщепляются на 1+2, где одиночный элемент соответствует рассматриваемой микрочастице, а оставшаяся пара образует микробазис в виде водородоподобного атома. Микрочастица рассматривается (понимается описываемой) относительно микробазиса. Если для микрочастицы, описываемой спинорами, имеет место унарная геометрия Лобачевского, то для атома, составленного из пары элементов (частиц), имеет место геометрия Римана – наличие $O(4)$ -симметрии.

Таким образом, имеет место своеобразное соответствие между свойствами физики микромира и физики мегамира.

6. В связи с указанной аналогией уместно напомнить идею, которую долгие годы вынашивал академик М.А. Марков (1908–1994). В своей статье «О современной форме атомизма» он писал: «Мы видим, что современная физика дает возможность совершенно по-новому трактовать содержание понятия „состоит из“. Вселенная в целом может оказаться микроскопической частицей. Микроскопическая частица может содержать в себе целую Вселенную. Сама возможность такого объединения противоположных свойств ультрабольшого и ультрамалого объекта, ультрамакроскопического и ультрамикроскопического – представляется не менее удивительной, чем объединение в одном объекте свойств корпускулы и волны» [37].

С учетом изложенного выше эту мысль естественно подправить, заменив понятие элементарной частицы на атом, играющий ключевую роль как в физике микромира, так и физике макромира (обычных масштабов). Не вызывает

сомнений утверждение, что Вселенная в основном состоит из огромной совокупности атомов. Однако было показано, что структура атома определяется принципом Маха, то есть гигантской совокупностью вкладов от испущенных, но еще не поглощенных электромагнитных излучений всей окружающей Вселенной.

4.2. Реляционная трактовка космологического красного смещения

Принятие космологической модели Эйнштейна ставит вопрос об обосновании наблюдаемого космологического красного смещения. В наших работах с А.Б. Молчановым (см., например, [38]) показано, что этот эффект можно трактовать как третье проявление принципа Маха. Этот принцип определяет не только значения масс элементарных частиц и не только определяет пространственно-временные отношения, но, как оказывается, еще и сказывается на значениях энергии принимаемого излучения от удаленных объектов. Это объяснение альтернативно общепринятой трактовке космологического красного смещения через эффект Доплера в «расширяющейся» Вселенной, которого теперь нет.

Дело в том, что при рассмотрении космологической модели Эйнштейна, а затем и обобщений решений Фридмана, учитывающих космологический член, не было уделено должного внимания физическому смыслу космологической постоянной Λ . Конечно, отмечалось, что эта постоянная как-то соответствует внешней материи, но как именно не определялось.

В нашем подходе предлагается следующая физическая интерпретация космологического члена. В космологических моделях Фридмана в правой части уравнений Эйнштейна фактически учитывалась массивная материя в виде звезд, галактик и скоплений галактик, но при этом не уделялось должного внимания электромагнитному излучению, которое, согласно принципу Маха, участвует в формировании пространственно-временных отношений в мире. По этой причине предлагается разбить космологическую постоянную на две части

$$\Lambda = \Lambda_0 + \Lambda_1,$$

где Λ_0 соответствует массивной материи в космологическом решении Эйнштейна, а Λ_1 соответствует испущенному, но еще не поглощенному электромагнитному излучению. Более того, предлагается считать, что тензор энергии-импульса массивной материи в правой части уравнений Эйнштейна также разбивается на две части: на часть, описывающую саму массивную материю и ее реальное движение, и на дополнительную динамическую часть, обусловленную вкладами испущенного, но еще не поглощенного электромагнитного излучения.

Как уже отмечалось, в космологическом решении Эйнштейна значение $\Lambda \rightarrow \Lambda_0$ соответствовало примерно критической плотности материи, а точнее, ее следовало полагать большей плотности, что в моделях Фридмана соответствовало закрытой модели, описываемой геометрией Римана.

Предстояло разобраться в физическом смысле Λ_1 . С этой целью в нашей работе с А.Б. Молчановым [38] был произведен анализ свойств той части Вселенной, в которой, как утверждается, наблюдается космологическое (хаббловское) красное смещение.

Как известно, полная плотность электромагнитного излучения определяется, во-первых, наблюдаемым излучением звезд в широком диапазоне и, во-вторых, реликтовым излучением. Отметим, что оценки плотности энергии излучения звезд производились еще Эддингтоном. Он оценил эффективную температуру этого излучения величиной $T_0 \approx 3,18$ К. Тогда еще не было известно реликтовое излучение. По современным данным температура реликтового излучения оценивается $T_1 = 2,725$ К. Произведенные оценки плотности энергии суммарного электромагнитного излучения в рассматриваемой области Вселенной соответствуют примерно $\rho_{эл} \approx 10^{-34}$ г/см³.

Кроме того, была произведена оценка плотности энергии «разбегания» галактик, соответствующего хаббловскому космологическому красному смещению. Было показано, что плотность энергии «разбегания» также оценивается величиной $\rho_m \approx 10^{-34}$ г/см³. Причем было показана достаточно приемлемая точность совпадений двух плотностей энергии $\rho_{эл} \approx \rho_m$.

Данный результат предлагается трактовать как обусловленность космологического красного смещения не расширением Вселенной, как это ныне делается в современной космологии, а влиянием испущенного, но еще не поглощенного электромагнитного излучения на восприятие наблюдателем движения космических объектов.

Заключение

Таким образом, произведенное в рамках метареляционной парадигмы (на базе математического аппарата бинарных систем комплексных отношений) переосмысление оснований как физики микромира, так и физики мегамира, позволяет сделать существенный шаг в обосновании наблюдаемых свойств физики макромира, где до сих пор ключевую роль играют представления об априорной заданности классического пространства-времени. В метареляционной парадигме показывается, что пространство-время на самом деле является производным от понятий как физики микромира, так и физики мегамира.

В развитии представлений о физике мегамира ключевую роль играет принцип Маха, который в нашей стране долгое время отвергался по причинам конъюнктурного социального характера.

Наконец, следует отметить, что в работах ряда отечественных авторов, в частности А.Л. Чижевского [39], С.Э. Шноля [40] и других, предпринимались попытки обнаружить пока не учитываемые современной физикой дополнительные влияния на свойства наблюдаемых объектов со стороны более близких массивных объектов, таких как планеты Солнечной системы, Солнце и звезды нашей галактики. Эти влияния естественно также считать соответствующими проявлениям принципа Маха.

Отметим, что близкие идеи высказывались и рядом известных зарубежных авторов. Так, С. Вейнберг в своей книге «Гравитация и космология», затрагивая вопрос о проявлениях принципа Маха, высказывал мысль, что масса может зависеть «не только от существования фиксированных звезд, но также, очень слабо, и от распределения материи в непосредственной близости от частиц» [41].

П.А.М. Дирак в своих лекциях по квантовой теории поля также обсуждал на основе идей принципа Маха вопрос о возможном изменении гравитационной постоянной [42].

П. Дэвис, обсуждая принцип Маха в трактовке Вселенной как источнике понятия инерции, ставил вопрос о возможности экспериментального подтверждения этого принципа в окрестности Земли. Для этой цели он предлагал использовать опыты с гироскопом на околоземной орбите [43].

Можно назвать и ряд других высказываний, а также ряд уже производимых экспериментов как отечественными, так и зарубежными авторами.

Литература

1. *Владимиров Ю. С.* Метафизические основания физики : обоснование метареляционной парадигмы. Москва : ЛЕНАНД, 2024.
2. *Миронов В. В.* Становление и смысл философии как метафизики // Альманах «Метафизика. Век XXI». Вып. 2. Москва : БИНОМ, Лаборатория знаний, 2007. С. 18–40.
3. *Эйнштейн А.* Физика и реальность // Собрание научных трудов. Т. 4. Москва : Наука, 1967.
4. *Фейнман Р.* В поисках новых законов // Характер физических законов : сб. Москва : Мир, 1968.
5. *Чью Дж. Ф.* Сомнительная роль пространственно-временного континуума в микроскопической физике // Основания физики и геометрии : сб. Москва : Изд-во РУДН, 2008. С. 264–274.
6. *Владимиров Ю. С.* Реляционная картина мира. Кн. 1 : Реляционная концепция геометрии и классической физики. Москва : ЛЕНАНД, 2021.
7. *Владимиров Ю. С.* Реляционная картина мира. Кн. 2 : От бинарной предгеометрии микромира к геометрии и физике макромира. Москва : ЛЕНАНД, 2021.
8. *Владимиров Ю. С.* Реляционная картина мира. Кн. 3 : От состояний элементарных частиц к структурам таблицы Менделеева. Москва : ЛЕНАНД, 2023.
9. *Кулаков Ю. И.* Теория физических структур. Москва : Изд-во «Доминико», 2004.
10. *Михайличенко Г. Г.* Математические основы и результаты теории физических структур. Горно-Алтайск : РИО Горно-Алтайского госуниверситета, 2012; 2016 (второе издание).
11. *Кулаков Ю. И., Владимиров Ю. С., Карнаухов А. В.* Введение в теорию физических структур и бинарную геометрофизику. Москва : Архимед, 1992.
12. *Владимиров Ю. С.* Классическая теория гравитации: учебное пособие. Москва : ЛЕНАНД, 2015.
13. *Зельдович Я. Б., Новиков И. Д.* Строение и эволюция Вселенной. Москва : Наука, 1975.
14. *Старобинский А. А.* Спектр реликтового гравитационного излучения и начальное состояние Вселенной // Письма в ЖЭТФ. 1979. 30 (11). С. 719–723.
15. *Фок В. А.* Квантовая физика и современные проблемы // Ленин и современное естествознание: сб. Москва : Мысль, 1969.

16. Фок В. А. Теория пространства, времени и тяготения. Москва : Книжный дом «Либроком»/URSS, 2010.
17. Иваненко Д. Д. Возможности единой теории поля // Философские проблемы теории тяготения Эйнштейна и релятивистской космологии : сб. Киев : Наукова думка, 1965.
18. Зельманов А. Л. Об основах космологии // Сб. тезисов докладов и сообщений на всесоюзном симпозиуме «Философские проблемы теории тяготения Эйнштейна и релятивистской космологии». Киев, 1964.
19. Зельманов А. Л. Некоторые вопросы космологии и теории гравитации // Сб. «Физическая наука и философия»: труды 2-го Всесоюзного совещания по философским вопросам современного естествознания. Москва : Наука, 1973.
20. Раишевский П. К. О догмате натурального ряда // Успехи математических наук. 1973. Т. XXXVIII. Вып. 4 (172). С. 243–246.
21. Рвачев В. Л. Релятивистский взгляд на развитие конструктивных средств математики. Харьков : Препринт института приборов машиностроения АН УССР, 1990.
22. Рвачев В. Л. Неподвижные объекты дальнего космоса имеют красное смещение своих спектров // Препринт АН Украины. Институт проблем машиностроения. Харьков, 1994. № 377.
23. Авинаш К. (Avinash K.) A set of new integers // Speculations in Science and Techn. Navrangpura, India. 1986. Vol. 9, no. 4. P. 291–295.
24. Эйнштейн А. Принципиальное содержание общей теории относительности // Собр. научных трудов. Т. 1. Москва : Наука, 1965.
25. Мах Э. Механика : историко-критический очерк ее развития. Ижевск : Ижевская республиканская типография, 2000.
26. Эддингтон А. Теория относительности. Москва : Ком-Книга/URSS, 2007.
27. Владимиров Ю. С. Реляционная концепция Лейбница – Маха. Москва : ЛЕНАНД, 2027.
28. Фейнман Р. Фейнмановские лекции по гравитации. Москва : Изд-во «Янус-К», 2000.
29. Владимиров Ю. С. Между физикой и метафизикой. Кн. 4 : Вслед за Лейбницем и Махом. Москва : Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012.
30. Пенроуз Р. Путь к реальности, или Законы, управляющие Вселенной. Москва–Ижевск : Институт компьютерных исследований, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2007.
31. Уилер Дж. А., Фейнман Р. (Wheeler J.A., Feynman R.P.) Interaction with the absorber as the mechanism of radiation // Rev. Mod. Phys. 1945. Vol. 17. P. 157–181.
32. Хойл Ф., Нарликар Дж. (Hoyle F., Narlikar J.V.) Action at a distance in physics and cosmology. San Francisco : W.N. Freeman and Comp., 1974.
33. Нарликар Дж. В. Инерция и космология в теории относительности Эйнштейна // Астрофизика, кванты и теория относительности : сб. Москва : Мир, 1982. С. 498–534.
34. Дикке Р. Многоликий Мах // Гравитация и относительность : сб. Москва : Мир, 1965.
35. Эйнштейн А. Вопросы космологии и общая теория относительности // Собр. научных трудов. Т. 1. Москва : Наука, 1965. С. 601–612.
36. Уилер Дж. Эйнштейн: что он хотел // Проблемы физики: классика и современность : сб. Москва : Мир, 1982. С. 86–98.
37. Марков М. А. Избранные труды. Т. 1. Москва : Наука, 2000.
38. Владимиров Ю. С., Молчанов А. Б. (Vladimirov Yu. S., Molchanov A. B.) Relational Justification of the cosmological redshift // Gravitation and Cosmology. 2015. Vol. 21, no. 4 (13). P. 279–282.
39. Чижевский А. Д. Космический пульс жизни. Земля в объятиях Солнца. Гелиотараксия. Москва : Мысль, 1995.

40. Шноль С. Э. Космофизические факторы в случайных процессах // Svenska fysika rkivet. 2009. С. 153–177.
41. Вейнберг С. Гравитация и космология. Москва : Мир, 1975.
42. Дирак П. А. М. Воспоминания о необычайной эпохе. Москва : Наука, 1990.
43. Дэвис П. Проект Вселенной. Новые открытия творческой способности природы к самоорганизации. Москва : Библейско-богословский институт св. апостола Андрея, 2009.
44. Владимиров Ю. С. Принцип Маха и метрика пространства-времени // Метафизика. 2020. № 2 (36). С. 8–27. DOI: 10.22363/2224-7580-2020-2-8-27
45. Владимиров Ю. С. Мифы и реальности общей теории относительности // Метафизика. 2011. № 2. С. 110–122.

FOUNDATIONS OF FUNDAMENTAL PHYSICS, MACH'S PRINCIPLE AND COSMOLOGY

Yu.S. Vladimirov

*Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University
2 bldg, 1 Leninskiye Gory, Moscow, 119991, Russian Federation
Institute of Gravity and Cosmology, RUDN University
6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation*

Abstract. The article shows that the process of revising the foundations of fundamental physics is currently underway. It is necessary to take into account that modern physics is based on the established concepts of macrophysics, which extend to microphysics and megaphysics, while at present there is a conviction that it is necessary to develop an independent system of concepts and patterns inherent in the physics of the microworld and megaworld, from which the concepts of the macroworld follow. In this case, it is most important to derive from the sought-after concepts of the micro- and megaworld the concepts of classical space-time, which underlies macrophysics. It is proposed to use the theory of binary systems of complex relations as the initial concepts of the microworld, which also affect the foundations of the physics of the megaworld. It is shown that in the theory of the megaworld, the key role is played by Mach's principle, which is not properly taken into account in modern cosmology.

Keywords: foundations of physics, microworld, macroworld and megaworld, cosmology, Mach's principle, space-time geometry, binary and unary systems of relations

DOI: 10.22363/2224-7580-2025-1-31-53

EDN: WGYUZF

УДК 524.88

«УСКОРЕНИЕ РАСШИРЕНИЯ ВСЕЛЕННОЙ» И СВЕРХНОВЫЕ ТИПА SNIa В ТЕОРИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ

С.Ф. Левин

*Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана*

Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская улица, д. 5, стр. 4

Аннотация. Дана краткая характеристика теории измерительных задач как физико-математических задач, для решения которых исходные данные получают путем измерений. Рассмотрены результаты применения этой теории для анализа по программам «ММК-стат» и «ММК-стат М» данных о красном смещении сверхновых типа SNIa в формате модели шкалы космологических расстояний, использованных в качестве доказательств «ускорения расширения Вселенной». Альтернативной интерпретацией этих данных может быть действие гравитационных диполей крупномасштабной неоднородности Вселенной.

Ключевые слова: красное смещение, анизотропия, разладка, инверсия, гравитационный диполь, сверхскопление галактик, гигантская пустота

Введение

В 1938 году А. Лебег указал на сочетание *реального* (физического) и *идеального* (математического) в измерении: «геометрическое измерение начинается как *физический* процесс и имеет *метафизическое* продолжение» [1]. Однако в предисловии к этой книге А.Н. Колмогоров уточнил: «...в геометрических измерениях условие сохранения физического смысла математических операций с величинами на метрических шкалах есть *гомоморфизм*. Система аксиом, лежащих в основе геометрии, является замечательным, концентрированным выражением наших усилий, направленных к познанию действительности».

Другими словами, языку чисел для описания объективной реальности надо учиться, опираясь на физический смысл математических действий с величинами. Но именно искажение прямого смысла слова *измерение* в названиях так называемых «непрямых измерений» (косвенных, совокупных и совместных), связанных с вычислениями, было стандартизовано ГОСТ 16263–70 «ГСИ. Метрология. Термины и определения» и фактически стало причиной того, что длительное время без должной нормативно-методической проработки оставалась неадекватность математических моделей объектов измерений.

В 1958 году монография Ю.В. Линника [2] дополнила вычислительную часть так называемых «непрямых измерений» (косвенных, совокупных, совместных и др.) необходимыми сведениями из алгебры, теории вероятностей и математической статистики, фактически превращая эту часть теории измерений в теорию измерительных задач. Продолжил формирование теории измерительных задач метод максимума компактности (ММК) – метод структурно-параметрической идентификации математических моделей объектов измерений по критериям минимума неадекватности¹ [3] и максимума вероятности согласия [4] в схеме перекрестного наблюдения. Нормативно теория оформилась в Государственной системе обеспечения единства измерений (ГСИ) к концу XX века – Рекомендациями РРТ 507–98 «ГСИ. Задачи измерительные. Методы решения. Термины и определения», Рекомендациями по метрологии Р 50.2.004–2000 «ГСИ. Определение характеристик математических моделей зависимостей между физическими величинами при решении измерительных задач. Основные положения» и Рекомендациями МИ 2916–2005 «ГСИ. Идентификация распределений вероятностей при решении измерительных задач», уточнив определения терминов.

Математическая модель объекта измерений – выражение причинно-следственной связи между физическими и расчетными величинами Y и X , характеризующими свойства объекта измерений, в виде функции $y = F(\Theta; x_1, x_2, \dots, x_q, \dots, x_Q) \pm \zeta(x_1, x_2, \dots, x_q, \dots, x_Q)$, где $F(\cdot)$ и $\zeta(\cdot)$ – систематическая и случайная составляющие, Θ – множество параметров, $\dim \Theta = M$.

Погрешность неадекватности математической модели – расчетная величина, разность рассчитанного по данным измерений входных переменных \hat{X} значения выходной переменной \check{y} модели объекта и результата ее измерения \hat{y} в соответствующих расчету условиях:

$$\check{\zeta} = \check{y} - \hat{y} = F(\Theta; \hat{x}_1, \hat{x}_2, \dots, \hat{x}_q, \dots, \hat{x}_Q) - \hat{y}.$$

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.

Дополнение названий «непрямых измерений» словом *метод* впереди, в отличие от предложения Рекомендаций по межгосударственной стандартизации РМГ 29–99 «ГСИ. Метрология. Основные термины и определения» вставить это слово в середину названия, позволило устранить путаницу с *методами измерений*, сохранив в составе названия термина привычное словосочетание. Но главным результатом выделения теории измерительных задач

¹ В то время термина *погрешность неадекватности* еще не было, действовало понятие *адекватности модели* ГОСТ 24026–80 «Планирование эксперимента. Термины и определения», связанное с рассеянием остатков регрессионных моделей, а роль вероятности согласия играл критерий Фишера. В ММК за основу было принято понятие компактности распределения погрешностей как сочетание этих свойств модели объекта измерений.

было существенно более строгое определение *неадекватности математической модели объекта измерений* и обобщение принципа единства измерений до принципа единства измерений и вычислений. К этому времени уже были разработаны и описаны в Р 50.2.004–2000 и МИ 2916–2005 алгоритмы программ структурно-параметрической идентификации математических моделей объектов в виде функций одного («ММК-стат» [5]) и нескольких («ММК-стат М» [6]) аргументов как основа метода совместных измерений. Отличительная особенность этих алгоритмов – логика статистического вывода, основанная на проверке в *схеме перекрестного наблюдения* по критериям *минимума среднего модуля погрешности неадекватности* (СМПН) модели или максимума ее воспроизводимости (вероятности согласия) системы нулевых гипотез:

H_0 – гипотезы вырожденности (отсутствия зависимости);

H_{00} – гипотезы непрерывности (отсутствия *разладок*²);

H_{000} – гипотезы композиционной однородности отклонений результатов совместных измерений от характеристики положения модели.

Схема перекрестного наблюдения предусматривает следующее.

1. Задание класса моделей моделью максимальной сложности и ее структурирование двоичным кодом, приписыванием структурным элементам модели двоичных чисел, образующих код структуры модели \mathcal{Y} для перебора вариантов.

2. Данные совместных измерений для каждого варианта структуры модели с M параметрами делят на $(M+1)$ блоков, в каждый из которых экстраполируют полученные на остальной части данных заданным параметрическим методом модели с M параметрам. Отклонения данных совместных измерений от совокупности этих экстраполяций для варианта структуры модели образует ее так называемый экстраполяционный функционал (наименьших квадратов – МНК, наименьших модулей – МНМ, максимального правдоподобия – ММП, скользящей медианы – МЕДС)³ (рис. 1).

3. По отклонениям данных совместных измерений от экстраполяционного функционала формируют показатели: средний модуль погрешности неадекватности (СМПН) или вероятность согласия распределения совокупности этих же отклонений с распределением остатков как распределения погрешности аппроксимации – α -критерий воспроизводимости модели (рис. 2).

4. Аналогичным образом анализируются и альтернативные модели, а критерий выбора модели – минимум СМПН или максимум α -критерия, что в итоге дает наиболее устойчивую модель – модель оптимальной сложности.

² Термин введен А.Н. Ширяевым [7] для обнаружения момента смены характеристик случайного процесса при статистической проверке непараметрических гипотез в задаче, сформулированной А.Н. Колмогоровым. В ММК задача обнаружения *разладки* решена методом скользящей границы в схеме перекрестного наблюдения, что отличается от обычной проверки статистических гипотез, когда вид распределения не меняется.

³ Эти алгоритмы идентификации в сочетании со схемой перекрестного наблюдения погрешности неадекватности в ММК обозначены ММКМНК, ММКМНМ, ММКММП и ММКМЕДС.

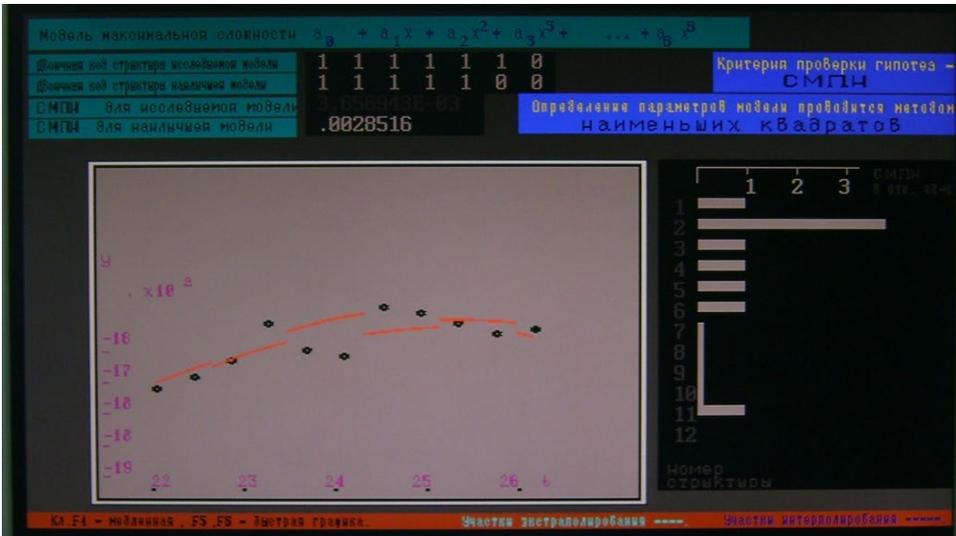


Рис. 1. Программа «ММК-стат»: экстраполяционный функционал модели ($\vartheta = 111110$) при $M = 5$ в схеме перекрестного наблюдения для оценивания погрешностей неадекватности
 Источник: составлено автором.

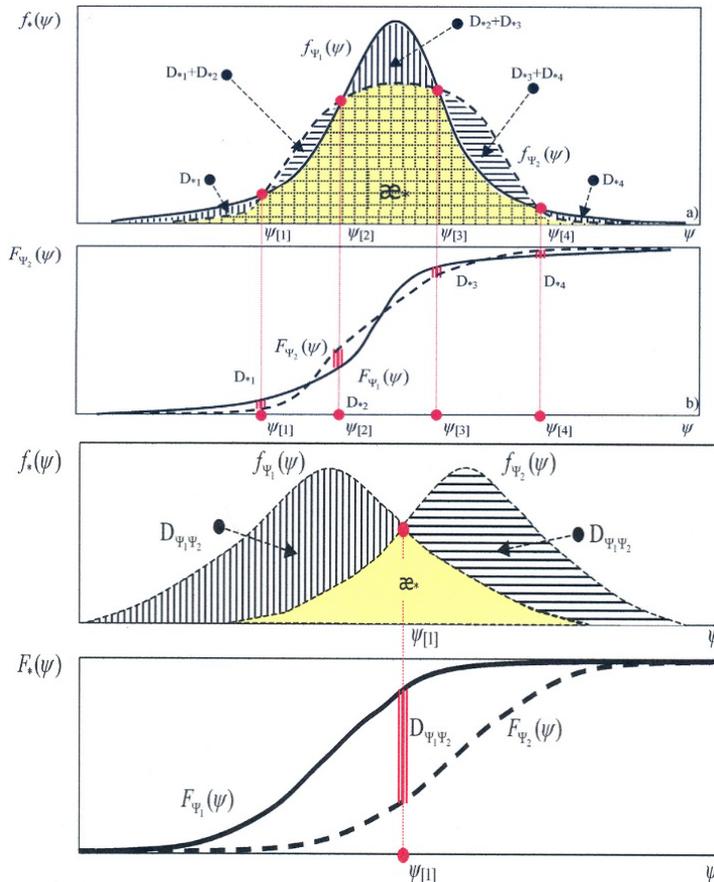


Рис. 2. Вероятность согласия (воспроизводимость) плотностей распределений: $D_{\Psi_1\Psi_2}$ – расстояние Колмогорова между функциями распределений $F_{\Psi_1}(\psi)$ и $F_{\Psi_2}(\psi)$
 Источник: составлено автором.

Цель настоящей статьи – выяснить, какие результаты анализа по программам «ММК-стат» и «ММК-стат М» данных о сверхновых типа SNIa в формате модели шкалы космологических расстояний могли бы быть получены ММК и какова их возможная интерпретация в теории измерительных задач.

Предыстория вопроса

В 1998 году апробация «ММК-стат М» на справочных данных [8] о красном смещении в спектрах радиогалактик (RG) и квазаров (QSO), их угловых координатах на небесной сфере и звездных величинах дала интересный результат. Была обнаружена разнонаправленная и противоположная по знаку дипольная анизотропия красного смещения RG и QSO при усреднении по прямому восхождению [9]. Экстремумы диполей анизотропии совпали с угловыми координатами области галактических полюсов и диполя анизотропии микроволнового фонового излучения (Cosmic Microwave Background – CMB) [10]. В том же году группа High-Z SN Search Team в модели Фридмана – Робертсона – Уокера [11] по 37 сверхновым типа SNIa для модели шкалы фотометрических расстояний

$$D_L(z) = \frac{c \cdot (1+z)}{z} \int_0^z [(1+x)^2 (1 + \Omega_M \cdot x) - x \cdot (2+x) \Omega_\Lambda]^{-1/2} dx, \quad (1)$$

где c – скорость света, $H_0 = \dot{R}_0 / R_0$ – параметр Хаббла, R_0 – радиус кривизны, z – красное смещение, Ω_M и Ω_Λ – параметры так называемой «темной материи» и «темной энергии»), $\Omega_M + \Omega_\Lambda = \Omega_k$ – параметр кривизны, получила оценку $\Omega_M = 0,21 \pm 0,09$ при $\Omega_k = 0$ и сделала вывод о *незначительности эффекта локальной пустоты* в космологическом расширении [12]. Тогда же по угловым координатам l° , b° и красным смещениям z_n методами MLCS (Multicolor light curve shape) формирования многоцветной кривой светимости и подгонки ее шаблона [13–15] были определены фотометрические расстояния до 37 сверхновых типа SNIa, оценен параметр замедления $q_0 = -\ddot{R}_0 / (R_0 H_0^2) = -1,0 \pm 0,4$ [13, p. 1026] и отмечено, что

№ 1. «Переход между плотностью энергии с преобладанием массы и Λ -доминированием произошел при $z \approx 0,37$ для плоской $\Omega_M \approx 0,28$ вселенной, тогда как переход между замедлением и ускорением произошел при $(1+z)^3 \cdot \Omega_M / 2 = \Omega_\Lambda$, то есть при $z = 0,73$. Это было примерно тогда, когда взорвалась SN 1997G, более 6 миллиардов лет назад».

Как известно, для SN 1997G красное смещение $z = 0,763$ [15].

В 2003 году группа High-Z SN Search Team [16] обратила внимание на то, что данные, полученные в «потоке Хаббла» при $0,01 < z < 0,1$ для сверхновых типа SNIa для пустой вселенной, то есть при $q_0 = 0$, соответствуют модели

Фридмана–Робертсона–Уокера (1) в разложении по формуле Тейлора 2-го порядка [17]:

$$D_L = (cz/H_0) \cdot [1 + \frac{1}{2} \cdot (1 - q_0)z]. \quad (2)$$

В этом же году была завершена программа по наблюдению далеких сверхновых на космическом телескопе имени Хаббла, основной результат которой был четко сформулирован в нобелевской лекции [18] под заголовком «Экстраординарные утверждения требуют экстраординарных доказательств»

№ 4. «Были открыты шесть сверхновых типа Ia с красными смещениями выше 1,25. С их помощью удалось отвергнуть гипотезы серой пыли и эволюции источников и надежно установить, что Вселенная расширялась с замедлением, прежде чем начала расширяться с ускорением. В физике изменение значения или знака торможения (как следствие изменения силы) обусловлено *резким толчком*».

с прямым указанием причины ускорения расширения – *резкого толчка*.

К этому можно добавить выдержку из другой нобелевской лекции [19]:

№ 3. «Казалось, что самые первые данные вблизи $z = 0,4$ свидетельствуют о замедляющейся Вселенной без космологической постоянной. Однако измеренные 7 точек давали слишком большой разброс. Даже одна хорошо измеренная на телескопе имени Хаббла сверхновая на вдвое большем красном смещении $z = 0,83$ стала свидетельствовать о совсем другой истории расширения. Только после измерения 42 сверхновых стало окончательно ясно, что далекие SNIa свидетельствуют об ускоренном расширении Вселенной, в которой доминирует космологическая постоянная, а не обычное вещество».

В 2004 году группа High-Z SN Search Team установила [20], что

№ 2. «Чисто кинематическая интерпретация SN Ia выборки дает доказательства с более чем 99%-ным уровнем достоверности для перехода от замедления к ускорению или аналогично убедительные доказательства для космического толчка. Для простой модели истории расширения переход между двумя эпохами ограничен $z = 0,46 \pm 0,13$ »,

и приняла разложение Виссера [21] модели (1) по формуле Тейлора 3-го порядка:

$$D_L(z) \cong (c/H_0) \cdot [z + (1/2)(1 - q_0)z^2 - (1/6)(1 - q_0 - 3q_0^2 + j_0)z^3 + O(z^4)] \quad (3)$$

с параметрами замедления q_0 и толчка j_0 для определения параметра Хаббла.

В 2013 году Р. Кинан, Э. Бергер и Л. Коуи сделали вывод о существовании огромной пустой области пространства⁴ около 1–2 миллиарда световых

⁴ Далее – supervoid.

лет в диаметре, которая содержит Млечный Путь, Местную группу (Local Group) и большую часть сверхскопления⁵ Laniakea [23]. Этот крупнейший supervoid, значительно превосходящий по размеру Eridanus supervoid и даже Giant void, назвали KBC supervoid. Открытие вызвало сомнения в выводе группы High-Z SN Search Team [12] о возможности пренебрежения эффектом локальной пустоты.

В 2016 году группа High-Z SN Search Team заявила о повышении точности оценки параметра H_0 до 2,4 % при использовании модели Виссера (2) по данным о 19 цефеидах и 300 сверхновых при $z < 0,15$ [24]. Но полученная оценка $H_0 = 74 \pm 3 \text{ км}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{Мпк}^{-1}$, как указали специалисты проекта Carnegie-Chicago Hubble [25], значимо, на «3,4 σ », разошлась с оценкой по данным измерений CMB Plank Collaboration в рамках Λ CDM-модели $H_0 = 67,3 \pm 1,2 \text{ км}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{Мпк}^{-1}$ [26]. Расхождение возникло и с оценками [13–15], что в итоге вызвало дискуссию о ситуации, которую руководитель Hubble Space Telescope Key Project В. Фридман назвала тупиковой [27], и выход из нее казался в повышении до 1 % точности шкалы внегалактических расстояний.

Накануне дискуссии в отчетах по проекту WMAP-7 [28] была зафиксирована Degeneration of Λ CDM-model⁶: парадокс «числа параметров» – дополнение Λ CDM-модели одним-двумя параметрами увеличивает ее точность на 90...300 %, но тогда среднеквадратические отклонения (СКО) оценок параметра Хаббла H_0 возрастали в 1,28...6 раз. И еще тогда ввиду этого явления в приложениях Λ CDM-модели были сформулированы направления исследований по проблемам некорректности применения статистических методов в космологии [30–31]. В том же 2016 году обнаружилась избыточность изотропной модели 3-го порядка с параметром толчка j_0 (3) для принятых в [13; 15] SNIa в вопросе «ускорения расширения Вселенной» – была получена более точная анизотропная модель 2-го порядка [32] с параметром Хаббла $H_0 = 60,80404264 \text{ км}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{Мпк}^{-1}$:

$$D_L(z) = (c/H_0)[(1 + abb) \cdot z + \frac{1}{2}(1 - q_0)(1 + ail) \cdot z^2], \quad (4)$$

где $a_b = +2,027311498 \cdot 10^{-3}$ и $a_l = -2,568655129 \cdot 10^{-3}$ – коэффициенты анизотропии, l и b – галактические координаты, параметр замедления $q_0 = -0,14378664$. Также выяснилось, что модели (2) и (4) подобны по порядку степеней разложения, а МНМ-идентификация модели с параметром формы α разлета источников излучения со скоростями $0 < v < c$ при учете запаздывания и эффекта Доплера [33]

$$D_L(z) = \alpha \cdot (c/H_0) \cdot [(1 + z)^{1/\alpha} - 1] \quad (5)$$

дает $\alpha = 0,499160639 \approx \frac{1}{2}$ и $H_0 = 77,2924661 \text{ км}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{Мпк}^{-1}$, что при $q_0 = 0$ соответствует модели (2). Тогда же J.T. Nielsen, A. Guffanti и S. Sarkar тоже обратили внимание на проблемы статистической методологии [34], а в 2017 году для данных о SNIa [13; 15] был обнаружен эксцесс анизотропии красного смещения [35; 36]. В 2020 году К. Migkas, G. Schellenberger, Т.Н. Reiprich,

⁵ Далее – supercluster [22. С. 246].

⁶ Стохастическая мультиколлинеарность [29].

F. Pasaud, M.E. Ramos-Seja и L. Lovisari по яркости скоплений галактик в рентгеновском диапазоне оценили для модели (2) максимальную вариацию фотометрического расстояния в различных областях небесной сферы: $\Delta D_L \sim (16 \pm 3) \%$ [37], а E. Di Valentino, A. Melchiorri и J. Silk пришли к выводу о том, что «предположение о плоской Вселенной может маскировать космологический кризис, когда разрозненные наблюдаемые свойства Вселенной кажутся взаимно несовместимыми» [38].

«Тупиковую ситуацию в космологии» можно охарактеризовать словами В.А. Фока [39]: «Вообще любая физическая теория – пусть это будет даже теория тяготения Эйнштейна – имеет предел применимости, и неограниченно экстраполировать ее нельзя. Рано или поздно становится необходимым введение новых физических понятий, сообразных свойствам изучаемых объектов и применяемых средствам их познания, сообразно свойствам изучаемых объектов и применяемым средствам из познания, а тогда выявляются и пределы применимости теории, притом возникают новые гносеологические вопросы».

Таким новым физическим понятием стали гравитационные диполи крупномасштабной неоднородности и весьма необычный способ их обнаружения.

Крупномасштабная неоднородность Вселенной

В 1967 году Д. Вилкинсон и Р. Партридж обнаружили [40], что «неоднородность в распределении квазаров с большими красными смещениями пространственно совпадает с минимумом в распределении СМВ Dipole⁻ «Pisces–Pegasus» ($23^{\text{h}}9^{\text{m}}$, $+6^{\circ}40'$; южное галактическое полушарие). Спустя 10 лет было установлено, что относительно реликтового излучения Солнце движется со скоростью $350 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1}$ к точке в созвездии Льва с координатами $\alpha = 11^{\text{h}}$ и $\delta = +4^{\circ}$ [41]. А в 1981 году по данным измерений на самолетах-разведчиках U-2 был идентифицирован диполь реликтового излучения на оси Leo–Aquarius [42].

Обнаружение анизотропии красного смещения в спектрах излучения галактик и дипольной анизотропии СМВ при доплеровской интерпретации привели в 1980-е годы к обнаружению крупномасштабных потоков галактик к сверхскоплениям Virgo в созвездии Девы и Great Attractor в созвездии Центавра [43]. Позже было установлено, что Местная группа галактик движется относительно СМВ со скоростью $631 \pm 20 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1}$, и «поиск источников этого движения доминировал в космографии с момента открытия диполя» [44].

В 2007 году на фоне гигантского Eridanus supervoid было обнаружено «Холодное пятно» (Cold spot) СМВ при $z \approx 1$ [45], а M. McClure и C. Dyer в программе HST Key Project показали, что в масштабах $(10 \dots 20)^{\circ}$ при $z < 0,08$ расхождения оценок постоянной Хаббла $\Delta H_0 \approx 9 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпк}^{-1}$ различных исследователей – следствие ячеистости крупномасштабной структуры Вселенной [46].

В 2009 году было обнаружено совпадение центров анизотропии СМВ и красного смещения для радиогалактик и квазаров с двумя образованиями

крупномасштабной структуры Вселенной. Это – сверхскопление более чем 2500 галактик Virgo supercluster в секторе $16^\circ \times 10^\circ$ созвездия Девы и скопление более чем 800 галактик в созвездии Волосы Вероники в виде пятна диаметром 4° [47]. В 2010 году анизотропию красного смещения RG и QSO сегментацией небесной сферы на секторы при помощи программы «ММК-стат» удалось привязать по прямому восхождению к парам supercluster \leftrightarrow supervoid [48]: RG – в секторах ($\alpha = 21^h - 3^h \leftrightarrow 12^h \pm 3^h$) \rightarrow «Leo + Virgo + Centauris» superclusters \leftrightarrow «Aquarius + Cetus + Eridanus» supervoids; QSO – в секторах ($\alpha = 9^h \pm 3^h \leftrightarrow 21^h \pm 3^h$) \rightarrow «Leo + Virgo + Centauris» supercluster \leftrightarrow «Aquarius + Cetus» supervoids. Более точные оценки дал дипольный тест суточной гармонике красного смещения [49; 50]: для QSO – максимум при $\alpha \approx 2,6^h$ («Eridanus + Cetus» supervoids) и минимум – при $\alpha \approx 14,6^h$ («Virgo + Centaurus» superclusters), а для RG – максимум при $\alpha \approx 22,1^h$ (Aquarius supervoid) и минимум – при $\alpha \approx 10,1^h$ (Leo supercluster). Совмещение программ «ММК-стат» и «ММК-стат М» для анализа данных [13–15] обнаружило совпадение *разладок* модели $D_L(z)$ и диполей анизотропии красного смещения RG и QSO с парами объектов типа «supervoid \rightarrow supercluster» как диполями крупномасштабной неоднородности: «Eridanus + Cetus» supervoids \rightarrow «Virgo + Centaurus» superclusters и Aquarius supervoid \rightarrow Leo supercluster. Координаты диполей на интервалах разладок по программе «ММК-стат» определялись по программе «ММК-стат М». В этих парах на противоположных областях небесной сферы гравитационное воздействие на объекты между ними не уравновешено и проявляется как отталкивание со стороны supervoid.

Совпадение *разладок* с этими парами сначала показалось случайным.

Апексу движения Солнца относительно СМВ соответствует точка Dipole⁺ СМВ ($\alpha = 11^h 9^m$, $\delta = -6^\circ 40'$) в центре окна прозрачности около Северного галактического полюса P_N в районе «Shapley + Virgo + Vela + Coma + Hydra + Great Attractor» superclusters и Leo supercluster. Антиапексу же соответствует СМВ Dipole⁻ в «Aquarius + Eridanus» supervoids поперечником до 3 Гпк [51]. Но это уже третий диполь крупномасштабной неоднородности, и это значит, что Млечный путь движется в направлении P_N в сторону гигантской системы сверхскоплений галактик, оставляя за собой гигантскую систему пустот у P_S .

Однако «в Северном экваториальном полушарии есть фиолетовая составляющая – 37 галактик Местного объема в виде дугообразной полосы в созвездиях Андромеды, Жирафа, Большой Медведицы, Дракона и Пегаса» [52]. Полоса вытянулась «подковой» между точками пересечения эклиптики и галактического экватора с центром на границе созвездий Девы и Льва (рис. 3, а), а 167 галактик Местного объема с красным смещением группируются к Северному галактическому полюсу P_N в созвездиях Гончих Псов, Девы и Центавра более равномерно (рис. 3, б) [53], образуя красно-фиолетовый диполь.

И получается, что Млечный путь относительно галактик Местного объема двигается в сторону, противоположную Северному галактическому

полюсу, не к «Leo + Coma + Virgo» superclusters, а к «Aquarius + Eridanus» supervoids.

Красно-фиолетовый диполь соответствует гравитационным диполям «Eridanus supervoid + Fornax void → Virgo supercluster» и «Aquarius supervoid → Leo supercluster», способствующим сближению Млечного пути и галактики Андромеды, окружение которой в Local Group для земного наблюдателя имеет фиолетовое смещение. Галактики же Local Group, концентрирующиеся в области Северного галактического полюса P_N , находятся существенно ближе к крупнейшим компонентам Полярного диполя-гиганта, Virgo supercluster и Leo supercluster, испытывают большее ускорение и движутся в этом направлении с большей скоростью, чем Млечный путь. Поэтому в спектрах их излучения наблюдается красное смещение [54].

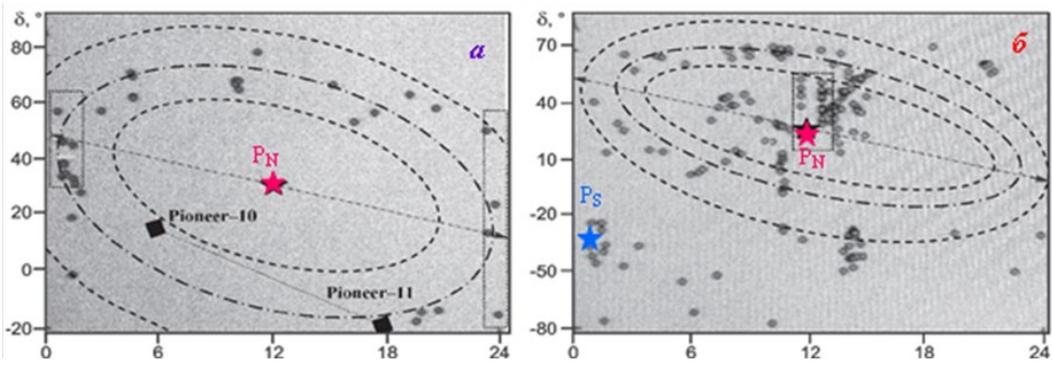


Рис. 3. Распределение по небесной сфере в экваториальных координатах галактик Местного объема с фиолетовым (а) и красным (б) смещением (звездочки – галактические полюса)

Источник: составлено автором.

В 2013 году замечено, что диполи анизотропии СМВ, параметров Хаббла и замедления ориентированы по оси « P_S – гигантская система «Aquarius + Eridanus» supervoids → P_N – крупнейшая система «Great Attractor + Shapley + Centaurus + Leo + Coma + Virgo» superclusters, и эти две системы образуют *супердиполь неоднородности* [51]. К тому же движение Галактики в этом направлении сопровождается ее вращением и аналогично закручиванию воды при входе в водосток.

Физический смысл тупиковой ситуации в космологии связан не столько с расхождением оценок параметра Хаббла, как отметил В. Фридман, сколько с тем, что возможности изотропной модели Фридмана–Робертсона–Уокера как функции одного измеримого аргумента, красного смещения z , исчерпаны [55].

Рассмотрим подробнее модель шкалы расстояний $D_L(z)$ в выделенных «расширением Вселенной» точках [$z = 0,73$], [$z = 0,46 \pm 0,13$] и [$z = 0,83$].

Идентификация шкалы космологических расстояний по сверхновым SNIa

Экспериментальной основой решения о существовании «космологического расширения Вселенной» были 79 сверхновых типа SNIa [13, 15] (табл. 1), а в качестве «экстраординарных доказательств» [16. С. 1096] были приняты данные [20; 56] еще о 41 сверхновой типа SNIa (табл. 2).

Данные табл. 2 получены из Глубокого поля Хаббла (Hubble Deep Field – HDF) в Большой Медведице и Ультраглубокого поля Хаббла (Hubble Ultra Deep Field – HUDF) на границе созвездий Печи и Эридана. Оба поля расположены на участках неба диаметром порядка нескольких угловых минут вблизи галактических полюсов и удалены от ярких звезд Млечного пути, что позволяет наблюдать весьма тусклые объекты, оказавшиеся галактиками с большими красными смещениями. Эти данные будут проанализированы отдельно.

Для сравнения воспользуемся также данными о 33 так называемых «чистых», то есть далеких «от центра родительской галактики» сверхновых SNIa [57, табл. 1.2].

Таблица 1. Данные о сверхновых типа SNIa [13; 15]

<i>n</i>	SN Ia	l°	b°	z_n	D_{Lr} , Мпк	δ_n , %	<i>n</i>	SN Ia	l°	b°	z_n	D_{Lr} , Мпк	δ_n , %
1	1992bo	258,945	-80,182	0,018	87,90225168	15,576073	41	1994H	173,587	-52,927	0,374	1348,962883	-26,852166
2	1992bc	245,160	-59,323	0,020	94,18895965	7,9885584	42	1994al	163,667	-34,258	0,420	2228,435149	9,1018628
3	1992aq	2,020	-65,920	0,101	480,8393484	5,8388039	43	1994am	173,633	-52,972	0,372	1729,816359	1,63902694
4	1992ae	332,748	-42,492	0,075	363,0780548	8,5434752	44	1994an	70,385	-49,352	0,378	2004,472027	6,03513476
5	1992P	297,821	72,898	0,026	141,9057522	-3,347137	45	1995aq	114,498	-54,416	0,453	2477,422058	11,2988828
6	1990af	330,848	-42,728	0,050	202,3019179	-10,03567	46	1995ar	128,837	-58,151	0,465	2606,153550	15,0211205
7	1994M	293,175	62,865	0,024	119,6740531	-11,66121	47	1995as	128,932	-58,018	0,498	3006,076303	20,5973305
8	1994S	187,897	85,748	0,016	71,44963261	-30,94071	48	1995at	130,428	-57,807	0,655	2500,345362	-29,024617
9	1994T	319,129	59,432	0,036	172,9816359	-13,47406	49	1995aw	166,109	-53,511	0,400	1674,942876	-10,092907
10	1995D	230,726	40,094	0,008	39,99447498	-11,16161	50	1995ax	166,684	-53,339	0,615	2398,832919	-21,100724
11	1995E	142,092	30,696	0,012	52,48074602	-17,49785	51	1995ay	177,325	-47,855	0,480	2523,480772	11,3917978
12	1995ac	59,737	-55,415	0,049	234,4228815	7,1588247	52	1995az	202,361	-30,921	0,450	2301,441817	7,94616412
13	1995ak	177,223	-53,099	0,022	107,1519305	9,3141820	53	1995ba	216,464	23,509	0,388	1949,844600	-3,2398070
14	1995bd	187,454	-21,055	0,016	67,60829754	-11,32970	54	1996cf	251,452	50,269	0,570	2594,179362	-15,953316
15	1996C	98,671	65,066	0,028	157,0362804	-0,097879	55	1996cg	221,256	22,652	0,490	2322,736796	-8,9246629
16	1996ab	42,954	56,447	0,125	633,8697113	-12,09104	56	1996ci	334,069	61,574	0,495	2051,162179	-21,219162
17	1992ag	313,22	38,025	0,026	118,5768748	-15,95334	57	1996ck	302,781	61,832	0,656	3090,295433	-7,2027149
18	1992al	347,526	-39,063	0,014	60,81350013	-4,134940	58	1996cl	257,574	48,867	0,828	3801,893963	-12,044932
19	1992bg	274,758	-18,329	0,036	178,6487575	4,7011340	59	1996cm	11,185	46,139	0,450	2546,830253	-11,204997
20	1992bh	267,74	-37,238	0,045	240,9905429	15,243304	60	1996cn	335,246	61,294	0,430	2454,708916	10,9400163
21	1992bl	344,001	-64,486	0,043	178,6487575	-1,968842	61	1997F	204,717	-27,879	0,580	2844,461107	3,13751481

Окончание табл. 1

n	SN Ia	l°	b°	z_n	D_{Ln} , Мпк	δ_n , %	n	SN Ia	l°	b°	z_n	D_{Ln} , Мпк	δ_n , %
22	1992bp	208,894	-50,536	0,079	338,8441561	-3,414712	62	1997G	202,595	-25,926	0,763	3854,783577	4,66727670
23	1992br	287,353	-59,547	0,088	438,5306978	14,087611	63	1997H	202,639	-25,632	0,526	2570,395783	2,30558639
24	1992bs	239,675	-54,985	0,063	332,6595533	17,226671	64	1997I	202,631	-25,625	0,172	762,0790100	-6,2354308
25	1993H	318,83	29,929	0,025	109,6478196	-17,69800	65	1997J	210,337	15,928	0,619	3341,950400	4,39074404
26	1993O	313,028	28,566	0,052	254,6830253	-5,588166	66	1997K	216,79	16,605	0,592	4168,693835	27,1583972
27	1993ag	268,954	16,010	0,050	229,0867653	-10,62503	67	1997L	220,511	22,379	0,550	2884,031503	1,49542814
28	1996E	253,85	34,546	0,43	2228,435149	0,6531466	68	1997N	221,144	22,598	0,180	816,5823714	-13,718278
29	1996H	292,206	62,084	0,62	3944,573021	19,176703	69	1997O	220,554	22,498	0,374	2937,649652	34,2711087
30	1996I	278,248	59,995	0,57	3564,511334	16,372452	70	1997P	257,573	48,453	0,472	2387,811283	-3,9447040
31	1996J	253,951	34,535	0,30	1887,991349	17,585065	71	1997Q	257,872	48,576	0,430	1887,991349	-20,081710
32	1996K	224,871	20,935	0,38	2118,361135	7,9455213	72	1997R	257,948	48,697	0,657	3388,441561	-0,7731796
33	1996U	261,151	68,172	0,43	3235,936569	27,513718	73	1997S	257,962	48,899	0,612	3019,95172	-5,6693936
34	1997ce	69,188	36,344	0,44	2454,708916	-6,363111	74	1997ac	220,499	22,988	0,320	1412,537545	-17,048983
35	1997cj	125,399	54,904	0,50	3019,95172	1,6502731	75	1997af	220,515	22,921	0,579	2924,152378	-2,3940973
36	1997ck	57,577	38,073	0,97	7555,922277	12,332040	76	1997ai	250,966	50,626	0,450	2108,62815	-13,441220
37	1995K	260,581	43,492	0,48	3090,295433	19,346646	77	1997aj	257,594	48,417	0,581	2421,029047	-25,315721
38	1992bi	63,066	46,907	0,458	1986,094917	-40,30204	78	1997am	257,348	49,259	0,416	1853,531623	-18,636420
39	1994F	260,41	68,302	0,354	1949,844600	0,3920903	79	1997ap	334,591	61,389	0,830	3265,878322	-18,511742
40	1994G	162,919	53,335	0,425	1506,607066	-60,91095	-	-	-	-	-	-	-

Примечание: $n = 1 \dots 37$ [13], $n = 38 \dots 79$ [15]. Данные о фотометрических расстояниях D_{Ln} получены по формулам модуля расстояний из [13], относительные отклонения δ_n определены для модели оптимальной сложности (4).

Прежде всего, данные [13; 15; 56] были проверены на композиционную однородность (гипотеза H_{000}), то есть описанием единой моделью (табл. 3) вида $D_L(z) = \theta_{000} + \theta_{..0}(l, b) + \theta_{001} \cdot z + \theta_{002} \cdot z^2 + \theta_{..3} \cdot z^3$, где многоточие в индексах параметров учитывает степени переменных, галактических координат l и b , независимо от красного смещения.

Таблица 2. Данные о сверхновых типа SNIa [20; 56]

№	SN	z	D_r , Мпк	Поле	№	SN	z	D_r , Мпк	Поле	№	SN	z	D_r , Мпк	Поле
1	1997ff	1,755	11748,97555	HDF	15	2003be	0,640	3999,447498	HDF	29	HST05Lan	1,230	9862,794856	HDF
2	2002dc	0,475	3076,096815	HDF	16	2003dy	1,340	9638,290236	HDF	30	HST04Tha	0,954	5888,436554	HDF
3	2002dd	0,950	6251,726928	HDF	17	2002ki	1,140	8749,837752	HDF	31	HST04Rak	0,740	4742,419853	HUDEF
4	2003aj	1,307	9954,054174	HUDEF	18	2003ak	1,551	10327,61406	HUDEF	32	HST05Zwi	0,521	2570,395783	HUDEF
5	2002fx	1,400	11376,27286	HUDEF	19	2002hp	1,305	7979,946873	HUDEF	33	HST04Haw	0,490	3221,068791	HDF
6	2003cq	0,840	5420,008904	HDF	20	2002fw	1,300	10280,16298	HUDEF	34	HST04Kur	0,359	1761,976046	HUDEF
7	2003es	0,954	7244,359601	HDF	21	HST04Pat	0,970	8590,135215	HDF	35	HST04Yow	0,460	2792,543841	HDF

№	SN	z	D_L , Мпк	Поле	№	SN	z	D_L , Мпк	Поле	№	SN	z	D_L , Мпк	Поле
8	2003az	1,265	8472,274141	HDF	22	HST04Mcg	1,370	11117,31727	HDF	36	HST04Man	0,854	6194,410751	HDF
9	2002kc	0,216	1164,126029	HDF	23	HST05Fer	1,020	6280,583588	HDF	37	HST05Spo	0,839	4897,788194	HDF
10	2003eb	0,900	5345,643594	HDF	24	HST05Koe	1,230	10814,33951	HDF	38	HST04Eag	1,020	8016,780634	HDF
11	2003XX	0,935	6223,002852	HDF	25	HST05Dic	0,638	3784,425847	HDF	39	HST05Gab	1,120	8590,135215	HDF
12	2002hr	0,526	4130,47502	HDF	26	HST04Gre	1,140	7726,805851	HDF	40	HST05Str	1,010	8994,975815	HDF
13	2003bd	0,670	4345,102242	HDF	27	HST04Omb	0,975	6950,243176	HDF	41	HST04Sas	1,390	9549,92586	HDF
14	2002kd	0,735	4246,195639	HDF	28	HST05Red	1,190	5345,643594	HDF	-	-	-	-	-

Перебор возможных комбинаций данных показал, что все выборки по отдельности композиционно однородную совокупность не образуют, и принятие гипотезы H_{000} возможно только за счет объединения выборок при увеличении СМПН, обращая внимание на наличие в модели членов, не зависящих от z .

Таблица 3. Проверка на композиционную однородность данных о SN Ia

№ п/п	Состав выборки	N	Наличие структурных элементов					q_0	H_0 , км·с ⁻¹ ·Мпк ⁻¹	СМПН, Мпк	Суммарный СМПН, Мпк
			θ_{000}	$\theta_{.0}(lb)$	$\theta_{001} \cdot z$	$\theta_{002} \cdot z^2$	$\theta_{.3} \cdot z^3$				
1	27 [13]	27	-	+	+	-	-	-	61,61158337	11,068886	
2	33 [55]	33	-	+	+	-	-	-	62,52214331	78,911354	
3	10 [13]	10	-	+	-	-	-	-	-	89,506042	
4	42 [15]	42	+	+	-	+	+	-	-	257,43274	
5	27+33	60	-	+	+	-	-	-	57,61546093	70,458221	
6	{27} + 33	27+33	$(27 \times 11,068886 + 33 \times 78,911354) / 60 =$								48,3822434
7	27+10	37	+	+	+	-	+	-	-	58,518127	
8	{27} + 10	27+10	$(27 \times 11,068886 + 10 \times 89,506042) / 37 =$								32,26811735
9	27+42	69	+	-	+	-	-	1,000733861	52,66547093	173,63211	
10	{27} + 42	27+42	$(27 \times 11,068886 + 42 \times 257,43274) / 69 =$								161,0294928
11	33+10	43	-	+	+	+	-	-2,150035384	72,65568241	136,25961	
12	33 + {10}	33+10	$(10 \times 89,506042 + 33 \times 78,911354) / 43 =$								81,37523493
13	33+42	75	+	+	+	+	+	1,541311597	87,55912376	227,31390	
14	33 + {42}	33+42	$(42 \times 257,43274 + 33 \times 78,911354) / 75 =$								178,8833302
15	27+10+33	70	-	+	+	-	-	-3,350638341	93,90931934	78,289024	
16	{27+10} + 33	37+33	$(37 \times 58,518127 + 33 \times 78,911354) / 70 =$								68,13207687
17	27+10+42	79	-	-	+	+	-	-0,14378664	60,80404234	247,42842	
18	{27+10} + 42	37+42	$(37 \times 58,518127 + 42 \times 257,43274) / 79 =$								164,2701997
19	10+42+33	85	-	-	+	+	-	-0,247404035	63,47458096	261,63760	
20	27+42+33	102	+	+	+	+	+	-1,441257709	86,27635027	170,36908	
21	27+10+42+33	112	-	+	+	+	-	0,6092962354	51,5893877	227,00719	
22	{27+10+33} + 42	70+42	$(70 \times 78,289024 + 42 \times 257,43274) / 112 =$								145,4679175
23	{10+42+33} + 27	85+27	$(27 \times 11,068886 + 85 \times 261,63760) / 112 =$								201,2326422
24	{27+33+42} + 10	102+10	$(10 \times 89,506042 + 102 \times 170,36908) / 112 =$								163,1491659
25	{27+10+42} + 33	79+33	$(79 \times 249,81485 + 33 \times 78,911354) / 112 =$								199,4593556

Примечание. Фигурными скобками обозначены объединения данных.

Лучший результат дало объединение данных табл. 1 с суммарным показателем неадекватности СМПН = 164,2701997 Мпк, то есть «чистые» сверхновые SNIa в лучший вариант объединения данных не вошли. Проверка показала, что в зависимости от алгоритма идентификации выводам № 1 и № 3 [15] соответствует разладка [0,763 → 0,828], а выводам № 2 и № 4 [13; 18] – разладки [0,44 → 0,48; 0,57 → 0,62] (табл. 4 и рис. 4, 5).

Таким образом, три существенных признака (№№ 1–3) «ускорения космологического расширения Вселенной» и «космического толчка» оказались связанными с разладками модели космологических расстояний, которые были обнаружены при проверке гипотезы H_{00} методом скользящей границы.

Таблица 4. Разладки модели шкалы $D_L(z)$ по красному смещению z [15]

Алгоритм	ММКМНК		ММКМЕДС				
Диапазон однородности	0,172...0,83		0,008...0,97				
Интервал непрерывности	0,172... 0,763	0,828 ...0,83	0,008...0,079	0,088...0,125	0,3 ... 0,44	0,48 ... 0,57	0,62 ...0,97
Объем выборки N	40	2	24	3	5	3	2
Код структуры	010000	100000	01000	01000	01000	01000	01000
H_0 , км·с ⁻¹ ·Мпк ⁻¹	60,63997578	–	63,28883891	60,34865774	51,68692898	48,01106332	42,36803086
СМПН, Мпк	279,2859	536,0161	11,97061	21,62077	274,2916	68,66854	1134,779
Общий СМПН, Мпк	291,5111476		113,4913127				

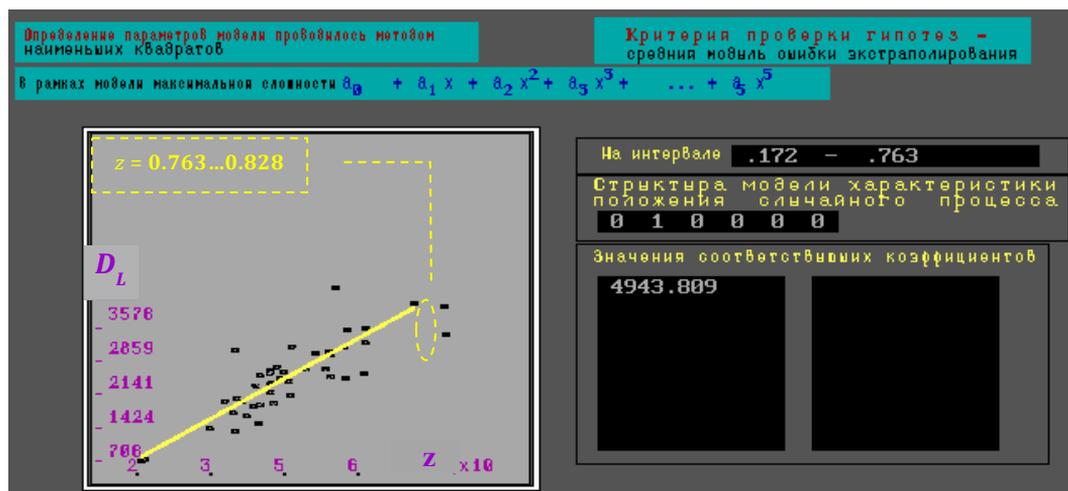


Рис. 4а. Программа «ММК-стат»: $H_0 = (299792,458)/4943 = 60,63997578$ км·с⁻¹·Мпк⁻¹
Разладка после SN 1997G ($z = 0,763$; $D_L = 3854$ Мпк)

Источник: составлено автором.

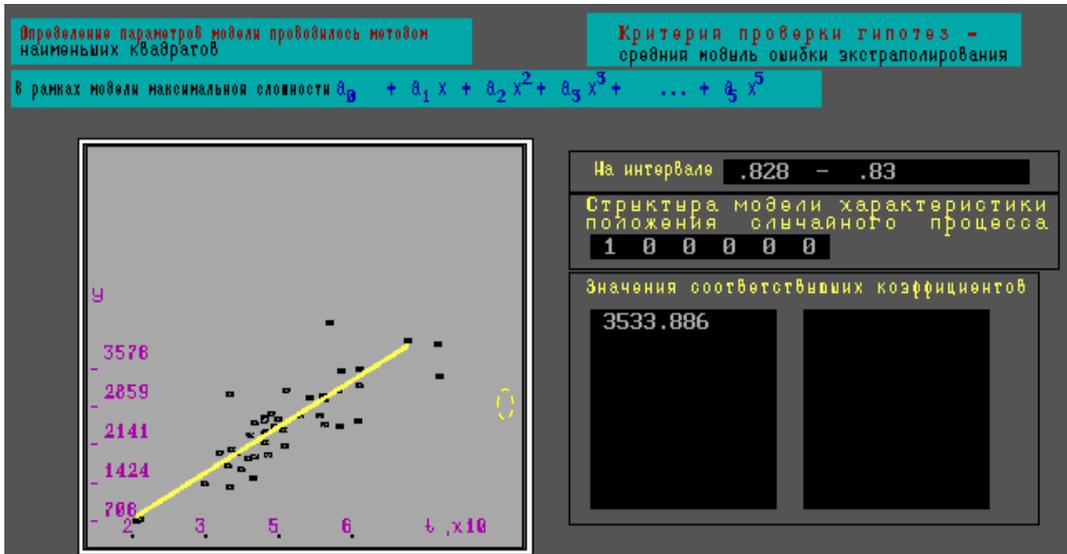


Рис. 46. Программа «ММК-стат»: разладка перед SN 1996cl ($z = 0,828$; $D_L = 3801$ Мпк)
Источник: составлено автором.

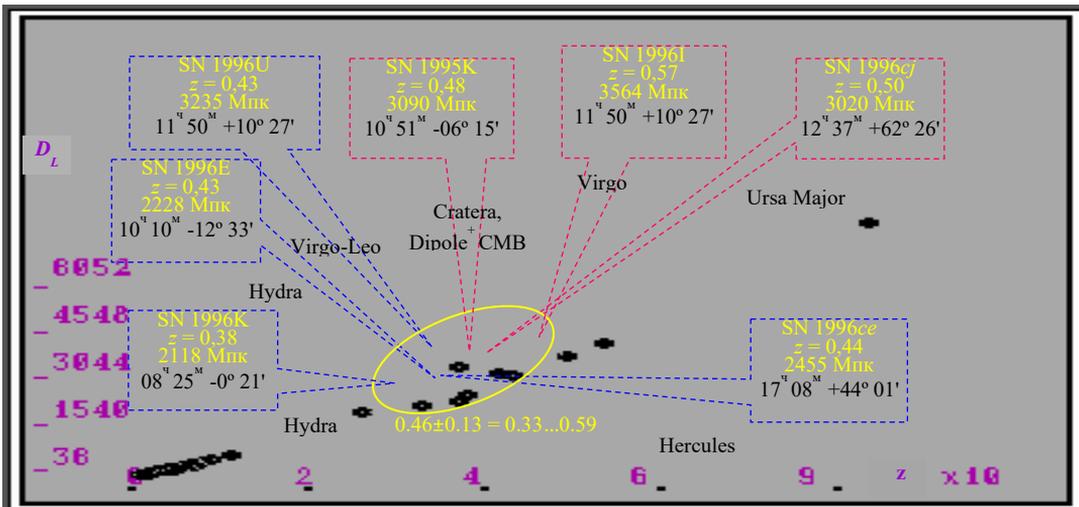


Рис. 5. Программа «ММК-стат»: разладка между SN 1995E ($z = 0,43$) и SN 1996I ($z = 0,57$)
Источник: составлено автором.

Разладки – «космические толчки» или гравитационные диполи

Внимание на то, что крупнейший структурный элемент наблюдаемой части Вселенной, сверхскопление сверхскоплений галактик в районе Северного галактического полюса и система гигантских пустот у Южного галактического полюса на противоположных полушарах неба, образуют диполь неоднородности, было обращено в 2013 году [51]. Это произошло одновременно с появлением данных зонда Planck [26], подтвердивших асимметрию средних температур СМВ на противоположных полушарах неба и существование большого Холодного пятна» порядка 2 миллиардов световых лет в диаметре.

Детализация супердиполя крупномасштабной неоднородности Вселенной (в дальнейшем подобные образования получили название *гравитационных диполей*) при помощи разладок модели шкалы космологических расстояний $D_L(z)$ с привязкой к гравитационным диполям дала результаты, представленные в табл. 5. Разладка оказалась и в «экстраординарных доказательствах» [20; 56] (табл. 6 и рис. 6),

$$D_L(z) = \begin{cases} 4138,4932z + 3706,3162z^2 - 740,00464z^4; & 0,216 \leq z \leq 1,390 \\ 6965,686275z; & 1,551 \leq z \leq 1,755 \end{cases},$$

причем разладка имеет место в обоих полях Хаббла с гравитационным диполем «Eridanus supervoid + Fornax void» → «Draco + Ursa Major» supercluster [58–59]:

$$D_{L-HDF}(z) = \begin{cases} 2007,844 + 4657,509z^2; & 0,460 \leq z \leq 1,340; \\ 6782,545; & 1,390 \leq z \leq 1,755 \end{cases};$$

$$D_{L-HUDF}(z) = \begin{cases} -1839,783 + 8979,296z; & 0,216 \leq z \leq 1,307 \\ 10787,25; & 1,370 \leq z \leq 1,551 \end{cases}.$$

Таблица 5. Разладки модели шкалы $D_L(z)$ и гравитационные диполи

№	SN Ia	$\alpha^{hms}/\delta^{o' ''}$	z	D_L , Мпк	z [*]	Supervoid	$\alpha^{hms}/\delta^{o' ''}$	Supercluster	$\alpha^{hms}/\delta^{o' ''}$
1	1997G	04 58 30,23 -3 16 04,0	0,763	3854,783577	0,73 [15]	Eridanus	3 ^h 15 ^m 05 ^s (-19° 35' 02") ±5°	Shapley	13 ^h 25 ^m (-30° 0' 0") ± 7°
						«Perseus + Pisces» voids	1 ^h +10°	Perseus- Pisces super filament	1 ^h 50 ^m ±36° 00'
	1994am	02 40 02,06 -1 37 14,9	0,372	1729,816359	0,37 [15]			Shapley attractor	13 ^h 28 ^m -31° 29'
2	1996K	08 24 43,49 -0 21 06,2	0,38	2118,361135	0,33- 0,59 [13]				
	1996U	11 50 33,51 +10 26 45,4	0,43	3235,936569		Sculptor void	23 ^h 48 ^m / -24° 39 ^m + 23,5 ^m / -35°	Ursa Major	11 ^h 11 ^m ...12 ^h 11 ^m ; 50°29'...58°37'
	1995K	10 50 46,95 -9 15 08,0	0,48	3090,295433		Aquarius	(23 ^h 20 ^m , -12° 32') + (22 ^h 25 ^m , -14° 46')	Virgo	12 ^h 27 ^m ±15 ^m ; +12° 43'
	1996I	12 00 39,43 -0 16 02,4	0,57	3564,511334					
3	1997G	04 58 30,23 -3 16 04,0	0,763	3854,783577	0,4 0,83 [15]	Aquarius	20 ^h 32 ^m ...23 ^h 50 ^m -25° 30'...+2° 45'	Leo	11 ^h 10 ^m ± 36 ^m ±28° 42'
	1996cl	10 56 59,13 -3 37 36,4	0,828	3801,893963		«Bootes + Sculptor» voids	14 ^h 50 ^m / 46° (23 ^h 48 ^m / -24° 39') + (23,5 ^m / -35°)	Perseus-Pi- sces	1 ^h 50 ^m / +36°
	1997ap	13 47 09,90 +2 23 57,5	0,830	3265,878322					

Таблица 6. Разладки модели шкалы $D_L(z)$ в полях Хаббла и гравитационный диполь

SNIa	z	D_L , Мпк	Ориентация поля
HST04Yow	0,460	2793	HDF: $\alpha = 12^{\text{h}} 36^{\text{m}} 49,4^{\text{s}}; \delta = +62^{\circ} 12' 58''$ Draco supercluster + Ursa Major supercluster: $\alpha = 11^{\text{h}} 11^{\text{m}} \dots 12^{\text{h}} 11^{\text{m}}; \delta = 50^{\circ}29' \dots 58^{\circ}37'$.
2003dy	1,340	9638	
HST04Sas	1,390	9550	
1997ff	1,755	11749	HUDF: $\alpha = 3^{\text{h}} 32^{\text{m}} 39,0^{\text{s}}; \delta = -27^{\circ} 47' 29,1''$ Eridanus supervoid + Fornax void: $\alpha = 01^{\text{h}} 45^{\text{m}} \dots 04^{\text{h}} 55^{\text{m}}; \delta = -39^{\circ} 40' \dots -1^{\circ} 30'$.
2002kc	0,216	1164	
2003aj	1,307	9954	
HST04Mcg	1,370	11117	
2003ak	1,551	10328	

Итак, все четыре конкретных признака «расширения Вселенной», упомянутые в [13–15; 18–20; 56], оказались связанными с разладками модели шкалы фотометрических расстояний $D_L(z)$.

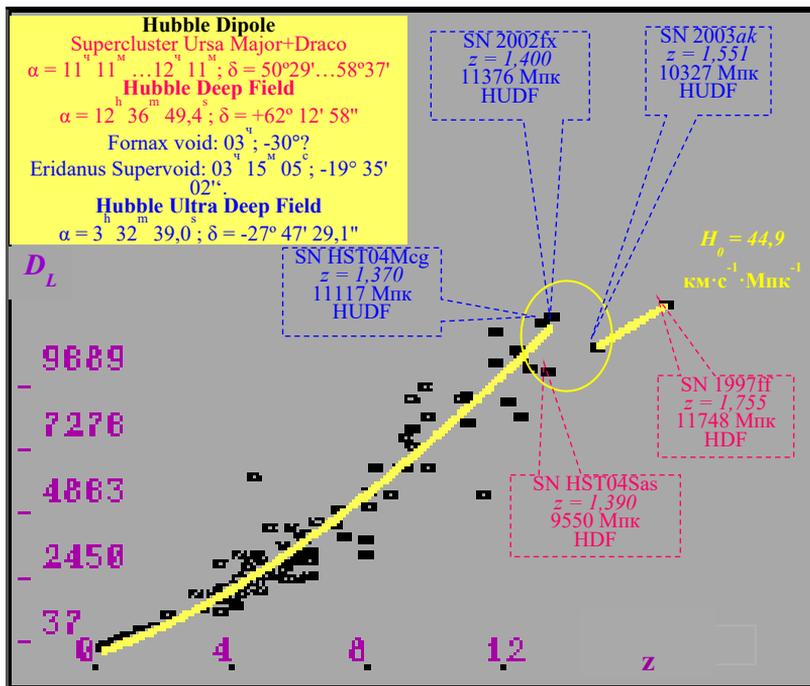


Рис. 6. Программа «ММК-стат»: диполь Хаббла, разладка (инверсия) между SN 2002fx ($z = 1,400$; $D_L = 11376$ Мпк) и SN 2003ak ($z = 1,551$; $D_L = 10327$ Мпк)

Источник: составлено автором.

В данных [15] были обнаружены еще две «неучтенные» разладки (см. табл. 4):

$$z = [0,079 \rightarrow 0,088] \text{ и } z = [0,125 \rightarrow 0,3].$$

Но они совпали с направлением на уже упомянутый Eridanus supervoid и минимум диполя анизотропии CMB Dipole⁻ (табл. 7). Правда, в направлении Orphiuchus supercluster в созвездии Змееносца ($\alpha = 17^{\text{h}} 10^{\text{m}}; \delta = -22^{\circ}$) был зафиксирован самый крупный из известных взрывов черной дыры [60].

Таблица 7. «Неучтенные» разладки модели шкалы $D_L(z)$ и гравитационный диполь

n	SN Ia	α h m s	$\delta^\circ ' ''$	z_n	D_{Ln} , Мпк	Supervoid	Supercluster
22	1992bp	3 37 51,02	-17 37 32,2	0,079	338,8441561	Eridanus supervoid 3 ^h 15 ^m 05 ^s (-19° 35' 02") ±5°	Shapley supercluster 13 ^h 25 ^m (-30° 0' 0") ± 7°
23	1992br	1 48 38,38	-56 30 47,7	0,088	438,5306978		
16	1996ab	15 22 46,24	27 20 4,6	0,125	633,8697113	Eridanus supervoid 3 ^h 15 ^m 05 ^s (-19° 35' 02") ±5°	Corona Borealis supercluster (15 ^h ...16 ^h / 25°...35°)
31	1996J	10 6 42,77	-12 27 39	0,30	1887,991349	Eridanus supervoid 3 ^h 15 ^m 05 ^s (-19° 35' 02") ±5°	«Hydra + Centaurus» supercluster (10 ^h ...14 ^h / -25°...-45°)

Заключение

В январе 2017 году группа Б. Талли моделированием по данным базы Cosmicflows-2 поля расстояний и скоростей 8188 галактик показала: «...в локальном потоке доминирует один аттрактор, связанный с Shapley supercluster, и один ранее не идентифицированный отталкиватель. Предполагается, что этот дипольный отталкиватель связан с пустотой в распределении галактик» [61]. Его назвали Dipole Repeller. Он прямо противоположен Shapley attractor ($\alpha = 13^h 28^m$, $\delta = -31^\circ 29'$) и его центр должен находиться в точке ($\alpha = 1^h 28^m$, $\delta = +31^\circ 29'$), хотя ближайшая пустота – Perseus-Pisces void с центром ($\alpha = 1^h$, $\delta = +10^\circ$).

В августе 2017 году группа Б. Талли уточнила зону притяжения как продолжение Shapley supercluster и указала две зоны отталкивания: один дипольный отпугиватель вблизи CMB Dipole⁻ ($\alpha = 23^h 09^m 14^s$, $\delta = +6^\circ 40' 20,4''$) в созвездии Рыб, а другой – в ближайшем направлении к Cold Spot CMB [62]. Cold Spot Repeller находится приблизительно в области отрицательной скорости Pisces-Cetus ($\alpha = 1^h 44^m$, $\delta = -13^\circ 20'$). Группа считает, что «это в направлении на CMB Cold Spot ($\alpha = 3^h 10^m 56,82^s$; $\delta = -20^\circ 37' 24,7''$). Отпугиватель в направлении Cold spot CMB является доминирующей функцией отрицательной плотности по данным Cosmicflows-3. Отклонение в направлении между зоной отпугивателя и Cold spot на 22° находится в пределах погрешности наших измерений» [62]. Но «рядом» находятся сразу две пустоты – «Pisces-Cetus» void ($\alpha = 0^h...2^h$, $\delta = +5^\circ...+15^\circ$) и Aquarius supervoid ($\alpha = 20^h 32^m...23^h 50^m$, $\delta = -25^\circ 30'...+2^\circ 45'$).

Важными результатами группы Б. Талли являются установление связи Shapley Attractor с CMB Dipole⁻ и уточнение положения Dipole Repeller в созвездии Андромеды (хотя ближайшая пустота Pegasus void в 33°) с указанием второго отпугивателя Cold Spot Repeller – Eridanus supervoid. Это согласуется с данными [48–51]. Следует учитывать, что хотя база Cosmicflows-3 [62] содержит данные о поле расстояний и скоростей 17 669 галактик, но ее основой является корреляция между вращением галактик и их светимостью (эмпирическое соотношение Талли–Фишера). Поэтому полученные результаты при сопоставлении с данными о разладках необходимо рассматривать как

решение одной и той же задачи методом косвенного измерения и методом калибровки.



Рис. 7. Схема расположения гравитационных диполей на карте экваториальных созвездий

Источник: составлено автором.

Главным же результатом описанных исследований является возможность альтернативного «космологическому расширению Вселенной» объяснения роли сверхновых типа SNIa в интерпретации данных астрофизических измерений. Общая же схема расположения гравитационных диполей (рис. 7) показывает, что эффект гравитационных диполей крупномасштабной неоднородности не является редкостью [63].

Литература

1. Лебег А. Об измерении величин / пер. с фр. О. И. Кисловской-Карской; под ред. и с предисловием А. Н. Колмогорова. Москва : Госучпедгиз, 1938.
2. Линник Ю. В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений. Изд. второе, испр. и доп. Москва : Физматгиз, 1962.
3. Левин С. Ф. Статистический анализ систем обеспечения эксплуатации технических объектов // Вопросы кибернетики, ВК-94. Москва : АН СССР, Научный совет по комплексной проблеме «Кибернетика», 1982. С. 105–122.
4. Левин С. Ф. Основы теории контроля. Москва : МО СССР, 1983.
5. Левин С. Ф., Блинов А. П. Научно-методическое обеспечение гарантированности решения метрологических задач вероятностно-статистическими методами // Измерительная техника. 1988. № 12. С. 5–8.
6. Левин С. Ф., Лисенков А. Н., Сенько О. В., Харатьян Е. И. Система метрологического сопровождения статических измерительных задач «ММК-стат М» : руководство пользователя. Москва : Госстандарт России, ВЦ РАН, 1998.
7. Ширяев А. Н. Обнаружение спонтанно возникающих эффектов // ДАН СССР. 1961. Т. 138, № 4. С. 799–801.
8. Ленг К. Астрофизические формулы : руководство для физиков и астрофизиков. Ч. 1. Москва : Мир, 1978.
9. Левин С. Ф. Метрологическая аттестация математических моделей в измерительных задачах гравитации и космологии // Теоретические и экспериментальные проблемы ОТО и гравитации : тезисы докладов X РГО. Москва : РГО, 1999. С. 245.
10. Wilkinson D. T., Partridge R. B. Large-scale density non-homogeneities in the Universe // Nature. 1967. Vol. 215. P. 719.
11. Carroll S., Press W., Turner E. The Cosmological Constant // Annual Review of Astronomy & Astrophysics. 1992. Vol. 30. P. 499–542.

12. *Zehavi I., Riess A. G., Kirshner R. P., Dekel A.* A Local Hubble Bubble from Type Ia Supernovae // *Astrophysical Journal*. 1998. Vol. 503 (2). 483. <https://doi.org/10.1086/306015>.
13. *Riess A.G. et al.* Observational evidence from supernovae for an accelerating universe and a cosmological constant // *Astronomical journal*. 1998. Vol. 116. P. 1009–1038.
14. *Schmidt B. P. et al.* High-Z Supernova Search: Measuring Cosmic Deceleration and Global Curvature of the Universe Using Type Ia Supernovae // *Astrophysics Journal*. 1998. Vol. 507. P. 46-63.
15. *Perlmutter S. et al.* Measurements of Ω and Λ from 42 high-red shift supernovae // *Astrophysical Journal*. 1999. Vol. 517. P. 565–586.
16. *Tonry J. L., Schmidt B. P., Riess A. G. et al.* Cosmological Results from High-z Supernovae // *Astrophysical Journal*. 2003. Vol. 594. P. 1–24.
17. *Heckmann O.-H. L.* Theorien der Kosmologie. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1942.
18. *Pucc A.* Дж. Нобелевская лекция. Стокгольм. 08.12.2011 г. // *Успехи физических наук*. Т. 183, № 10. С. 1090–1098.
19. *Перлмуттер С.* Нобелевская лекция. Стокгольм. 08.12.2011 г. // *Успехи физических наук*. 2013. Т. 183, № 10. С. 1060–1077.
20. *Riess A. G. et al.* Type Ia supernova discoveries at $z > 1$ from the Hubble space telescope: evidence for past deceleration and constraints on dark energy evolution // *Astrophysical Journal*. 2004. Vol. 607. P. 665–687.
21. *Visser M.* Jerk, snap, and the cosmological equation of state. arXiv:grqc/ 0309109v4 31 Mar 2004.
22. *Хопкинс Дж.* Толковый словарь английских терминов по астрономии и астрофизике / пер. с англ. А. И. Халлиулиной ; под ред. Д. Я. Мартынова. Москва : Мир, 1980.
23. *Keenan R. C., Barger A. J., Cowie L. L.* Evidence for a ~ 300 Mpc Scale Underdensity in the Local Galaxy Distribution // *Astrophysical Journal*. 2013. Vol. 775. arXiv: 1304.2884v5 [astro-ph.CO] 6 Aug 2013. doi:10.1088/0004-637X/ 775/1/62.
24. *Riess A. G. et al.* A 2.4 % Determination of the Local Value of the Hubble Constant // Preprint *Astrophysical Journal*. arXiv:1604.01424v3 [astro-ph.CO] 9 Jun 2016.
25. *Beaton R. L., Freedman W. L., Madore B. F. et al.* The Carnegie-Chicago Hubble program. I. An independent approach to the extragalactic distance scale using only population II distance indicators // *Astrophysical Journal*. 2016. Vol. 832, no. 2. P. 210. <https://doi.org/10.3847/0004-637X/832/2/210>; arXiv:1604.01788v3[astro-ph.CO] 11 Nov 2016. 22 p.
26. *Aghanaim N. et al.* (Planck Collaboration). Planck intermediate results. XLVI. Reduction of large-scale systematic effects in HFI polarization maps and estimation of the reionization optical depth // *Astronomy & Astrophysics manuscript*. arXiv:1605. 02985v2 [astro-ph.CO] 26 May 2016.
27. *Freedman W. L.* Cosmology at a Crossroads: Tension with the Hubble Constant // *Nature Astronomy*. 2017. Vol. 1. Article no. 0169. <https://doi.org/10.1038/s41550-017-0121>.
28. *Larson D. et al.* 7 year WMAP observations: power spectra and WMAP-derived parameters // Preprint WMAP. 26.01.2010. URL: http://lambda.gsfc.nasa.gov/product/map/dr4/pub_papers/sevenyear/powspectra/wmap_7yr_power_spectra.pdf. [*Astrophysical Journal Supplement Series*. 2011 February. N 192. P. 16 (19 pp.)].
29. *Фёрсттер Э., Ренц Б.* Методы корреляционного и регрессионного анализа. Москва : Финансы и статистика, 1983.
30. *Dunkley J. et al.* 5-year WMAP observation: Likelihoods and Parameters from the WMAP data // *Astrophysical Journal Supplements*. 2009. No. 180. P. 306.
31. *Komatsu E. et al.* Seven-year WMAP observations: Cosmological interpretation // *Astrophysical Journal Supplements*. 16.02.2010. 2011. No. 192. P. 18 (pp. 57). <https://doi.org/10.48550/arXiv.1001.4538>.

32. Левин С. Ф. Шкала космологических расстояний. Часть 5 : Метрологическая экспертиза по сверхновым типа SN Ia // Измерительная техника. 2016. № 8. С. 3–10. [Levin S. F. Cosmological distances scale. Part 5. Metrological Expert Opinion on Type SN Ia Supernovae // Measurement Techniques. 2016. Vol. 59, no. 8. P. 791–802.].
33. Левин С. Ф. Оптимальная интерполяционная фильтрация статистических характеристик случайных функций в детерминированной версии метода Монте-Карло и закон красного смещения. Москва : АН СССР, Научный совет по комплексной проблеме «Кибернетика», 1980. 56 с.
34. Nielsen J. T., Guffanti A., Sarkar S. Marginal evidence for cosmic acceleration from Type Ia supernovae // Scientific Reports. 2016. arXiv:1506.01354v3.
35. Левин С. Ф. Шкала космологических расстояний. Часть 6. Статистическая анизотропия красного смещения // Измерительная техника. 2017. № 5. С. 3–6. [Levin S. F. Cosmological distances scale. Part 6. Statistical anisotropy of red shift // Measurement Techniques. 2017. Vol. 60, no. 5. P. 411–417].
36. Левин С. Ф. Шкала космологических расстояний. Часть 7. Новый казус с постоянной Хаббла и анизотропные модели // Измерительная техника. 2018. № 11. С. 15–21. [Levin S. F. Cosmological Distance Scale. Part 7. A New Special Case with the Hubble Constant and Anisotropic Models // Measurement Techniques. 2018. Vol. 61, no. 11. P. 1057–1065].
37. Migkas K. et al. Probing cosmic isotropy with a new X-ray galaxy cluster sample through the L_X – T scaling relation // Astronomy & Astrophysics manuscript 2020-04-08 / arXiv:2004.03305v1 [astro-ph.CO]. 7 Apr 2020.
38. Di Valentino E., Melchiorri A., Silk J. Planck evidence for a closed Universe and a possible crisis for cosmology // Nature Astronomy. 2020. Vol. 4. P. 196–203.
39. Фок В. А. Квантовая физика и современные проблемы // Ленин и современное естествознание : сб. Москва : Мысль, 1969. С. 200.
40. Wilkinson D. T., Partridge R. B. Large-scale density non-homogeneities in the Universe // Nature. 1967. Vol. 215. P. 719.
41. Smoot G. F., Gorenstein M. V., Muller R. A. Detection of anisotropy in the cosmic blackbody radiation // Physical Review Letters. 1977. Vol. 39. P. 898.
42. Gorenstein M. V., Smoot G. F. Large-angular-scale anisotropy in the cosmic background radiation // Astrophysical Journal. 1981. Vol. 244. P. 361.
43. Aaronson M., Huchra J., Mould J., Schechter P. L., Tully R. B. The velocity field in the local supercluster // Astrophysical Journal. 1982. Vol. 258. P. 64.
44. Lubin P. et al. A map of the cosmic background radiation at 3 millimeters // Astrophysical Journal Letters. 1985. Vol. 298. L1-L5, 1985.
45. Cruz M., Cayón L., Martínez-González E., Vielva P., Jin J. The Non-Gaussian Cold spot in the 3-year WMAP data // Astrophysical Journal. 2007. Vol. 655. P. 11–20.
46. McClure M. L., Dyer C. C. Anisotropy in the Hubble Constant as Observed in the HST Extragalactic Distance Scale Key Project Results // New Astronomy. 2007. Vol. 12. P. 533–543.
47. Levin S. F. On spatial anisotropy of red shift in spectrums of ungalaxy sources // Physical Interpretations of relativity Theory // Proc. of XV International Scientific Meeting PIRT–2009. Moscow, 6–9 July, 2009. Moscow : BMSTU, 2009. P. 234–240.
48. Левин С. Ф. Измерительная задача идентификации анизотропии красного смещения // Метрология. 2010. № 5. С. 3–21.
49. Levin S. F. Identification of red shift anisotropy on the basis of the exact decision of Mattig equation // The VI International Meeting «Finsler Extensions of Relativity Theory»: Moscow – Fryazino, Russia, 1–7 November 2010 (Abstracts of reports). Moscow : BMSTU – RIHSGP, 2010. P. 2.

50. *Левин С. Ф.* Измерительные задачи статистической идентификации шкалы космологических расстояний // Измерительная техника. 2011. № 12. С. 17–22. [*Levin S. F.* Measurement problems in the statistical identification of the scale of cosmological distances // *Measurement Techniques*. 2011. Vol. 54, no. 12. P. 1334–1341].
51. *Levin S. F.* Photometric scale of cosmological distances: Anisotropy and nonlinearity, isotropy and zero-point // *Physical Interpretation of Relativity Theory: Proceedings of International Meeting PIRT–2013: Moscow, 1–4 July 2013* / ed. by M. C. Duffy et al. Moscow : BMSTU, 2013. P. 210–219.
52. *Макаров Д. И.* Движения галактик на больших и малых масштабах : дис. ... канд. физ.-мат. наук. Н. Архыз : CAO РАН, 2000. 119 с.
53. *Левин С. Ф.* Фотометрическая шкала космологических расстояний. Ч. II. «Неожиданные» совпадения // Измерительная техника. 2014. № 4. С. 3–7.
54. *Левин С. Ф.* Шкала космологических расстояний. Часть 18 : Красно-фиолетовый диполь и анизотропия красного смещения // Измерительная техника. 2024. № 5. С. 4–8. <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2024-5-4-8>.
55. *Левин С. Ф.* Шкала космологических расстояний. Часть 9. Параметр замедления // Измерительная техника. 2019. № 10. С. 8–14 [*Levin S. F.* Cosmological Distance Scale. Part 9. Deceleration Parameter // *Measurement Techniques*. 2019. Vol. 62. № 10. P. 855–862].
56. *Riess A. G. et al.* New Hubble Space Telescope discoveries of type Ia supernovae at $z \geq 1$: Narrowing Constraints of the Early Behavior of Dark Energy // *Astrophysical Journal*. 2007. Vol. 659. P. 98–121.
57. *Пружинская М. В.* Сверхновые звезды, гамма-всплески и ускоренное расширение Вселенной : дис. ... канд. физ.-мат. наук. Москва : МГУ им. М.В. Ломоносова, 2014. 149 с.
58. *Левин С. Ф.* Шкала космологических расстояний. Часть 14 : «Пузырь Хаббла» и гравитационный диполь // Измерительная техника. 2023. № 2. С. 4–11.
59. *Левин С. Ф.* Шкала космологических расстояний. Часть 16 : диполь Хаббла // Измерительная техника. 2023. № 6. С. 4–12.
60. *Giacintucci S. et al.* Discovery of a giant radio fossil in the Ophiuchus galaxy cluster // *Astrophysical Journal*. 2020. Vol. 891 (1): arXiv:2002.01291v1[astro-ph.GA] 4 Feb 2020.
61. *Hoffman Y., Pomarède D., Tully R. B., Courtois H.* The Dipole Repeller // *Nature Astronomy*. 2017. Vol. 1. Art. 36. arXiv:1702.02483v1[astro-h.CO] 8 Feb 2017.
62. *Courtois H. M., Tully R. B., Racah Y. H., Pomarède D., Graziani R., Dupuy A.* Cosmicflows-3: Cold Spot Repeller? // *Astrophysical journal*. Vol. 847, no. 1. P. 55. arXiv:1708.07547v1 [astro-ph.CO] 24 Aug 2017.
63. *Левин С. Ф.* Шкала космологических расстояний. Часть 15 : космический толчок и гравитационный диполь неоднородности // Измерительная техника. 2023. № 3. С. 10–15. [*Levin S. F.* The Cosmological distances scale. Part 15. Cosmic Jerk and gravitational dipole inhomogeneity // *Measurement Techniques*. 2023. Vol. 66, no. 3. P. 149–154. DOI 10.1007/s11018-023-02203-y].

**“ACCELERATION OF THE EXPANSION OF THE UNIVERSE”
AND SNIa-TYPE SUPERNOVAE
IN THE THEORY OF MEASUREMENT PROBLEMS**

S.F. Levin

*Bauman Moscow State Technical University
4 bldg, 5 2nd Baumanskaya St, Moscow, 105005, Russian Federation*

Abstract. A brief description of the theory of measurement problems as physical and mathematical problems for the solution of which the initial data are obtained by measurements is given. The results of applying this theory to the analysis of data on the redshift of SNIa supernovae in the format of the cosmological distance scale model used as evidence of the “acceleration of the expansion of the Universe” using the programs “MMK-stat” are considered. An alternative interpretation of these data can be the action of gravitational dipoles of large-scale inhomogeneity of the Universe.

Keywords: redshift, anisotropy, discord, inversion, gravitational dipole, supercluster of galaxies, giant void

DOI: 10.22363/2224-7580-2025-1-54-68

EDN: WJGVY

ОБ ОПТИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ ЗАКОНА ИНЕРЦИИ НЬЮТОНА: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Л.Г. Антипенко*

*Институт философии Российской академии наук
Российская Федерация, 109240, Москва, ул. Гончарная, д. 12, стр. 1*

Аннотация. В классической механике движение тела характеризуется скалярной и векторной мерами движения. Скалярная мера движения – это кинетическая энергия, векторная мера – это импульс, или количество движения. Обе эти меры подчиняются закону сохранения. В теории относительности выводится формула, в которой даётся отношение между массой тела и его энергией ($E = mc^2$). В эту формулу укладывается величина кинетической энергии движущегося тела, однако до сих пор нет ответа на вопрос, как надо интерпретировать энергию, которая эквивалентна массе покоящегося тела, то есть когда $m = m_0$. Попытка ответить на него привела автора к выводу о том, что в энергетическом балансе физического тела надо учитывать его внешнюю и внутреннюю энергию, в которой, в свою очередь, следует видеть сочетание *кинетической* и *потенциальной* энергии. Чтобы сделать такой вывод, пришлось обратиться к анализу закона инерции Ньютона, а затем к его обобщению на основании изучения феномена красного смещения электромагнитного излучения в астрофизике. В статье описывается квантовый подход к феномену красного смещения в спектрах галактик, а затем этот подход дополняется выводами, которые следуют из двуспиновой интерпретации решения квантово-релятивистского уравнения Дирака, описывающего свободное движение электрона. К числу фундаментальных результатов относится новый, не ортодоксальный, подход к построению космологической картины мира.

Ключевые слова: динамические законы Ньютона, красное смещение Хаббла, обобщённый закон инерции, внутренние степени свободы элементарных частиц, тензорное и спинорное исчисления, космология

Введение

Мы ставим задачу показать, каких результатов можно ожидать в современной физике и космологии, если подвергнуть коррекции первый и второй законы Ньютона в свете известного закона красного смещения закона Хаббла. Первый закон Ньютона гласит: «Всякое тело продолжает удерживаться в своём состоянии покоя или прямолинейного и равномерного движения, пока оно не принуждается приложенными силами изменить это состояние». Автор русского учебника по механике С.Э. Хайкин комментирует формулировку этого закона так: «Движение в отсутствии сил, о котором идёт речь в этом законе, называют движением по инерции, поэтому первый закон Ньютона

* E-mail: chistrod@yandex.ru

часто называют „законом инерции“» [1. С. 73]. Второй закон гласит: «Изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе и происходит по непременно той прямой, по которой эта сила действует», то есть

$$\frac{d\vec{P}}{dt} = \vec{F}, \quad (1)$$

где \vec{P} – импульс, а \vec{F} – действующая сила [1. С. 96]. Формула (1) применима и в релятивистском случае. А если скорость движения тела мала, тогда можно записать

$$\frac{d}{dt}(m_0\vec{v}) = \vec{F}, \quad m_0 \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F} \quad \text{или} \quad m_0\vec{j} = \vec{F}. \quad (2)$$

При больших скоростях движения тела (в специальной теории относительности) взаимоотношения между массой тела, силой и ускорением меняются и зависят от того, под каким углом действует на тело сила. Для двух крайних случаев, когда прилагаемые силы суть F_t и F_n (тангенциальная и перпендикулярная), имеют место следующие выражения (в терминологии автора).

1-й случай. Ускорение ортонормально (абсолютная величина скорости остаётся неизменной, меняется только её направление):

$$F_n = \frac{m_0\vec{j}_n}{(1 - \frac{v^2}{c^2})^{1/2}} \quad (3)$$

2-й случай (направление неизменно, меняется абсолютная скорость):

$$\vec{F}_t = \frac{m_0\vec{j}_t}{(1 - \frac{v^2}{c^2})^{3/2}}. \quad (4)$$

Здесь всё, что стоит перед величиной ускорения, относится к выражению величины массы, как и в нерелятивистской физике. Так что в этих двух разных случаях величина массы тела имеет разные значения, что и отметил в своей «Механике» Хайкин.

Но он оставил без внимания релятивистскую формулу

$$E_0 = m_0c^2, \quad (5)$$

где c – скорость распространения света в вакууме и (по совместительству) универсальная константа; m_0 – собственная масса (масса покоя) тела; E_0 – энергия, эквивалентная массе m_0 . Физики констатируют, что эта внутренняя энергия тела отличается от кинетической энергии, которую приобретает тело в процессе движения [2. С. 30]. При этом возникает вопрос, остаётся ли эта энергия неизменной в процессе инерциального движения. По Ньютону,

ответ на данный вопрос положителен, так как масса тела остаётся неизменной, как бы долго оно ни двигалось. То же самое относится к специальной теории относительности, так как и в ней собственная масса тела m_0 является инвариантом преобразований Лоренца. Нам предстоит показать, что при переходе к описанию инерциального движения частиц в квантовой механике массы частиц не остаются неизменными. При этом решается парадокс, касающийся совместимости третьего закона Ньютона о равенстве действия и противодействия с двумя первыми законами.

«Действие всегда есть, – цитирует Хайкин Ньютона, – равное и противоположное противодействие, иначе – взаимодействия двух тел друг на друга между собой равны и направлены в противоположные стороны» [1. С. 107]. Каждый на собственном опыте может убедиться в том, что, совершая поездку, скажем, на трамвае, он испытывает действие силы, возникающей в том случае, когда трамвай отклоняется от прямолинейного движения или меняет скорость движения. Но ведь каждый школьник знает о том, что, согласно третьему закону Ньютона, сила, действующая на тело A со стороны другого тела B (или какой-то системы тел) сопровождается обратным действием A на B , причём сила действия равна силе противодействия. Поэтому и возникает вопрос, остающийся без ответа: по какому адресу «проживает» адресат, испытывающий реакцию тела A . Многие физики полагали, что ответ можно найти в общей теории относительности (ОТО). Однако, как заметил акад. Л.И. Седов, в этой теории «за счёт искривления четырёхмерного пространства исключаются не только силы инерции, но и силы тяготения» [3. С. 39].

Так откуда же берётся сила противодействия силам инерции? Если её нет, как указывал Седов в Солнечной системе, то её, надо думать, нельзя найти и за пределами Метагалактики, вообще в бесконечности. В таком случае, быть может, надо отвернуться от её поисков на бесконечности и повернуться к самим материальным частицам, к их энергетическим затратам или преобразованиям. И первый шаг в исследованиях на этом пути состоит в подходе к квантовому выражению астрофизического закона Хаббла, закона красного смещения в спектрах галактик

Значение квантового подхода к изучению феномена красного смещения линий в спектрах галактик для астрофизики и космологии

Здесь совершается переход к квантовому описанию электромагнитного поля, к рассмотрению движения его квантов (фотонов), для каждого из которых определяется энергия

$$E = h\nu. \quad (6)$$

Теперь мы должны соизмерять между собой частоту колебаний фотона и пройденный им путь от источника до приёмника, то есть сочетая частотно-колебательный процесс с мерой поступательного движения. Посмотрим, как конкретно выглядит это сочетание. Допустим, что фотон переносится из

точки A в точку B . Тогда время, расходуемое на его существование, определяется (подсчитывается) по расстоянию, которое он преодолевает в своём путешествии:

$$t = \frac{r_{AB}}{c}. \quad (7)$$

От величины времени, определяемого по формуле (7), зависит величина красного смещения. Зависимость эта если не линейная, то, во всяком случае, строго монотонная. Определение величины z красного смещения даётся формулой

$$z = \frac{\nu_0 - \nu}{\nu}, \quad (8)$$

где ν_0 – частота фотона, испущенного источником, а ν – частота фотона, зафиксированная приёмником. По закону Хаббла

$$z = Ht, \quad (9)$$

при том, что $t = \frac{r}{c}$ (r – расстояние до источника, c – скорость света), H – параметр Хаббла.

Далее выясняется, что формула (9) оказывается приближительной и потому её подвергают коррекции. На место t ставят масштабный фактор $a(t)$. И тут, как нам представляется, наиболее подходящий выбор масштабного фактора сделан С.Б. Алемановым [4]. В основу этого выбора он положил функцию $e^{-H_0 t}$ вместе с заменой символа H на символ H_0 . Получилась следующая зависимость частоты фотона от времени его движения:

$$\nu(t) = \nu_0 e^{-H_0 t}. \quad (10)$$

Теоретическим оправданием формулы (10) служит то обстоятельство, что хаббловская закономерность (9) выражает собой первое приближение к экспоненте (10). Действительно, разлагая $e^{-H_0 t}$ в степенной ряд, получим в качестве первого приближения выражение

$$\nu(t) \approx \frac{\nu_0}{1 + H_0 t}. \quad (11)$$

Подстановка значения $\nu(t)$ в формулу (8) даёт формулу (9). Алеманов утверждает, что более точное значение величины красного смещения, рассчитанной по формуле

$$z = e^{H_0 t} - 1, \quad (12)$$

в большей же мере соответствует данным астрофизических наблюдений.

Однако главное, что составляет суть его научного открытия, это – переход от рассмотрения процесса распространения электромагнитных волн к рассмотрению движения фотонов, что и позволило ему ввести понятие

удельного смещения z_T , то есть смещения, перепадающего на один период колебания фотона T .

В строгой последовательности цепь соответствующих рассуждений должна выглядеть следующим образом. Если ν – частота фотона, то период его колебаний будет равен

$$T = \frac{1}{\nu}. \quad (13)$$

Подставляя его в формулу (9), получим

$$z_T = Ht = \frac{H}{\nu}. \quad (14)$$

Если за время своего путешествия фотон совершит n периодов колебаний, то сдвиг его частоты окажется равным

$$z_f = n \frac{H}{\nu}. \quad (15)$$

В таком случае переменный параметр Хаббла H приобретает статус постоянной величины:

$$H = H_0 = \text{const}. \quad (16)$$

К интерпретации этой константы мы вернёмся ниже, а здесь отметим следующие моменты.

1. Мы констатируем факт того, что свободное движение фотона на просторах Метагалактики сопровождается потерей присущей ему энергии. Поэтому оно даёт основание по-новому интерпретировать закон инерциального движения Ньютона, скорректировать в том смысле, что инерциальное движение частиц как безмассовых, так и обладающих собственной массой, сопровождается трансформацией энергии. Отсюда ставится задача указать, какой вид имеет эта трансформация для массовых частиц.

2. Мы должны констатировать, что попытка интерпретировать закон красного смещения в терминах эффекта Допплера является ложной. Несостоятельной является и попытка интерпретировать его как показатель расширения Вселенной.

Обычно обе эти интерпретации совмещают между собой, не замечая того, что они логически противоречат друг другу. Так, к примеру, в известной книге Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшица «Теория поля» говорится следующее: «Это предсказание теории (имеется в виду космологическое «разбегание» галактик. – *Л.А.*) следует поставить в соответствие с фундаментальным астрономическим фактом – эффектом красного смещения линий в спектрах галактик. Истолковав это смещение как доплеровское, мы приходим к заключению о «разбегании» галактик, то есть о том, что в настоящее время Вселенная расширяется» [6. С. 444]. Ошибка в данном истолковании заключается в том, что формула расчёта доплеровского эффекта работает только в том случае, когда пространственное расстояние, по которому движется источник

излучения, остаётся неизменным. Только тогда мы можем установить, с какой скоростью движется источник сигнала и рассчитать величину увеличения или уменьшения частоты волнового процесса.

К этому вопросу мы ещё вернёмся ниже, а здесь посмотрим, как выглядит инерциальное движение частиц, у которых масса покоя не равна нулю. Будет показано, что в координату времени, соответствующего свободному движению частицы, включается элемент (стихия) вращательного движения. К такому выводу подводит знакомство с решением уравнения Дирака и с его двуспиновой интерпретацией [7. С. 349–368].

Значение двуспинового подхода к решению и интерпретации квантово-релятивистского уравнения Дирака в области фундаментальной физики и космологии

В концепции квантовых кристаллов времени, разработанной Ф. Вилчеком, время представлено двумя противоположными компонентами в виде iT и $-iT$, где мнимая единица и комплексное сопряжение двух этих величин свидетельствуют о том, что во времени совершаются вращательные процессы, имеют место дискретные переходы от правостороннего вращения к левостороннему, и обратно [7]. Величина времени умножается здесь на мнимую единицу ad hoc. В нашем же представлении мнимая единица добавляется к величине времени в рамках логически последовательного решения дираковского уравнения, когда производные по времени переводятся в ранг операторов $i \frac{d}{dt}$ и $-i \frac{d}{dt}$. При этом возникает задача определиться с линейными и нелинейными операторами, действующими в гильбертовом пространстве. Использование линейных операторов обусловлено принципом суперпозиции квантовых состояний движения. (Для выполнения принципа суперпозиции необходимо, чтобы уравнения, которым удовлетворяют волновые функции, были линейными.) Однако квантовая механика оперирует и нелинейными операторами. К их числу относится антиунитарный (нелинейный) оператор обращения времени. При двуспиновой интерпретации требуется учитывать взаимоотношение между теми и другими.

Воспроизведём коротко последовательность тех шагов, которые предпринял Дирак при составлении своего уравнения, его решении и интерпретации [8. С. 349–356].

Поставлена задача преобразования уравнения Шредингера

$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = H\Psi \quad (17)$$

таким образом, чтобы оно приобрело релятивистски инвариантную форму. Для этого гамильтониан H сочетается с релятивистским выражением энергии движущейся частицы:

$$E^2 = \vec{p}^2 c^2 + m^2 c^4. \quad (18)$$

В результате имеем

$$\{p_0 - (m^2c^2 + p_1^2 + p_2^2 + p_3^2)^{\frac{1}{2}}\}\psi = 0, \quad (19)$$

где p_0 обозначает $\frac{\partial}{\partial x_0}$ ($x_0 = t$), а $p_1 = i\hbar \frac{\partial}{\partial x}$, $p_2 = i\hbar \frac{\partial}{\partial y}$, $p_3 = i\hbar \frac{\partial}{\partial z}$.

В полученном таким образом уравнении (19) везде стоят операторы, и всё выражение, стоящее перед волновой функцией ψ , рассматривается в целом как оператор. Но это уравнение неудовлетворительно по нескольким причинам, на которые указывает Дирак. Поэтому предлагается умножить его слева на оператор $\{p_0 + (m^2c^2 + p_1^2 + p_2^2 + p_3^2)^{\frac{1}{2}}\}$, в результате чего образуется релятивистски инвариантное уравнение

$$\{p_0^2 - m^2c^2 - p_1^2 - p_2^2 - p_3^2\}\psi = 0. \quad (20)$$

Однако, отмечает Дирак, оно не вполне эквивалентно уравнению (19), потому что, хотя каждое решение (19) есть решение (20), но обратное неверно. Только те решения (20), которые соответствуют положительным значениям p_0 , являются решениями (19) [8. С. 352]. Заметим от себя, что оператор p_0^2 свидетельствует о том, что может быть дополнительное решение уравнения (20), соответствующее отрицательному значению p_0 , но этот оператор нелинейный, поэтому было непонятно, как с ним в данном случае обращаться. Дирак в связи с этим пишет, что вид волнового уравнения (20) не вполне согласуется с общими положениями квантовой механики, поскольку оно квадратично относительно t вместо того, чтобы быть линейным по отношению к $\frac{\partial}{\partial t}$ или p_0 [8. С. 352].

Выход из затруднения, предложенный автором, заключается в том, чтобы найти лоренц-инвариантную форму представления уравнения (20) и вместе с тем линейную относительно всех четырёх операторов p_0, p_1, p_2, p_3 . Дирак выписывает следующее основополагающее уравнение для дальнейших поисков:

$$\{p_0 - \alpha_1 p_1 - \alpha_2 p_2 - \alpha_3 p_3 - \beta\}\psi = 0, \quad (21)$$

где α и β не зависят от p и предстают как четырёхмерные матрицы, которые позволяют наделить электрон новой степенью свободы – спином. При этом надо было преобразовать его таким образом, чтобы оно удовлетворяло критерию инвариантности. Для этого Дирак умножил его слева на оператор $\{p_0 + \alpha_1 p_1 + \alpha_2 p_2 + \alpha_3 p_3 + \beta\}$. Тем самым было получено выражение, совпадающее с (20) при условии, что коэффициенты $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ и оператор β подчиняются следующим требованиям:

$$\alpha_a \alpha_b + \alpha_b \alpha_a = 2\delta_{ab}, \quad (a, b = 1, 2, 3); \quad \beta = \alpha_m mc,$$

где

$$\alpha_m = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

Однако в этом месте Дираком была допущена ошибка, повлекшая за собой цепь других ошибочных предположений. Дело в том, что само по себе уравнение (21) не эквивалентно (20) и, следовательно, не является релятивистски инвариантным. Дирак же утверждает, что, придавая величинам α и β подходящие свойства, можно сделать уравнение (21) эквивалентным (20), по крайней мере, постольку, поскольку дело касается движения электрона как целого. Мы можем теперь, пишет он, предположить, что уравнение (21) «есть правильное релятивистское волновое уравнение для движения электрона в отсутствие поля» [8. С. 353]. При этом опять же делает оговорку, что здесь имеется трудность, вызванная тем фактом, что уравнение (21), по аналогии с (20), не является в точности эквивалентным уравнению (19), «но допускает также и решения, соответствующие отрицательным значениям p_0 , а не только положительным» [3. С. 353]. И добавляет: «Первые, разумеется, не соответствуют какому-либо действительно наблюдаемому движению электрона» [8. С. 353].

Ошибка Дирака состоит в том, что, отбрасывая решение с отрицательным значением p_0 как непригодное для физики, он не замечает того, что в уравнении (19) оператор $m^2 c^2$ обязывает принимать два численных значения массы электрона: $+m$ и $-m$. Отсюда правомерно согласование положительного и отрицательного значений p_0 с положительным и отрицательным значениями m . На это обстоятельство обратил внимание Р. Пенроуз [9. С. 519–528]. Он указал, что частица, описываемая уравнением Дирака, имеет всего две компоненты спина, несмотря на то, что у волновой функции четыре компоненты. Дирак зачислил две из них, соответствующие отрицательной массе частицы, на счёт позитрона. «Однако было бы заблуждением считать, – пишет Пенроуз, – что две компоненты уравнения Дирака относятся к электрону, а две другие – к позитрону...» [9. С. 526].

Этого замечания Пенроуза для нас достаточно, чтобы оставить в стороне «дырочную» теорию Дирака как не оправдавшую себя и заняться непосредственно вопросом о смысле положительной и отрицательной массы электрона. Начнём с замечания о том, что, когда мы входим по традиции в область квантово-механического описания физических явлений, мы привносим туда классическое (в смысле – аналитическое) представление времени. Кроме того, заранее нельзя исключать того, что, когда уравнение (18) используется для составления уравнения Дирака, величина массы электрона m должна рассматриваться как вероятностно усреднённая масса частицы. Эти суждения правдоподобны в той же мере, в какой принято считать наблюдаемую скорость движения электрона *средней* скоростью, поскольку она всегда меньше

скорости распространения света c , хотя в уравнении Дирака значится только скорость c .

Дирак по этому поводу пишет следующее: «Поскольку электроны, наблюдаемые на практике, имеют скорости существенно меньшие скорости света, то может показаться, что мы имеем здесь противоречие с экспериментом. Это, однако, не является действительным противоречием, поскольку теоретическая скорость в вышеприведенном заключении есть скорость в определённый момент времени, тогда как наблюдаемые скорости всегда являются средними скоростями по некоторому конечному интервалу времени» [8. С. 361]. В дальнейшем, добавляет он, при рассмотрении уравнений движения будет показано, что скорость вообще не является постоянной, но быстро осциллирует вокруг среднего значения, которое согласуется с наблюдаемой величиной [8. С. 361].

Однако этими разъяснениями указанное Дираком противоречие не разрешается, так как он апеллирует к средне-арифметической (по времени) скорости, а в квантовой механике все средние величины суть величины средне-вероятностные. Поэтому если частица движется, скажем, из точки A в точку B со скоростью $v < c$, а теоретически ей приписывается скорость c , то для объяснения данного обстоятельства надо посмотреть, что происходит с временем, когда совершается движение частицы со скоростью, меньшей скорости света.

Теория относительности устанавливает определённый порядок между кинематическими и динамическими величинами. Снова напоминаем, что в порядке этих взаимоотношений собственная масса частицы («масса покоя») является величиной инвариантной. Но это при том условии, что и время неизменно подчиняется правилам преобразований Лоренца. Однако в релятивистской квантовой механике темпоральная характеристика процессов претерпевает изменение, поскольку в структуре времени открываются переходы от it к $-it$ и обратно, о чём можно судить по наличию двух операторов $i\hbar \frac{\partial}{\partial t}$ и $-i\hbar \frac{\partial}{\partial t}$, действующих на волновую функцию. А они служат показателями того, что электрон обладает внутренними степенями свободы, помимо спина. К спину добавляются переходы между массой положительной и массой отрицательной, между зарядом отрицательным и зарядом положительным. Каждому значению этих переменных соответствуют свои амплитуды вероятности.

Теперь о том, к чему здесь понятие спиноров. Спинором (от англ. spin – вращаться) называется математическая конструкция, характеризующаяся особым законом преобразования при переходе от одной системы координат к другой. Спиноры первой валентности задаются двумя комплексными числами, которые при повороте системы координат трёхмерного евклидова пространства на угол 2π , возвращающий её в исходное состояние, меняют знак (плюс на минус, минус на плюс). Компонентами квантового спинора служат две волновые функции. Знаки их при аналогичном преобразовании меняются под воздействием двухмерных матриц Паули (подробнее см. в книге

Пенроуза [9, с. 189, 467]). При этом переход от функции ψ к функции комплексно сопряжённой ψ^* и есть переход от спинора к антиспинору. Двуспинорная интерпретация означает сочетание спинора и антиспинора в системе описания одной и той же частицы. У Дирака она распадается на описание электрона и позитрона [8. С. 376–379].

Отношение Дирака к этому спорному вопросу зависит от определений, которые он принял для спиноров, локализованных или в обычном трёхмерном евклидовом пространстве, или в гильбертовом пространстве [10]. Спиноры, подобно тензорам, пишет Дирак, суть геометрические объекты в нашем пространстве, компоненты которых преобразуются линейно при преобразовании пространственных координат. Они отличаются от тензоров в том отношении, что меняют знак при полном вращении вокруг всякой оси (тензоры не меняют). Таким образом знак спинора всегда может быть выбран произвольно [10. С. 9]. Затем Дирак делает оговорку, существенную для его позиции, что, хотя спиноры могут существовать в реальном евклидовом пространстве с любым числом измерений (большим одного), они могут также существовать в других пространствах, в которых имеет смысл понятие перпендикулярности. Важным примером служит пространство Минковского.

В отношении примера с пространством Минковского нельзя согласиться, так как измерение времени существенно меняет структуру евклидова пространства. У Дирака нет ответа на вопрос о том, как быть со спинором в неевклидовом пространстве Лобачевского, ведь в нём фигурируют линейные ряды вещественных и мнимых точек. Однако при рассмотрении структуры гильбертова пространства Дирак налагает на неё атрибут аналитичности, что ставит её в один ряд с действительной, или вещественной, структурой евклидова пространства.

Более конкретные суждения автора о гильбертовом пространстве выглядят так. Под «гильбертовым пространством», пишет он, мы будем понимать то, что математики называют сепарабельным гильбертовым пространством. Это – пространство векторов, каждому из которых соответствует счётное число координат q_1, q_2, q_3, \dots и каждому вектору приписывают квадрат длины, равный $\sum_r |q_r|^2$. Величины q_r можно считать координатами вектора в гильбертовом пространстве лишь при том условии, что ряд квадрата длины сходится. И далее: «Если представить координату q_r в виде суммы действительной и мнимой частей: $q_r = x_r + iy_r$, то квадрат вектора длины будет равен $\sum_r (x_r^2 + y_r^2)$. Величины x_r и y_r можно рассматривать как координаты нового вектора. Это тоже вектор гильбертова пространства, но уже действительный вектор, то есть вектор с действительными координатами.

Таким образом, в гильбертовом пространстве комплексным вектором определяется действительный вектор» [10. С. 7]. После этого идёт пояснение, что хотя второму вектору соответствует, на первый взгляд, вдвое большее число координат, чем первому, но удвоенная счётная бесконечность остаётся счётной бесконечностью, так что в действительности второй вектор содержит точно такое же число координат, как первый. «Стало быть, в гильбертовом

пространстве комплексный вектор не является более общим вектором, нежели действительный вектор» [10. С. 7].

Здесь, таким образом, Дирак допустил две ошибки. Во-первых, при определении гильбертова пространства он говорит о счётном числе координат. А далее, когда сравнивает и отождествляет количество координат действительных и количество координат комплексных, он счётное число подменяет числом счётно бесконечным. Понятно, что в случае конечных чисел количество одних и других координат будет разным. А вторая ошибка заключается в том, что нет никаких оснований, при операциях в гильбертовом пространстве, исключать операцию перехода от комплексного числа $z = x + iy$ к комплексно сопряженному числу $\bar{z} = x - iy$. (В самом деле, нельзя же полагать, будто, скажем, антиунитарный оператор обращения времени действует не в гильбертовом пространстве, а где-то вне его!). Поэтому нельзя исключать переход в одном и том же квантовом процессе от спинора к антиспинору.

Теперь спросим: может ли меняться масса электрона, как и любого другого фермиона, с течением времени подобно тому, как меняется масса фотона в эффекте хаббловского красного смещения? Положительный ответ на этот вопрос дал в своё время А.Д. Сахаров в статье «Вакуумные квантовые флуктуации в искривлённом пространстве и теория гравитации» [11]. С течением времени квантовая вероятностная весомость отрицательной массы в электроне уменьшается, электрон тяжелеет.

Заключение

Основная трудность в постижении того, что излагается в данной статье, состоит даже не в том, чтобы понять двойственный состав электрона и позитрона. К такому выводу и частичному его обоснованию подошёл в своё время В.А. Фок [12. С. 317, 314]. Трудность состоит в новом, квантово-механическом понимании времени. Всё начинается с установления следующего квантово-механического факта: всякая мгновенная связь (перепутывание) между квантовыми частицами и событиями, будь то редукция волновой функции или то, что имеет место в парадоксе Эйнштейна – Подольского – Розена, сопровождается фазовым сдвигом во времени. И этот фазовый сдвиг имеет конечную минимальную величину, подобно тому, как величина физического действия складывается из квантов, каждый из которых равен постоянной Плана h . Минимальный дискретный фазовый сдвиг времени может мыслиться только как сдвиг фазы, соотносимой с половиной временного периода. Частота и направление этих сдвигов определяется, как обычно в квантовой механике, амплитудами вероятности. С этими сдвигами согласуются распределённые во времени скачки между противоположными (по знаку) массами. Минимальный период времени, естественно, приравнивается планковскому элементу времени: $t_p = (\hbar G / c^5)^{1/2}$, где G – гравитационная постоянная.

Если после этих разъяснений возвратиться к вопросу о том, где находится адресат обратного действия, направленного навстречу силе, выводящей движущуюся частицу (электрон) из состояния инерциального движения, то на

него мы отвечаем, что он находится не снаружи, а внутри частицы. Реакция как инерциальная сила возникает в результате перераспределения вероятностей, определяемых статистикой переборки во времени положительной и отрицательной массы. Если так, то для описания пространства-времени и гравитации надо использовать спинорный язык. Тензорный язык для этого не подходит, а гравитационные уравнения Эйнштейна, лежащие в основе общей теории относительности (ОТО), дают либо ложные, либо бессмысленные результаты. Особенно это относится к концепции Большого взрыва и расширения Вселенной.

Серьезную критику ОТО и основанной на ней космологии представил в своей книге «Другая Вселенная» Р.Б. Лафлин [13]. Мы процитируем кратко её центральные положения под углом зрения того, что может быть разработан принципиально иной подход к формированию космологической картины мира. Его можно было бы назвать *оптическим*.

В математических уравнениях ОТО, описывающих гравитационное поле, напоминает Лафлин, выражается соотношение между тензором импульса-энергии (материи) и кривизной четырёхмерного пространства. (Лафлин называет тензор импульса-энергии (материи) напряжением энергии (stress-energy).) Из уравнений следует, что пространство-время может пульсировать, покрываться рябью (ripple) в дополнение к его натяжению. Этот вывод вроде согласуется с нашей физической интуицией по аналогии с тем, как распространяется сейсмическая волна на поверхности Земли, когда происходит землетрясение. Но вот незадача! С одной стороны, мы, отмечает Лафлин, придерживаемся точки зрения, основанной на успехе (специальной) теории, *согласно которой пространство есть нечто фундаментально отличное от материи, движущейся в нём*. С другой стороны, вполне очевидно сходство между эйнштейновской гравитацией и динамической искривлённостью *реальных* (курсив наш. – Л.А.) поверхностей – сходство, наталкивающее нас к описанию пространства-времени как материальной ткани (fabric). («Смышлёные молодые студенты неизбежно сосредоточиваются на этом моменте и спрашивают профессора о том, что же движется, когда распространяется гравитационная радиация. Они получают ответ, что движется само пространство-время, от чего их бросает в озноб. Ведь это подобно учению о том, что поверхность моря волнуется потому, что есть волнующаяся поверхность» [13. С. 123]).

Любопытство студентов, говорит далее Лафлин, не является ни наивным, ни неуместным. Было ясно, что уравнения ОТО надо скорректировать, чтобы заполнить имеющуюся пустоту (empty). Коррекция сводилась к добавлению в уравнения известной космологической константы, которая могла бы иметь физическое значение «однородной плотности массы релятивистского эфира». «Эйнштейн первоначально, – пишет Лафлин, – установил эту константу равной нулю на том основании, что такой эффект [эфира] казался несуществующим. Ведь вакуум, насколько тогда было всякому известно, был реальной пустотой. Затем он придал ей ненулевое значение... позже удалил её опять...» [13. С. 123].

Теперь, отмечает далее Лафлин, манипуляции с космологической константой вошли в моду. Но никто не замечает здесь более глубокой проблемы. Она связана с мистической верой в то, что симметрия теории относительно (отождествление пространства-времени с материей) является *абсолютной*, не может нарушаться по любой причине на любой шкале длины [13. С. 124]. Но идея абсолютной симметрии не имеет смысла. Если теория относительности *всегда* верна, то к тому должно быть указано основание. Так, если мы, по словам Лафлина, пытаемся использовать релятивистские уравнения, описывающие спектроскопию вакуума, мы сталкиваемся с фактом их бессмысленности, если только не отбрасывается на чрезвычайно коротких расстояниях релятивность или равно важная калибровочная инвариантность [13. С. 124].

Выясняя сущность физического вакуума, Лафлин приходит к выводу о существовании эмерджентных физических систем, эмерджентной материи. Что считать вообще первичным – законы взаимодействия отдельных частей, из которых возникает целое, или (эмерджентный, коллективный) конденсат? Лафлин склоняется ко второй альтернативе, относя физический вакуум к эмерджентному целому. Теория относительности, утверждает автор «Другой Вселенной», ничего не говорит о том, существует ли материя, пропитывающая вселенную, а только о том, что всякая такая материя должна иметь релятивистскую симметрию. Однако игнорировать существование физического вакуума нельзя, если не пренебрегать соответствующими, на сей счёт, экспериментами. Физический вакуум следовало бы назвать точнее – динамическим эфиром, если бы на это название не было наложено табу [13. С. 121].

А потому: «Точка зрения, что пространство-время, не будучи субстанцией, обладает субстанциально-подобными свойствами, ни логически, ни в последовательно-физическом плане не согласуется с фактами. Вместо этого она представляет собой идеологию, выросшую на почве старых споров по поводу законности теории относительности» [13. С. 123–124]. Точно так же, по мнению Лафлина, созданная на основании этой теории космология не согласуется с астрофизическими фактами. Концепция эмерджентных состояний материи предполагает наличие фазовых переходов между ними. В нобелевской лекции «Дробное квантование» Лафлин высказал следующее важное суждение: «Я подозреваю, что все выдающиеся проблемы в физике, включая квантовую гравитацию, по сути связаны с такими коллективными явлениями, которые нельзя вывести из свойств составляющих систему частей» [14. С. 292].

Станным, по Лафлину, выглядит и то обстоятельство, что в концепции Большого взрыва наличие фазовых переходов анонсируется, но из этого не делается правильных выводов. Один из таких переходов – инфляционная эпоха. Но то, что было перед ней, не детектируемо, поскольку оно находилось за линией горизонта. А в целом концепция или гипотеза Большого взрыва бессмысленна, поскольку не удовлетворяет критерию фальсифицируемости [13. С. 209].

Оптический подход к формированию космологической картины мира опирается на геометрическую предпосылку, которой служит неевклидова геометрия Лобачевского. Статья Алеманова, которую мы подвергли критическому разбору, имеет тот недостаток, что в ней отсутствует предикативное определение константы H_0 . Геометрия Лобачевского позволяет устранить этот недостаток. Скорее всего, здесь уместна будет следующая формула:

$H_0 = \frac{c}{k_L}$, где k_L – константа Лобачевского («абсолютная длина», как называл её Карл Гаусс).

Литература

1. Хайкин С. Э. Общий курс физики. 2-е изд. Т. 1. Москва ; Ленинград : Госиздат технико-теоретической литературы, 1947.
2. Бриллюэн Л. Новые взгляд на теорию относительности. Москва : Мир, 1972. 142 с.
3. Седов Л. И. Галилей и основы механики / Размышления о науке и об учёных. Москва : Наука, 1980. 440 с.
4. Алеманов С. Б. Квантовый закон Хаббла (Квантовый закон космологического красного смещения) // Инженерная физика. 2014. № 3. С. 40–46.
5. Антипенко Л. Г. О квантовом законе Хаббла и физико-математических основаниях альтернативной космологии // Прикладная физика и математика. 2019. № 12. С. 10–17.
6. Ландау Л. Д. и Лифшиц Е. М. Теория поля. Изд. пятое. Москва : Наука, 1967. 460 с.
7. Wilczek F. Quantum Time Crystals. arXiv: 12022537.
8. Дирак П. А. М. Принципы квантовой механики / пер. с 4-го англ. издания Ю. Н. Демкова и Г. Ф. Друкарёва под ред. и с предисловием акад. В. А. Фока. Москва : Физматгиз, 1960. 434 с.
9. Пенроуз Роджер. Путь к реальности, или Законы, управляющие Вселенной. Москва ; Ижевск, 2007. 912 с.
10. Дирак П. Спиноры в гильбертовом пространстве / пер. с англ. А. М. Переломова. Москва : Мир, 1978. 126 с.
11. Сахаров А. Д. Вакуумные квантовые флуктуации в искривлённом пространстве // ДАН СССР. 1967. Т. 177, № 1. С. 70–71.
12. Фок В. А. Начала квантовой механики. Москва : Наука, 1976. 377 с.
13. Laughlin R. B. A Different Universe (Reinventing Physics from the Bottom Down). New York, 2005.
14. Лафлин Р. Б. Дробное квантование // УФН. 2000. Vol. 170, no. 3. P. 292–303.

ON OPTICAL CORRECTION OF NEWTON'S LAW OF INERTIA: FUNDAMENTAL RESULTS

L.G. Antipenko *

*Institute of Philosophy of the Russian Academy of Sciences
12/1 Goncharnaya St, Moscow, 109240, Russian Federation*

Abstract. In classical mechanics, the motion of a body is characterized by scalar and vector measures of motion. The scalar measure of motion is kinetic energy, the vector measure is momentum. Both of these measures obey the conservation law. In the theory of relativity, a formula is derived that gives the relationship between the mass of a body and its energy ($E = mc^2$). This formula fits the value of the kinetic energy of a moving body, but there is still no answer to the question of how to interpret the energy, which is equivalent to the mass of a body at rest, i.e. when $m = m_0$. An attempt to answer it led the author to the conclusion that in the energy balance of a physical body one must take into account its external and internal energy, which, in turn, should be seen as a combination of kinetic and potential energy. To draw such a conclusion, we had to turn to the analysis of Newton's law of inertia, and then to its generalization based on the study of the phenomenon of red shift of electromagnetic radiation in astrophysics. The article describes a quantum approach to the phenomenon of redshift in the spectra of galaxies, and then this approach is complemented by conclusions that follow from the two-spin interpretation of the solution to the quantum relativistic Dirac equation, which describes the free motion of an electron. Among the fundamental results is a new, unorthodox approach to constructing a cosmological picture of the world.

Keywords: Newton's dynamic laws, Hubble redshift, generalized law of inertia, internal degrees of freedom of elementary particles, tensor and spinor calculus, cosmology

* E-mail: chistrod@yandex.ru

МЕТАРЕЛЯЦИОННЫЕ ОСНОВАНИЯ ФИЗИКИ

DOI: 10.22363/2224-7580-2025-1-69-83

EDN: WRVNYD

БИНАРНЫЕ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНЫХ ОТНОШЕНИЙ КАК МАТЕРИАЛЬНЫЕ ПРОЕКЦИИ МОНАД ЛЕЙБНИЦА*

А.Г. Жилкин

*Институт астрономии Российской академии наук
Российская Федерация, 119017, Москва, ул. Пятницкая, д. 48*

Аннотация. В работе рассмотрена аналогия между бинарными комплексными системами отношений в бинарной геометрофизике и монадами в философской системе Лейбница. Показано, что в физической реальности элементарные процессы, описываемые бинарными системами комплексных отношений, играют роль материальных проекций монад. Обсуждается интерпретация различных типов монад с точки зрения бинарной геометрофизики. Предложена модель мультивселенной, основанная на формировании последовательных цепочек элементарных процессов.

Ключевые слова: бинарная геометрофизика, метареляционная парадигма, монады, мультивселенная, квантовая реальность

Введение

В теоретической физике с точки зрения метафизики можно выделить три уровня парадигм, каждая из которых предлагает свой способ описания физической реальности [1]. На первом, самом простом уровне располагаются *триалистические* парадигмы, в рамках которых физическая реальность описывается на основе трех *базовых* категорий: *частиц, пространства-времени и поля*. На втором, более сложном уровне рассматриваются *дуалистические* парадигмы, которые используют две категории. Одна из этих категорий является базовой, а другая – обобщенной категорией или *сверхкатегорией* [2–4].

* Работа выполнена в рамках госзадания по теме «Численное моделирование течений в околосветных оболочках и атмосферах экзопланет (Шифр – ЭКЗОПЛАНЕТЫ) (FFWN-2024-0006)».

В дуалистических парадигмах всегда присутствуют две физические сущности, одна из которых является *субстанцией*, относящейся к сверхкатегории, а другая соответствует *субстрату*, относящемуся к базовой категории [5; 6].

Третий, самый сложный уровень описания физической реальности соответствует *монистической* парадигме, опирающейся на одну обобщенную категорию. Такая (*метареляционная*) парадигма реализуется в *бинарной геометрофизике* [7]. В этой теории в качестве единого первоначала физической реальности рассматривается *бинарная предгеометрия*, которая строится на основе трех метафизических принципов: *дуалистичности*, *тринитарности* и *симметрии*. Кроме того, бинарная предгеометрия проявляет себя одновременно как субстанция (холизм) и как субстрат (редукционизм). Используя взаимно однозначное соответствие между метафизикой и онтологией [1; 5; 6], интересно проанализировать аналогию между обобщенными категориями в монистической парадигме теоретической физики и в монистическом религиозно-философском миропонимании.

Единое Первоначало, лежащее в основе всего, рассматривалось и анализировалось с точки зрения различных философских направлений еще с античных времен. Как правило, описывая его свойства, философы использовали диалектический синтез противоположностей, а также принцип триединства. Если рассматривать Первоначало как синтез двух противоположных категорий субстанции и субстрата, то получается, что оно проявляется не только как единая субстанция, но и как субстрат, должно состоять из множества самостоятельных единиц. Ещё Джордано Бруно использовал для этих единиц термин *монада*. Он утверждал, что их образование неповторимо, но каждая из них отражает в себе весь универсум. Таким образом, Первоначало проявляется не только как единая сущность, но и как совокупность отдельных монад. Эти две его стороны определяют синтез двух противоположных категорий: субстанции и субстрата.

В данной работе обсуждается соответствие между бинарными комплексными системами отношений, используемыми для описания бинарной предгеометрии в бинарной геометрофизике, и монадами, используемыми для описания Единого Первоначала в ряде философско-религиозных систем, в частности у Лейбница.

1. Монады Лейбница

В наиболее развитой форме учение о монадах описано Лейбницем в его «Монадологии», опубликованной в 1714 году [8]. В то время Лейбниц ничего определенного о природе монад сказать не мог. Поэтому он рассуждал о них с точки зрения чистой логики. Лейбниц полагал, что монада суть «простая субстанция». Следовательно, с одной стороны, каждая монада представляет собой субстанцию или некую самостоятельную сущность, не нуждающуюся ни в чем другом, кроме самой себя. С другой стороны, эта сущность является простой или не имеющей частей. Это означает, что монаде нельзя приписать форму или размер. Продолжая свои рассуждения, Лейбниц приходит к

выводу о том, что монады не могут естественным образом ни возникнуть (путем соединения более простых сущностей), ни погибнуть (путем разложения на более простые сущности). Значит, монады сразу и целиком возникают путем творения, а исчезают путем уничтожения.

Монада может двигаться только как единое целое. Нет никакого способа оказать влияние на монаду извне, а сама монада не может повлиять на что-то снаружи. Как образно пишет Лейбниц: «...монады вовсе не имеют окон, через которые что-либо могло бы войти туда или оттуда выйти». Движение монады не связано с чем-то внешним, а определяется исключительно ее внутренним состоянием. Тем не менее монад много и все они различны. Отсюда следует, что монады должны обладать некими свойствами, позволяющими отличить их друг от друга. По словам Лейбница, «в простой субстанции необходимо должна существовать множественность состояний и отношений, хотя частей она не имеет». Движение монады определяется неким внутренним принципом, выражающим изменение их внутренних свойств. Получается, что, с одной стороны, каждая монада представляет собой как бы свой собственный замкнутый мир, а, с другой стороны, их совокупность порождает весь универсум.

Свои монады Лейбниц напрямую связывает с процессом *восприятия*. Он считал, что в простой субстанции нельзя найти ничего иного, кроме восприятий и их изменений. Все внутренние действия монад могут состоять только в этом и больше ни в чем. Можно сказать, что каждая монада представляет собой нечто вроде элементарного акта восприятия. При этом по отношению к самой монаде результат восприятия не известен. Монада описывает лишь *стремление* к этому результату. Таким образом, простые субстанции характеризуются только двумя свойствами: восприятием и стремлением. Поэтому, согласно Лейбницу, они лишены сознания или находятся в бессознательном состоянии.

Следует заметить, что у Лейбница восприятие трактуется как состояние (синтез ощущений), а не как процесс. Монада характеризуется стремлением перейти от одного состояния восприятия или ощущений к другому. В современной психологии восприятие рассматривается как процесс отображения внешнего реального объекта в абстрактный образ во внутреннем пространстве субъекта. Очевидно, что и та и другая трактовка в равной мере применима к монадам.

Лейбниц различает четыре типа простых субстанций, схематически изображенных на рис. 1. Сотворенные монады, обладающие лишь восприятием и стремлением, он назвал *энтелехиями*. Для появления сознания необходимо помнить о результатах предыдущих восприятий, а на такое ни одна простая монада или энтелехия сама по себе не способна. Монаду, отчетливые восприятия которой сопровождаются памятью, Лейбниц называет *душой*. Для того чтобы простая монада или энтелехия стала душой, она должна находиться с другими такими же монадами в связи по последовательности. В результате эти монады описывают уже не совокупность отдельных актов восприятия, а некий процесс восприятия, когда предыдущие акты влияют на последующие.

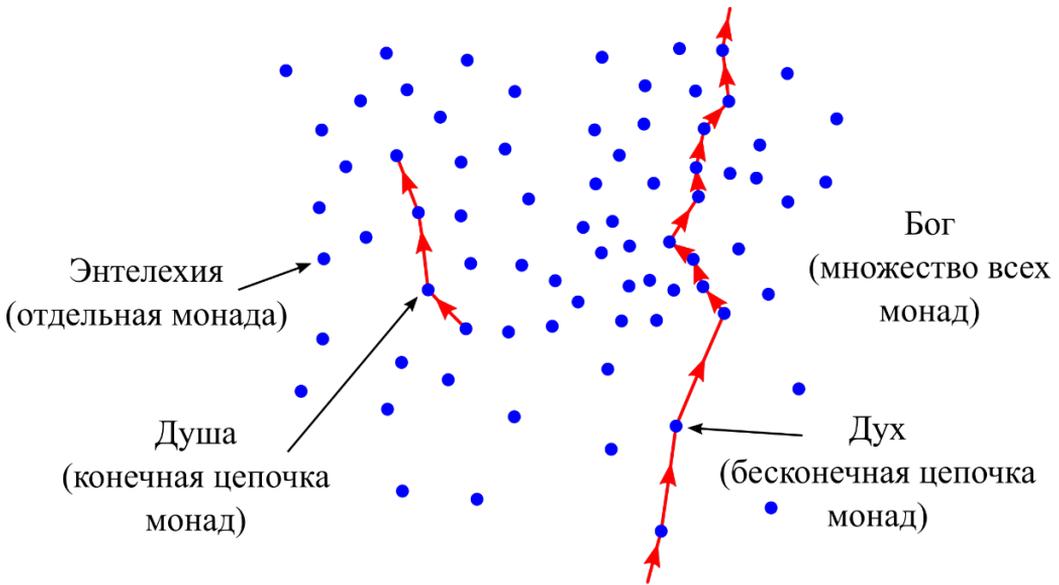


Рис. 1. Четыре типа монад по классификации Лейбница на примере дискретного множества

Источник: составлено автором.

Третьим типом монад являются *духи* или души, наделенные разумом. Если души представляют собой лишь «живые зеркала», отображающие универсум, то духи не только способны познавать устройство Вселенной, но получают свободу творчества. Наконец, Лейбниц выделяет высшую монаду или монаду монад, которую он ассоциирует с *Богом*. Согласно Лейбницу, Бог также представляет собой простую субстанцию, но она является всеобщей и необходимой.

Для того чтобы высшая субстанция была простой, мир монад должен подчиняться *предустановленной гармонии*. В этом случае его нельзя будет разделить на части, не разрушив целостность всей структуры. Отдельные простые монады (энтелехии) уникальны по своей сути, но не подвержены влиянию друг на друга. Поэтому они могут выстраиваться в последовательности или цепочки только некой внешней силой или волей. Например, в случае дискретного множества (см. рис. 1) энтелехиям соответствуют отдельные элементы, душам – конечные цепочки, духам – бесконечные цепочки, а Богу – множество всех элементов.

2. Бинарные системы комплексных отношений

В бинарной геометрофизике для описания физической реальности используется только одна обобщенная категория – бинарная предгеометрия, которая описывается на основе бинарных систем комплексных отношений (БСКО). Следуя принципу дуалистичности, бинарная предгеометрия строится на двух множествах M и N некоторых нечисловых элементов. Элементы первого множества M будем обозначать латинскими буквами i, j, \dots , а

элементы второго множества N – греческими буквами α, β, \dots . Каждой паре элементов из множеств M и N соответствует комплексное число – парное отношение. Например, элементам i и α поставим в соответствие число $u_{i\alpha}$. В этом проявляется метафизический принцип тринитарности бинарной геометрофизики. Для некоторого набора элементов первого r и второго s множества постулируется закон фундаментальной симметрии

$$\Phi_{(r,s)}(u_{i\alpha}, u_{i\beta}, \dots, u_{k\gamma}) = 0, \quad (1)$$

справедливый в независимости от того, какие именно элементы выбраны. Пара чисел (r, s) называется *рангом* закона БСКО (рис. 2).

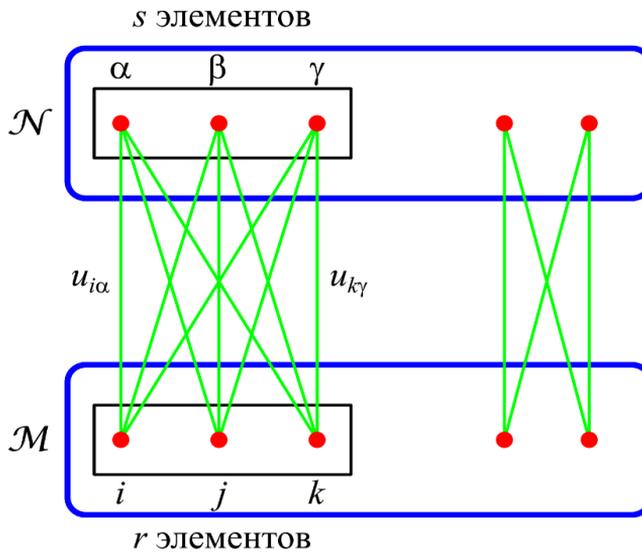


Рис. 2. Бинарная система комплексных отношений ранга (r, s)

Источник: составлено автором.

Показано [9], что существуют следующие бинарные структуры:

- 1) симметричные бинарные структуры ранга (r, r) , $r \leq 2$;
- 2) бинарные структуры, ранги которых r и s отличаются на единицу;
- 3) две исключительные бинарные структуры рангов $(4, 2)$ и $(2, 4)$.

При этом симметричные бинарные структуры могут быть двух видов: *вырожденные* ранга $(r, r; a)$ и *невырожденные* ранга $(r, r; b)$. Для описания физических процессов в бинарной геометрофизике используются симметричные БСКО. Законы фундаментальной симметрии для этих БСКО могут быть записаны в виде равенства нулю определителя соответствующей матрицы парных отношений:

$$\Phi_{(r,r;a)} = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & u_{i\alpha} & u_{i\beta} & \dots & u_{i\gamma} \\ 1 & u_{j\alpha} & u_{j\beta} & \dots & u_{j\gamma} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & u_{k\alpha} & u_{k\beta} & \dots & u_{k\gamma} \end{vmatrix} = 0, \quad (2)$$

$$\Phi_{(r,r;b)} = \begin{vmatrix} u_{i\alpha} & u_{i\beta} & \dots & u_{i\gamma} \\ u_{j\alpha} & u_{j\beta} & \dots & u_{j\gamma} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ u_{k\alpha} & u_{k\beta} & \dots & u_{k\gamma} \end{vmatrix} = 0. \quad (3)$$

Несмотря на то, что бинарная предгеометрия (так же как и любая отдельная БСКО) состоит из трех элементов (двух множеств и парных отношений между ними), ее определение теряет смысл, если исключить любой из них. Все эти элементы оказываются неразрывно связанными между собой и составляют единый комплекс. Поэтому бинарная геометрофизика относится к монистической парадигме. Тем не менее обобщенная категория в виде бинарной предгеометрии представлена через огромную совокупность отдельных БСКО, которые описывают отдельные *элементарные процессы* такие, например, как акты взаимодействия частиц. Точнее говоря, каждая отдельная БСКО описывает уже начавшийся, но еще не завершившийся элементарный процесс.

Можно усмотреть глубокую аналогию между построениями Лейбница и бинарной геометрофизикой. Однако необходимо сразу оговориться, что в бинарной геометрофизике речь идет об описании физической реальности. Поэтому здесь нет прямой связи с использованными Лейбницем категориями сознания и духа. Тем не менее если использовать соответствие между религиозно-философскими и метафизическими парадигмами [1; 5], то упомянутая аналогия проявляется отчетливо.

В самом деле, с точки зрения бинарной геометрофизики физическая реальность предстает перед нами в двух лицах. С одной стороны, она проявляет свою холистическую природу как бинарная предгеометрия. В этом виде первоначально является всеединой и единственной в своем роде *субстанцией*. Кроме нее в мире больше ничего нет, поскольку весь мир и есть эта универсальная субстанция. С другой стороны, физическая реальность проявляет и свою редуционистскую природу через огромное количество отдельных БСКО, которые формируют *субстрат* первоначала. Каждая БСКО представляет собой элементарный акт эволюции мира, который соответствует его переходу из одного состояния в другое. Эти переходы не идут последовательно один за другим, а существуют параллельно или все сразу. В любой БСКО отражается состояние всего мира как в прошлом (начальное состояние), так и в будущем (конечное состояние).

Нетрудно убедиться, что свойства БСКО в точности повторяют описания монад Лейбница. Каждая БСКО представляет собой простую субстанцию. Она не имеет частей, и поэтому ее невозможно разложить на что-то более элементарное, не разрушив всю структуру. БСКО не обладает какой-либо протяженностью, не имеет фигуры или формы. Как и монады, БСКО не могут возникать и исчезать постепенно, поскольку они рождаются и умирают сразу и целиком. Никакие внешние факторы не могут повлиять на БСКО, поскольку

все изменения в них определяются исключительно внутренним принципом – законом фундаментальной симметрии (1). Тем не менее каждая отдельная БСКО по-своему уникальна, ведь она описывается своим уникальным набором парных отношений. Наконец, все элементы в БСКО связаны между собой парными отношениями и, следовательно, в каждой БСКО отражаются свойства всего мира. Как видно, БСКО в бинарной геометрофизике как нельзя лучше подходят на роль монад. Но, конечно, это не сами монады, а только их аналоги в физической реальности или, другими словами, БСКО суть проекции монад в материальном мире.

Если сотворенным монадам Лейбница или энтелехиям соответствуют отдельные БСКО, то души и духи оказываются эквивалентами последовательных цепочек БСКО, описывающих некие (уже неэлементарные) физические процессы. Процессы, соответствующие душам и духам, должны качественно отличаться друг от друга. Можно рассмотреть два предельных случая множества БСКО: *дискретное* и *непрерывное*. Дискретные цепочки могут состоять из конечного или бесконечного числа узлов. Непрерывные цепочки могут быть бесконечно малыми или иметь конечную длину. В любом случае, цепочки второго типа (бесконечные или конечной длины) получаются из цепочек первого типа (конечные или бесконечно малые) в результате некоторого предельного перехода. А это означает, что такие цепочки имеют качественные различия. Монаде монад или Богу соответствует все множество БСКО (то есть сама бинарная предгеометрия), но с некоторой заложенной в нее извне структурой связи между отдельными БСКО, которая является эквивалентом предрасположенной гармонии.

3. Конформная инвариантность

Чтобы понять, откуда может появиться какая-либо связь между отдельными БСКО, рассмотрим некоторый специальный класс их преобразований. Перейдем от исходных парных отношений $u_{i\alpha}$ к новым $u'_{i\alpha}$, используя формулы вида

$$u'_{i\alpha} = c_i c_\alpha u_{i\alpha}, \quad (4)$$

где c_i и c_α – комплексные числа. Представим себе, что функция $\Phi_{(r,s)}$, описывающая закон фундаментальной симметрии (1), обладает следующим свойством однородности:

$$\Phi_{(r,s)}(c_i c_\alpha u_{i\alpha}, \dots, c_k c_\gamma u_{k\gamma}) = c_i \dots c_k c_\alpha \dots c_\gamma \Phi_{(r,s)}(u_{i\alpha}, \dots, u_{k\gamma}). \quad (5)$$

Если для исходных парных отношений $u_{i\alpha}$ имел место закон фундаментальной симметрии (1), то он будет иметь место и для новых парных отношений (4). В таком случае мы будем говорить о *конформной инвариантности* закона БСКО (1), а сами преобразования парных отношений будем называть *конформными преобразованиями*.

Не всякий закон БСКО обладает свойством конформной инвариантности. Из всех возможных бинарных структур только невырожденные симметричные структуры (то есть БСКО ранга $(r, r; b)$) обладают этим свойством. Для симметричных структур это утверждение непосредственно следует из вида законов (2) и (3). Для несимметричных структур его можно проверить непосредственно, даже не зная явного вида закона. Возьмем, например, бинарную структуру ранга $(3, 2)$. Умножим каждый аргумент соответствующей функции $\Phi_{(3,2)}$ на одно и то же число c . Для некоторого аргумента $u_{i\alpha}$ этот коэффициент можно трактовать либо как c_i , либо как c_α . При этом второй коэффициент полагается равным единице. Получаем две возможности. В первом случае будем иметь

$$\begin{aligned} & \Phi_{(3,2)}(cu_{i\alpha}, cu_{i\beta}, cu_{i\gamma}, cu_{j\alpha}, cu_{j\beta}, cu_{j\gamma}) = \\ & = c^2 \Phi_{(3,2)}(u_{i\alpha}, u_{i\beta}, u_{i\gamma}, u_{j\alpha}, u_{j\beta}, u_{j\gamma}), \end{aligned} \tag{6}$$

поскольку коэффициент c выносится из функции два раза: из первой тройки и из второй тройки аргументов. Во втором случае получаем

$$\begin{aligned} & \Phi_{(3,2)}(cu_{i\alpha}, cu_{i\beta}, cu_{i\gamma}, cu_{j\alpha}, cu_{j\beta}, cu_{j\gamma}) = \\ & = c^3 \Phi_{(3,2)}(u_{i\alpha}, u_{i\beta}, u_{i\gamma}, u_{j\alpha}, u_{j\beta}, u_{j\gamma}), \end{aligned} \tag{7}$$

поскольку здесь коэффициент c выносится из функции три раза: первый и четвертый аргументы, второй и пятый аргументы, третий и шестой аргументы. В зависимости от трактовки степень получилась разной и, следовательно, такое преобразование не существует.

Мы приходим к выводу, что всякая БСКО ранга $(r, r; b)$ определена с точностью до конформного преобразования (4). Конформные факторы представляют собой произвольные комплексные числа. Поэтому данная БСКО ранга $(r, r; b)$ порождает некоторое непрерывное множество БСКО такого же ранга. Другими словами, теперь уже нужно мыслить не об отдельной БСКО ранга $(r, r; b)$, а о некотором непрерывном *конформном пучке* таких БСКО, связанных между собой конформными преобразованиями.

Содержит ли конформный пучок все возможные БСКО ранга $(r, r; b)$? Нетрудно убедиться, что ответ на этот вопрос отрицательный. Для двух произвольно заданных БСКО ранга $(r, r; b)$ в общем случае не существует конформного преобразования, переводящего одну из них в другую. В самом деле, рассмотрим две такие БСКО, характеризующиеся парными отношениями вида $u_{i\alpha}$ и $v_{i\alpha}$. Предположим, что существует конформное преобразование (4), переводящее первую БСКО во вторую. Тогда, записывая соотношения (4) для двух каких-либо пар элементов (i, j) и (α, β) , находим условие существования решения:

$$\frac{v_{i\alpha} v_{j\beta}}{u_{i\alpha} u_{j\beta}} = \frac{v_{i\beta} v_{j\alpha}}{u_{i\beta} u_{j\alpha}}. \tag{8}$$

Ясно, что в общем случае такие условия выполняться не могут. Следовательно, предположение о существовании конформного преобразования было неверным.

Из этих рассуждений можно прийти к важному заключению, что все множество возможных БСКО ранга $(r, r; b)$ распадается на совокупность непрерывных конформных пучков БСКО того же ранга. В рамках данного пучка любую БСКО можно перевести в другую с помощью некоторого конформного преобразования. Для двух БСКО ранга $(r, r; b)$, относящихся к разным конформным пучкам, не существует конформного преобразования, переводящего одну из них в другую.

Этому обстоятельству можно дать следующую интерпретацию. Отдельная БСКО ранга $(r, r; b)$ описывает некоторый элементарный процесс, в котором участвуют все частицы мира и в котором мир переходит из одного своего состояния (начальное) в другое (конечное). Упорядоченная цепочка (дискретная или непрерывная) элементарных процессов будет описывать уже некоторый *неэлементарный процесс*, состоящий из множества идущих друг за другом элементарных процессов. Поскольку в нем участвуют все частицы мира, каждую такую цепочку с точки зрения бинарной геометрофизики можно связать с некоторым сценарием эволюции Вселенной.

Конформный пучок включает в себя неограниченную совокупность неэлементарных процессов. Это обусловлено тем, что данная цепочка элементарных процессов представляет собой одномерную структуру, характеризующуюся одним параметром – номером процесса в цепочке, играющего роль времени. Однако конформный пучок является многомерной структурой, поскольку описывается множеством конформных факторов. Отсюда следует, что в рамках одного и того же конформного пучка можно реализовать не один, а целое множество сценариев эволюции Вселенной. Конечно, не все из этих сценариев являются физически реализуемыми. Это связано с тем, что в адекватной модели на конформные параметры необходимо накладывать дополнительные ограничения.

Оставаясь в пределах данного конформного пучка, с помощью конформных преобразований любой реализованный сценарий эволюции Вселенной можно перевести в другой реализованный сценарий. В этом случае возможны также ситуации, когда один и тот же элементарный процесс принадлежит одновременно двум или даже нескольким цепочкам. Это можно представить себе как слияние или разветвление соответствующих вселенных. Сценарии эволюции, реализованные в разных конформных пучках, оказываются принципиально различными. Их нельзя перевести друг в друга никакими конформными преобразованиями. Такие вселенные существуют как бы в параллельных реальностях, которые никогда между собой не пересекаются.

4. Универсум свободных частиц

Рассмотрим в качестве примера универсум, состоящий из свободных элементарных частиц. В бинарной геометрофизике свободные элементарные

частицы описываются на основе БСКО ранга $(3, 3; b)$. В этом случае каждому элементу соответствует два комплексных параметра. Например, элементу i из множества M соответствуют параметры i^1, i^2 , формирующие двухкомпонентный спинор (см., например, [7]). Элементарная частица строится из двух пар сопряженных элементов (i, α) и (j, β) , на которые накладываются дополнительные условия нормировки спинорных инвариантов.

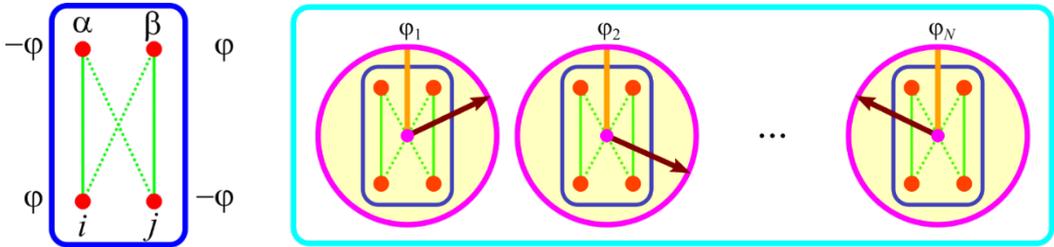


Рис. 3. Конформные факторы (фазы) для свободных элементарных частиц

Источник: составлено автором.

В результате конформные факторы для элементов, образующих частицу, должны выражаться формулами

$$c_i = e^{i\varphi}, \quad c_j = e^{-i\varphi}, \quad c_\alpha = e^{-i\varphi}, \quad c_\beta = e^{i\varphi}, \quad (9)$$

где φ – фаза. Структура этих конформных факторов (фаз) для данной свободной элементарной частицы показана на левой панели рис. 3. Такое описание применимо к любой частице. Следовательно, все частицы характеризуются своими фазами. Эта ситуация схематически показана на правой панели рис. 3. Отметим, что вполне определенные значения имеют только сами конформные факторы (9). Поэтому фазы определены с точностью до периода,

$$\varphi = \varphi_0 + 2\pi n, \quad (10)$$

где n – произвольное целое число, а φ_0 – главная фаза, лежащая в диапазоне $0 \leq \varphi_0 < 2\pi$.

Отметим, что конформные преобразования, определяемые коэффициентами (9), теперь стали более узкими. Это означает, что в конформном пучке мы выделяем некоторую физически допустимую часть, а остальные части не рассматриваем. Однако если даже раньше при использовании полных конформных параметров мы не могли переходить из одного конформного пучка в другой, то теперь мы тем более не сможем этого делать. Другими словами, физически допустимые конформные пучки, определяемые параметрами (9), по-прежнему остаются полностью разделенными между собой.

Представим себе универсум, в котором присутствуют только две невзаимодействующие элементарные частицы (рис. 4). С учетом конформных преобразований получается, что частицы описываются фазами, которые представляют собой внешние по отношению к БСКО ранга $(3, 3; b)$ параметры. Таким образом, каждая БСКО ранга $(3, 3; b)$, вообще говоря, описывается не только своими внутренними параметрами (компонентами спиноров), но и

парой вещественных величин (φ_1, φ_2). Поскольку фазы заданы с точностью до периода, то пространство фаз формирует поверхность тора.

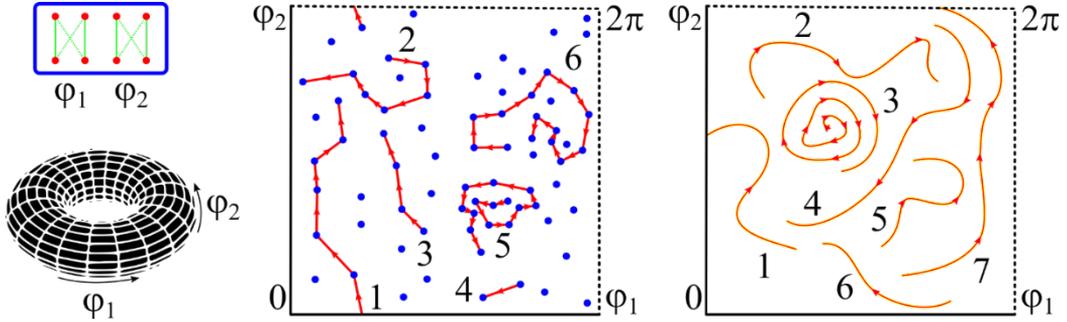


Рис. 4. Структура универсума в случае двух частиц. Двумерное пространство фаз является периодическим и формирует поверхность тора. Различным вселенным соответствуют на поверхности тора ломаные (дискретное множество монад) или непрерывные (непрерывное множество монад) ориентированные линии

Источник: составлено автором.

Каждая точка на этой поверхности определяет некоторую БСКО. Топология тора выражает в данном случае предустановленную гармонию в рассматриваемом множестве БСКО, поскольку любые две точки на данном торе могут быть переведены одна в другую некоторым физически допустимым конформным преобразованием, описываемым факторами (9). Более того, эти две точки можно соединить непрерывной линией. Проходя вдоль этой линии, фазы частиц будут изменяться, но сами частицы будут сохранять свой статус (то есть для них будут по-прежнему выполняться условия сопряжения элементов и нормировки спинорных инвариантов). Если рассматривать несколько частиц, то получится многомерный тор, размерность которого равна количеству частиц. Ясно, что такая структура, как и отдельная БСКО, также представляет собой простую субстанцию. Если, например, разрезать тор пополам, то топология частей будет другая и целостность исходного множества нарушится.

Все конформные пучки описываются одинаковым образом. Каждому физически допустимому пучку соответствует свой тор, на котором конформные параметры задаются совершенно одинаково с помощью двух (или в общем случае большего количества) фаз. Однако физически (за счет спинорных параметров частиц) БСКО, относящиеся к различным пучкам, принципиально различаются между собой. Можно сказать, что такие БСКО располагаются на разных торах. Поэтому такой универсум состоит как бы из множества параллельных реальностей, в каждой из которых можно реализовать неограниченную совокупность эволюционирующих вселенных.

На рис. 4 показаны варианты цепочек элементарных процессов для случаев дискретного и непрерывного множества БСКО. Каждая такая цепочка определяет некоторый развивающийся процесс, имеющий определенное направление (стрелу времени), в котором участвуют все частицы универсума. Он может быть как конечным, так и бесконечным. Отдельная цепочка реализует свой уникальный сценарий эволюции, который с точки зрения бинарной

геометрофизики можно связать с некоторой версией вселенной. Число таких цепочек или линий может быть каким угодно. Одни цепочки (аналоги монад-душ Лейбница) при этом могут оказаться короткими, и в них вселенная тут же угасает, едва вспыхнув. Другие цепочки (аналоги монад-духов Лейбница) могут быть очень длинными и даже бесконечно длинными.

Подчеркнем еще раз, что на рис. 4 изображена лишь одна из параллельных реальностей, соответствующая конкретному физически допустимому конформному пучку. Универсум содержит бесконечное количество таких конформных пучков.

5. Квантовая реальность

Как будет выглядеть реальность с точки зрения квантовой теории? Ответить на этот вопрос проще всего на примере свободных частиц. Процедура предельного перехода к квантовой теории для этого случая кратко описана в работе автора [10]¹. Применим эту процедуру к построениям, рассмотренным выше. Для этого сначала повторим кратко, к чему мы пришли.

Все возможные БСКО ранга $(3, 3; b)$ разбиваются на конформные пучки. В каждом пучке имеем $N_p = N/2$ частиц, где N – количество элементов в каждом множестве. Произвольное конформное преобразование содержит $2N = 4N_p$ комплексных параметров или $4N = 8N_p$ вещественных чисел. Поэтому полная размерность конформного пучка равна $8N_p$.

Для каждой частицы накладываем дополнительные ограничения на значения конформных параметров (9) и переходим к фазам. В результате наш конформный пучок сужается до физически допустимого пучка, который описывается набором из N_p вещественных параметров – фаз частиц $\varphi_1, \varphi_2, \dots$. Фазы (10) определены только в главном периоде, и, следовательно, пространство БСКО в физически допустимом конформном пучке оказывается топологически эквивалентно поверхности N_p -мерного тора. Таких торов можно построить бесконечно много. Каждый тор описывает физически допустимую часть некоторого конформного пучка. Конформных преобразований, переводящих БСКО с одного тора на другой, не существует. Поэтому можно сказать, что эти торы соответствуют отдельно существующим реальностям.

На данном торе можно провести линию $\varphi_1 = \varphi_1(\tau), \varphi_2 = \varphi_2(\tau), \dots$, где τ – безразмерный аналог времени. Каждая такая линия описывает некоторый неэлементарный процесс, состоящий из непрерывной последовательности элементарных процессов, описываемых соответствующими БСКО. С точки зрения бинарной геометрофизики эти линии описывают определенные сценарии эволюции Вселенной.

До сих пор все эти соображения имели общий характер и относились исключительно к бинарной геометрофизике. Теперь возьмем на торе некоторую точку-БСКО и построим в рамках этого элементарного процесса

¹ Более полное описание будет представлено в отдельной публикации автора в журнале «Пространство, время и фундаментальные взаимодействия».

макроприбор, состоящий из N_b частиц. Выделим интересующую нас частицу и произведем измерение ее импульса с помощью построенного макроприбора. Квантовая редукция приведет к тому [10], что N_b измерений многомерного тора спроецируются на оставшиеся измерения. Другие частицы помимо выделенной мы не рассматриваем, поскольку в ходе измерения их импульсы остаются неизвестными. Следовательно, все возможные линии, которые можно провести на поверхности многомерного тора, фактически сливаются в одну линию, идущую вдоль главной окружности, соответствующей фазе выделенной частицы.

На следующем этапе осуществляется процедура декомпактификации времени [10]. В результате окружность, соответствующая фазе нашей частицы, разворачивается в бесконечную ось времени. Пространственные координаты добавляются при этом произвольно, поскольку они изначально не являются компактифицированными. Полученные три пространственные координаты и одна временная координата формируют пространство-время Минковского.

Важно отметить еще один момент. В бинарной геометрофизике все исходные величины (парные отношения, параметры элементов, конформные параметры, фазы) являются безразмерными. Размерности возникают при описании процедуры квантовой редукции, когда мы получаем значение импульса частицы. В случае свободных частиц при переходе к квантовому уравнению Дирака [10] возникают три фундаментальные физические константы: постоянная Планка \hbar , скорость света c и масса частицы (электрона) m . Конкретные значения этих констант в рамках теории, основанной на БСКО ранга (3, 3; b), ниоткуда не следуют и, значит, они должны определяться экспериментально. Другими словами, их следует трактовать как своеобразные параметры данной реальности. В разных реальностях (конформных пучках) эти константы, вообще говоря, могут иметь различные значения. Интересно, что эти константы имеют независимую размерность и из них, в частности, можно составить величины размерности длины $L = \hbar / mc$, времени $T = \hbar / mc^2$ и массы $M = m$.

Таким образом, квантовая реальность – это свертка многомерного тора, описывающего физически допустимую часть конформного пучка БСКО, в окружность, соответствующую фазе выделенной частицы, и далее декомпактификация этой окружности в пространство-время Минковского. В каждой такой реальности мы можем получить различные значения физических констант и частицу, описываемую квантовым уравнением Дирака. Таких квантовых реальностей может быть сколько угодно. Мы живем в одной из таких реальностей.

Заключение

Философская система Лейбница (монадология) описывает мироздание с точки зрения монистической парадигмы. Основу его концепции составляют монады как простые субстанции. Анализ показывает, что свойства монад

полностью совпадают с соответствующими свойствами БСКО в бинарной геометрофизике. Поэтому можно сказать, что БСКО представляют собой проекции монад в физической реальности или в материальном мире.

Предустановленная гармония на уровне бинарной предгеометрии реализуется некоторым набором связей, накладываемых на внешние параметры БСКО. Сами внешние параметры (фазы) обусловлены конформной инвариантностью невырожденных симметричных БСКО. Различные конформные пучки формируют отдельные реальности, никак не связанные (конформными преобразованиями) между собой. Непрерывные или дискретные цепочки БСКО в рамках данного конформного пучка реализуют уникальные сценарии эволюции, которые можно связать с различными версиями вселенной.

Такой взгляд вполне соответствует концепции *мультивселенной*, когда универсум рассматривается как совокупность множества реально существующих параллельных вселенных [11]. Например, с позиций квантовой механики такую модель предлагается понимать, как флуктуации физического вакуума [12]. В бинарной геометрофизике возникает совершенно иная модель мультивселенной, когда отдельные вселенные формируются из последовательных цепочек БСКО.

В квантовом переделе все отдельные вселенные в рамках данного конформного пучка становятся неразличимыми между собой и фактически сливаются в одну общую для них всех квантовую реальность. В простейшем случае она описывает одну частицу в пространстве-времени Минковского, динамика которой подчиняется квантовому уравнению Дирака. Однако различные конформные пучки соответствуют отдельно существующим квантовым реальностям, которые могут отличаться между собой не только параметрами выделенной частицы, но даже и физическими константами. Поскольку мы живем в одной из таких квантовых реальностей, то отсюда возникает и некий новый взгляд на проблему антропного принципа.

Литература

1. *Владимиров Ю. С.* Метафизика. Москва : БИНОМ, 2000, 2009.
2. *Жилкин А. Г.* Реляционная физика с точки зрения метафизики // *Метафизика*. 2014. № 2 (12). С. 49–67.
3. *Жилкин А. Г.* Реляционный принцип полного поглощения // *Метафизика*. 2020. № 2 (36). С. 34–49.
4. *Жилкин А. Г.* Аналогия между принципом эквивалентности и реляционным принципом полного поглощения // *Метафизика*. 2023. № 1 (47). С. 40–56.
5. *Жилкин А. Г.* Феноменология Сверхличности. Москва : Янус-К, 2019.
6. *Жилкин А. Г.* Реляционные частицы как мера динамики поля // *Метафизика*. 2024. № 1 (51). С. 33–51.
7. *Владимиров Ю. С.* Основания физики. Москва : БИНОМ, 2008.
8. *Лейбниц Г. В.* Сочинения : в 4 томах. Т. 1. Москва : Мысль, 1982. С. 413–429.
9. *Кулаков Ю. И.* Теория физических структур. Новосибирск : Альфа Виста, 2004.
10. *Жилкин А. Г.* Переход к уравнению Дирака из бинарной геометрофизики в квантовом пределе // *Основания фундаментальной физики и математики: материалы VIII*

Российской конференции (ОФФМ-2024) / под ред. Ю. С. Владимирова, В. А. Панчелюги. Москва : РУДН, 2024. С. 34–39.

11. Пенроуз Р. Путь к реальности, или Законы, управляющие Вселенной. Москва – Ижевск : Институт компьютерных исследований, НИЦ «Регулярная и хаотическая механика», 2007.
12. Грин Б. Элегантная Вселенная. Суперструны, скрытые размерности и поиски окончательной теории. Москва : Едиториал УРСС, 2007.

BINARY SYSTEMS OF COMPLEX RELATIONS AS MATERIAL PROJECTIONS OF LEIBNIZ'S MONADS

A.G. Zhilkin

*Institute of Astronomy of the Russian Academy of Sciences
48 Pyatnitskaya St, Moscow, 119017, Russian Federation*

Abstract. The paper considers the analogy between binary complex systems of relations in binary geometrophysics and monads in Leibniz's philosophical system. It is shown that in physical reality, elementary processes described by binary systems of complex relations play the role of material projections of monads. The interpretation of various types of monads from the point of view of binary geometrophysics is discussed. A model of the multiverse based on the formation of successive chains of elementary processes is proposed.

Keywords: binary geometrophysics, metarelativistic paradigm, monads, multiverse, quantum reality

DOI: 10.22363/2224-7580-2025-1-84-97

EDN: ХКРGLA

ПИФАГОР, ЛЕЙБНИЦ, МАХ

И.А. Бабенко

*Институт гравитации и космологии
Российского университета дружбы народов
Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6*

Аннотация. В статье анализируется развитие метафизического подхода от Пифагора к Лейбницу и Маху. Обсуждена общая тенденция во взглядах этих великих мыслителей на основания и структуру окружающего мира.

Ключевые слова: пифагореизм, метафизика, монада, универсум

Мы обнаружили, что там, где наука продвинулась дальше всего, разум лишь заново обрел то, что когда-то вложил в природу. Мы нашли странный след на берегах Неведомого. Одну за другой мы изобретали солидные теории, чтобы объяснять его происхождение. Наконец нам удалось реконструировать существо, оставившее след. О боже! Это же наш след!

*Артур Стенли Эддингтон.
Пространство, время, тяготение. Одесса, 1923. С. 197.*

«Дайте мне материю и движение, – сказал Декарт, – и я построю вселенную». Ум говорит наоборот: «Дайте мне мир – мир, в котором есть отношения, – я построю материю и движение».

*Артур Стенли Эддингтон.
Пространство, время, тяготение. Одесса, 1923. С. 197.*

Введение

Как известно, нет ни одной научной отрасли, будь то математика, астрономия, механика, оптика, биология или медицина, в которой ученые нового времени не стояли бы на фундаменте, заложенном греческими мыслителями. Безусловно, в дальнейшем преемственность знаний была переосмыслена и дополнена и включена в отличную теоретическую структуру. И как отмечает Л.Я. Жмудь, европейская наука не создала никаких новых методов научного познания, а переняла их у древнегреческих философов, что позволило европейской науке в XVII–XVIII веках превратиться в мощный и быстро

развивающийся социальный институт. Именно в среде греческих астрономов и математиков того времени впервые начинает систематически использоваться научная гипотеза и ее дедуктивное доказательство, которое являлось главным инструментом в становлении и приобретении новых знаний [2]. Здесь уместно привести высказывание П.П. Гайдено: «У философии – свой особый подход к предмету, отличающий философское мышление как от житейски-практического, так и естественно-научного... философ с глубокой древности задается вопросом: что такое бытие? Что значит быть?» [3. С. 8]. И действительно, мыслители Древней Греции ставили перед собой глобальные вопросы происхождения и функционирования мироздания в целом. Этот посыл имел свое отражение в дальнейшем при формированиях как религиозного и философского, так и физического мышления.

М. Планк в своей статье [4] выделяет три подхода к формулировке построения физической картины мира: позитивистский (эмпирический), метафизический и аксиоматический. Для аксиоматического подхода он отмечает: «Здесь дремлет опасная угроза односторонности, заключающаяся в том, что физическая картина мира утрачивает свое значение и вырождается в бессодержательный формализм. Ибо если взаимосвязь с действительностью расторгнута, то физический закон оказывается уже больше не соотношением между величинами, которые изучаются все независимо друг от друга, а определением, посредством которого одна из этих величин приводится к другим» [4. С. 571]. При этом позитивистский и метафизический подходы к созданию физической картины мира выступают попеременно. «Во времена, когда физическая картина мира имеет более стабильный характер, когда считается, что понимание реального мира уже сравнительно недалеко, как это было во второй половине предыдущего столетия, большее значение получает метафизическое направление. Напротив, в другие времена, времена изменчивости и неуверенности, как те, что мы сейчас переживаем, больше на передний план выступает позитивизм» [4. С. 571]. Действительно, когда необходимо вырваться за рамки стандартного устоявшегося подхода к физической теории, то необходимо обращаться к абстракции высшего порядка – к метафизике, где «сущность физической картины мира все больше абстрагируется». Но, как тонко и глубоко отметил М. Планк: «Усовершенствование физической картины мира в смысле ее значения для мира ощущений ... заключается в том, что одновременно с дальнейшим усовершенствованием физической картины мира дальнейший ее отход от мира ощущений означает не что иное, как дальнейшее приближение к реальному миру» [4. С. 572]. Безусловно, именно метафизический подход без отрыва от реальности может привести к более глубокому познанию окружающего мира. И вот именно с метафизического подхода к описанию физической картины мира мыслители Древней Греции начали свою философию.

Целью данной статьи является попытка проследить развитие метафизических идей от Пифагора к Г. Лейбницу и Э. Маху, показать общий знаменатель и общую тенденцию во взглядах этих мыслителей на структуру окружающего мира.

1. Пифагор и пифагореизм

Итак, Пифагор из Самоса (около 569–490 гг. до н. э.) был первым философом, учеником Ферекида и Гермодаманта, религиозным и этическим реформатором. Он дал начало пифагорейской и италийской школам, представителями которых были Эмпедокл, Эпихарм, Архит, Алкмеое, Гиппас, Филолай и Эдокс. При этом одни современники считали его полубогом, другие – мошеником. Вот таким отображается Пифагор в античной литературе. Влияние идей Пифагора сказалось на эпохе греческого Просвещения от V в. до н. э. до начала новой эры. Таким образом, философия Пифагора несла мировоззренческую и теоретическую функцию. С одной стороны, идеи и взгляды Пифагора являлись критикой традиций, усугубляющих сомнение в значимости устоявшихся веками форм жизни и верований, а с другой стороны, философия Пифагора дала фундамент, на котором можно было строить новое знание, новый тип мысли [3]. Г. Лейбниц говорил: «Нет никакого сомнения, что величайшим из людей был Пифагор...» [5. С. 191].

На сегодняшний день, как известно, одной из проблем изучения философии и жизни Пифагора является проблема источников. Каких-либо записей работ самого Пифагора на сегодняшний день не установлено, но при этом влияние Пифагора на мыслителей последующих эпох огромно. Количество ссылок на его имя может соперничать даже с Сократом и Платоном, далеко превосходя их предшественников. Как отмечает Л.Я. Жмудь [2], реконструкция взглядов Пифагора в основном основывается на полемических откликах его современников, фрагментах утраченных сочинений по истории философии и науки, случайных и разрозненных упоминаниях поздних авторов. Важно отметить, что его ученики также не оставили изложения трудов учителя. В ряде работ древнегреческих авторов [6–12] можно найти лишь подробные упоминания об основных источниках о Пифагоре, и именно на этом осуществляется восстановление идей и философии Пифагора.

Перечислим ряд основных исследователей и последователей философии Пифагора. О Пифагоре говорили его современники Ксенофан и Гераклит. Ряд фактов о жизни Пифагора сообщают софисты Исократ и Алкидамант, философ Антисфен, историки Андрон из Эфеса и Феопомп. Однако важно отметить, что эти факты перемешаны с легендами и вымыслом и не всегда имеют достоверный характер. Л.Я. Жмудем отмечается, что Платон, несмотря на глубокое влияние пифагореизма на его философию, упоминает о Пифагоре и пифагорейцах лишь по одному разу. Малое количество упоминаний немного скомпенсировали его ученики: Гераклид Понтийский, Ксенократ и Аристотель. У Аристотеля есть комментарии к науке пифагорейцев, но не к самому Пифагору. При этом у Аристотеля Пифагор упоминается только дважды [2].

Аристоксен из Тарента, который учился в молодости у последних пифагорейцев, имел более надежные сведения, чем другие авторы его времени. Им были написаны три сочинения биографического характера, посвященные Пифагору и его ученикам. Как отмечается многими исследователями истории науки, благодаря Аристоксену и Дикеарху до нас дошло

наибольшее количество надежных биографических данных. В труде Тимея из Тавромения «Италийская и сицилийская история», написанном на рубеже IV–III веков до н. э. и сохранившемся лишь во фрагментах, есть некоторые сведения о Пифагоре.

Около середины V века до н. э. философ Филолай, эрудированный ученик Пифагора, ставший известным около 450 года до н. э., собрал существенный архив поучений учителя. Но даже в ранние годы Платона, когда активная враждебность к пифагорейской секте осталась в далеком прошлом, пифагорейскую «библию» Филолая было очень трудно достать. Как полагают, Платон достал копию у Архита из Таренто, который был ученым-пифагорейцем. Труды Эмпедокла, который жил позже Пифагора, лишь немного отличаются от тех, что приписывают самому мудрецу. Хотя Эмпедокл не был исследователем чисел, его философию можно назвать связующим звеном между нумерологией Пифагора и учением об идеальных числах Платона. Более спорные источники делают Эмпедокла личным учеником Пифагора. Как бы то ни было, Эмпедокл передал философию Пифагора другим мыслителям [13–15].

Если исходить из более современных работ, то о представлениях пифагорейской школы и о самом Пифагоре написано довольно большое число разнообразных книг и статей [2-3; 13–18]. Обращаясь к вышеперечисленным источникам, становится очевидно, что пифагореизм включал в себя большой пласт мыслителей Древней Греции. Таким образом, пифагорейская философия занимает особое место в становлении и развитии последующей научной мысли.

2. Философия Пифагора

Идеи и учение Пифагора имеют метафизический характер и содержат глубокое знание об окружающем мире. Так, П.П. Гайденко в своих работах отмечает, что необходимость в философском взгляде на мир возникает тогда, когда в общественной жизни и в общественном сознании возникают серьезные противоречия и конфликты, которые не поддаются разрешению с помощью традиционных убеждений и верований, связанных с мифологией. В связи с этим появляется потребность обособления общепринятого мнения от того, что на самом деле имеет место. Судя по всему, и философия Пифагора возникла, как возможность разрешить серьезные противоречия и конфликты в обществе Древней Греции, как возможность для перехода от мифологического мышления к научной мысли, к реализации перехода к другому взгляду на окружающий мир. «Освобождение от метафоричности мышления, характерной для ранних натурфилософов, предлагало переход от знания, обремененного чувствительным образом, к знанию, оперирующему понятиями. Этот переход осуществляется постепенно. Один из этапов здесь – учение пифагорейцев, последователей Пифагора» [3. С. 13]. Важно отметить, что много позже подобным образом возникали новые взгляды на мир у Лейбница и Маха. Аналогичная потребность послужила толчком к рождению реляционного взгляда на физическое мироздание.

Перед тем как перейти к изложению философии Пифагора, необходимо отметить, что терминология пифагореизма была в какой-то степени взята из языка мифологического мышления [16], поэтому некоторые термины стоит интерпретировать не в буквальном смысле, а в обобщенном, приближенном к действительности [17-18]. Это отмечал еще Лейбниц: «Впрочем, я знаю, что и древние египетские философы, и современные китайские, и вообще восточные авторы, и подражавший им у греков Пифагор, а у латинян и арабов химики, скрывали свои мысли в загадочных выражениях» [5. С. 79].

Вкратце приведём основные моменты философии Пифагора. Итак, согласно Ямвлиху [6], пифагореизм является, в сущности, не столько философией, сколько религией бога света и нравственной чистоты Аполлона, который, будучи монадой, преодолевает, преобразует титаническую множественность и раздробленность, царящую в человеческих душах и умах, привнося в них гармонию и единство и упорядочивая то, что тяготеет к беспорядку и хаосу. О том, что пифагореизм был аполлоновской философией, свидетельствует тот факт, что, по представлениям пифагорейцев, и человеческая душа, и весь мир в целом имеют музыкально-числовую основу. Исходя из этого А.Ф. Лосев назвал пифагорейское учение о гармонии восьми небесных сфер «подлинно аполлоновской философией» [16].

На основе произведений Порфирия, Ямвлиха, Прокла, Плутарха, Климента Александрийского, Аристотеля и согласно некоторым исследователям философии Пифагора, можно вкратце привести следующее описание пифагорейской теории чисел. Пифагорейцы считали арифметику родоначальницей всех математических наук, она первична и фундаментальна. И доказывали это тем, что геометрия, музыка и астрономия зависят от нее, а арифметика от них нет. Так как в Древней Греции развитие геометрии имело практические цели, то рассуждение пифагорейцев складывалось из первичности арифметики, то есть если убрать геометрию, то арифметика останется, а если убрать арифметику, то придется убрать и геометрию. Также пифагорейцы показывали первичность арифметики относительно музыки, астрономии. То есть размер, форма и движение небесных тел определяются посредством геометрии, а их гармония и ритм – посредством музыки. И таким же образом, если убрать астрономию, не пострадают ни геометрия, ни музыка, но если удалить геометрию и музыку, то астрономия будет разрушена [14].

Итак, в силу ограниченности пифагорейских записей, довольно трудно прийти к точному истолкованию терминов. Но большинство исследователей сходится к тому, что единое, число и монада несли в себе разные смысловые нагрузки. Безусловно, как будет приведено далее, в истолковании этих терминов присутствует определение одного через другое, но все-таки есть различие.

Идея единства предельного и беспредельного у Пифагора выступает в одном из главных постулатов формирования окружающего мира. П.П. Гайденко отмечала: «В своем учении о едином и многом Платон оказывается пифагорейцем. Он возвращается к пифагорейскому учению о том, что все существующее есть единство предела и беспредельного» [3. С. 120]. При этом

пифагорейская **монада** – это всеобъемлющее единое. С одной стороны, монада у пифагорейцев имела статус благородного числа и являлась прародителем богов и людей, с другой стороны, сумма любых комбинаций чисел рассматривается как целое. Таким образом, вселенная рассматривалась как монада, при этом ее составные части, такие как планеты и звезды, и элементы являются монадами по отношению к частям, из которых они сделаны, являются частями больших монад, образованных из их суммы. Монада подобно семени дереву, которое, когда оно выросло, имеет много ветвей, отождествленных с числами. Причем монада-семя в себе уже имеет структуру будущего дерева. Числа относятся к монаде, как ветви дерева к его семечку [13].

Число является термином, приложимым ко всем цифрам и их комбинациям. При этом некоторыми пифагорейцами к понятию «число» не относились числа 1 и 2. Пифагор определял число как расширение и энергию начальных оснований, содержащихся в монаде. Лейбниц отмечал: «Уже начиная с Пифагора люди убеждались, что в числах скрывается великая тайна. Пифагор же это мнение, как и многое другое, вероятно, перенес в Грецию с Востока» [19. С. 412]. «Единое или единицу пифагорейцы ставили в особое положение: единица для них – это не просто число, как все остальное, а начало чисел; чтобы стать числом все должно приобщиться к единице – она же единство» [3. С. 26]. Единое отличается от монады тем, что термин монада используется для обозначения суммы частей, рассматриваемой как единичное, в то время как единое есть термин, приложимый к каждой из его частей, составляющих целое.

Исходя из философии пифагореизма **монада – 1** имела такое название, так как остается в одном и том же состоянии – отделенной от множественности. Атрибутом монады является Бог, который является началом и концом всего, но сам по себе не есть ни начало, ни конец, является началом материи, которая соотносится с **дуадой**.

С монадой также связано понимание пространственно-временного ориентира у Пифагора. Так, согласно определению Пифагором пространства, точки есть базовые элементы пространства, и только точка имеет место в мире. В отличие от материальных предметов у точки нет ни составных частей, ни магнитуды. Эти недостатки соответствуют числу один, когда последнее рассматривается как монада или созидательный элемент числа. Если Пифагор думал о пространстве, состоящем из точек, значит, точки создали его космос. Но как бы он ни представлял себе пространство, точку он ассоциировал с единицей.

Пифагор называл монаду хаосом, темнотой, бездной, Тартаром, Стиксом, Летой, Атласом, Морфой, башней, тронем Юпитера, так как в монаде сосредоточена огромная сила, она творит. Монада также у Пифагора была зачаточным разумом и является началом всех мыслей во Вселенной. При этом Богом у Пифагора была Монада, которая есть все. Бог у Пифагора – верховный ум, рассредоточенный по всем частям Вселенной, причина разума и сила всех вещей. Движение Бога является круговым, тело Бога состоит из световой субстанции, а природа Бога должна состоять из субстанции истины [15].

Характерно, что идея монады была распространена в Древней Греции и до Пифагора. Все, кто был связан со светом и солнцем, имели имя монада. Так, символически монадой называли солнечного бога Аполлона, творящего свет, Прометея, потому что он принес людям свет, Пиралия, который существовал в огне. Монадой также называли настоящее, вечность, не имеющее ни прошлого, ни будущего. Монада – это центр всего и начало всего, она неделима. Монада также является формой, так как она очерчивает, объемлет и завершает, она творит. Монада предшествует числу. Согласно идеям философии Древней Греции, монадой называли гороскоп, без которого ни одно число не может существовать; субстанцию, так как она первична. В силу того что гороскоп — это соотношения звезд, отношения предшествуют количественной мере, числу. Таким образом, монаду можно охарактеризовать как акт творения. При этом монада является центром действительности, которая неизменна, но которая способна порождать изменчивые формы [13].

Диаде – 2 были даны следующие символические имена по причине того, что она всегда разделена и представляет два, а не один, и они противоположны друг другу: дух, зло, мрак, материя, разделение между множественностью и монадой, неопределенность, источник идей, импульс, движение, сложение, душа, бесформенность, наука. Так как монада есть отец Осирис, то диада имела общее с богиней Исидой, матерью, Реей (матерью Зевса) и т. д. Интересно, что пифагорейцы чтили монаду и презирали диаду, потому что она символизировала полярность. От диады идут споры и соперничество, пока введением монады между диадами не восстанавливается Богом Спасителем равновесие.

Триада – 3 является первым числом, которое по-настоящему нечетно. Триада является первым равновесием единства. «Пифагор говорил, что Аполлон пророчествовал с трипода о том, что возлияние должно быть троекратным» [13. С. 283]. С триады начинались процесс и время. Поэтому к триаде относился Сатурн, который являлся правителем времени, Офион, представляющий собой великого змея, под правлением которого находится весь материальный мир, Тритон – правитель моря и т. д. Это число называлось мудростью, потому что люди организуют настоящее, предвидят будущее и используют опыт прошлого. Триада, согласно пифагорейцам, есть число познания музыки, геометрии, астрономии и науки о небесных и земных телах. Триада являлась священным символом – треугольником. Она творилась из монады и диады, где монада есть символ Божественного отца, диада – Великой матери.

Пифагор считал, что все в природе разделено на три части, что все вещи состоят из трех частей. Вселенная также разделена на три части: Высочайший мир, Высший мир и Низший мир. Высочайший мир является главным и представляет собой сфероидальную тонкую проницаемую духовную сущность, которая пронизывает все вещи и является вездесущим, всемогущим и всеведущим. Высший и низший миры имеют статус подчиненных миров, существующих в природе этой высочайшей сферы. В высшем мире обитают бессмертные. Это место архетипов. Высший мир отбрасывает свою тень в

низший материальный мир. Таким образом, через свою тень высший мир осознается в материальном [13-14].

Исходя из изложенного, пифагореизм можно рассматривать как систему специфических спекуляций, касающихся соотношений между числами и причинными силами сущего [2]. Для пифагорейцев метафизика была «мистической арифметикой». Пифагорейцы произвели все натуральные числа от единицы, или Монады, через мистический союз Нечетного и Четного, или, что было нумерологически эквивалентно, брак Конечного с Бесконечным [13].

3. Философия Г. В. Лейбница

Приступая к рассмотрению философии Лейбница, уместно отметить, как подчеркивал В.В. Соколов, в столетии Лейбница «наиболее общие вопросы философии, включавшие все основные ее категории, выработанные в ходе многовековой истории философии, именовались метафизикой. Вместе с тем огромные успехи математического естествознания породили у некоторых философов и ученых своего рода «сциентистские» настроения и пренебрежительное отношение к метафизике. Лейбниц не только не разделял этих настроений, но решительно с ними боролся. Он был убежден в том, что знание различается по степени своей общности, ибо «существуют три степени понятий, или идей: обыденные, математические и метафизические понятия. Следовательно, метафизика — наиболее глубокий вид знания» [5. С. 22–23].

Итак, Г.В. Лейбниц (1646–1716 гг.) ученый, которому присущи глубочайшие философские идеи и эпохальные научные открытия. Ядро философской системы Лейбница составляла именно «метафизика» – греческий термин конца Античности. Этот термин обозначает наиболее умозрительное и максимально общее учение о сущем. Он понимался в неразрывном единстве с естественнонаучными открытиями и положениями [5]. В статье В.В. Соколова [5] отмечается, что этот момент был специально выделен К. Марксом, который отметил, что «метафизика XVII века еще заключала в себе положительное, земное содержание (вспомним Декарта, Лейбница и др.). Она делала открытия в математике, физике и других точных науках, которые казались неразрывно связанными с нею» [5. С. 141]. Не случайно Маркс прямо назвал в этом контексте только двух великих метафизиков (в указанном выше смысле), которые одновременно были гениальными естествоиспытателями и математиками, прославившими эпоху своими открытиями [5].

Далее будем ориентироваться на содержание одной из наиболее известных работ Г. Лейбница – «Монадологию» [5]. Безусловно, представление о монадах было заложено в учении Пифагора, но доведено и развито до своего полного в разъяснении и завершенности изложения в работах Г. Лейбница. Как отмечал Мэнли Холл, именно из изучения таинственных пифагорейских монад Лейбниц развил свою восхитительную монадологию, теорию мировых атомов – монад. Как увидим далее, в этих понятиях у Лейбница и Пифагора есть общий знаменатель [13].

Основными категориями метафизики Лейбница выступают категория субстанции и категория бога, которые имеют тесную связь между собой. При этом единство, вносимое субстанцией в мир явлений, по убеждению Лейбница, не может быть чем-то материальным. Для Лейбница понятие «телесного» и при этом «умопостигаемого» атома является противоречивым. «Истинным» атомом, по Лейбницу, является субстанция, которая представляет собой «духовную единицу» бытия, которую Лейбниц обозначает как монаду. Характерно, что монады абсолютно просты и лишены каких-либо составных частей [5]. «Субстанция есть существо, способное к действию. Она может быть простой или сложной. Простая субстанция – это такая, которая не имеет частей. Субстанция сложная есть собрание субстанций простых, или монад. Монада – слово греческое, обозначающее единицу, или то, что едино. Субстанции сложные, или тела, суть множества; субстанции простые, жизни, души, духи суть единицы. Простые субстанции необходимо должны быть повсюду, ибо без субстанций простых не было бы и сложных; и, следовательно, вся природа полна жизни» [5. С. 404].

Для Лейбница монады не имеют определенных пространственных свойств, они именно метафизические, то есть они начало пространственно-временных понятий. Лейбниц конкретизирует субстанциональную жизненную силу положениями, согласно которым «всякое тело чувствует все, что совершается в универсуме» [5. С. 424]. Здесь подобно пифагореизму единство мироздания осуществляется через монаду. Также можно увидеть параллель с пифагорейской монадой и числом в следующей цитате Лейбница. «Монады, не имея частей, не могут подлежать ни образованию, ни разрушению. Естественным образом они не могут ни возникать, ни уничтожаться и, следовательно, имеют такую же длительность, как и универсум, подлежащий изменению, но никоим образом не разрушению. Они не могут иметь фигур, иначе они должны были бы иметь части. Поэтому монада сама по себе в данный момент может отличаться от другой монады только внутренними качествами и действиями, которые не могут быть ничем иным, как ее восприятиями, или перцепциями (то есть представлениями в простом сложного или внешнего), и ее стремлениями (то есть влечениями от одного представления к другому), составляющими принципы изменений» [5. С. 404].

В Монадологии Лейбниц представление «будто душа может совершенно отделиться от тела» называет «схоластическим предрассудком». Каждая монада сугубо индивидуальна и бестелесна, поэтому ни одна из них не может действовать на другую подобно единичным вещам.

Каждая монада замкнута в себе, так как не имеет «окон». Вместе с тем каждая монада является «живым зеркалом», отражающим универсум. При этом важно отметить, что реализация монадной субстанции происходит через бесконечное умножение монадами единого универсума, ибо бесконечная дифференциация монад делает каждую из них индивидуальным «зеркалом», отражающим универсум в меру своих возможностей, с позиций, присущих данной монаде, и никакой другой. «Не в предмете, а в способе познания предмета ограничены монады» [5. С. 423]. Вместе с тем существует величайшая

согласованность в результатах этой деятельности бесконечного множества монад, итог которой составляет гармония универсума. «И так как вследствие полноты универсума все находится друг с другом в связи и всякое тело более или менее, смотря по расстоянию, действует на всякое другое тело и в свою очередь подвергается воздействию со стороны последнего, то отсюда вытекает, что всякая монада есть живое зеркало, наделенное внутренним действием, воспроизводящее универсум со своей точки зрения и упорядоченное точно так же, как и сам универсум» [5. С. 405]. Источником такой удивительной согласованности, учит Лейбниц, может быть только божественная мудрость. Именно она, творя монады, так их «запрограммировала», что результатом их независимой друг от друга деятельности стал закономерный универсум [5].

Всякая «индивидуальная субстанция» должна выражаться настолько «полным понятием», чтобы из него можно было «вывести все предикаты того субъекта, которому оно придается» [5. С. 132]. Такое понятие «выражает, хотя и смутно, все, что происходит в универсуме, прошедшее, настоящее и будущее» [5. С. 133]. Смутность поднимается к ясности по мере превращения перцепции в апперцепцию.

Лейбниц дает следующее обобщенное определение понятия субстанции: «В самом теле и даже во всякой субстанции существует естественное постоянство, противящееся изменению» [5. С. 511].

Важно отметить, что главным атрибутом монады является обобщенное понятие силы, которую Лейбниц изначально обосновывал именно для физики. «Постоянно существует одна и та же сила, энергия, и она переходит лишь от одной части материи к другой, следуя законам природы» [5. С. 430]. Данная сила является «ближайшей причиной» всех изменений, свойственных телам, но при этом отличной от присущих им величины фигуры и движения. Важной характеристикой монадной субстанции является ее активность в качестве силовой точки. Лейбниц конкретизирует субстанциональную жизненную силу следующим положением: «...всякое тело чувствует все, что совершается в универсуме» [5. С. 424], что было распространено в Античности и в учении Пифагора. «Субстанция есть существо, способное к действию [5. С. 598]». «Всякая подлинная субстанция только и делает, что действует [5. С. 195]», то есть монадная субстанция всегда находится в активном действии.

Таким образом, из изложенного можно сделать вывод, что центральное место в метафизике Лейбница занимает положение о бесконечном многообразии субстанции и о сугубой индивидуальности каждой монады. Характерно, что основные категории метафизики Лейбница: первичное Единство и монада тесно связаны между собой. «Таким образом, один только Бог есть первичное Единство, или изначальная простая субстанция. Все монады, сотворенные или производные, составляют Его создания или рождаются, так сказать, из непрерывных, от момента до момента, излучений Божества, ограниченных, воспринимающей способностью твари, ибо для последней существенно быть ограниченной» [5. С. 421]. Бог Лейбница в своей

интеллектуальной функции является верховной субстанцией. Однако, как отмечал В.В. Соколов [5], Лейбниц понятие субстанциальности стремился максимально связать с миром конкретных единичных вещей, поэтому данное понятие включало в себя бесконечное количество отношений к другим вещам. Каждая из них трактовалась философом как индивидуальная субстанция, монада [5].

Творящую деятельность бога Лейбниц обозначает через определения «фульгурация» и «эманация», то есть излучение и истечение. Множественная субстанция Лейбница имеет внеприродную сущность: «Сверх мира или собрания конечных вещей есть некоторое Единое Существо, правящее им...» [5. С. 282]. При этом бог Лейбница как высшая субстанция творит все многообразие остальных субстанций. Бог, согласно «Монадологии», обладает тремя главными функциями: «...могущество, которое есть источник всего, потом знание, которое содержит в себе все разнообразие идей и, наконец, волю, которая производит изменения или создания...» [5. С. 421]. «Бог ничего не делает без основания» [5. С. 451]. При этом принцип «предустановленной гармонии», выражающий познавательную-рационалистическую сущность бога, совершенно исключает чудеса.

Лейбниц различает творящие силы и дает им следующее пояснение: «В истинной философии и здравой теологии следует различать между тем, что объяснимо природой и силами созданных вещей, и тем, что объяснимо лишь силами бесконечной субстанции. Надо признать бесконечную дистанцию между действительностью Бога, превосходящей естественные силы, и действиями вещей, которые совершаются по законам, вложенным в них Богом, и к соблюдению которых он сделал их способными в силу их собственной природы, хотя и при своем содействии» [5. С. 498]. Для Лейбница суть бога «есть первичное Единство, или изначальная простая субстанция» [5. С. 421].

Таким образом, согласно метафизике Лейбница, существует универсальная связь в «природно-человеческом мире». Идея такой связи составляет суть монадной субстанции. Ее изолированность от других субстанций (не имеющих «окон») является относительной, а ее связь с ними, как познающей единицы, абсолютна. Неповторимая индивидуальность каждой монады с необходимостью заключает в себе связь со всем универсумом.

«В идеальном..., или в континууме целое предшествует частям, как арифметическая единица предшествует долям, на которые она дробится и которые можно произвольно определять, поскольку эти части существуют лишь потенциально; но в реальном простое предшествует совокупностям и части существуют актуально, существуют прежде целого. Эти соображения устраняют трудности относительно континуума, связанные с предположением, будто континуум есть нечто реальное и обладает частями прежде всякого деления и будто материя является субстанцией» [5. С. 540].

Таким образом, коротко из вышесказанного можно заключить, что общий знаменатель у философского подхода Пифагора и Лейбница – это метафизический подход к описанию мироздания, учение о монадах, о единстве универсума, которое выражается через «чувствование» монадой в себе всей Вселенной.

4. Э. Мах

Как отмечала П.П. Гайденко, развитие науки определяется не только теми, кто непосредственно создает научные теории или делает открытия, но в не меньшей степени развитие науки зависит и от тех, кто оказывает влияние на изменения самих методов мышления, способов подхода к предмету [3]. К таким мыслителям можно отнести Э. Маха. Его деятельность знаменовала важный рубеж к подходу представлений о пространстве-времени. Характерно, что как у Пифагора и Лейбница, деятельность Э. Маха пришлась на время, когда приход нового столетия сопровождался пересмотром ключевых понятий и принципов уже в теоретической физике. В этот период (конец XIX – начало XX века) в философии и науке происходил кардинальный пересмотр таких основополагающих понятий, как пространство, время, движение. Эти фундаментальные изменения дали направление развитию науки и, прежде всего, подтолкнули к созданию ОТО. В этот период была теоретически подготовлена научная революция XX века, родившая неклассическую физику. И как подчеркивает П.П. Гайденко: «Большую роль в подготовке философских предпосылок неклассической физики сыграли работы Эрнеста Маха. Он был выдающимся ученым, стремящимся осмыслить философски те открытия в физике и математике, на которые были так богаты последние десятилетия XIX и первые годы XX века» [21. С. 13–14]. Маху, его идеям, философским принципам, подходу к описанию физики окружающего мира посвящён целый номер журнала «Метафизика» (2016, № 3 (21)) с целым рядом интересных и содержательных публикаций, а также книга Ю.С. Владимирова [22], где подход Маха нашёл свою полную реализацию в реляционной теории.

Для данной работы важно отметить, что Мах выступал с критикой ньютоновского подхода к абсолютному пространству и времени [23]. И в своей критике Э. Мах продолжал глубокие метафизические представления Пифагора и Лейбница о едином универсуме: «Природа не начинается с элементов, как вынуждены начинать с них мы. Впрочем, для нас счастье, если нам удастся на некоторое время отвести взор от огромного целого и сосредоточиться на его отдельных частях» [24. С. 17]. Так, для Маха физический мир представляет собой неразрывное целое, а свойства его отдельных частей есть локально взятые системы, свойства которых обусловлены распределением все окружающей материи. «Если Я не есть какая-нибудь изолированная от мира монада, но часть его, находящаяся в его потоке, из которого она выделилась и с которым готова снова слиться, то мы не будем более склонны смотреть на мир, как на нечто непознаваемое. Мы в таком случае достаточно близки миру и родственны другим частям его, чтобы могли надеяться на действительное познание» [22. С. 436–437].

Таким образом, представление о связи минимальных частей (монад) физического мира со всей Вселенной проходит основной нитью в учениях Пифагора, Лейбница и Маха.

Заключение

Характерно, что стремление вскрыть основы мироздания в философских взглядах Пифагора, Лейбница, Маха являлось важным для общественного восприятия их современниками, поэтому философия Пифагора, монадология Лейбница, идеи о пространстве-времени Маха выступали, как выход за пределы стандартных представлений о физической реальности, что было необходимо для перехода к новой философии, новой физике, к новому взгляду на окружающий мир.

Так как фундамент должен быть намного глубже, чем само здание физики, поэтому идеи Пифагора, Лейбница и Маха имеют в себе глубокое метафизическое основание. Пифагор, решая теоретическую проблему обоснования сущности природы, космоса, мира в целом пришел к такому понятию, как монада, важности числа и единого. Именно, на метафизических взглядах Пифагора о монадах Лейбниц построил и развил свою теорию монад – монадологию. Э. Мах на основах, которые были заложены в трудах Лейбница, способствовал становлению реляционной метафизической парадигмы [22]. Убирая понятие абсолютного пространства и времени, он на их место поставил, по сути, метафизическую категорию отношений: «... время и пространство существуют в определенных отношениях физических объектов и эти отношения не только вносятся нами, а существуют в связи и во взаимной связи явлений. Но одно дело – психофизическое время и пространство и другое дело – соответственные физические понятия. Но не объясняется ли связь между теми и другими тем, что мы сами, наше тело есть система физических объектов, своеобразные взаимоотношения которых проявляются и психо-физиологически?» [25. С. 447]. Но главное, что объединяет этих великих мыслителей, это метафизический взгляд о едином универсуме, о связи каждой части его со всей Вселенной. В заключении уместно привести высказывание самого Лейбница. «Я уже по многим поводам отмечал, что познание законов природы приводит нас в итоге к более высоким принципам порядка и совершенства, которые указывают на то, что вселенная является результатом универсальной разумной силы. Это познание и есть главный плод нашего исследования, и так полагали уже древние. Не говоря о Пифагоре и Платоне, которые в особенности отстаивали эту мысль, сам Аристотель стремился в своих трудах — особенно в своей «Метафизике» — доказать существование перводвигателя» [19. С. 127].

Литература

1. Эддингтон А. Пространство, время и тяготения. Одесса : МАТЕЗИС, 1923. 218 с.
2. Жмудь Л. Я. Пифагор и его школа. Ленинград : Наука, 1990. 192 с.
3. Гайденок П. П. История греческой философии в ее связи с наукой. Изд. 2-е, испр. Москва : ЛИБРОКОМ, 2009. 264 с.
4. Планк М. Избранные труды. Двадцать лет работы над физической картиной мира. Москва : Наука, 1957. 788 с.
5. Лейбниц В. В. Сочинение в четырех томах. Т. 1 / ред. и сост., авт. вступит. статьи и прим. В. В. Соколов. Москва : Мысль, 1982. 636 с.

6. *Ямвлих*. Жизнь Пифагора. Москва : Алетея, 1998. 248 с.
7. *Порфирий*. Сочинения / пер. с древнегреческого Т.Г. Сидаша. Санкт-Петербург : СПбГУ, 2011. 660 с.
8. *Прокл*. Платоновская теология. Санкт-Петербург : РХГИ, Летний сад, 2001. 624 с.
9. *Плутарх*. Сочинения. Санкт-Петербург : СПбГУ, 2008. 384 с.
10. *Климент Александрийский*. Строматы. Т. 1–3. Санкт-Петербург : Олег Абышко, 2003. 1248 с.
11. *Плутарх*. Исида и Осирис Киев : УЦИММ-ПРЕСС, 1996. 257 с.
12. *Аристотель*. Малое собрание сочинений. Санкт-Петербург : Азбука, Азбука – Аттикус, 2023. 640 с.
13. *Мэнли П. Холл*. Тайные учения всех времен : энциклопедическое изложение герметической, каббалистической и розенкрейцерской символической философии. Москва : Колибри, Азбука–Аттикус, 2022. 960 с.
14. *Белл Эрик Темпл*. Магия чисел. Математическая мысль от Пифагора до наших дней.
15. *Антуан Фабр д'Оливе*. Золотые стихи Пифагора. Санкт-Петербург : Алетея, 2021. 272 с.
16. *Лосев А. Ф.* Античная мифология в ее историческом развитии. Москва : 1957. 343с.
17. *Лосев А. Ф.* История античной эстетики. Т. 7 : Последние века. Кн. 1 : Последние века. Москва : Фолио; АСТ, 2000. 512 с.
18. *Лосев А. Ф.* История античной эстетики. Т. 7 : Последние века. Кн. 2 : Последние века. Москва : Фолио; АСТ, 2000. 544 с.
19. *Лейбниц В. В.* Сочинение в четырех томах. Т. 3 / ред. и сост., авт. вступит. статьи и примеч. В. В. Соколов. Москва : Мысль, 1982. 734 с.
20. *Маркс К., Энгельс Ф.* Сочинения. Т. 2. Москва : Гос. издательство политической литературы, 1955. 652 с.
21. *Гайденко П. П.* Эрнст Мах в контексте философии конца XIX – начала XX века // Метафизика. 2016. № 3 (2). С. 13–27.
22. *Владимиров Ю. С.* Реляционная концепция Лейбница–Маха. Москва : ЛЕНАНД, 2017. 232 с.
23. *Мах Э.* Механика : историко-критический очерк ее развития. Ижевск : ИРТ, 2000. 456 с.
24. *Мах Э.* Познание и заблуждение : очерки по психологии исследования. Москва : БИНОМ, 2003. 456 с.
25. *Мах Э.* Время и пространство // Новые идеи в математике : сб. № 2 «Пространство и время». С-Петербург, 1913. С. 59–73. Переиздано в книге : Мах Э. Познание и заблуждение. 2002. С. 438–447.

PYTHAGORAS, LEIBNIZ, MACH

I.A. Babenko

*Institute of Gravity and Cosmology, RUDN University
6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation*

Abstract. The article analyzes the development of the metaphysical approach from Pythagoras to Leibniz and Mach. The general trend in the views of these great thinkers on the foundations and structure of the surrounding world is discussed.

Keywords: pythagoreanism, metaphysics, monad, universe

DOI: 10.22363/2224-7580-2025-1-98-106

EDN: XYWOUM

ПРИНЦИП МАХА И МЕТАРЕЛЯЦИОННАЯ ТРАКТОВКА МЕТРИКИ

А.Б. Молчанов *

Физический факультет

*Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова
Российская Федерация, 119991, Москва, Ленинские Горы, д. 1, стр. 2*

Аннотация. Одной из главных задач метареляционного подхода к описанию пространства-времени и физических взаимодействий является вывод пространственно-временных величин из более фундаментальных законов, описывающих самые базовые физические процессы в микромире. К таким процессам, в частности, относятся акты испускания и поглощения электромагнитного излучения элементарными частицами. Ранее было показано, что статистический учёт всех возможных актов электромагнитных взаимодействий в системе частиц, имеющих дискретные спектры атомов водорода, приводит к возможности определения шкал расстояний и времени в такой системе. Этот результат сопоставлялся с наличием сопутствующих и собственных координат в космологии, а также приводил к выражению для масштабного фактора, связывающего эти системы. В данной работе проводится обобщение этого результата: показывается, что функция распределения конфигураций излучателей и поглотителей имеет связь с метрикой в классической теории гравитации, демонстрируется ключевая роль расширенного (сильного) принципа Маха.

Ключевые слова: пространство-время, метафизический подход, теория гравитации, квантовая теория статистический подход

Введение

Реляционный подход к построению теории, способной описывать пространство-время и физические взаимодействия, подразумевает следующие аспекты. Все пространственно-временные понятия считаются вторичными по отношению к характеристикам фундаментальных взаимодействий и элементарных частиц. Описание взаимодействий следует воспринимать в рамках концепции дальнего действия. На фундаментальном уровне это приводит к отсутствию различий между локальными и глобальными свойствами вселенной, что выражается расширенным принципом Маха [1]. При построении фундаментальной теории необходимо полностью отказаться от любых феноменологических конструкций, которые могли бы быть положены в её основу, а работать только с математическими абстракциями. Следует считать, что подобные абстракции удовлетворяют некоторым простейшим

* E-mail: alexeybm2009@gmail.com

(метафизическим) принципам, позволяющим формулировать на их основе математические законы, которые описывают наиболее фундаментальные физические процессы. Такой подход к созданию содержательной теории называется метареляционным [2], а математический аппарат, который выстраивается при движении по этому пути, представляет собой теорию бинарных систем комплексных отношений (БСКО).

Существующие и наиболее хорошо разработанные теории в рамках геометрического и теоретико-полевого подходов, претендовавшие на звание наиболее фундаментальных, к текущему моменту времени накопили ряд проблем. Самой существенной из них является невозможность совмещения принципов общей теории относительности (ОТО) и квантовой теории. Поэтому всё больше физиков-теоретиков склоняются к тому, что должна существовать некоторая более фундаментальная теория, из которой бы следовали как квантовые характеристики элементарных частиц и их взаимодействий, так и классические пространственно-временные понятия. Сегодня известны несколько попыток реализации подобной теории, привлечших к себе большое внимание научной общественности.

Так, например, в теории петлевой квантовой гравитации (ПКГ), разрабатываемой в группах Ли Смолина и Карло Ровелли [3], предлагается положить в основу математическую конструкцию, названную спиновой сетью. Это граф, рёбрам которого сопоставляются целые или полуцелые числа, соответствующие неприводимым представлениям группы $SU(2)$, а вершинам – операторы, названные интертвинерами («переплётчиками») и составляемые комбинаторно так, чтобы сохранялся полный угловой момент. Такой формализм был предложен Роджером Пенроузом в 1971 году [4] и, вероятно, имел общие корни с его теорией твисторов, которая изначально была нацелена на вывод характеристик классической геометрии из более фундаментальных свойств спиноров, однако, как заявлял сам Пенроуз, теория твисторов не смогла достичь этой цели. Спиновая сеть Пенроуза тоже не решала эту задачу в полной мере, она давала возможность получать углы, но не позволяла описывать длины. В рамках ПКГ эта модель была расширена: граф спиновой сети стал основой графа триангуляции классического пространства (или пространства-времени в случае так называемой «спиновой пены»), разбивая его на элементарные ячейки с дискретными значениями площадей и объёмов. При этом объёмы соответствовали вершинам, а площади – рёбрам и выражались через соответствующие целые и полуцелые числа. На такой сети оказалось возможным определить дискретный аналог связности через параллельный перенос векторов вдоль петель графа, что позволило прийти к дискретному аналогу метрики. Однако перейти к классическому пределу пока так и не удалось. Кроме того, время, используемое для описания динамики спиновой сети, считается априорно заданным.

Другой теорией, которая на первый взгляд исключает названную проблему времени в ПКГ, является причинная динамическая триангуляция (ПДТ), предложенная Ринэйтом Лоллом в начале 2000-х [5]. В этой теории полагается, что пространство-время дискретно и состоит из элементарных

симплексов, имеющих планковские размеры. Граф триангуляции строится по рёбрам и вершинам симплексов. Такой подход позволяет регуляризовать фейнмановские интегралы и получить ОТО как классический предел. Тем не менее в этой теории, в отличие от ПКГ, отсутствует связь свойств графа триангуляции со свойствами элементарных частиц, в итоге на фундаментальный вопрос о том, что представляют собой метрика и длины, эта теория ответ не даёт.

Следует упомянуть и подход Стивена Вольфрама, который предложил рассматривать всю фундаментальную физику как продукт эволюции гиперграфа, заданного некоторым набором простых правил, подобно тому, как небольшое число простых локальных правил приводит к сложному поведению клеточного автомата [6]. В этом подходе, оформленном Вольфрамом к концу 2010-х, элементарные частицы могут проявляться как устойчивые системы рёбер и вершин гиперграфа, расстояния и промежутки времени могут быть связаны с числами шагов между вершинами. Этот подход пока не может конкурировать с той же ПКГ, поскольку обладает слишком высоким уровнем абстракции и предоставляет слишком широкий класс возможностей для описания фундаментальных физических процессов, так что до сих пор отсутствует конкретная реализация, которая бы позволила описать реальный мир.

Названные теории, хотя и являются по своему духу реляционными, всё же содержат в своих основах феноменологические сущности, из которых предлагается вывести некий прообраз метрики на масштабах порядка планковских, а затем перейти от него к классическому пределу. В такой ситуации гравитация остаётся в числе фундаментальных взаимодействий и считается, вероятно, даже более фундаментальной, чем остальные. Трудности, с которыми столкнулись названные теории, даже привели к идее постквантовой теории классической гравитации, предложенной британским физиком-теоретиком Джонатаном Оппенгеймом в 2018 году [7]. В этой теории предполагается, что гравитация является классической на фундаментальном уровне, хотя пространство-время уже не выступает фоном для других полей (как, например, в квантовой теории поля в искривлённом пространстве-времени), а активно взаимодействует с ними. Это приводит к нарушению унитарности квантовых полей, а также к тому, что классическая метрика начинает «шуметь» под воздействием квантовых эффектов. Эта шумовая компонента возникает как статистический итог по квантовым состояниям рассматриваемых систем. Несмотря на то, что теория Оппенгейма по своему построению не является реляционной, последний названный аспект вполне удовлетворяет реляционным принципам.

Известна ещё одна попытка построения теории, где уже вся гравитация понимается как некоторый статистический результат. Она была предпринята Эриком Верлинде в 2011 году [8]. В его теории энтропийной гравитации последняя исключается из числа фундаментальных взаимодействий и появляется как эффект, препятствующий уменьшению энтропии в физической системе. Теория Верлинде пока не обобщена на квантовые эффекты, и на её

основе удаётся получить только ньютоновскую гравитацию. Однако работы в направлении такого обобщения ведутся.

Становится ясно, что интерес современных физиков-теоретиков, решивших не отдавать предпочтение теории струн и традиционным попыткам квантования гравитации, сосредоточился вокруг идеи вывода пространственно-временных понятий и самой гравитации из некоторых более фундаментальных сущностей. Если взять лучшие идеи из названных выше теорий и попытаться их совместить в наиболее радикальном варианте, то вырисовывается следующая картина. Гравитация не обязана входить в число фундаментальных взаимодействий, а все пространственно-временные понятия и характеристики гравитационного взаимодействия должны получаться из свойств элементарных частиц и трёх оставшихся фундаментальных взаимодействий при статистическом учёте всей их совокупности в рассматриваемой системе. Этот путь предвосхищается идеей П.К. Рашевского, приведённой в конце его монографии «Риманова геометрия и тензорный анализ» [9]: «Возможно, что и сам четырёхмерный пространственно-временной континуум с его геометрическими свойствами окажется в конечном счёте образованием, имеющим статистический характер и возникающим на основе большого числа простейших физических взаимодействий элементарных частиц».

В рамках метареляционного подхода удаётся встать на этот путь и сделать первые шаги. Ранее уже было показано, что теория БСКО ранга (3,3) описывает двухкомпонентные спиноры, из элементов которых можно построить четырёхмерные векторы с сигнатурой пространства-времени Минковского [1]. Идея вывода понятия длины также была продемонстрирована [10]. В настоящей работе эта идея обобщается на одномерный прообраз метрики. Напомним основные положения.

Появление координат в метареляционном подходе

Рассмотрим систему, состоящую из частиц, которые могут испускать и поглощать электромагнитное излучение в определённых спектрах. Под излучением, которое испущено, но не поглощено, подразумевается всё возможное излучение различных энергий, способное быть испущенным и принятым частицами системы.

Выберем одну из частиц и поставим задачу вычислить амплитуду поглощаемого ею излучения (всех возможных типов) от остальных частиц системы. Для этого необходимо для каждой пары излучатель–поглотитель учесть вклады излучений всех энергий спектра, на которых возможно поглощение. В случае непрерывного спектра суммирование заменяется интегрированием.

В классической физике, когда мы знаем парные расстояния между поглотителем и другими частицами, а также промежутки времени между всеми актами излучения и поглощения, мы вычисляем по ним разности фаз и пользуемся принципом Гюйгенса для того, чтобы определить каждое слагаемое в сумме или вид подынтегрального выражения. В случае непрерывного спектра

и одинаковой амплитуды излучения амплитуда поглощения частицей a от излучателя b будет пропорциональна интегралу

$$f_{ab} \sim \int e^{ik_\mu(x_a^\mu - x_b^\mu)} d^4k \equiv 2\pi\delta(x_a^\mu - x_b^\mu),$$

то есть будет максимальной пока и поскольку для каждой энергии остаются неизменными координаты поглотителя в базисе излучателя $x_{ab}^\mu \equiv x_a^\mu - x_b^\mu$.

В метареляционном подходе решается обратная задача: координаты неизвестны, их необходимо найти, зная, что искомые числа должны быть одними и теми же для всех энергий, а амплитуда поглощения при этом должна иметь максимум. Принцип Гюйгенса возникает в теории БСКО минимального ранга (2,2), и в его выражение входит фазовый множитель (фазовое отношение) в виде $e^{i\Delta\phi_{ab}}$, являющийся априорно заданным (в отличие от априорно заданных координат в классической физике). Поскольку БСКО ранга (2,2) является подсистемой БСКО всех других более высоких рангов, в том числе и ранга (3,3), описывающей элементарные акты испускания и поглощения электромагнитного излучения, то фазовый множитель должен содержать в себе характеристики этого излучения, а именно компоненты изотропного вектора. Поскольку фаза является вещественным числом, то необходимо ввести ещё один вектор и взять скалярное произведение. Компоненты нового вектора будут прообразами координат в базисе излучателя.

Однако координатами в классическом смысле они не будут, поскольку для одной пары частиц результат не будет однозначным, так как фаза определена с точностью до целого числа n периодов 2π . На этом этапе необходимо вспомнить, что аналогичная ситуация имеет место для любой пары частиц в системе. А поскольку для каждой частицы заданы фазовые отношения ко всем остальным частицам, то сами фазы (и, в частности, числа n) должны быть согласованы между собой так, чтобы их парные разности соответствовали заданным. Здесь тоже может остаться неоднозначность: может существовать несколько вариантов согласования фаз (несколько наборов чисел n и значений от 0 до 2π). Это приведёт к нескольким вариантам определения координат из фазовых множителей. Поэтому необходимо будет брать статистику по таким конфигурациям и смотреть, какая из них после подстановки разностей фаз в принцип Гюйгенса даст максимальную амплитуду поглощения для соответствующей пары частиц. Таким образом удастся определить координаты в классическом смысле.

Описанная процедура называется «декомпактификацией» расстояний. Она была рассмотрена на простой модели системы из нескольких атомов водорода в работе [11].

Шкалы расстояний

Для простоты можно рассмотреть описанную процедуру в одном измерении. Можно взять суперпозицию всех фазовых вкладов и задаться целью найти пары частиц a и b , расстояния r_{ab} между которыми, получаемые из фаз

φ_{ab} , принимают одно и то же значение для всех энергий спектра. Результирующая амплитуда при этом должна иметь максимум.

При решении этой задачи можно посчитать количество конфигураций всех состояний частиц в системе, реализующих искомое парное расстояние r_{ab} (точнее говоря, заданный малый интервал от r_{ab} до $r_{ab} + \delta r$, далее мы будем понимать расстояние именно в таком смысле). Может так оказаться, что для каких-то расстояний r'_{ab} конфигураций окажется меньше, а для каких-то других r''_{ab} – больше. То есть r''_{ab} будет статистически более значимым, чем r'_{ab} , распределение числа конфигураций по значениям расстояний будет неравномерным, следовательно, шкала таких расстояний тоже будет неравномерной. В предыдущих работах было показано, что при подсчёте всех конфигураций, реализующих разные значения r_{ab} , получается равномерное распределение. Однако также было показано, что распределение будет неравномерным, если считать конфигурации, реализующие разные r_{ab} и некоторое фиксированное Δr_{bc} . Такую ситуацию при $r_{ab} \gg \Delta r_{bc}$ естественно интерпретировать как наблюдение частицей a с расстояния r_{ab} пары других частиц b и c , взаимодействующих друг с другом на расстоянии Δr_{bc} . Первый вариант, в котором подсчёт конфигураций выполняется только для r_{ab} , соответствует шкале сопутствующих расстояний. Вторым вариантом будет соответствовать шкале собственных расстояний, если определить её масштабный отрезок следующим образом:

$$\Delta r_* = \frac{1}{N_0} \Delta r n(r),$$

где индексы частиц опущены, $n(r)$ – функция распределения числа конфигураций в зависимости от r , а N_0 – константа нормировки. При этом расстояние по новой шкале будет определяться как

$$r_* = \frac{1}{N_0} \sum_i \Delta r n_i \rightarrow \frac{1}{N_0} \int_0^r n(r) dr,$$

где n_i – число конфигураций в интервале от r_i до r_{i+1} , а сумма ведётся по конечному числу интервалов.

Расстояние r_* естественно интерпретировать как собственное, поскольку оно имеет смысл для конкретной частицы-наблюдателя и определяется суммой отрезков сопутствующих расстояний $\Delta r \ll r$, а статистическая сумма $\frac{1}{N_0} \sum_i n_i$ по сути является масштабным фактором. Это соответствует определению собственного расстояния, принятого в классической космологии [12].

Метареляционная трактовка метрики

Можно построить и более общую интерпретацию, поскольку приведённые рассуждения справедливы не только для космологии, но и для систем лабораторных размеров. Обратим внимание на то, что расстояние r по первой шкале определяется для каждой пары частиц и зависит только от числа

конфигураций. Оно будет инвариантным относительно допустимых координатных преобразований. Расстояние r_* по второй шкале зависит от расстояния по первой и уже не будет обладать такой инвариантностью. Рассмотрим запись квадрата интервала в геометрическом подходе:

$$ds^2 = g_{\mu\nu}(x_\mu, x_\nu) dx^\mu dx^\nu$$

и одномерный аналог этой формулы для простоты рассуждений (с сохранением общекоординатной инвариантности):

$$ds = g(x)dx.$$

Здесь задана система координат с осью X и метрика $g(x)$. Пусть A – некоторая точка, имеющая координату a на этой оси. Величина

$$\int_0^a dx \equiv a$$

есть расстояние между вещественными числами 0 и a на числовой прямой. Ему ставится в соответствие расстояние вдоль оси X между точкой, принятой за начало отсчёта, и рассматриваемой точкой A в физическом пространстве. Расстояние, определённое таким образом, следует считать собственным для наблюдателя, помещённого в начало отсчёта. Это расстояние изменится, если перейти к другим координатам. Оно соответствует r_* в реляционном подходе. Если же наблюдатель окажется удалённым и от точки A , и от начала отсчёта, то расстояние между этими точками, найденное по координатной оси, не будет иметь для него физического смысла, поскольку значение $g(x)$ в точке, где находится наблюдатель, может отличаться и от $g(0)$, и от $g(a)$. Так что удалённому наблюдателю нужно знать метрику, чтобы правильно вычислить расстояние

$$s = \int_0^a ds = \int_0^a g(x)dx.$$

Расстояние, определённое таким образом, следует считать сопутствующим для точки A и начала отсчёта. Оно не зависит от выбора координат, поскольку смена x на x' «компенсируется» изменением $g(x)$ на $g'(x')$ так, чтобы соблюдалась инвариантность.

При сопоставлении формул

$$s = \int g(x)dx \text{ и } x = \int n(s)ds$$

можно прийти к выводу, что в метареляционном подходе метрика $g(x)$ должна быть определена как обратная функция к $n(s)$ с учётом нормировки. То есть в системе большого числа электромагнитно взаимодействующих частиц метрика определяется функцией распределения конфигураций, реализующих те или иные расстояния между каждой парой частиц. Отдельно подчеркнём, что поскольку каждая конфигурация задаётся состояниями всех частиц системы, то значение $g(x)$ для любой пробной частицы определяется всей остальной системой. Это полностью соответствует принятой в метареляционной парадигме расширенной формулировке принципа Маха.

Обсуждение и выводы

Главной особенностью полученного в данной работе результата является демонстрация того, что в системе большого числа излучателей и поглотителей, имеющих спектры атомов водорода, существует метрика, определяемая на основе статистического учёта всех возможных актов электромагнитных взаимодействий. Метрика в таком случае является обратной функцией к плотности распределения конфигураций, реализующих разные расстояния r_{ab} при фиксированном r_{bc} .

Следует отметить, что, хотя приведённые рассуждения оказываются справедливы для одного измерения, пока не вполне ясно, как правильно обобщить их на 3+1 измерений. Самая очевидная трудность состоит в том, что в формулу для квадрата интервала дифференциалы собственных расстояний входят квадратично и независимо по разным осям; функция g является тензорной, в то время как $n(s)$ – по-прежнему скаляр. Вероятно, нужно обобщать саму процедуру вывода собственных расстояний в метареляционном подходе на 3+1 измерения. Но при этом следует учитывать, что расстояние – скалярная величина по определению. Тогда на каком этапе следует ожидать возникновения тензорных величин?

Эти и некоторые другие вопросы являются предметом дальнейших исследований. На текущий момент метареляционный подход уже проявляет себя в лучшем свете при построении теории, в которой гравитация и классические пространственно-временные представления должны получаться как статистический результат более фундаментальных факторов. Ни одна из современных теорий, нацеленных на решение этой задачи, пока не может продемонстрировать сходных по значимости успехов.

Литература

1. *Владимиров Ю. С.* Реляционная картина мира. Кн. 1: Реляционная концепция геометрии и классической физики. Москва : ЛЕНАНД, 2021. 224 с.
2. *Владимиров Ю. С.* Метафизические основания физики : обоснование метареляционной парадигмы. Москва : ЛЕНАНД, 2024. 240 с.
3. *Rovelli C., Smolin L.* Loop space representation of quantum general relativity // Nuclear Physics B. 1990. Vol. 331, no. 1. P. 80–152.
4. *Penrose R.* Angular momentum: an approach to combinatorial space-time // Quantum Theory and Beyond / ed. by T. Bastin. Cambridge University Press, 1971. P. 151–180.
5. *Ambjørn J., Jurkiewicz J., Loll R.* Reconstructing the universe // Physical Review D. 2005. No. 72 (6). 064014.
6. *Wolfram S.* A New Kind of Science. Wolfram Media, 2002.
7. *Oppenheim J.* A post-quantum theory of classical gravity? arXiv preprint arXiv:1811.03116. 2018.
8. *Verlinde E.P.* On the origin of gravity and the laws of Newton // Journal of High Energy Physics. 2011. Vol. 4. P. 29.
9. *Рашиевский П. К.* Риманова геометрия и тензорный анализ. Москва : Наука, 1967. С. 658.
10. *Molchanov A. B.* Cosmological Scale Factor In The Relational Approach // Metafizika (Metaphysics). 2023. No. 2. P. 38–48.

11. Молчанов А. Б. Процедура декомпактификации расстояний // Пространство, время и фундаментальные взаимодействия. 2023. № 2. С. 36–46.
12. Вайнберг С. Гравитация и космология : принципы и приложения общей теории относительности / пер. с англ. В. М. Дубровика и Э. А. Тагирова ; под ред. Я. А. Смородинского. Москва : Мир, 1975. С. 442.

MACH'S PRINCIPLE AND METARELATIVE INTERPRETATION OF THE METRIC

A.B. Molchanov*

*Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University
2 bldg, 1 Leninskiye Gory, Moscow, 119991, Russian Federation*

Abstract. One of the main tasks of the metarelativistic approach to the description of space-time and physical interactions is the derivation of space-time quantities from more fundamental laws describing the most basic physical processes in the microworld. Such processes, in particular, include acts of emission and absorption of electromagnetic radiation by elementary particles. It was previously shown that statistical accounting of all possible acts of electromagnetic interactions in a system of particles with discrete spectra of hydrogen atoms leads to the possibility of determining the scales of distances and time in such a system. This result was compared with the presence of accompanying and proper coordinates in cosmology, and also led to an expression for the scale factor linking these systems. In this paper, this result is generalized: it is shown that the distribution function of emitter and absorber configurations is related to the metric in the classical theory of gravity, and the key role of the extended (strong) Mach principle is demonstrated.

Keywords: space-time, metaphysical approach, gravity theory, quantum theory statistical approach

* E-mail: alexeybm2009@gmail.com

СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ТЕОРЕТИКО-ПОЛЕВОЙ И ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ПАРАДИГМ

DOI: 10.22363/2224-7580-2025-1-107-127

EDN: XZJDKY

ОТ КВАРКОВ К ПАРТОНАМ, И ОТ НИХ – К КВАНТОВОЙ ХРОМОДИНАМИКЕ

В.П. Визгин

*Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова
Российской академии наук
Российская Федерация, 125315, Москва, ул. Балтийская, д. 14*

Аннотация. В статье исследуется история создания квантовой хромодинамики (КХД), являющейся современной теорией сильных взаимодействий и частью стандартной модели в физике элементарных частиц. Выделены и изучены основные этапы в этом развитии, связанные с поворотными событиями на пути к КХД: 1) создание кварковой модели (1964); 2) обнаружение квазиточечных объектов внутри нуклонов в опытах по глубоко-неупругому рассеянию лептонов на нуклонах и гипотеза партониев (1968-1969); 3) доказательство перенормируемости калибровочных теорий (1971); 4) создание калибровочной теории кварков и глюонов (достижение М. Гелл-Манна с сотрудниками, 1971-1973); 5) открытие явления асимптотической свободы как физической основы КХД (Д. Гросс и др., 1973). Сделан вывод о важности и согласованности достижений каждой из этих групп в завершение КХД.

Ключевые слова: стандартная модель, квантовая хромодинамика, кварки, партониев, глюоны, перенормируемость калибровочных теорий, асимптотическая свобода

«История создания квантовой хромодинамики – это история, наполненная путаницей, ошибками, неверными гипотезами и выводами, короче говоря, это история сложная»

Х. Фрич [1. Р. 595]

Введение

Предварительный анализ хронологии событий на пути к завершению квантовой хромодинамики (КХД) приводит к выделению следующих этапов в этом развитии.

1. В основном негативное восприятие кварков как реальных частиц и принятие кварковой модели как математической конструкции, в которой кварки представляют свойства $SU(3)$ -симметрии (1960-е гг.).

2. Обнаружение квазиточечных объектов внутри адронов в экспериментах по глубоко неупругому рассеянию лептонов на нуклонах, приведшее к гипотезе партонов (1968–1969 гг.).

3. Два главных новых импульса для возрождения теории кварков и завершения КХД: гипотеза партонов и доказательство перенормируемости калибровочных теорий (1969–1971 гг.).

4. Первый путь к завершению КХД, связанный с созданием калибровочной цветной $SU(3)$ -теории кварков и глюонов (М. Гелл-Манн и Х. Фрич с сотрудниками, 1971–1973 гг.).

5. Второй путь к завершению КХД, связанный с открытием Д.Дж. Гроссом, Ф. Вильчеком и Х.Д. Политцером асимптотической свободы и конфайнмента кварков (1973).

Позже между этими двумя группами возникла полемика о приоритете в создании КХД, которую мы в заключение затронем.

Об открытии кварков и восприятии кварковой модели в 1960-е годы

Подробное рассмотрение истории открытия кварков в 1963–1964-е годы содержится в наших статьях [2; 3]. Здесь мы только коснемся вопроса о восприятии кварковой модели сообществом теоретиков в середине и конце 1960-х годов. Кварки Гелл-Манна и Цвейга появились и как формальное (триплетное представление группы – сильного взаимодействия $SU(3)$), и как физическое (элементарные составляющие сильновзаимодействующих частиц) основание «восьмеричного пути» Гелл-Манна и Неемана. Гипотеза кварков позволяла «упростить невероятно сложный «зоопарк» частиц, известных к тому времени. Однако все попытки экспериментаторов в 1960-е и начале 1970-х годах вытащить кварки из тех частиц, в которых они предположительно содержатся, полностью провалились. Это выглядело ненормально» [4. С. 142–143]. Кварковая модель оказывалась нереалистичной из-за странного статуса кварков как дробно-заряженных частиц, которые должны были бы наблюдаться, но все попытки их экспериментального обнаружения оказались неудачными. Кроме того, вера в квантово-полевую программу (или даже парадигму) в эти годы оставалась подорванной (с середины 1950-х гг.) проблемой «нуль – заряда» [2]. «Теория поля, – говорил в Нобелевской лекции Д. Гросс, – была заменена на теорию S-матрицы – теорию, основанную на общих принципах, таких как унитарность и аналитичность, но без фундаментального микроскопического гамильтониана». И далее: «Теория S-матрицы достигла некоторых замечательных результатов, таких как дисперсионные соотношения и развитие теории полюсов Редже. Однако все это были черновики теории, основанной на принципе, что никакой теории нет вообще, по крайней мере в традиционном смысле. Более того, до 1973 года считалось неприличным использовать теорию поля без извинений» [5. С. 732]. А об

отношении к кваркам один из создателей КХД говорил: «Кварки все еще не наблюдались, хотя достигнутые энергии в 10 раз превышали порог для их рождения... Из этого был сделан вывод, что кварки – вымышленные математические объекты... Можно было «выводить» свойства кварков из некоторой модели, но не разрешалось верить в их существование и принимать эту модель всерьез» [5. С. 734]. О весьма скептическом и даже негативном отношении физиков к кваркам вспоминал в своей Нобелевской лекции и экспериментатор Г. Кендалл: «Существовали серьезные проблемы в трактовке кварков как физических составляющих нуклонов, и эти проблемы либо обескураживали, либо вызывали неприятие у большинства теоретического сообщества, включая некоторых из наиболее уважаемых его членов» [6. С. 79].

Настоящим поворотным моментом, резко изменившим эту ситуацию стали работы молодого теоретика Г. 'т Хоофта, ученика голландского физика из Утрехтского университета Мартинуса Вельтмана (1971 г.). В них была убедительно доказана перенормируемость неабелевых калибровочных полей, как безмассовых, так и массивных и со спонтанно нарушенной симметрией. В результате в последующие два-три года согласованные действия теоретиков и экспериментаторов привели к созданию квантовой теории неабелевых калибровочных полей сильного и электрослабого взаимодействий, именуемой стандартной моделью. Наиболее значительным и продуктивным здесь оказался 1973 год, когда М. Гелл-Манн с сотрудниками, с одной стороны, и Д. Гросс с Ф. Вильчеком, а также Х.Д. Политцер – с другой, завершили создание перенормируемой калибровочно-полевой теории сильных взаимодействий, именно КХД. И тогда же электрослабая калибровочно-полевая теория Вайнберга-Салама была признана и подтверждена экспериментально обнаружением предсказываемых ею нейтральных токов. Этот год можно считать годом рождения стандартной модели и одновременно годом полной реабилитации и торжества полевой парадигмы в микрофизике.

Поскольку массив публикаций в эти годы резко возрастает, как и математико-технический уровень теоретических исследований, мы будем часто опираться на обзорные и исторические работы, в том числе на Нобелевские лекции и воспоминания некоторых главных участников событий, а также на обстоятельные монографии А. Пайса [7], Т.Ю. Цао [8], а также сборники работ, посвященные 50- и 60-летним юбилеям теории Янга – Миллса [9; 10] и материалы конференции «Симметрии в физике (1600–1980)», состоявшейся в Испании в 1983 году [11] и др.

От экспериментов по глубоко неупругому рассеянию к партонной модели (1967–1969 гг.)

Следующим после 1964 года поворотным стал 1967 год [2; 4]. Именно в этом году появилась электрослабая теория Вайнберга – Салама, в которой была решена проблема массы калибровочных бозонов, и, кроме того, тогда же Фаддеев и Попов разработали метод квантования неабелевых калибровочных полей, с помощью которого спустя четыре года были доказаны

‘т Хоофтом перенормируемость калибровочных полей. Но оба этих достижения не были тогда же поняты и оценены по достоинству. Поэтому значительность этих событий была скрытой. Так что ситуация в теоретическом сообществе в 1967 году и ближайшие последующие годы оставалась как будто неизменной. Квантово-полевая программа, включая ее калибровочное расширение, казалась большинству теоретиков по-прежнему бесперспективной, так же как представления о существовании фундаментальных частиц, будь то обычные элементарные частицы или загадочные кварки. Большие надежды по-прежнему возлагались на феноменологическую программу S-матрицы и связанные с ней концепции бутстрапа и полюсов Редже. Об этом говорилось, в частности, в Нобелевских лекциях Д. Гросса и Г.У. Кендалла [5; 6]. Цитируем Г.У. Кендалла: «Признанным подходом к пониманию адронных взаимодействий ... была тогда теория бутстрапа, один из нескольких подходов к теории S-матрицы. Он предполагал, что не существует „фундаментальных частиц“: каждая состоит из других. Эта теория была расположена на противоположном полюсе по отношению к конституентным теориям и иногда называлась „ядерной демократией“» [6. С. 78]. Такая ситуация особенно затрудняла развитие кварковой модели на пути к последовательной теории сильных взаимодействий. Трудности кварковой модели связывались с кризисом квантово-полевой программы; и то и другое имели, как выразился Кендалл в Нобелевской лекции, «низкую теоретическую репутацию» [Там же]. Так, первооткрыватель кварков М. Гелл-Манн на одной из конференций так закончил свой доклад о кварках: «Я бы хотел закончить, выделив основную мысль о том, что может оказаться вполне возможным построить ясную теорию адронов, основанную на кварках и некотором их склеивании, расцениваемую как вымышленную, но с достаточным числом физических свойств, которые абстрагируются и применяются к настоящим адронам для построения полной теории. Так как величины, с которых мы начинаем, вымышлены, нет никакой необходимости для конфликта с бутстрапом или с согласованной дуальной партонной точкой зрения» (цит. по [1. С. 732]).

В 1967–1969-е годы полевая программа и кварковая модель получили неожиданную мощную поддержку со стороны эксперимента и экспериментального сообщества. Как раз в эти годы в Стенфордском центре линейного ускорителя под руководством Г.У. Кендалла и Дж.А. Фридмана из Массачусетского технологического института, а также канадского физика Р.Э. Тейлора были проведены эксперименты по глубоко неупругому рассеянию электронов на протонах, из которых следовало, что внутри протона имеются точечно-подобные объекты, названные Р. Фейнманом партонами. Результаты по глубоко неупругому рассеянию, полученные в Стенфорде, были впервые представлены на XIV Рочестерской конференции по физике высоких энергий в августе 1968 года. В итоговом докладе директор Стенфордского центра линейного ускорителя В.К.Г. Пановский резюмировал: «Таким образом, теоретические размышления сфокусированы на той возможности, что эти данные могли бы дать указание на поведение точечных заряженных структур в нуклоне» (цит. по [6. С. 100]). Эти «теоретические размышления» принадлежали

в первую очередь стенфордскому теоретику Дж. Бьеркену, который при планировании экспериментов по глубоко-неупругому рассеянию предполагал, что они смогут пролить свет на «элементарные составляющие» нуклонов. При этом он опирался на связанную с кварковой моделью так называемую алгебру токов. Полученные на ее основе результаты он считал «настолько ясными, что, вспоминая об исторических примерах (имелись, скорее всего, в виду опыты Резерфорда, а также Марсдена и Гейгера по рассеянию альфа-частиц на ядре атома – *V.V.*)», предлагал «их интерпретировать в терминах «элементарных составляющих нуклона» (цит. по [12. С. 112]). Об этом он говорил в своей лекции на Международной школе «Э. Ферми» в июле 1967 году в Варенне. И это было, как подчеркивал Дж. А. Фридман в своей Нобелевской лекции, «задолго до того, как появились наши первые результаты по неупругому рассеянию». Говоря об «элементарных составляющих нуклона», Бьеркен имел в виду «точечно-подобные структуры протона». Однако «в то время, – продолжал Фридман, – бьеркеновские результаты произвели на нас малое впечатление. Возможно, так произошло потому, что эти результаты основывались на алгебре токов, которую мы находили в большой степени теорией для посвященных. Или, быть может, это определялось тем, что мы были слишком пропитаны физикой того времени, которая предполагала, что адроны являются протяженными объектами с диффузными подструктурами» [12. С. 112]. Неудивительно, что первые, весьма неожиданные, результаты экспериментов по глубоко неупругому рассеянию электронов объяснил именно Бьеркен в терминах скейлинга, или масштабной инвариантности, свойственной этому рассеянию. Скейлинг означал зависимость величин, характеризующих рассеяние, не от двух переменных, а от одной, как в формуле Резерфорда при описании рассеяния альфа-частиц на ядре атома. Летом 1968 года в Стенфорд приехал Р. Фейнман, который, ознакомившись с результатами Бьеркена, придумал их простую и наглядную интерпретацию, введя партоны, точечно-подобные частицы, заполняющие внутренность нуклонов (см. [13]). В октябре он снова появился в Стенфорде и прочел лекцию о партонной модели, после чего теоретики начали связывать партоны с кварками и кварк-партонная картина сильных взаимодействий стала началом заключительной стадии формирования квантовой хромодинамики. 1969 год стал поворотным на этой стадии: восстановился плодотворный контакт теоретиков и экспериментаторов, были опубликованы как сенсационные результаты экспериментаторов, так и теоретические работы Бьеркена и Фейнмана (см. [12; 6; 7; 8]). Стали разрабатываться кварк-партонные модели, которые при всей их привлекательности приводили, по словам Фридмана, к «вопиющей несогласованности»: точечно-подобные конститuenty (партоны, в конечном счете, кварки), с одной стороны, должны были сильно взаимодействовать между собой, чтобы не быть наблюдаемыми в лаборатории, а с другой – для объяснения результатов глубоко неупругого рассеяния они должны были вести себя как «свободные», невзаимодействующие между собой частицы [12. С. 114].

В эти и последующие годы усилия теоретиков были направлены на устранение этой несогласованности, и это было достигнуто как благодаря открытию феномена асимптотической свободы, так и на основе разработки калибровочной цветной SU(3)-симметрии. При этом и первооткрыватели понятия асимптотической свободы Д. Гросс, Ф. Вильчек, Х.Д. Политцер, Г. 'т Хоофт, и создатели теории кварков и глюонов Х. Фрич и М. Гелл-Манн впоследствии подчеркивали важнейшую роль в их достижениях как экспериментальных, так и теоретических работ по неупругому рассеянию, включая теорию скейлинга и партонную модель. Приведем несколько высказываний названных творцов КХД. Вот довольно обширная цитата (с некоторыми купюрами) из Нобелевской лекции Д. Гросса, содержащая некоторые важные дополнительные детали: «Эксперименты по глубоко неупругому рассеянию на установке SLAC оказали на меня сильное влияние. Они явно показали, что на малых временах протон ведет себя так, как будто он сделан из точечных объектов со спином $\frac{1}{2}$... Мы руководствовались экспериментами, которые были выполнены тогда в ЦЕРНе (это была еще одна серия опытов по неупругому рассеянию, именно рассеянию нейтрино на нуклонах. – В.В.)... Эксперименты вскоре показали, что компоненты протона имеют барионное число $1/3$, другими словами, они были похожи на кварки. Тогда я полностью убедился в реальности кварков... Конечно, между кварками должно было существовать сильное взаимодействие, которое размывает их точно-подобное поведение» [1. С. 736].

После работ Бьеркена и Фейнмана по интерпретации результатов опытов по неупругому рассеянию на основе скейлинга и партонной модели Гросс «вскоре осознал, что в контексте теории поля только свободная, невзаимодействующая теория может дать точный скейлинг». А с другой стороны, «едва ли можно выключить или сделать очень слабым взаимодействие между кварками, так как тогда можно ожидать, что адроны должны легко рассыпаться на кварковые составляющие, а свободных кварков никто не видел». «Этот парадокс и поиск объяснения скейлинга, – заключал Гросс, – обеспечили меня работой на последующие четыре года» [Там же. С. 737]. Об этом же говорил в своей Нобелевской лекции Ф. Вильчек, соавтор Гросса по работам, в которых было опубликовано их открытие асимптотической свободы: «Атмосфера таинственности вокруг свойств кварков еще более сгущалась, когда Дж. Фридман, Г. Кендалл, Р. Тейлор и их коллеги на линейном ускорителе в Стенфорде (SLAC) направили фотоны с высокой энергией на протоны и обнаружили внутри нечто вроде кварков. Неожиданным было то, что при сильных столкновениях кварки двигаются (точнее, передают энергию и импульс) так, как если бы они были свободными частицами» [14. С. 769].

Для Г. 'т Хоофта, который справедливо считается сооткрывателем асимптотической свободы, неожиданные результаты опытов по неупругому рассеянию и их интерпретация в работах Бьеркена и Фейнмана, также были весьма важны. «Эксперименты тем временем углублялись в область все больших энергий, и было обнаружено странное скейлинговое явление. Его истинная природа была изучена Дж. Бьеркеном... Позднее это было

интерпретировано Фейнманом следующим образом: на малых расстояниях составные части адрона движутся сравнительно свободно. Эти составляющие он назвал «партонами». Тогда, продолжал 'т Хоофт, «у многих сложилось впечатление, что ни одна квантовая теория поля не в состоянии описать бьеркеновский скейлинг. Мне было не очень понятно, почему многие так считали, поскольку я знал о весьма изящном скейлинговом поведении неабелевых калибровочных теорий... Когда я поделился своими догадками о том, что теории с калибровочной группой $SU(3)$ было бы достаточно для описания сил взаимодействия между кварками, с Вельтманом, то он предостерег меня, сказав, что эту идею никто не стал бы воспринимать всерьез до тех пор, пока не будет выяснен кварковый конфайнмент» [15. С. 106]. Стенфордские ускорительные опыты по изучению структуры нуклонов и их истолкование в духе партонной модели оказали существенное воздействие и на возвращение одного из главных первооткрывателей кварков М. Гелл-Манна к кварковой модели и развитию ее до калибровочной теории кварков и глюонов в серии совместных работ с молодым немецким теоретиком Х. Фричем и другими сотрудниками [1. Р. 600]. Так неожиданные результаты опытов по глубоко неупругому рассеянию лептонов на нуклонах и их интерпретация на основе партонной модели (1968–1969 гг.) оказались важнейшим фактором на пути и к понятию «асимптотической свободы», и к кварк-глюонной калибровочной теории сильных взаимодействий, то есть к КХД, разработанных в 1971–1973-е годы в работах 'т Хоофта, Фрича и Гелл-Манна (с соавторами), Гросса, Вильчека и Политцера и др.

Поворотный момент 1971 г.: Г.'т Хоофт доказывает перенормируемость неабелевых калибровочных полей

В конце предыдущего раздела мы забежали немного вперед и здесь возвращаемся к 1971 году, когда Г. 'т Хоофт доказал перенормируемость янг-миллсовских калибровочных теорий. Поначалу концепция перенормировок многим казалась каким-то формально-вычислительным трюком, позволяющим проводить расчеты с помощью теории возмущений. Не случайно Нобелевская премия за разработку этой теории в рамках квантовой электродинамики была вручена Р.Фейнману, Дж. Швингеру и С. Томонаге более чем через два с половиной десятилетия после их открытия. «При известном снобизме, – писал Л.Б. Окунь в начале 1980-х годов – можно сказать, что требование перенормируемости теории является чисто „ремесленным“. Цель его – придать смысл расчетам по теории возмущений, но природа может совершенно не заботиться об этом» [16. С. 146].

Но в дальнейшем требование перенормируемости теории превратилось в один из главных критериев качества теории, ее непротиворечивости (отсутствие расходимостей) и вычислительной эффективности и даже приобрело, по словам Окуня, эстетический характер: «Перенормируемая теория слабого взаимодействия (при этом имеется в виду единая теория слабого и электромагнитного взаимодействий. – В.В.), несмотря на свое

«неаристократическое», «ремесленное» происхождение, а, возможно, благодаря ему, полна жизненных сил, красива и обладает большим запасом предсказаний» [Там же. С. 147]. И творцы СМ, такие как нобелевские лауреаты А. Салам, С. Вайнберг, Д. Гросс, Ф. Вильчек и др., а также видные специалисты по физике элементарных частиц, такие как Э. Зи, Л. Бринк, К.К. Пхуа и др., уверенно выделяют работы 'т Хоофта по перенормируемости неабелевых калибровочных теорий 1971 года как явно поворотные. Вот как об этом говорил в Нобелевской лекции один из главных участников тех героических событий Д. Гросс: «Эффектная работа Г. 'т Хоофта о перенормируемости теории Янга – Миллса переоткрыла для физической общественности неабелевы калибровочные теории» [1. С. 738]. Эти воспоминания можно дополнить фрагментом из более поздней книги Вайнберга «Мечты об окончательной теории»: «Более внимательно посмотрев на то, что сделал 'т Хоофт, я убедился, что он действительно нашел ключ к доказательству сокращения всех бесконечностей. Хотя все еще не существовало ни малейших экспериментальных свидетельств в пользу электрослабой теории, но именно после работы 'т Хоофта она стала частью рабочего аппарата физики... Открытие, из-за которого физики с самого начала проявили интерес к этой теории, состояло в том, что она решает внутреннюю концептуальную проблему физики частиц – проблем у бесконечностей в теории слабых ядерных сил» [4. С. 96]. Впоследствии Вайнберг называл 'т Хоофта «одним из величайших физиков нашего времени», имея в виду его работы по перенормируемости неабелевых калибровочных теорий [17. С. 82]. О поворотном характере работы 'т Хоофта говорили физики и спустя несколько десятилетий. При этом многие из них отмечали также важную роль учителя 'т Хоофта М. Вельтмана. «В 1999 году 'т Хоофт и Вельтман, – писал в своей книге Э. Зи, – получили Нобелевскую премию за доказательство того, что электрослабая $SU(2) \times U(1)$ -теория является перенормируемой, *проложив тем самым путь к торжеству неабелевых калибровочных теорий при описании сильных, слабых и электромагнитных взаимодействий* (курсив наш. – В.В.) [18. С. 428]. В предисловии к трудам юбилейной конференции, посвященной 60-летию теорий Янга-Миллса, редакторы этого издания Л. Бринк и К.К. Пхуа связывали это достижение 'т Хоофта с началом научной революции: «В 1971 году молодой голландский студент Хоофт потряс мир, объявив, что теории Янга-Миллса перенормируемы даже в том случае, когда симметрии теории спонтанно нарушены. В следующем году он завершил доказательство вместе со своим научным руководителем М. Велтманом. Это было началом настоящей революции. Наконец, мы получили последовательную квантовополевую теорию слабых взаимодействий» [21. Р. VI].

Заслуживает особого внимания рассказ М. Вельтмана о том, как его студент 'т Хоофт решил проблему перенормируемости для безмассовых полей, а затем сумел перенести развитую им технику на поля с массивными бозонами и спонтанно нарушенной симметрией, по существу, переоткрыв электрослабую теорию и доказав ее перенормируемость: «Как-то осенью или зимой 1970/1971 года Вельтман с 'т Хоофтом шли по университетскому

кампусу. – Мне все равно, что и как, – заявил Вельтман своему студенту, – но нам нужна хотя бы одна перенормируемая теория с массивными векторными бозонами, и похоже это будет на природу или нет, не важно, это все детали. – Это я могу, – тихо сказал ‘т Хоофт. Прекрасно понимая, как трудна проблема и что другие физики, например Р. Фейнман, пытались ее решить и не смогли, Вельтман очень удивился, услышав ‘т Хоофта. Он чуть не врезался в дерево. – Что-что? – переспросил он. – Я могу это сделать, – повторил ‘т Хоофт. Вельтман так долго бился над проблемой, что ему не верилось, будто у нее может быть такое простое решение, как представлялось ‘т Хоофту. Понятно, почему Вельтман отнесся к его словам с недоверием. – Запиши, и посмотрим, – сказал он» (Из разговора Вельтмана с философом физики Э. Пикерингом. Цит. по [20. С. 54–55]). И хотя Вельтману не нравился использованный ‘т Хоофтом механизм Хиггса, он решил проверить результаты ‘т Хоофта на компьютере в ЦЕРНе с помощью разработанной им компьютерной алгебраической программы. Расчеты ‘т Хоофта оказались верными, и голландские теоретики поняли, что им удалось получить полностью перенормируемую квантово-полевую теорию электрослабых взаимодействий. «Психологический эффект от доказательства перенормируемости был огромен», – вспоминал впоследствии Вельтман (цит. по [20. С. 55]).

Опубликованные в *Nuclear Physics* две обсуждаемые статьи ‘т Хоофта [21; 22] были весьма объемисты и заполнены сложными вычислениями. Неудивительно, что даже такие искушенные теоретики, как С. Вайнберг, Ш. Глэшоу и др., поначалу их не поняли и не оценили должным образом. Да и шеф ‘т Хоофта М. Вельтман не сразу в них разобрался. Впоследствии даже в таких основательных и специальных монографиях по калибровочным полям, как цитированные выше книги Л.Б. Окуня и Э. Зи [16; 18], эти работы ‘т Хоофта упоминаются, признаются «прорывными», но фактически не рассматриваются. «...Вайнберг еще в своей исходной работе, – говорится в книге Окуня, – высказал гипотезу о том, что лагранжиан (электрослабой теории. – В.В.) перенормируем. Но доказать справедливость этого утверждения оказалось очень непросто. Это сделал ‘т Хоофт (1971 г.). Рассмотрение этого доказательства выходит за пределы нашей книги» [16. С. 174]. Э. Зи, отметив революционное значение этих работ ‘т Хоофта, отказывается от их рассмотрения и лишь кратко указывает на формально-математическую суть доказательства [20. С. 428].

Вот фрагменты краткого рассказа самого ‘т Хоофта, относящегося к 1998 году: «В 1970 году ...мы (он и Вельтман. – В.В.) решили составить следующую программу моих исследований: 1) Как в точности надо перенормировать амплитуды в чистой, имеющей нулевую массу системе теории Янга – Миллса? Каковы в точности правила вычислений? Конечно, все это надо было делать в рамках теории возмущений. 2) И как затем можно было бы согласовать найденную процедуру с массовыми членами? Я знал, что все это в конце концов окажется теорией Хиггса. Первый шаг не обещал быть легким. Как можно вычитать друг из друга бесконечности и как вычислять поправки высших порядков, которые не нарушали бы локальную калибровочную

инвариантность?» [15. С. 13]. И далее ‘т Хоофт использует результаты Л.Д. Фаддеева и В.Н. Попова по квантованию калибровочных полей, полученные ими еще в 1967 году на основе применения фейнмановского метода интегралов по путям (или метода функциональных интегралов): «Функциональные интегралы для калибровочной теории изучили прекрасно Л.Д. Фаддеев и В.Н. Попов... Я заметил, что определитель Фаддеева-Попова (играющий в их теории ключевую роль – см. предыдущий раздел нашей работы. – *V.B.*) можно переписать в терминах функционального интеграла Гаусса...», что позволило довести до конца доказательство перенормируемости безмассовых калибровочных теорий. „Я с нетерпением ожидал следующего шага: добавления массовых членов, – продолжал ‘т Хоофт. – Теперь это было легко. Абсолютная калибровочная инвариантность была абсолютно существенна, так что добавлять массовый член, как в модели Глэшоу, было запрещено. Но механизм Хиггса прекрасно работал. И было уже легко обобщить наши процедуры так, чтобы включить в них механизм Хиггса. И снова унитарность и другие необходимые свойства можно было установить с помощью теории возмущений“» [Там же. С. 14–16].

Завершение основ КХД: путь группы М. Гелл-Манна и Х. Фрича (1971–1973 гг.)

Итак, мы подошли к решающим событиям 1973 года, которые означали завершение основ квантовой хромодинамики (КХД). Первым важным вкладом здесь были работы группы М. Гелл-Манна, Х. Фрича и сотрудничающих с ними У. Бардина и Г. Лейтвилера, связанных с Калифорнийским технологическим институтом (Калтехом) и ЦЕРНом. Они, по-видимому, первыми пришли к пониманию теории сильных взаимодействий как теории кварков и октета безмассовых калибровочных глюонов, связанных с цветной калибровочной $SU(3)$ -симметрией. Вспомним, что Гелл-Манн был бесспорным лидером в разработке теории сильного взаимодействия 1950-х годов. Параллельно с Ю. Нееманом он открыл $SU(3)$ -симметрию сильного взаимодействия, а затем (также параллельно) с Г. Цвейгом – кварковую модель (соответственно в 1961 и 1964 гг.).

Но в это время, вплоть почти до создания КХД, большинство теоретиков утратило веру в то, что сильные взаимодействия могут быть описаны тем или иным вариантом квантовой теории поля и связанным с ним выделением каких-то частиц в качестве первичных, или фундаментальных. Поэтому и отношение к загадочным кваркам (с дробными электрическими зарядами и не существующими в свободном виде) было весьма критическим. И сам Гелл-Манн испытывал сомнения в реальности кварков, в отличие от своего соавтора Х. Фрича, который был явным приверженцем концепции кварков как реальных частиц. Однако в конце 1960-х годов и затем в 1971 году произошли события, изменившие (одно постепенно, другое сразу) соотношение сил в пользу кварков и квантово-полевой калибровочной программы. О первом подробно рассказывалось выше: речь идет о сенсационных результатах

экспериментов по глубоко неупругому рассеянию лептонов на нуклонах, согласно которым нуклон ведет себя как совокупность квазиточечных объектов, названных Р. Фейнманом партонами. О втором событии говорилось в предыдущем разделе – это было доказательство перенормируемости неабелевых калибровочных теорий ‘т Хоофтом. В результате была не только подтверждена правильность теории Вайнберга – Салама, но и созданы основные предпосылки для возрождения калибровочно-полевой концепции и в отношении сильного взаимодействия. Вместе с тем участники событий впоследствии отмечали нагромождение предубеждений, ошибок, сменявшихся разрешением парадоксов и прорывами на финишном, скорее, кривом, чем прямом пути, к КХД (см. эпиграф).

Х. Фрич (H. Fritzsch), окончивший в 1968 году Лейпцигский университет, был горячим приверженцем гелл-манновских кварков, в реальность которых он верил больше, чем их изобретатель. Видимо, это произвело впечатление на Гелл-Манна, который в 1970 году стал сотрудничать с Фричем, пытаясь приспособить модель кварков для объяснения результатов экспериментов по глубоко неупругому рассеянию лептонов на нуклонах и связать ее с квазиточечной и партонной моделями структуры нуклонов Дж. Бьеркена и Р. Фейнмана. Основным методом, которым они пользовались, была «алгебра токов», рассматриваемая вблизи светового конуса и потому получившая название «алгебры светового конуса». Вообще метод алгебры токов также ранее был развит Гелл-Манном и им же очень выразительно описан еще в 1964 году: «Чтобы считать предполагаемые соотношения верными, мы используем метод обобщения, исходя из лагранжевой модели теории поля. Другими словами, мы строим математическую теорию сильно взаимодействующих частиц, которая может соответствовать, а может и не соответствовать действительности, находим подходящие алгебраические соотношения, которые выполняются в модели, постулируем их выполнение, а затем выбрасываем модель» (цит. по [5. С. 733]). Такой подход позволял получать важные феноменологические соотношения алгебраического характера, избегая погружения в квантовую теорию поля, которая находилась в кризисе, особенно в отношении сильных взаимодействий. В 1970–1971-е годы «мы получили те же результаты, что и Фейнман, который предложил модель партонов, если партоны отождествить с кварками, – вспоминал впоследствии Фрич. – Позже выяснилось, что результаты алгебры токов на световом конусе почти совпадают с результатами КХД благодаря асимптотической свободе теории» [23. Р. 21]. Там же было впервые выдвинуто предположение «о новых нейтральных объектах, не наблюдаемых непосредственно при глубоко неупругом рассеянии, но могущих появиться в тензоре энергии-импульса, фигурирующем в алгебре токов, и отождествляемых с глюонами, которые обеспечивают взаимодействие между кварками» [24. Р. XI]. Более того, уже тогда они отметили «возможность того, что каждый из u , d , s -кварков может находиться в одной из трех форм, названной позже «цветом», и что на этом пути можно решить проблему, связанную с принципом Паули, при составлении некоторых барионов из кварков [Ibid.]».

В ЦЕРНе к Гелл-Манну и Фричу примкнул У. Бардин (сын знаменитого физика Нобелевского лауреата Дж. Бардина), и они подготовили доклад для конференции по масштабной и конформной симметрии в физике адронов (1972), опубликованный затем в «Трудах» этой конференции [25]. В нем они показали, что «цветная модель кварков» обладает рядом преимуществ, и прежде всего позволяет обойти трудность, связанную с кажущимся нарушением принципа Паули. Она также не приводила, в отличие от ранее предложенной схемы Ё. Намбу – М. Хана с нарушенной цветной $SU(3)$ – симметрией, к существованию наблюдаемых цветных объектов. В лекции «Кварки», прочитанной Гелл-Манном на Международной университетской неделе по ядерной физике в Шладминге в 1972 году, изобретатель кварков подчеркивал их «нереалистичность», утверждая, что хотя адроны ведут себя так, как будто они состоят из кварков, сами кварки не являются самостоятельно существующими частицами [39]. Наконец, в обстоятельном совместном докладе на XVI Международной конференции по физике высоких энергий в Чикаго (1972) Гелл-Манн и Фрич рассмотрели все преимущества введения нового квантового числа кварков – «цвета» и связанного с ним принципа бесцветности реально наблюдаемых адронов. Появление октета векторных глюонов, осуществляющих взаимодействие между кварками, было связано с локализацией цветной $SU(3)$ -симметрии на основе теории неабелевых калибровочных полей Янга – Миллса [26]. В комментарии к этой статье в томе избранных трудов Гелл-Манна подчеркнуто, что «эта статья была первой, в которой рассматривалась янг-миллсовская теория цветного октета глюонов, связанного с цветными кварками. Иначе говоря, это была теория, которую Фрич и Гелл-Манн позже называли квантовой хромодинамикой» [24. Р. 12].

Об этом же писал Фрич в статье, опубликованной в 2012 году: «Весной 1972 года мы (то есть он вместе с Гелл-Манном. – *В.В.*) начали интерпретировать цветную группу симметрии как калибровочную. Полученная калибровочная теория была похожа на квантовую электродинамику. Взаимодействие кварков порождалось октетом безмассовых калибровочных бозонов, которые мы называли глюонами. Позже мы назвали эту теорию квантовой хромодинамикой» [23. Р. 21]. Заметим, что Фрич предлагал назвать цветные безмассовые калибровочные бозоны хромонами, но за ними закрепилось название, предложенное Гелл-Манном, то есть глюоны [38. Р. 16]. Тогда же они в основу теории положили по существу правильный лагранжиан, который фигурировал и в лекциях Гелл-Манна, прочитанных на зимней школе в Шладминге [39].

Фактически Гелл-Манн и Фрич были очень близки к тому, чтобы открыть явление асимптотической свободы для КХД, поскольку в этой теории «глюоны взаимодействуют не только с кварками, но и между собой... и это взаимодействие приводит к уменьшению константы связи при увеличении энергии, то есть теория становится асимптотически свободной» [23. Р. 21]. Но, как вспоминал впоследствии Фрич, они тогда считали что на малых расстояниях (и больших энергиях) взаимодействие между кварками обращается в нуль [38. Р. 16]. Правда, как несколько позже показали Д. Гросс,

Ф. Вильчек и Х. Политцер, оно не исчезает, а становится очень малым. Это, по мнению Фрича, помешало им открыть асимптотическую свободу сильных взаимодействий. Вероятно, сделать решающий шаг на пути к этому могли помешать им еще три обстоятельства:

- 1) недостаточная укорененность их теории в квантовой теории поля;
- 2) эта теория рассматривалась ими как одна из возможностей, которая еще может претерпеть значительные изменения, в частности, из-за недостаточно разработанного представления о конфайнменте кварков при увеличении расстояния между ними;
- 3) неясности в отношении степени реальности кварков и глюонов; это в большей мере касалось самого Гелл-Манна, который считал, что «так как величины, с которых мы начинаем (то есть кварки. – *В.В.*), вымышлены, нет никакой необходимости для конфликта с бутстрапом...» (цит. по [1. С. 732]) или другими неполевыми феноменологическими концепциями.

Завершение основ КХД: путь группы Д. Гросса, Ф. Вилчека и Х.Д. Политцера

Решающий шаг на пути к открытию асимптотической свободы был сделан весной 1973 года Д. Гроссом вместе с Ф. Вильчеком и, независимо, Х.Д. Политцером. Впрочем, за год до этого Г. 'т Хоофт уже знал об этом феномене, но полагал, что надо сначала решить проблему конфайнмента, а потом уже сразу описать поведение кварков как на малых, так и на больших расстояниях [15]. Последняя важная работа Гелл-Манна с сотрудниками [27] была написана и опубликована уже после ознакомления авторов с работами Гросса и Вильчека, а также Политцера по асимптотической свободе. В ней содержалась интерпретация цветной теории кварков и глюонов как полевой теории сильного взаимодействия. Отчетливо говорилось о том, что цветная SU(3)-симметрия является точной (ненарушенной). Фрич, Гелл-Манн, Лейтвилер и др. подчеркивали впоследствии, что открытие асимптотической свободы в их теории, которую они сначала называли квантовой адродинамикой, а затем КХД, стало важным шагом на пути к физическому осмыслению скейлингового поведения адронов при глубоко неупругом рассеянии лептонов на нуклонах и к утверждению КХД как полевой теории сильных взаимодействий. Важным было и то, что с асимптотической свободой оказался связан и прямо противоположный эффект: увеличение кварк-глюонного взаимодействия при увеличении расстояний получило название конфайнмента кварков и глюонов, то есть их пленения или удержания внутри адронов.

Теперь, на основе Нобелевских лекций Д. Гросса, Ф. Вильчека и Х.Д. Политцера [5; 14; 28], а также других текстов Гросса и Гросса вместе с Вильчеком [29–31], рассмотрим версию создания КХД, принадлежащую Гроссу и Вильчеку, согласно которой КХД как квантово-полевая теория сильного взаимодействия была создана прежде всего именно в их (а также Политцера) работах по асимптотической свободе. Поворотным для Гросса, занимавшегося теорией сильного взаимодействия, стал 1969 год, когда его внимание

привлекли сенсационные результаты по глубоко неупругому рассеянию лептонов на нуклонах. Эксперименты, проводимые в ЦЕРНе, «вскоре показали, что компоненты протона имеют барионное число $1/3$, другими словами, они похожи на кварки. Тогда я полностью убедился в реальности кварков». «Я вскоре, – продолжал Гросс, – осознал, что в контексте теории поля только свободная, невзаимодействующая теория может дать точный скейлинг. Пока эксперименты подтверждали, что со скейлингом все в порядке. Однако едва ли можно выключить или сделать очень слабым между кварками взаимодействие, так как тогда можно было ожидать, что адроны должны легко рассыпаться на кварковые составляющие, а свободных кварков никто не видел. Этот парадокс и поиск объяснения скейлинга обеспечили меня работой на следующие четыре года» [1. С. 737]. Последний парадоксальный поворот Гросса на пути к асимптотической свободе произошел к концу 1972 г.: «К концу 1972 года я выучил теорию поля, в особенности методы, связанные с ренормализационной группой, настолько, чтобы взяться за проблему скейлинга. Я решил довольно осторожно доказать, что локальная теория поля не может объяснить экспериментальный факт скейлинга и потому не является подходящей основой для описания сильных взаимодействий... План атаки состоял из двух частей. Во-первых, я хотел доказать, что... исчезновение эффективной связи на малых расстояниях – позднее названное асимптотической свободой, было необходимо для объяснения скейлинга. Во-вторых, я хотел доказать, что асимптотически свободных теорий (поля. – *B.V.*) не существует» [1. С. 739]. При этом Гросс исходил из того, что перенормируемые квантово-полевые теории подобны квантовой электродинамике, и они не допускали асимптотической свободы. Близкий результат получил в 1972 году также Э. Зи. Но они не рассматривали неабелевы калибровочные теории Янг-миллсовского типа. С осени 1972 года к Гроссу присоединился его студент Ф. Вильчек, который с самого начала работал скорее как соавтор, чем как студент. «Мы решили вычислить бета-функцию для теории Янга-Миллса. Это был единственный пробел в развиваемой мной цепочке аргументов, – вспоминал Гросс. – *Он не был заполнен в основном из-за того, что теория Янга-Миллса все еще казалась странной и сложной* (курсив наш. – *B.V.*)» [Там же. С. 740–741]. Появившийся в это время в Принстоне, где работали Гросс и Вильчек, Коулмен спросил Гросса о том, занимается ли кто-нибудь вычислением бета-функции для теории Янга – Миллса, и тот ответил, что этим занимается сейчас он вместе с Вильчеком. Коулмен же сказал, что он попросил своего студента Х.Д. Политцера обобщить на неабелев случай механизм разрушения симметрии в абелевой калибровочной теории. В результате Политцер занялся той же проблемой, которую решали Гросс с Вильчеком, которые сначала (в феврале 1973 г.) пришли из-за ошибки в знаке к ошибочному выводу об отсутствии асимптотической свободы. Гросс эту ошибку нашел, и примерно тогда же свои вычисления завершил Политцер. Полученные результаты совпали, и они направили свои статьи в «Phys. Rev. Letters», которые были опубликованы в июне 1973 года [32; 33].

Основной результат сформулирован ими уже в первом абзаце статьи: «В последнее время неабелевы калибровочные теории привлекли значительное внимание как способ построения единых перенормируемых теорий слабого и электромагнитного взаимодействия. В этой заметке мы сообщаем об исследовании асимптотического поведения этих теорий. Мы обнаружили, что они обладают тем замечательным свойством, возможно уникальным среди перенормируемых теорий, что они асимптотически близки к теории свободного поля. Такие асимптотически свободные теории демонстрируют бьеркенский скейлинг... Поэтому мы предполагаем, что для объяснения скейлинга Бьеркена, который до сих пор ускользал от понимания с позиций теории поля, нужно искать неабелеву калибровочную теорию сильных взаимодействий» [32. Р. 1343] (Эти высказывания Гросс также приводит в своей Нобелевской лекции [5. С. 743].) Мы помним, что Гросс поначалу хотел показать, что асимптотически свободных перенормируемых теорий поля вообще не существует. Поэтому, вспоминая он в Нобелевской лекции, «для меня открытие асимптотической свободы было полнейшей неожиданностью. Подобно атеисту, с которым только что заговорил горящий куст, я немедленно стал истинно верующим. Теория поля не ошибочна – наоборот, скейлинг должен получить свое объяснение в асимптотически свободной теории сильных взаимодействий. Наша первая статья содержала, в добавление к сообщению об асимптотической свободе теории Янга-Миллса, гипотезу, что это может предложить объяснение скейлинга... а также, что было самым важным, предположение, что сильные взаимодействия должны быть основаны на цветной калибровочной теории» [Там же]. Из исторического обзора по созданию КХД, написанного Х. Фричем в журнале «Курьер ЦЕРНа» в 2012 году [23. Р. 21], следовало, что уже весной 1972 года Гелл-Манн и он уже заложили основы цветной калибровочной теорией кварков и глюонов, которую они позже назвали КХД. А вскоре после открытия явления асимптотической свободы сначала 'т Хоофтом (1972), а затем, в 1973 году, Гроссом и Вильчеком, а также Политцером Гелл-Манн и Фрич вместе с Г. Лейтвилером опубликовали некоторые детали этой теории. Вскоре, как бы в ответ на версию Фрича – Гелл-Манна, Д. Гросс и Ф. Вильчек кратко описали свою версию создания КХД в том же журнале [31]. Их основное утверждение заключается в том, что теоретические работы, которые сыграли центральную роль в этой трансформации (приведшей к созданию КХД), можно идентифицировать с большой точностью, и это именно их и Политцера статьи 1973 года [32; 33].

В качестве основных предпосылок, или путеводных нитей, они называют:

1) модель цветных кварков, плененных внутри адронов (в разработку которой, вслед за М. Ханом и Ё. Намбу, внесли Гелл-Манн и Фрич);

2) эксперименты по глубоко неупругому рассеянию, открытие скейлинга и партонов;

3) доказательство перенормируемости калибровочных теорий ('т Хоофтом и Вельтманом) и возрождение метода ренорм-группы применительно к теории сильных взаимодействий.

Авторы цитируют свою основную статью 1973 года и приходят к выводу, что в этих высказываниях выражена суть КХД и разрешено основное противоречие между скейлингом и квантовой теорией поля [32]. Особого внимания заслуживает и их оценка вклада Гелл-Манна и Фрича. В докладе последних на XVI Международной конференции по физике высоких энергий в Чикаго летом 1972 года [26], как подчеркнули авторы, «скейлинг рассматривался и интерпретировался в терминах «кварков, рассматриваемых формально». При этом «обсуждение не было укоренено в квантовой теории поля; большая его часть, касающаяся сильных взаимодействий, относилась к теории S-матрицы...». Правда, кратко обсуждалась «как одна из нескольких возможность использования октета цветных глюонов, но в контексте алгебры токов на световом конусе, а опять-таки не в рамках квантовой теории поля» [31]. Даже в статье Гелл-Манна, Фрича и Лейтвилера [27], опубликованной в октябре 1973 года, вскоре после решающих статей Гросса и Вильчека, а также Политцера [32; 33], с которыми они уже были знакомы, где была разработана калибровочно-полевая теория кварков и октета глюонов, уверенность в правильности этой теории была выражена недостаточно определенно. «По мере развития событий наиболее глубокие и плодотворные аспекты квантовой хромодинамики и асимптотической свободы, – заключали Гросс и Вильчек, – оказались прочно связанными с квантовой теорией поля, их можно было проверить, предсказывая отклонения от скейлинга. Однако именно эти аспекты авторы (имеются в виду Гелл-Манн и его соавторы. – *В.В.*) не решились принять даже после того, как они были проанализированы» [31].

Таким образом, если Фрич и Гелл-Манн, которые уже в 1972 году рассматривали теорию цветных кварков и глюонов как возможный вариант теории сильных взаимодействий, считали себя основными создателями КХД (тем более, что и сам термин «хромодинамика» был введен Гелл-Манном), то Гросс и Вильчек, открывшие понятие асимптотической свободы и связавшие его с квантово-полевой теорией цветных кварков и глюонов, полагали, что завершающие шаги на пути к КХД сделали именно они с Политцером. К тому же Гелл-Манн, так много сделавший в изобретении модели кварков, все время колебался как в отношении реального существования кварков и глюонов, так и того, что эта модель укоренена в квантовой теории поля.

Более взвешенная точка зрения на вопрос о главных творцах КХД принадлежит еще одному классическому стандартной модели С. Вайнбергу [34]. Он отмечает и важность работ Гелл-Манна с соавторами по цветной теории кварков и глюонов: «Тогда уже (то есть накануне работ по асимптотической свободе. – *В.В.*) было известно... что кварки каждого аромата... должны быть трех цветов. Поэтому было естественно принять калибровочную симметрию сильного взаимодействия SU(3)-группу, действующую на трехзначное цветное квантовое число кварков» [34. Р. 110]. Безусловно, прорывом были, по его мнению, и работы Гросса и др. по асимптотической свободе, связавшие заряженные партоны с кварками. «Но оставалась большая проблема, – подчеркивал далее Вайнберг, – что делать с безмассовыми SU(3)-калибровочными бозонами, глюонами? В первых статьях Гросса с Вильчеком и Политцера

предполагалось, что причиной ненаблюдаемости безмассовых глюонов было спонтанное нарушение калибровочной симметрии, точно так же, как в электрослабой теории. Тогда можно было думать, что глюоны слишком тяжелы, чтобы их можно было наблюдать. Но очень скоро после этого многие авторы (включая, прежде всего, Гелл-Манна с соавторами [27], двухчастную статью Гросса и Вильчека в «Phys. Rev.» [35] и работу самого Вайнберга 1973 года [36]. – *В.В.*) независимо предложили альтернативное объяснение, заключающееся в том, что калибровочная симметрия вовсе не нарушена и что глюоны фактически безмассовы, но мы их не видим по той же причине, по которой не видим и кварки, то есть в результате особых инфракрасных свойств неабелевых калибровочных теорий, а именно конфайнмента, или плененности, цвета; цвет частиц, подобно самим кваркам и глюонам, никогда нельзя изолировать» [34. Р. 111].

Заслуживает упоминания и точка зрения еще одного классика стандартной модели Г. 'т Хоофта, доказавшего в 1971 году перенормируемость как безмассовых, так и массивных неабелевых калибровочных теорий. Обычно отмечается, что он уже в 1972 году открыл феномен асимптотической свободы теорий Янга – Миллса и объявил об этом результате на небольшой конференции в Марселе (июнь 1972 г.) [15]. «Когда я услышал о работах Политцера, Гросса и Вильчека (по асимптотической свободе. – *В.В.*), то был сильно удивлен, – вспоминал 'т Хоофт в конце 1990-х годов, – но не самим результатом, поскольку давно о нем знал, а тем переполохом, который они вызвали. И вот тогда люди начали говорить о чистой SU(3)-калибровочной теории как о теории для описания кварков (речь идет о последующей работе Гросса и Вильчека, а также об упоминавшейся ранее работе Фрича, Гелл-Манна и Лейтвилера. – *В.В.*). Но я по-прежнему полагал, что ничего кроме догадок в этом не было, потому что, как учил меня Вельтман, действительно важным был вопрос кваркового конфайнмента. И к тому времени никаких успехов на этом поприще достигнуто не было. Я намеревался понять конфайнмент, исходя из основных принципов. КХД была на полпути к завершению» [15. С. 107]. С другой стороны, он считал упоминавшуюся ранее работу М. Хана и Ё. Намбу (1965) по цветной SU(3)-симметрии, «очень близкой к современной КХД», добавляя при этом, что «в 1972 году У. Бардин, Х. Фрич и М. Гелл-Манн описали чистую систему SU(3) не как теорию поля, но как алгебру токов. Затем, в 1973 году, Гросс и Вильчек, а также Фрич, Гелл-Манн и Лейтвилер предложили чистую систему SU(3) Янга-Миллса» [Там же. С. 20]. Для принципиального завершения КХД оставалось решить проблему конфайнмента кварков, «первое указание на реальный механизм которого дала идея К. Вильсона» рассмотрения теории Янга-Миллса в решеточном приближении (1974) [Там же. С. 21].

Кстати говоря, 'т Хоофт отмечал также ранние предвосхищения этого феномена асимптотической свободы в работах советских теоретиков, сначала В.С. Ваняшина и М.В. Терентьева (1965), а затем – И.Б. Хрипловича (1969) [Там же. С. 18, 105]. Такова весьма сложная картина создания основ КХД и стандартной модели в целом. Эту сложность подчеркнул в названии своей

Нобелевской лекции и Х.Д. Политцер «Нелегкая задача установления авторства» [28. С. 753]. Об этой сложности свидетельствует и следующий фрагмент этой лекции: «Среди тех, кто сразу принял неабелеву калибровочную симметрию с цветной $SU(3)$ -группой как теорию сильных взаимодействий, были Стив Вайнберг и Мюррей Гелл-Манн. В случае Гелл-Манна это было в незначительной степени потому, что он уже ее ввел (!) вместе с Харальдом Фричем и назвал ее КХД... Решающим доводом стала асимптотическая свобода, то есть отрицательная бета-функция» [Там же. С. 760].

Таким образом, в этой истории явно выделяются две основные и одна дополнительная компактные группы исследователей:

- 1) группа М. Гелл-Манна, включающая Х. Фрича, а также У. Бардина и Г. Лейтвилера;
- 2) группа Д. Гросса, Ф. Вильчека и Х.Д. Политцера;
- 3) нидерландские теоретики Г. 'т Хоофт и М. Вельтман.

Третью группу мы называем дополнительной потому, что их главный вклад относится к электрослабой теории (в 1999 г. они были удостоены Нобелевской премии «за выяснение квантовой структуры электрослабых взаимодействий»). Но их результаты по перенормируемости неабелевых калибровочных теорий относились и к сильным взаимодействиям, а кроме того, 'т Хоофт уже в 1972 году открыл, как уже говорилось, явление асимптотической свободы, хотя и не придавал этому того значения, которое оно заслуживало.

М. Гелл-Манн вместе с Х. Фричем и др. в 1971–1972 годы рассматривал цветную $SU(3)$ -калибровочную симметрию как одну из возможных моделей сильного взаимодействия. При этом кварки в этой модели вначале связывались не с теорией поля, а с алгеброй токов и рассматривались скорее как вычислительная схема, а не как реальные частицы. На основе этой модели Гелл-Манн и Фрич объясняли скейлинг и истолковывали фейнмановские партоны как кварки. Они же ввели термин «глюоны» и назвали такую теорию сильных взаимодействий «квантовой хромодинамикой». Свой очерк о создании квантовой хромодинамики в цитированном выше обзоре «50 лет КХД» Х. Фрич заключил словами: «В конце 1973 года я был убежден, что Гелл-Манн и я открыли правильную теорию сильных взаимодействий: квантовую хромодинамику. Почти каждый день тогда я обсуждал эту теорию с Р. Фейнманом, и он тоже считал, что теория правильна. В 1974 году Фейнман читал лекции по квантовой хромодинамике. Гелл-Манн однако продолжал думать, что правильная теория сильных взаимодействий должна быть основана на теории струн. В последующие (после 1973 г.) годы стало ясно, что КХД – правильная теория сильных взаимодействий. И я горжусь тем, что внес определенный вклад в рождение этой теории, которая теперь является главной частью Стандартной теории в физике частиц» [38. Р. 17]. Обратим внимание на то, что Фрич назвал стандартную модель Стандартной теорией и на то, что, в отличие от него, его старший коллега М. Гелл-Манн не считал тогда ее правильной, полагая, что таковой должна быть теория, основанная на теории струн. Впрочем, Гелл-Манн и Фрич по достоинству оценили работы второй группы по

асимптотической свободе и на их основе показали, что только «бесцветные» (или нейтральные по цвету) частицы могут существовать изолированно.

Теоретики второй группы сделали решающий вклад в создание КХД, поскольку, как отмечал впоследствии С. Вайнберг, «именно открытие... явления асимптотической свободы в неабелевых калибровочных теориях подобного вида убедило теоретиков в том, что изложенная выше модель (достаточно далеко продвинутая первой группой. – В.В.) является правильной теорией сильных взаимодействий». И дело было не только в том, что сразу прояснились загадочные результаты по глубоко неупругому рассеянию электронов на нуклонах: «Историческое значение открытия асимптотической свободы... впервые продемонстрировало возможность проведения надежных пертурбативных вычислений в теориях с сильными взаимодействиями, по крайней мере, при высоких энергиях» [37. С. 168–169].

Кстати говоря, как уже отмечалось, и сам С. Вайнберг, еще совсем недавно говоривший Гроссу, что его не интересует все, что касается кварков, в которые он не верит (см. [5. С. 734]), сразу после открытия асимптотической свободы становится активным участником развития кварк-глюонной теории. В частности, вместе с Г. Стерманом он в 1977 году объяснил экспериментальное проявление реальности кварков в виде так называемых адронных струй (джетов), возникающих при высокоэнергетичных соударениях [37. С. 169].

Открыватели асимптотической свободы подчеркивали, что, в отличие от первой группы теоретиков, они строили теорию сильного взаимодействия как квантово-полевую теорию кварков и глюонов, в реальности которых они не сомневались. Что касается третьей группы, то ее вклад был связан, в первую очередь, с решением проблемы перенормируемости неабелевых калибровочных теорий, как с массивными (электрослабая теория), так и с безмассовыми калибровочными бозонами (КХД). Занимаясь этим, ученик Вельтмана ‘т Хоофт, как уже говорилось, фактически обнаружил феномен асимптотической свободы, но считал более важным связать его с конфайнментом кварков и занялся этой проблемой. Наиболее важным в этой истории он считал предложение «чистой», то есть точной, ненарушенной цветной SU(3)-симметрии, предложенной теоретиками первой группы сначала как алгебры токов, а затем и теоретиками обеих в рамках квантовой теории поля [37. С. 20], хотя и признавал, что обстоятельное исследование цветной калибровочно-полевой теории сильного взаимодействия началось после работ второй группы по асимптотической свободе. Учитывая все сказанное, мы должны признать, что основы стандартной модели к концу 1973 года были фактически созданы.

Литература

1. *Fritzsch H.* The development of quantum chromodynamics // *Symmetries in physics (1600–1980)*. Proceedings of the 1st Intern.Meeting on the history of scientific ideas. Sant Feliu de Guixols. Catalonia. Spain. September 20–26, 1983 / ed. by M.G. Doncel et al. Bellaterra (Barcelona) Spain : Universitat Autònoma de Barcelona, 1987. P. 593–609.
2. *Визгин В. П.* У истоков стандартной модели в физике фундаментальных взаимодействий // *Исследования по истории физики и механики*. 2019–2020. Москва : Янус-К, 2021. С. 249–293.

3. *Визгин В. П.* Как в теории элементарных частиц появились кварки? (к 60-летию великого открытия) // Вопросы истории естествознания и техники. 2024. Т. 45, № 2. С. 250–277.
4. *Вайнберг С.* Мечты об окончательной теории: Физика в поисках самых фундаментальных законов природы. Москва : УРСС, 2004. 256 с.
5. *Гросс Д. Дж.* Открытие асимптотической свободы и появление КХД. Нобелевская лекция 2004 г. // Нобелевские лекции по физике. 1995–2004. Москва – Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2009. С. 727–752.
6. *Кендалл Г. У.* Глубоко неупругое рассеяние: эксперименты // УФН. 1991. Т. 161, № 12. С. 75–106.
7. *Pais A.* Inward bound of matter and forces in the physical world. Oxford : Clarendon Press; N.Y.: Oxford University Press, 1986 –XVI+666 pp.
8. *Сао Т. Ю.* Conceptual developments of 20th century field theories. Cambridge : Cambridge University Press, 1997. XX+433 p.
9. 50 years of Yang-Mills theory / ed. by G.'tHooft. New Jersey etc. : World Scientific, 2005. X+487 p.
10. 60 years of Yang-Mills gauge field theories. C.N. Yang's contributions to physics / ed. by L.D. Brink, K.K. Phua. New Jersey etc. : World Scientific, 2016. XV+521 p.
11. Symmetries in physics (1600–1980). Proceedings of the 1st Intern.Meeting on the history of scientific ideas. Sant Feliu de Guixols. Catalonia. Spain. September 20–26, 1983 / ed. by M.G. Doncel et al. Bellaterra (Barcelona). Spain : Universitat Autònoma de Barcelona, 1987. XVI+ 678 p.
12. *Фридман Дж. А.* Глубоко неупругое рассеяние: сравнение с кварковой моделью. Нобелевская лекция 1990 г. // УФН. 1991. Т. 161, № 12. С. 106–127.
13. *Гриббин Дж. И. М.* Ричард Фейнман: жизнь в науке. Москва – Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2002. 288 с.
14. *Вильчек Ф.* Асимптотическая свобода: от парадоксов к парадигмам. Нобелевская лекция 2004 г. // Нобелевские лекции по физике. 1995–2004 гг. Москва – Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2009. С. 767–795.
15. *'т Хоофт Г.* Избранные лекции по математической физике. Москва – Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2008. 228 с.
16. *Окунь Л. Б.* Лептоны и кварки. Москва : Наука, 1981. 304 с.
17. *Вайнберг С.* Все еще неизвестная Вселенная, Мысли о физике, искусстве и кризисе науки. Москва : Альпина нон-фикшн, 2020. 330 с.
18. *Зи Э.* Квантовая теория поля в двух словах. Москва – Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2009. 632 с.
19. *Brink L., Phua K.K.* Preface // 60 years of Yang-Mills gauge field theories. C.N. Yang's contributions to physics / ed. by L.D. Brink, K.K. Phua. New Jersey etc. : World Scientific, 2016. P. I–XV
20. *Бэгготт Дж.* Бозон Хиггса. От научной идеи до открытия «частицы Бога». Москва : Центрполиграф, 2014. 255 с.
21. *'t Hooft G.* Renormalisation of massless Yang – Mills fields // Nuclear Phys. 1971. Vol. B33. P. 173–199.
22. *'t Hooft G.* Renormalizable Lagrangians for massive Yang-Mills fields // Nuclear Phys. 1971. Vol. B35. P. 167–188.
23. *Fritzsch H.* The history of QCD. 27 sept. 2012. P. 21. URL: cerncourier.com/a/the-history-of-qcd
24. Commentary Notes // M. Gell-Mann. Selected papers / ed. by H. Fritzsch. New Jersey etc. // World Scientific. 2010. P. 1-23.
25. *Bardin W., Fritzsch H., Gell-Mann M.* Light cone current algebra π_0 decay and $e^+ e^-$ annihilation // Scale and conformal symmetry in hadron physics / ed. by R. Gatto. N.Y.: Wiley, 1973. P. 139–153.
26. *Fritzsch H., Gell-Mann M.* Current algebra: quarks and what else? // Proc. of the Intern. Conference of high energy physics. Vol. 2. Chicago. NAL, 1972. P. 135–165.
27. *Fritzsch H., Gell-Mann M., Leutwyler H.* Advantages of the color octet gluon picture // Phys. Lett. 1973. Vol. 47B. P. 365–368.
28. *Политцер Х.Д.* Нелегкая задача установления авторства: Нобелевская лекция 2004 г. // Нобелевские лекции по физике. 1995. С. 753–766.

29. *Gross D.* Twenty five years of asymptotic freedom. Talk delivered at the QCD Euroconference 98 on quantum chromodynamics. Montpellie July 1998. arXiv: hep-th/9809060v1 10 sep. 1998.
30. *Gross D.* Quantum chromodynamics – the perfect Yang-Mills gauge field theory // 60 years of Yang-Mills gauge field theories. C.N. Yang's contributions to physics / ed. by L.D. Brink, K.K. Phua. New Jersey etc. : World Scientific, 2016. P. 11–24.
31. *Gross D., Wilczek F.* A watershed: the emergence of QCD. 28 January 2013. URL: cerncourier.com/a/a-watershed-the-emergence-of-qcd
32. *Gross D., Wilczek F.* Ultraviolet behavior of non-Abelian gauge theories // *Phys. Rev. Lett.* 1973. Vol. 30. P. 1343–1346.
33. *Politzer H. D.* Reliable perturbative results for strong interactions // *Phys. Rev. Lett.* 1973. Vol. 30. P. 1346–1349.
34. *Weinberg S.* *The making of the Standard model* // 60 years of Yang-Mills gauge field theories. C.N. Yang's contributions to physics / ed. by L.D. Brink, K.K. Phua. New Jersey etc. : World Scientific, 2016. P. 99–117.
35. *Gross D., Wilczek F.* Asymptotic free gauge theories // *Phys. Rev.* 1973. Vol. D8. P. 3633–3652
36. *Weinberg S.* Non-Abelian gauge theories of the strong interactions // *Phys. Rev. Lett.* 1973. Vol. 31. P. 494–497.
37. *Вайнберг С.* Квантовая теория поля : современные приложения. Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2003. 528 с.
38. 50 Years of quantum chromodynamics. Introduction and Review // *European Physical Journal.* 2023. Vol. 83, no. 1125. 636 p.
39. *Gell-Mann M.* Quarks // *Acta Phys. Austriaca Suppl.* Vol. 9. P. 733–761.

FROM QUARKS TO PARTONS AND FROM THEM TO QUANTUM CHROMODYNAMICS

V.P. Vizgin

*S.I. Vavilov Institute for the History of Science and Technology
of the Russian Academy of Science
14 Baltiyskaya St, Moscow, 125315, Russian Federation*

Abstract. The article examines the history of the creation of quantum chromodynamics (QCD), which is a modern theory of strong interactions and part of the standard model in elementary particle physics. The main stages in this development associated with the turning events on the way to QCD are identified and studied: 1) the creation of the quark model (1964); 2) detection of quasi-point objects inside nucleons in experiments on deep-inelastic scattering of leptons on nucleons and the hypothesis of partons (1968–1969); 3) proof of the renormalizability of gauge theories (1971); 4) the creation of the gauge theory of quarks and gluons (the achievement of M. Gell-Mann with colleagues, 1971–1973); 5) the discovery of the phenomenon of asymptotic freedom as the physical basis of QCD (D. Gross et al., 1973). The conclusion is made about the importance and consistency of the achievements of each of these groups at the end of the QCD.

Keywords: standard model, quantum chromodynamics, quarks, partons, gluons, renormalizability of gauge theories, asymptotic freedom

DOI: 10.22363/2224-7580-2025-1-128-136

EDN: YNFNZE

НАДО ЛИ МИРИТЬСЯ С ПАРАДОКСАЛЬНОСТЬЮ МИКРОМИРА?

В.Г. Кононов

Независимый эксперт

Российская Федерация, 305040, Курск, пр-кт Дружбы, д. 6

Аннотация. В статье показано, как можно без использования математического аппарата непротиворечиво изложить свойства квантового мира. Принято считать, что они несовместимы с логикой классической, макроскопической физики. Действительно, корпускулярно-волновой дуализм, магнитные импульсы, отрицательная энергия, нелокальность, запутанность и другие эффекты не вписываются в привычную картину мира. Однако всего одно допущение даёт ключ к пониманию большинства квантовых парадоксов. Если исходить из того, что в микромире реально и равноправно происходит движение как вперёд, так и вспять по времени, они находят простое объяснение, вполне совместимое с принципом причинности, законами сохранения и симметрии.

Ключевые слова: квантовые парадоксы, корпускулярно-волновой дуализм, интеграл по бесконечному множеству траекторий, Рязанов, обратимость, дальнодействие, вневременные транзакции, спиноры

1. Квантовые парадоксы

Афоризмы Нильса Бора о безумии истинных идей, неизбежности потрясения от квантовой теории и им подобные будоражат умы. Странная многомировая теория Хью Эверетта, доведённая до абсурда маститым физиком Дэвидом Дойчем в книге «Структура реальности» [1], вызывает здоровую научную злость и зовёт на бой. Но привычный мир отделён от простого объяснения квантовых эффектов высоким «потенциальным барьером» сложнейшей математики. Посвящённые, преодолев его, зачастую отказываются от здравого смысла макромира в пользу математических формализмов и рассуждают примерно так, как Джеймс Трефил: «Для себя я сформулировал следующий подход к квантово-механическим эффектам: как только „внутренний голос“ начинает твердить „такого не может быть!“, нужно спросить себя: „А почему бы и нет? Откуда мне знать, как всё на самом деле устроено внутри атома? Разве я сам туда заглядывал?“» [2. С. 298].

Разумеется, «заглянуть» внутрь атома никому ещё не удалось. Но разве для того, чтобы понять физическую логику происходящего, обязательно туда заглядывать? Математическая логика квантовой механики (КМ) содержит ряд «разрывов», таких, как правило Борна (заменившего плотность волны амплитудой вероятности нахождения частицы в точке) [3] и перенормировка,

которую Ричард Фейнман называл «дурацким приёмом», хотя и получил за неё Нобелевскую премию [4].

Ещё об одной особенности микромира Ю.С. Владимиров пишет: «Многие задаются вопросом, почему элементарные частицы описываются 2-компонентными спинорами, а не скалярами или векторами, как это принято в классической физике»? [5. С. 12]. О спинорах мало кто из «непосвящённых» хотя бы слышал, но для тех, кто имеет понятие о комплексно-сопряжённых пространствах, скажем, что это инструмент, позволяющий описать движение элементарных частиц, которые удобно представить принадлежащими таким образованиям. Можно, впрочем, пропустить далее то, что касается комплексно-сопряжённых пространств и спиноров, они лишь уточняют картину – скорее для математиков, чем для «физиков» и «лириков».

Фундаментальное уравнение КМ Эрвина Шрёдингера позволяет описать состояние микрообъекта (частицы или ансамбля частиц) в виде суперпозиции – совокупности всех решений уравнения. Одновременная их реализация, интерференция, как и другие проявления волновых свойств микрообъектов, объяснимы, если идентичных объектов много. Но экспериментально доказано, что эффекты сохраняются и для единичных частиц. Хотя это невероятно, невозможно, – волну, которая мыслима только как действие множества, «изображает» единичное! Но, зазубрив со школы формулу «корпускулярно-волновой дуализм» (масляное не масло), мы полагаем, что она что-то объясняет.

Не менее поразительно наблюдаемое прекращение проявления волновых свойств при измерении – мгновенный коллапс волновой функции или краткий, но всё же протяжённый во времени процесс декогеренции, нарушения связи между её (функции) ветвями. Эти явления, как и синхронное изменение свойств разнесённых в пространстве запутанных частиц, указывают ещё и на нарушение принципа локальности (близкодействия), невозможное в макромире.

2. Интерпретации квантовой механики

Классической интерпретацией КМ считается «копенгагенская», которая наряду с волновой функцией, задаваемой уравнением Шрёдингера, привлекает для описания состояния частиц понятие «измерение», уклоняясь от его определения. Сет Ллойд объясняет эффект измерения так: «Каждое взаимодействие с электроном, молекулой воздуха, частицей света локализует систему. Большие объекты взаимодействуют с большим количеством небольших объектов, каждый из которых получает информацию о местоположении большого объекта. Поэтому большие объекты, как правило, обнаруживаются или здесь, или там, но не здесь и там одновременно» [6. С. 125]. Отсюда понятно, почему неопределённость возможна только в микромире. Однако декогеренция связана с локализацией микрообъекта, а не большого тела. В двухщелевом эксперименте она происходит при прохождении электрона

возле датчика, но взаимодействие с краями щели и веществом преграды между щелями почему-то не прекращает интерференции.

Илья Пригожин [7] отмечал, что обратимость свойственна большинству физических законов. Но на протекание реальных процессов влияют сила трения и ей подобные, приводящие к росту энтропии. Они делают необратимым любой процесс, включающий статистически значимое повторение случайных событий. Фундаментальность понятия «стрела времени», за признание которой боролся Пригожин, он распространял и на квантовый уровень. Пока КМ рассматривает единичные события, они теоретически обратимы. Теоретически, поскольку для проверки обратимости нужны измерения, а они необратимы. Следовательно «...квантовая динамика может быть описана только на статистическом уровне» [7. С. 138]. И здесь кроется, возможно, главное противоречие КМ, изучать которую нельзя без разрушающих квантовые эффекты измерений и/или статистики. Где статистика, там и энтропия, поэтому Пригожин делал вывод, что и в микромире необратимость имеет преимущественное значение. Но недостаточно «искать только там, где светло». Физики стараются изучать и возможные сценарии реализации обратимости.

Так, Джон Уиллер и Роберт Фейнман разработали теорию поглощения [8], учитывающую решения уравнения Максвелла, соответствующие обратному движению во времени. Обычно такие решения отбрасывают как нарушающие принцип причинности: следствие не должно предшествовать своей причине. Но, исходя из симметрии времени, авторы предположили, что в точках излучения и поглощения образуются по две волны: запаздывающая, идущая в будущее, и опережающая, возвращающаяся в прошлое. Будучи согласованными по фазе, опережающие волны могут гасить друг друга до момента излучения, а запаздывающие – после поглощения. В интервале между излучением и поглощением фазы совпадают и волны (запаздывающая из точки излучения и опережающая из точки поглощения) складываются друг с другом, что вполне соответствует наблюдаемой картине.

Джон Крамер [9] построил на основе этой теории „транзакционную“ интерпретацию (ТКМ), в которой весь интервал между излучением и поглощением частицы рассматривается как единая вневременная транзакция. Её формирование описывается как «квантовое рукопожатие», при котором опережающая волна от приёмника встречается с запаздывающей волной от излучателя. Снимая некоторые проблемы копенгагенской интерпретации, ТКМ не объясняет воздействия измерения на квантовые процессы.

Если ТКМ, как и копенгагенская интерпретация, основана на уравнении Шрёдингера, то сам Фейнман ещё в 1942 году в своей докторской диссертации применил иной подход. Он предложил заменить описание траекторий в одной точке на полную сумму бесконечного множества всевозможных траекторий системы между началом и концом движения. Для этого он предположил [10], что амплитуда вероятности перехода микрообъекта из одного состояния в другое равна сумме комплексных слагаемых, соответствующих траекториям, соединяющим эти состояния, и определяется интегралом по их бесконечному множеству. Другое допущение Фейнмана, основанное на идее

Поля Дирака, позволяет записать в явном виде элементарные вклады траекторий в этот интеграл. Оно состоит в том, что модули вкладов равны между собой, а фазы определяются как классическое действие, то есть взятый вдоль траектории интеграл от функции Лагранжа по времени [10. С. 175]. Поэтому интеграл по бесконечному множеству ограничен по модулю и имеет фазу, определяемую в основном траекториями, на которых действие минимально: ведь чем больше действие, тем быстрее меняется фаза и сильнее интерферируют, гася друг друга, соседние траектории. Подход Фейнмана позволяет обобщить понятие волновой функции, не создавая иной, отличной от классической КМ теории. Анализ траекторий частиц приводит к тем же зависимостям, что и уравнение Шрёдингера [11].

В 1958 году советский физик Георгий Васильевич Рязанов (1930–2017) по-иному обобщил волновую функцию. Он предложил строить КМ как теорию случайных процессов на вещественном пространстве обратимых (знакопеременных во времени) траекторий [12]. Иначе говоря, его траектории, в отличие от комплексных траекторий Фейнмана, вещественны, но на некоторых их участках возможно движение вспять во времени.

Как Фейнман, так и Рязанов, описывают волновое по форме движение частиц бесконечным множеством траекторий, пронизывающих всё пространство. Но если траектории Фейнмана, как и волновая функция Шрёдингера, имеют действительную и мнимую компоненты, то Рязанов оставляет только действительную, но дополняет обратным движением во времени.

Последователь Рязанова Ю.А. Кухаренко обращает внимание на то, что существование стрелы времени, вдоль которой происходит эволюция системы, позволяет понять, почему в классической механике справедлив принцип наименьшего действия: «Всё дело в том, что система многократно обошла все пространство, побывала как в прошлом, так и в будущем, пройдя по всем траекториям, но вклад от всех траекторий, кроме единственной, классической, сократился. Существование принципа Гамильтона в классической физике является следствием квантово-механического принципа Рязанова» [13]. Принцип Гамильтона с тем же успехом был выведен Фейнманом, уже упомянутая докторская диссертация которого так и называлась «Принцип наименьшего действия в квантовой механике».

Введённые Рязановым постулаты обратимости времени и отрицательной вероятности позволяют построить квантовую теорию в вещественном пространстве и получить те же результаты, что и традиционная КМ. Но если у Фейнмана стрела времени только подразумевается, в принцип Рязанова она входит явно. Мировой процесс рассматривается им как совокупность транзакций систем между необратимыми событиями. Транзакции и сами становятся необратимыми, задавая стрелу времени, поскольку вследствие исходного излучения развивается случайный процесс, результат которого определяется статистически значимым повторением одной из возможных конфигураций траекторий. Сохранение адекватности описания без мнимой компоненты можно объяснить, если поставить в соответствие движению в прямом

и обратном времени комплексно сопряжённые функции, мнимые части которых на классической траектории взаимно уничтожаются.

3. Разрешение квантовых парадоксов на основе идей Рязанова

В соответствии с классическими представлениями определить состояние процессов в интервалах между измерениями можно путём интерполяции. Однако сглаженная картина, приемлемая для описания макроскопических процессов, не всегда соответствует явлениям микромира. Разрывы между событиями, возникающие при укрупнении масштаба, можно объяснить, если они заполнены вневременными транзакциями, включающими множество траекторий с участками прямого и обратного хода времени.

Попробуем конкретизировать абстрактные «квантовые траектории Вселенной» Рязанова, имея в виду прямой и обратный во времени ход в двух комплексно-сопряжённых пространствах. В грубом начальном приближении рассмотрим транзакцию отдельного микрообъекта без учёта связей с другими телами. В начале транзакции (по завершении необратимого события излучения, расщепления, измерения и пр.) её финал ещё неизвестен. Его определит сумма условно бесконечного множества траекторий произвольных конфигураций. Но для соблюдения законов сохранения они должны быть замкнутыми, возвращаясь в начальную точку пространства-времени. Подавляющая часть движений при этом происходит вдоль путей, действие на которых минимально. Прочие траектории имеют место, но их вероятность и, соответственно, частота реализации малы, а близкие противофазные траектории гасят их, приводя к интерференции. Движение в обоих направлениях происходит в комплексных, сопряжённых между собой пространствах, и на классических траекториях мнимые части взаимно уничтожаются.

Хотя каждая отдельная траектория возвращается в начало, финал транзакции (необратимое событие поглощения, аннигиляции, измерения и пр.) происходит в иной точке, месте большинства изломов во времени, после тщательного тестирования доступных траекторий. Это подобно пробой изоляции, происходящему в месте скопления достаточно большого заряда. Система обходит пространство, вновь и вновь возвращаясь в начальный момент времени, пока не «прорывается», завершая транзакцию, в некоторое новое состояние. Надо полагать, что решения уравнения Шрёдингера, записанного для конечной точки транзакции, также должны задавать суперпозицию, реализуемую совокупностью изломов. Если это соблюдается, накопленное количество изломов делает транзакцию необратимой и завершает процесс.

Это может произойти в точке любого вероятного взаимодействия, но столкновения с веществом преграды в двухщелевом эксперименте завершают только симметричные относительно прохождения частицы через щели транзакции. Они не приводят к декогеренции, которая происходит при фиксации системы в одной щели, при невозможности пройти через неё без измерения.

По каждой траектории микрообъект движется со случайным набором параметров, поэтому в ходе транзакции накапливается множество

альтернативных траекторий, придавая объекту форму волны. В частности, проходя через разные щели, он регулярно гасит сам себя в зонах отрицательной интерференции.

В реальных транзакциях действует не один, а множество объектов. Поскольку каждый из них тестирует всё пространство, можно говорить обо всех элементах во Вселенной. Но большинство воздействий можно не учитывать, имея в виду, что требование статистически значимой повторяемости соблюдается лишь при выполнении принципа минимального действия: если траектория хотя бы одного объекта ему не соответствует, повторяемость резко падает. Траектории неоптимальных конфигураций не могут набрать значимого количества повторений. Соответственно, отпадает и необходимость учёта в транзакции большинства удалённых объектов. Продолжительность движения по траектории, первой набравшей достаточное количество повторений, определяет длительность транзакции. При этом регулярные возвращения в начальный момент уравнивают траектории космической и микроскопической длительности. Исход транзакции зависит от амплитуд вероятности начальных и конечных состояний и соблюдения принципа минимального действия на всех входящих в транзакцию траекториях.

Множество ветвей суперпозиции реализуется, таким образом, в полном объёме, но фиксируется только финальное действие транзакции. Множественность одновременно пробегаемых системами траекторий объясняет и неопределённость значений параметров: из начальных точек они выходят многократно, но одновременно во всех возможных состояниях. Отсюда же понятно и правило Борна – форма волны создаётся траекториями разных конфигураций, повторяющихся в соответствии с их вероятностями. Использование спиноров для описания состояний системы, в равной мере постоянно находящейся в прямом и обратном во времени движении, отвечает предположению о сопряжённости комплексных пространств, содержащих множество траекторий «туда» и «обратно». Состояния системы при этом задаются соответствующим спинором.

Измерения и другие необратимые взаимодействия также описываются обратимыми квантовыми траекториями. Транзакция может завершиться любым необратимым событием, достижимость которого достаточно высока. Поскольку измерение не одномоментно и фактически распадается на совокупность параллельных и последовательных транзакций, когерентность теряется не сразу, а постепенно. Фактически мировой процесс образуется множеством транзакций, но наблюдению доступны только завершающие их события. В процессе тестирования реализации всевозможных траекторий не наблюдаем: из принципа причинности следует, что событие может произойти лишь в момент завершения транзакции. Невозможность наблюдения отдельных траекторий следует также из их ничтожности в сравнении со статистически значимым повторением, приводящим к событию.

Хотя большинство транзакций завершается, едва начавшись, их длина и продолжительность могут быть сколь угодно велики. И тем не менее, начало и конец транзакции как бы связаны единым внутренним временем. Это

хорошо демонстрируют явления запутанности. С.И. Кузнецов [14] предложил объяснять их многократным возвратом частиц в точку запутывания с обменом информацией, что и происходит во вневременных транзакциях. Рассмотрим мысленный эксперимент Эйнштейна – Подольского – Розена (ЭПР) [15]. Парадоксальность ему придаёт уверенность в необходимости соблюдения принципа локальности. Но вневременные транзакции вполне объясняют дальноедействие. Эксперимент ЭПР начинается с расщепления частицы, импульс которой был предварительно измерен. Поэтому суммарный импульс осколков изменяться не может. Следовательно, пары их траекторий должны иметь случайные, но сочетающиеся значения импульсов. Измерение импульса одного из осколков транзакцию завершает. Хотя второй продолжает возвращаться в начальную точку и вновь исходит из неё, его импульс теперь фиксирован, поскольку первый «забрал» определённую измерением часть. Фиксация импульсов сужает спектр частот и потому увеличивает неопределённость местоположения обоих осколков. Далее их транзакции не связаны. Первый исходит теперь из точки измерения, второй по-прежнему из точки и момента расщепления и запутывания.

Заметим, что обратимость времени не может как-либо использоваться для перемещения во времени макроскопических тел, поскольку существенна лишь в микромасштабе. Об информации нельзя говорить столь категорично, но любое измерение необратимо и прерывает получение «ответов» из будущего. Квантовые компьютеры в некотором смысле анализируют такого рода ответы на строго определённые запросы. Однако формировать какие-либо прогнозы на основе переносимой квантовыми траекториями информации не могут, видимо, и они.

Выводы

1. Парадоксальность квантовых явлений возникает в силу устоявшихся представлений о необратимости времени и локальности взаимодействий. Естественные в макроскопическом масштабе, они не носят обязательного характера и могут быть отброшены, что позволяет понять логику микромира. Как и утверждал И. Пригожин, стрела времени фундаментальна для классического мира. Но внутри необратимых вневременных транзакций происходят лишь обратимые взаимодействия, в том числе реализующие дальноедействие.

2. Основой для простого и непротиворечивого описания процессов микроуровня могут стать «квантовые траектории Вселенной» Рязанова, содержащие изломы во времени и пронизывающие всё пространство. Отсутствие фиксации стрелы времени в квантовых процессах объясняет одновременное нахождение систем в различных состояниях. Многократно возвращаясь в начало и повторно излучаясь, возможно с другими параметрами, единичная система способна проявлять свойства волны.

3. Соблюдение законов сохранения и симметрия движений микрообъектов во времени обеспечиваются предположением о замкнутости траекторий, постоянно возвращающихся в начальную точку пространства-времени.

Объединение множества траекторий в единую вневременную транзакцию, завершающуюся необратимым событием, согласуется с принципом причинности, поскольку наблюдению доступны только необратимые события, наступающие после накопления статистически значимого количества изломов в некоторой точке пространства-времени.

4. Сохранение и синхронное изменение свойств у запутанных частиц объясняется их регулярным возвращением в момент запутывания с постоянным обменом информацией между ними.

5. Принцип наименьшего действия, вытекающий из интегрирования бесконечного множества траекторий Фейнманом и Рязановым, позволяет минимизировать число значимых траекторий внутри транзакций, оставляя лишь пары классических путей по и против времени.

6. Представление о принадлежности траекторий в прямом и обратном времени двум комплексно-сопряжённым пространствам объясняет использование спиноров для описания квантовых систем и адекватность траекторий Рязанова в действительном пространстве.

Литература

1. Дойч Д. Структура реальности. Москва–Ижевск: РХД, 2001. 178 с.
2. Трефил Дж. 200 законов мироздания. URL: https://techlibrary.ru/b1/3a1r1flv1j1m_211h_200_l1lallp1o1plc_lnlj1rlplile1a1o1j2g_2007.pdf (дата обращения: 05.01.2025).
3. Ball P. Mysterious Quantum Rule Reconstructed From Scratch. URL: <https://www.quantamagazine.org/the-born-rule-has-been-derived-from-simple-physical-principles-20190213/> (дата обращения: 05.01.2025).
4. Чечельницкий А. М. Величайшая проклятая тайна Физики. URL: https://lib.uni-dubna.ru/search/files/ogl_vel_tayna/1.pdf (дата обращения: 06.01.2025).
5. Владимиров Ю. С. Метареляционный подход к основаниям фундаментальной физики // Метафизика. 2024. № 1 (51). С. 10–32.
6. Ллойд С. Программируя Вселенную. Квантовый компьютер и будущее науки. Москва : Альпина нонфикшн, 2013. 256 с.
7. Пригожин И. Р. Конец определенности. Время, хаос и новые законы Природы. Москва, Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2000. 208 с.
8. Wheeler J., Feynman R. Interaction with the absorber as the mechanism of radiation // Reviews of modern physics. 1945. April-July. Vol. 17, Num. 2 and 3. P. 157–181.
9. Cramer J. The Transactional Interpretation of Quantum Mechanics // Reviews of Modern Physics. 1986. July. Vol. 58. P. 647–688.
10. Фейнман Р. Пространственно-временной подход к нерелятивистской квантовой механике // Вопросы причинности в квантовой механике. Москва : Изд-во иностр. литературы, 1955. С. 167–207.
11. Фейнман Р., Хибс А. Квантовая механика и интегралы по траекториям. Москва : Мир, 1968. 382 с.
12. Рязанов Г. В. Квантовомеханические вероятности как суммы по путям // ЖЭТФ. 1958. Т. 35, вып. 1. С. 121–131.
13. Кухаренко Ю. А. Рождение стрелы времени из квантового хаоса // Наука и технология в России. 1997. № 3 (20).

14. Кузнецов С. И. Темпоральная интерпретация квантовой механики // Пространство и время: физическое, психологическое, мифологическое: сборник трудов V Международной конференции. Москва : Культурный центр «Новый Акрополь», 2007. С. 33–42.
15. *Einstein A., Podolsky B., Rosen N.* Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete? // *Physical Review*. May 1935. Vol. 47, issue 10. P. 777–780.

SHOULD WE PUT UP WITH THE PARADOX'S OF THE MICROCOSM?

V.G. Kononov

Independent expert

6 Druzhby Ave, Kursk, 305040, Russian Federation

Abstract. The article demonstrates how the properties of the quantum world can be noncontradictory explained without using mathematical apparatus. They are generally considered incompatible with the logic of classical macroscopic physics. Indeed, wave-particle duality, magnetic pulses, negative energy, non-locality, entanglement, and other phenomena are not fit into the usual picture of the world. However, just one assumption provides the key to understanding most quantum paradoxes. If we assume that there is real and equal forward and backward in time movement in the microcosm, then we can find a simple explanation that is compatible with the principles of causality, conservation and symmetry.

Keywords: quantum paradoxes, wave-particle duality, integral over an infinite set of trajectories, Ryazanov, reversibility, long-range action, timeless transactions, spinors

DOI: 10.22363/2224-7580-2025-1-137-139

EDN: YOOXMS

СВОЙСТВА ГРАВИТАЦИОННО-СВЯЗАННЫХ КВАНТОВЫХ СИСТЕМ

М.Л. Фильченков, Ю.П. Лаптев

*Институт гравитации и космологии
Российского университета дружбы народов
Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6*

Аннотация. Рассмотрены гравитационно-связанные системы в искривлённом пространстве-времени. Объектами, подлежащими квантованию, являются гравитомы, ранняя Вселенная, сторонние поля, геометрия в целом и само пространство-время.

Ключевые слова: квантовая гравитация, квантовая механика, квантовая теория поля, квантовая геометродинамика, петлевая квантовая гравитация, гравитомы, мини-дыры и лептокварки

Введение

Гравитационно-связанные системы в искривлённом пространстве-времени рассматриваются при квантовании движения микрочастиц (квантовая механика) и сторонних полей (квантовая теория поля), геометрии в целом (квантовая геометродинамика) и самого пространства времени (петлевая квантовая гравитация). Этим уровням квантования соответствуют схожие соотношения, например, для энергетических уровней гравитомов и атома Леметра, а также масс мини-дыр, входящих в состав гравитомов, мини-дыр и лептокварков в ранней Вселенной [1].

Объекты и процессы, соответствующие различным уровням квантования

Рассмотрим гравитомы, то есть квантовые системы, состоящие из первичной чёрной дыры и захваченной ею заряженной микрочастицы. Существование гравитатома оказывается возможным, если микрочастица находится вне горизонта мини-дыры и обладает энергией, по абсолютной величине превышающей энергию излучения Хокинга от мини-дыры.

Если взаимодействием электростатического поля заряженной частицы по сравнению с гравитационным взаимодействием её массы можно пренебречь, то гравитатом имеет водородоподобный спектр:

$$E = -\frac{mc^2\alpha_g^2}{2n^2},$$

где $\alpha_g = \frac{GMm}{\hbar c}$, M – масса мини-дыры, m – масса микрочастицы.

Многокомпонентная квантовая модель ранней Вселенной описывается в рамках квантовой геометродинамики в виде атома Леметра, который имеет осцилляторный спектр для сред с преобладанием космических струн:

$$E = m_{pl}c^2\sqrt{k-B_2}(p + 1/2),$$

где $m_{pl} = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}}$ – планковская масса, B_2 – вклад струн на горизонте де Ситтера.

Рождение Вселенной интерпретируется как туннелирование с коэффициентом

$$D \sim \exp\left\{-\frac{2(k-B_2)^{3/2}}{3B_0}\left(\frac{r_0}{l_{pl}}\right)^2\right\},$$

где $k = 0, \pm 1$ – параметр космологической модели, B_0 – вклад деситтеровского вакуума на горизонте де Ситтера r_0 , l_{pl} – планковская длина планкеона, туннелирующего через потенциальный барьер в деситтеровский вакуум, который является неустойчивым в силу мнимости скорости звука в нём, что приводит к рождению лептокварков с энергией покоя порядка энергии Великого объединения. Лептокварки распадаются на кварки и лептоны. Три кварка образуют нуклоны, число которых порядка числа Эддингтона.

В гравитатоме массы мини-дыр и захватываемых ими частиц связаны соотношениями

$$Mt = \alpha_g m_{pl}^2.$$

В ранней Вселенной имеем аналогичное соотношение:

$$Mt_x = \frac{1}{2} m_{pl}^2,$$

где m_x – масса лептокварка. Лептокварки рождаются на комптоновской длине, равной гравитационному радиусу мини-дыры.

Общие свойства гравитационно-связанных квантовых систем

Общие свойства гравитационно-связанных систем обусловлены тем, что в одном и том же квантовом объекте или процессе присутствуют сразу несколько уровней квантования. Возможно, это является проявлением общих закономерностей следующего этапа решения проблемы квантовой гравитации.

В частности, уже удалось объяснить эффект Хокинга в рамках теории суперструн и петлевой квантовой гравитации. Струнная квантовая космология с помощью дилатонных полей моделирует идеальную жидкость с баротропным уравнением состояния, флуктуации которой задаются пространственно-временной пеной, описываемой петлевой квантовой космологией [2].

Заключение

Подводя итог, следует отметить, что, хотя проблема квантования гравитации остаётся нерешённой в общем случае, удаётся решить целый ряд частных задач, касающихся квантования гравитационно-связанных систем. Кроме того, некоторые подходы квантовой теории поля в искривлённом пространстве-времени хорошо разработаны. Особенно это касается эффектов квантования сторонних полей в заданном гравитационном поле, в том числе поляризации вакуума, рождения частиц и спонтанного нарушения симметрии [3].

Литература

1. Фильченков М. Л., Лантев Ю. П. Квантовая гравитация: от микромира к мегамиру. Москва : УРСС, 2024. 304 с.
2. Mielczarek J., Szydlowski M. Universe from vacuum in loop-string cosmology // J. Cosmol., Astroparticle Phys. 2008. Vol. 0808. P. 014.
3. Гриб А. А., Мамаев С. Г., Мостепаненко В. М. Квантовые эффекты в интенсивных внешних полях. Москва : Атомиздат, 1980. С. 296.

PROPERTIES OF GRAVITATIONALLY BOUND QUANTUM SYSTEMS

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

*Institute of Gravity and Cosmology, RUDN University
6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation*

Abstract. Gravitationally bound systems in curved space-time are considered. The objects subject to quantization are graviatoms, the early Universe, external fields, geometry in general, and space-time itself.

Keywords: quantum gravity, quantum mechanics, quantum field theory, quantum geometrodynamics, loop quantum gravity, graviatoms, miniholes, and leptiquarks

ЭКСПЕРИМЕНТЫ И ИХ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

DOI: 10.22363/2224-7580-2025-1-140-148

EDN: YPAIQI

О ВОЗМОЖНОСТИ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ПРОДОЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В ПРЕСНОВОДНОЙ СРЕДЕ*

В.А. Панчелюга^{1**}, М.С. Панчелюга¹, А.К. Томилин^{2***}

*¹Институт теоретической и экспериментальной биофизики
Российской академии наук
Российская Федерация, 142290, г. Пуцино Московской обл.,
ул. Институтская, д. 3*

*²Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Российская Федерация, 634050, Томск, проспект Ленина, 30*

Аннотация. Приведен краткий обзор экспериментальных работ, которые в совокупности ведут к идее существования продольно-скалярных волн. Детально рассматриваются эксперименты, выполненные на Можайском водохранилище и демонстрирующие возможность распространения электромагнитных волн между передающим и приемным модулями на расстоянии 150–200 м (1000 и более длин волн) на глубине 4 м (27 длин волн). Полученный результат и конструкция используемой антенной системы позволяют предположить, что связь между передающим и приемным модулями осуществлялась с использованием продольно-скалярных волн. Показана возможность распространения сигнала через границы «вода–воздух» и «воздух–вода».

Ключевые слова: поперечные электромагнитные волны, продольные электромагнитные волны, обобщенные уравнения Максвелла, скалярное магнитное поле

Введение

Задача настоящей статьи связана с двумя тесно связанными между собой проблемами. С одной стороны, она имеет отношение к экспериментальному доказательству существования продольных электромагнитных волн, а с

* Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00223-25-00.

** E-mail: VictorPanchelyuga@gmail.com

*** E-mail: aktomilin@tpu.ru

другой – к проблеме коммуникаций с подводными объектами. Последняя проблема до сих пор не имеет удовлетворительного решения. Использование для ее решения сверхнизких частот электромагнитного диапазона влечет применение крупногабаритных антенн с размерами порядка десяти километров и ограниченно крайне низкой скоростью передачи данных. Системы гидроакустической связи также имеют ряд существенных недостатков. По этим причинам поиск принципиально новых высокоскоростных средств связи с подводными объектами является актуальной научной задачей. Наличие таких средств связи, принципиальная ее возможность является одним из доказательств существования продольных волн.

Одной из важных задач, имеющих отношение к отмеченной выше проблеме, является сферически симметричная электродинамическая задача, сформулированная, в частности, в статье Б.М. Болотовского и В.А. Угарова [1], опубликованной в 1976 году. В [1] предлагается определить электромагнитное поле расширяющегося (пульсирующего) проводящего шара, по поверхности которого равномерно распределен электрический заряд. Проблема заключается в определении конфигурации электромагнитного поля, генерируемого радиальными токами. Авторы статьи приходят к выводу, что электрическое поле вне расширяющегося шара будет постоянным, а магнитные поля, созданные соседними радиальными токами, полностью компенсируются. Таким образом, авторы приходят к заключению, что электродинамический процесс не возникает и все сводится к электростатике. По этой причине сфера с нестационарным зарядом излучать не может.

Тем не менее известны эксперименты [2–4], в которых авторы полагают, что электромагнитный сигнал передается между шаровыми антеннами с помощью так называемых продольных (электроскалярных) волн. Во всех этих экспериментах используется трансформатор Теслы со спиральными обмотками, который позволяет концентрировать на сфере достаточно высокий электрический потенциал. Несмотря на успешность [2–4], в этих работах нельзя полностью исключить существование канала связи между передатчиком и приемником на поперечных электромагнитных волнах. В этих случаях излучает не шаровая антенна, а другие токонесущие элементы экспериментальной установки.

Но зафиксированный в эксперименте Сакко-Томилина [4] факт передачи электромагнитного сигнала из закрытой клетки Фарадея является весомым аргументом в пользу существования продольных волн, так как с использованием поперечных электромагнитных волн такая передача невозможна.

Однако наиболее надежно поперечные волны отсекаются в случае организации подводного электромагнитного канала связи. Первый комплект шаровых антенн для такого канала был создан во Владивостоке. Эксперимент [5–7] был произведен 27 октября 2020 года в бухте Новик (остров Русский). Передающий и приемный модули были полностью автономны: источник питания, передатчик (приемник), диктофон размещались в герметичных боксах.

Антенная система состояла из плоской катушки Тесла диаметром 320 мм из 29 витков медного провода диаметром 2 мм. Центральный вывод катушки

соединялся с медным шаром диаметром 60 мм. Сигнал с выхода радиостанции «Навигатор – 882М» на частоте 27.4 МГц, модулированный по амплитуде частотой тонального вызова 509 Гц, подавался на передающую антенну. Мощность радиостанции не превышала 4 Вт.

Приемный модуль был установлен на заякоренном буре на глубине 6 м. Глубина моря в этом месте составляла 13 м. Проводимость морской воды в районе испытаний – 4,77 См/м, температура – 8 °С. Приемный и передающий модули опускались в море на нейлоновых фалах, не имеющих металлических частей. Это обеспечивало полную автономность обоих модулей при погружении. Передающий модуль равномерно буксировался катером со скоростью 0,3 м/с в сторону от приемного модуля на глубине 4 м от поверхности моря.

Расстояние между передающим и приемным модулями изменялось от 20 м на 9-й минуте записи до максимального значения 470.7 м на 43-й минуте. Средняя спектральная плотность мощности (СПМ) сигнала для частот 508–510 Гц во время передачи поддерживалась на уровне 184–185 дБ, что обусловлено работой автоматической регулировки усиления в приемнике. Средняя СПМ помехи в то же время для частот 495–497 Гц составила около 154 дБ. Таким образом, зарегистрированный в эксперименте уровень отношения сигнал/шум для полосы пропускания 2 Гц составил около 30 дБ.

Также были зафиксированы факты уверенной передачи радиосигналов между модулями при их нахождении в различных средах: с 4-й по 9-ю минуту – из воздуха в воду и с 43-й по 45-ю минуту – из воды в воздух, когда расстояние между антеннами составляло более 6 м.

В 2022–2024 годах эксперимент был повторен во Владивостоке несколько раз. Глубина погружения антенн увеличилась, а расстояние между ними достигло нескольких километров. В одном из экспериментов транслировалась песня В. Высоцкого «Товарищи ученые...».

Есть информация об успешном повторении эксперимента [5–6] в Китае: голосовой сигнал был передан в морской воде на расстояние 4,5 км. Отмечается высокое качество переданного сигнала.

Более детальное описание упомянутых выше экспериментов [2–7] приведено в работе [8].

Эксперименты на Можайском водохранилище

В 2024 году было закончено изготовление нового комплекта приемопередающего оборудования и произведена серия экспериментов на Можайском водохранилище.

Можайское водохранилище (неофиц. также Можайское море или Можайка) – искусственный водоём на западе Московской области, на территории Можайского района, является крупнейшим водохранилищем региона. Оно образовано в 1960–1962 годы в результате сооружения гидроузла на реке Москва, выше города Можайска. Площадь водохранилища 30,7 км². Ширина до 3,5 км, длина около 47 км. Максимальная глубина достигает 22,5 м. Проводимость воды (на основе образцов, взятых в местах проведения измерений), в среднем, 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ при температуре 28 °С.

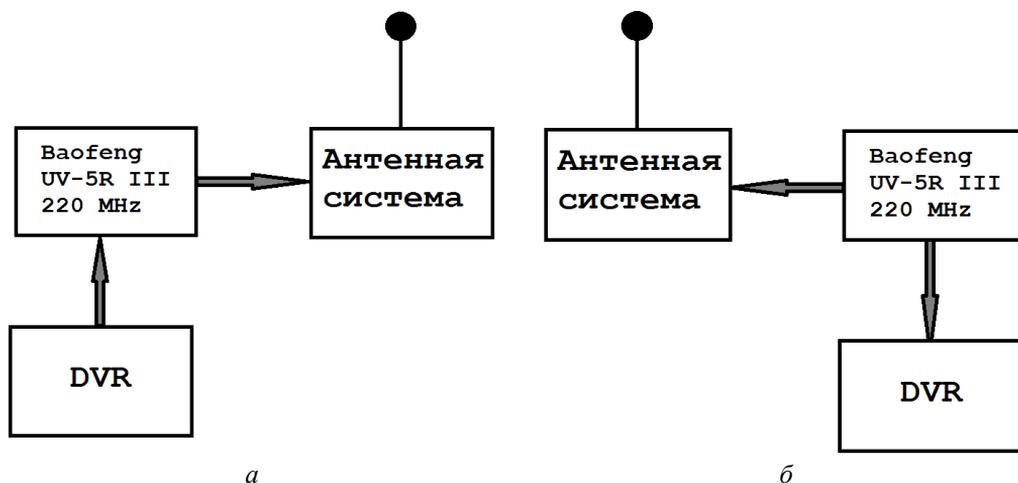


Рис. 1. Блок-схемы передающего (а) и приемного (б) модулей
Источник: составлено авторами.

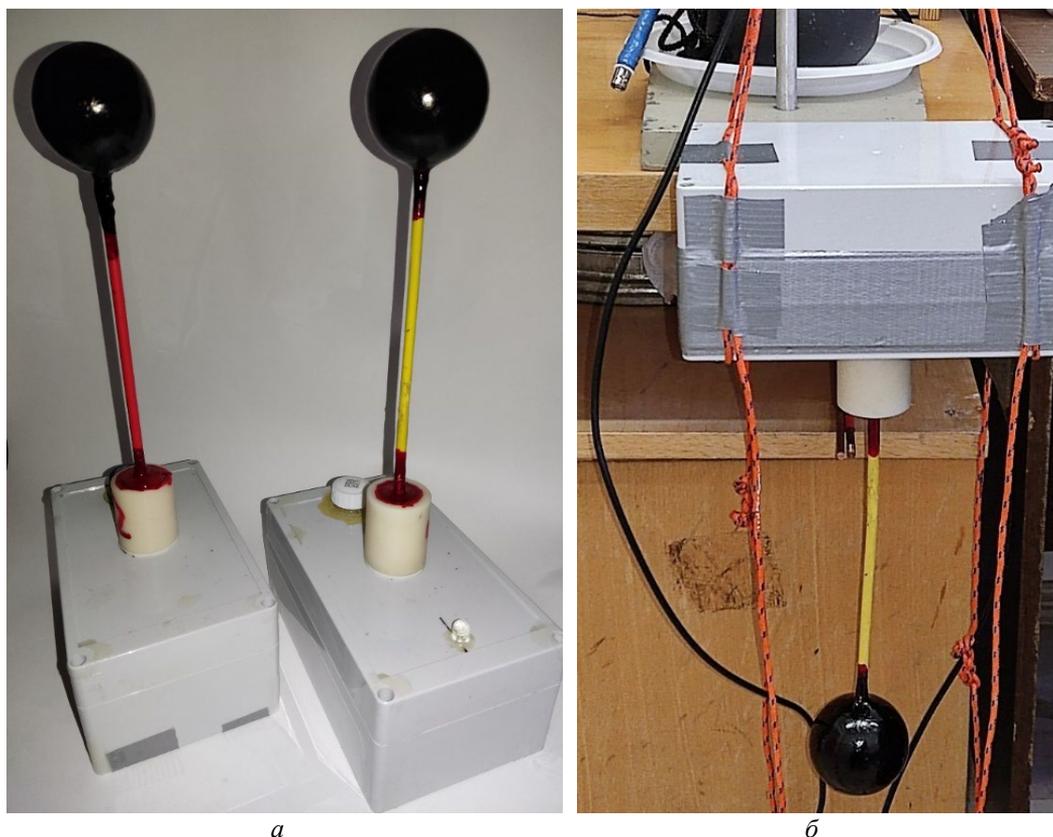


Рис. 2. Внешний вид передающего и приемного модулей (а);
вид приемного модуля с обвязкой, необходимой
для крепления груза и подвеса его на тросе буй (б)

Источник: фото авторов.

Средняя глубина водохранилища в местах погружения приемного и передающего блоков составляла 8–10 м, глубина погружения блоков равнялась 4 м. Используемая несущая частота – 220 МГц. Длина волны в воде при этом составляла 0,15 м. Если сравнивать параметры экспериментов на Японском

море [5-6] и Можайском водохранилище в длинах волн (а только такое сравнение может быть физически корректным), то параметры пресноводных измерений сопоставимы или превосходят некоторые параметры экспериментов в морской воде.

Блок-схемы передающего и приемного модулей приведены на рис. 1, *а* и *б* соответственно. Оба блока имеют идентичные антенные системы с излучателем в виде медного шара, имеющего диаметр 60 мм. Сигнал на передающую антенную систему подается с выхода радиостанции Baofeng UV-5RIII, как отмечено выше, на частоте 220 МГц. Мощность передатчика, используемая в экспериментах, равнялась 4 и 1 Вт (режимы повышенной и пониженной мощности Baofeng UV-5RIII). В тех экспериментах, где передающий модуль погружался под воду в полностью изолированном режиме, использовался цифровой диктофон DVR который в циклическом режиме воспроизводил управляющий сигнал в виде чередующихся тоновых сигналов на частоте 1 кГц, которые в VOX-режиме управляли выходным сигналом Baofeng UV-5RIII. Во всех экспериментах использовалась частотная модуляция несущей частоты передатчика.

Приемный модуль (рис. 1, *б*) использует ту же радиостанцию Baofeng UV-5RIII в режиме приемника, сигнал с которой записывается на цифровой диктофон DVR и в дальнейшем используется для компьютерной обработки с использованием специальных программ. Антенный разъем радиостанции подключен к шаровой антенной системе.

Внешний вид передающего и приемного модулей приведен на рис. 2, *а*. На рис. 2, *б* показан приемный модуль в обвязке, используемой для крепления «якорного» груза и подвеса самого модуля на тросе буя, который позволяет фиксировать глубину погружения, как это показано на рис. 3–6.

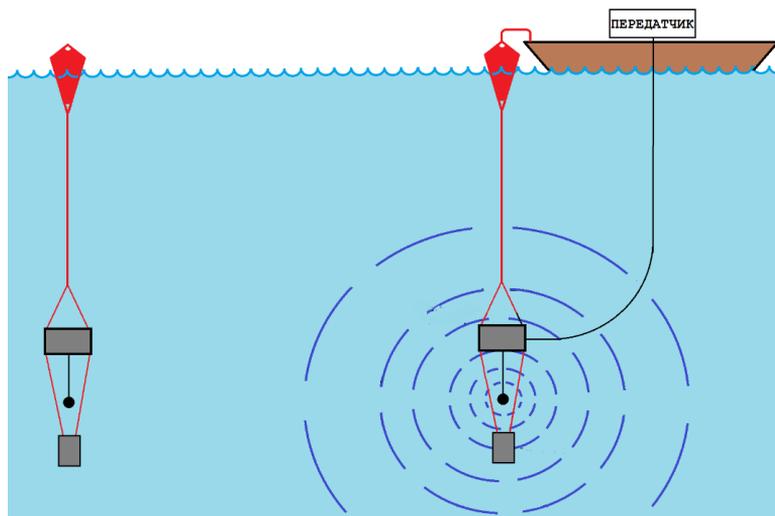


Рис. 3. Измерения по схеме «вода–вода» с шаровыми антеннами. Приемный блок (слева) полностью изолирован и находится под водой на глубине 4 м: антенная система передатчика находится под водой на глубине 4 м и соединена радиочастотным кабелем с радиостанцией, которая находится в лодке

Источник: составлено авторами.

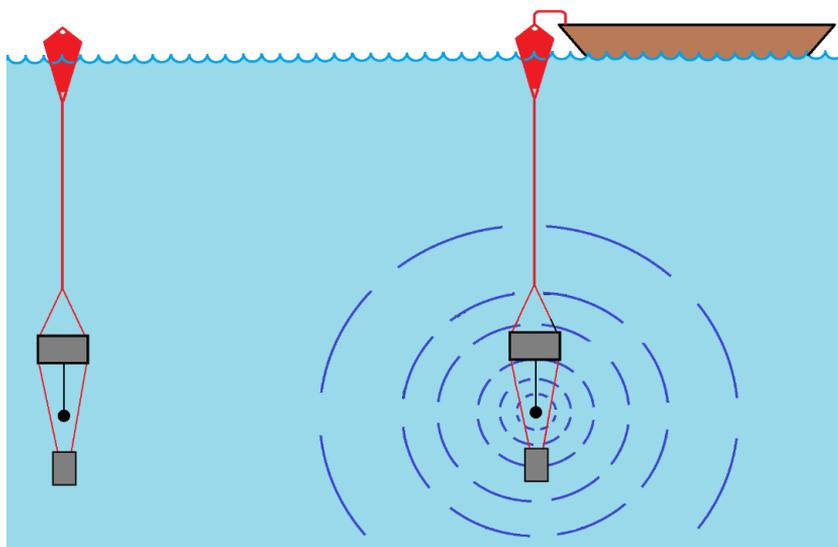


Рис. 4. Измерения по схеме «вода–вода» с шаровыми антеннами. Приемный и передающий блоки полностью изолированы и находятся под водой на глубине 4 м
 Источник: составлено авторами.

На рис. 3–4 приведены схемы экспериментов по схеме «вода–вода» с шаровыми антеннами. Эксперименты отличаются в том, что в схеме, показанной на рис. 3, приемный блок (слева) полностью изолирован и находится под водой на глубине 4 м. Антенная система передатчика располагается под водой на глубине 4 м и соединена радиочастотным кабелем с радиостанцией, которая находится в лодке. В данной схеме возможно излучение поперечных электромагнитных волн радиостанцией, находящейся в лодке, и радиочастотным кабелем. Но, учитывая тот факт, что, согласно современным представлениям, поперечные волны в проводящей среде практически полностью затухают на расстоянии, равном половине длины волны, поперечные волны не должны регистрироваться антенной приемника.

Схема, показанная на рис. 4, основана на полном погружении передающего и приемного модулей. В данном случае приемный и передающий модули полностью изолированы и находятся под водой на глубине 4 м. Говоря «полностью изолированы», мы имеем в виду, что 1) модули электрически изолированы от окружающей водной среды и 2) модули связаны с буйами непроводящими капроновыми тросами. При этом любые поперечные электромагнитные волны, которые могут быть сгенерированы передающим модулем, затухают на расстоянии, равном половине длины волны, то есть порядка 7,5 см. Учитывая, что в ходе эксперимента была обнаружена устойчивая связь между модулями, которые находились на значительно больших расстояниях, чем половина длины волны, мы можем заключить, что наблюдаемая связь реализуется с помощью продольно-скалярных волн.

Следующая серия экспериментов была выполнена по схемам, показанным на рис. 5. Приемные блоки (слева) были полностью изолированы и находились под водой на глубине 4 м. В первом случае (рис. 5, а) измерения

выполнялись по схеме «воздух–вода» с шаровыми антеннами. В данном случае была обнаружена связь между приемным и передающим модулями. Во втором случае (рис. 5, б) измерения также выполнялись по схеме «воздух–вода» с шаровой антенной (приемник) и штатной антенной (передатчик). В данном случае также была обнаружена связь между приемным и передающим модулями. Необходимо отметить, что связь обнаруживалась на расстояниях от 1–2 до 150–200 м.

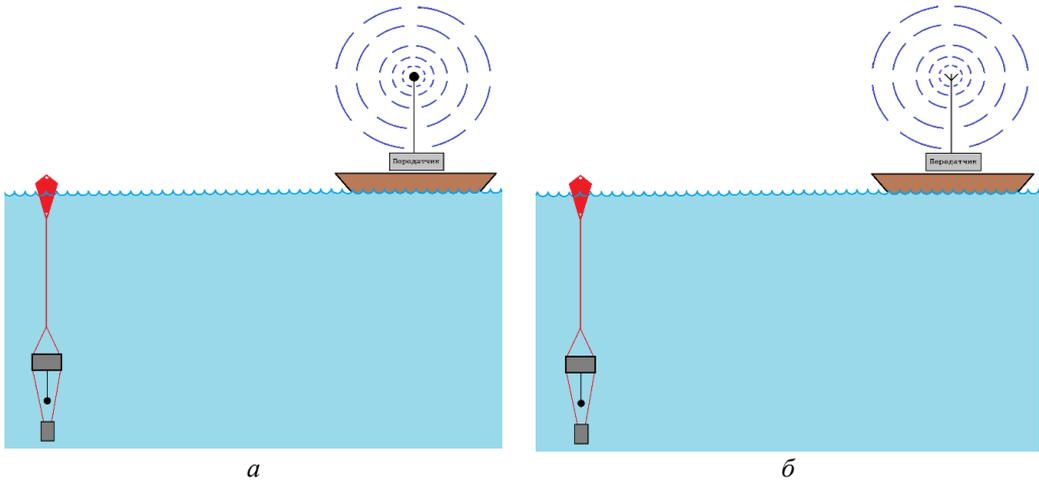


Рис. 5. Измерения по схеме «воздух–вода» с шаровыми антеннами (а); измерения по схеме «воздух–вода» с шаровой антенной (приемник) и штатной антенной (передатчик) (б). Приемные блоки (слева) полностью изолированы и находятся под водой на глубине 4 м
 Источник: составлено авторами.

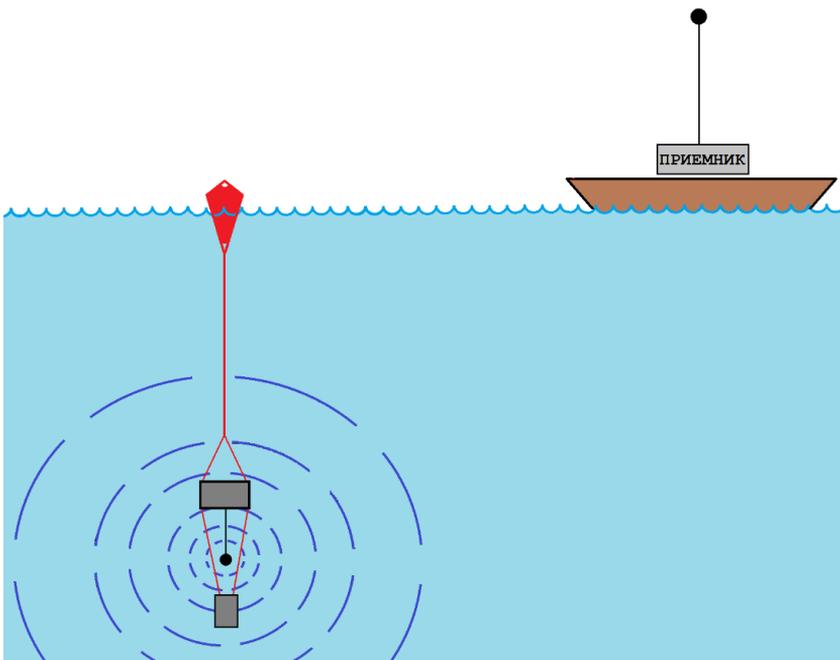


Рис. 6. Измерения по схеме «вода–воздух» с шаровыми антеннами. Передающий блок (слева) полностью изолирован и находится под водой на глубине 4 м. Приемный блок находится в воздухе
 Источник: составлено авторами.

На рис. 6 представлена схема эксперимента по схеме «вода–воздух» шаровыми антеннами. В отличие от рис. 5 в данном случае в подводном положении находится передающий модуль, который полностью изолирован и располагается под водой на глубине 4 м. Приемный блок находится в воздушной среде. В данном случае также была обнаружена устойчивая связь между передающим и приемным модулями.

Заключение

Как уже отмечалось выше, дальность связи, полученная в экспериментах на Можайском водохранилище, составляла 150–200 м. Учитывая, что, согласно теоретическим представлениям [9], дальность связи прямо пропорциональна проводимости среды, можно оценить значения дальности, которое будет получено при измерениях в морской воде. Проводимость морской воды на основе измерений, выполненных в Лермонтово (Черное море) в апреле 2004 г.: 18057 $\mu\text{s/cm}$ и 19095 $\mu\text{s/cm}$ (28,6 °C). Принимая за среднее значение проводимости черноморской морской воды 19500 $\mu\text{s/cm}$, а воды в Можайском водохранилище 250 $\mu\text{s/cm}$ (при 28 °C) получаем, что проводимость морской воды в 78 раз ($19500 / 250 = 78$) больше проводимости воды в Можайском водохранилище.

Если предположить линейную зависимость дальности подводной радиосвязи от проводимости морской воды, то полученное нами значение дальности 150–200 м должно быть эквивалентно 12–15 км в черноморской морской воде. Таким образом, используя упомянутую линейную зависимость, мы можем определить предельную дальность связи в морской воде на основе измерений, выполненных в пресноводных водоемах.

Использование шаровых антенн в контексте всего вышесказанного свидетельствует о необходимости получения адекватного решения сферически-симметричной электродинамической задачи, так как полученные результаты говорят о том, что сферические антенны излучают. Это обстоятельство вкупе с тем, что высокочастотный канал радиосвязи в морской среде невозможно организовать с использованием свободных поперечных электромагнитных волн позволяет предположить, что обнаруженная подводная радиосвязь реализуется с использованием продольно-скалярных высокочастотных электромагнитных волн.

В настоящее время сформировалась и развивается обобщенная электродинамическая теория [9], использующая модифицированные уравнения Максвелла, дополненные членами, содержащими пространственную и временную производные соответственно от напряженности и индукции скалярного магнитного поля. Данная теория использовалась при расчете и изготовлении описанных выше приемопередающих комплексов с шаровыми антеннами. Также в рамках этой теории проведен анализ упомянутой сферически-симметричной электродинамической задачи.

Литература

1. *Болотовский Б. М., Угаров В. А.* Об одном «парадоксе» электродинамики // *Успехи физических наук.* 1976. Т. 119, вып. 2. С. 371–374.
2. *Monstein C., Wesley J. P.* Observation of scalar longitudinal electrodynamic waves // *Euro physics Letters.* 2002. 59 (4). P. 514–520.
3. *Meyl K.* Scalar Waves: Theory and Experiments // *Journal of Scientific Exploration.* 2001. Vol. 15, № 2. P. 199–205.
4. *Sacco B., Tomilin A. K.* The Study of Electromagnetic Processes in the Experiments of Tesla. <http://viXra.org/abs/1210.0158>
5. *Томили́н А. К., Лукин А. Ф., Гульков А. Н.* Эксперимент по созданию канала радиосвязи в морской среде // *Письма в ЖТФ.* 2021. Т. 47, вып. 11. С. 48–50.
6. *Лукин А. Ф., Томили́н А. К., Гульков А. Н., Кремс К. А.* Оценка характеристик канала радиосвязи в морской среде // *Журнал технической физики.* 2022. Т. 92, вып. 9. С. 1425–1429.
7. *Томили́н А. К.* Принцип организации канала подводной радиосвязи с использованием шаровых антенн // *Журнал технической физики.* 2023. Т. 93, вып. 3. С. 397–402.
8. *Панчелюга В. А., Панчелюга М. С.* История и современность одного эксперимента Н. Тесла // *Метафизика.* 2024. № 1 (51). С. 123–132.
9. *Томили́н А. К.* Обобщенная электродинамика. Москва : Изд-во «Триумф», «Лучшие книги», 2020. 300 с.

ON THE POSSIBILITY OF HIGH-FREQUENCY LONGITUDINAL ELECTROMAGNETIC WAVES IN A FRESHWATER ENVIRONMENT

Victor A. Panchelyuga^{1*}, Mariya S. Panchelyuga¹, Aleksandr K. Tomilin^{2**}

¹*Institute of Theoretical and Experimental Biophysics
of the Russian Academy of Science*

3b Institutskaja St, Pushchino, Moscow region, 142290, Russian Federation

²*Department of Mechanical Engineering,
National Research Tomsk Polytechnic University
30 Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russian Federation*

Abstract. A brief review of experimental works is given, which lead to the idea of the existence of longitudinal-scalar waves. Experiments performed on the Mozhaisk reservoir are considered in detail, and demonstrating the possibility of propagation of electromagnetic waves between the transmitting and receiving modules at a distance of 150–200 m (1000 or more wavelengths) at a depth of 4 m (27 wavelengths). The obtained result and the design of the antenna system used allow us to assume that the communication between the transmitting and receiving modules was carried out using longitudinal-scalar waves. The possibility of signal propagation through the “water-air” and “air-water” interfaces shown.

Keywords: transverse electromagnetic waves, longitudinal electromagnetic waves, generalized Maxwell’s equations, scalar magnetic field

* E-mail: VictorPanchelyuga@gmail.com

** E-mail: aktomilin@tpu.ru

DOI: 10.22363/2224-7580-2025-1-149-156

EDN: YPHQPW

ПРОДОЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ*

А.К. Томилин^{1**}, В.А. Панчелюга^{2***}

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Российская Федерация, 634050, Томск, проспект Ленина, 30

²Институт теоретической и экспериментальной биофизики
Российской академии наук,
Российская Федерация, 142290, г. Пушино Московской обл.,
ул. Институтская, д. 3

Аннотация. Обсуждается исходная идея потенциально-вихревой электродинамической теории. Приведены дифференциальные уравнения обобщенной электродинамики и волновые уравнения, описывающие как поперечные, так и продольные электромагнитные волны. Описан процесс излучения обоих типов волн полуволновым вибратором Герца. Показано, что продольные электромагнитные волны распространяются в электропроводных средах. Приведен обзор публикаций, содержащих результаты экспериментов с продольными волнами.

Ключевые слова: поперечные электромагнитные волны, продольные электромагнитные волны, уравнения Максвелла, теорема Гельмгольца, скалярное магнитное поле

Введение

Целью настоящей обзорной статьи является анализ современного состояния относительно нового научного направления, связанного с теоретическим описанием и практическим использованием продольных электромагнитных волн. Под этим термином понимается электромагнитное излучение, волновой вектор которого по направлению совпадает с вектором напряженности электрического поля \mathbf{E} . Сразу же заметим, что в классической электродинамике, в основе которой лежат уравнения Максвелла, электрическое поле имеет две компоненты: соленоидальную \mathbf{E}_s и потенциальную:

$$\mathbf{E}_p = -\nabla\phi,$$

связанную со скалярным электрическим потенциалом ϕ . В общем случае имеется суперпозиция этих компонент:

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_s + \mathbf{E}_p. \quad (1)$$

* Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-00223-25-00.

** E-mail: aktomilin@tpu.ru

*** E-mail: VictorPanchelyuga@gmail.com

Такое представление соответствует теореме Гельмгольца, составляющей основу теории поля: любое векторное поле должно иметь две компоненты – соленоидальную и потенциальную. Однако магнитное поле считается сугубо вихревым, поскольку нет магнитных монополей. Потенциальная компонента магнитного поля отсутствует, и это не соответствует теореме Гельмгольца.

Таким образом, теория Максвелла содержит противоречие, разрешение которого представляется актуальнейшей задачей электродинамической теории. Как будет показано ниже, в результате ее решения открываются новые технические и технологические возможности, позволяющие реализовать на практике многие актуальные проекты.

1. Основы обобщенной электродинамики

Логически непротиворечивая идея должна учитывать два, казалось бы, взаимоисключающих положения: отсутствие в природе магнитных монополей и наличие физически содержательной потенциальной компоненты магнитного поля. Такая идея лежит в основе обобщенной электродинамики, которая начала формироваться во второй половине XX века. Она отталкивается от попыток Ампера сформулировать закон электромагнитного взаимодействия, учитывающий две составляющие магнитной силы: поперечную и продольную по отношению к току [1–2]. Современная электродинамика оперирует только магнитной силой, названной в честь Ампера. Она действует ортогонально току и определяется по формуле, предложенной О. Хэвисайдом во второй половине XIX века:

$$\mathbf{f}_A = \mathbf{j} \times \mathbf{B}. \quad (2)$$

Как известно, ее можно использовать только при описании взаимодействия параллельных токов. Однако, в трактате Ампера [1] описаны два эксперимента, в которых взаимодействуют токи, расположенные на взаимно ортогональных линиях. При этом один из проводников движется вдоль тока, текущего в нем, то есть он испытывает действие продольной магнитной силы. Множество подобных экспериментов, реализованных современными авторами, описано в монографиях [3–4]. В [4] сформулирован обобщенный закон электромагнитного взаимодействия. В частном случае при взаимодействии двух ортогонально расположенных токов на один из них действует сила Ампера (2), а на другой продольная сила плотности:

$$\mathbf{f}^* = \mathbf{j} B^*, \quad (3)$$

где $B^* = B^*(\mathbf{r}, t)$ – скалярная функция индукции потенциального (скалярного) магнитного поля (ПМП или СМП). Она является знакопеременной, соответственно, сила \mathbf{f}^* действует по току, если проводник находится в положительном СМП, и против тока – в отрицательном СМП. Условия возникновения и свойства СМП, а также эксперименты с ним описаны в монографиях [3–4].

Система дифференциальных уравнений обобщенной электродинамики, учитывающая СМП, в условно неподвижной системе отсчета выглядит следующим образом:

$$\nabla \times \mathbf{H} + \nabla H^* = \mathbf{j} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}, \quad (4)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}, \quad (5)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho + \varepsilon' \varepsilon_0 \frac{\partial B^*}{\partial t}, \quad (6)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0. \quad (7)$$

Ее следует дополнить соотношениями

$$\mathbf{B} = \mu' \mu_0 \mathbf{H}, \quad B^* = \mu' \mu_0 H^*, \quad \mathbf{D} = \varepsilon' \varepsilon_0 \mathbf{E}_s + \varepsilon' \varepsilon_0 \mathbf{E}_p.$$

Как следует из уравнения (4), ток проводимости \mathbf{j} создает как векторное (вихревое), так и скалярное (потенциальное) магнитные поля. В общем случае обе эти составляющие единого магнитного поля являются нестационарными и неоднородными.

Уравнение (5) выражает закон вихревой электромагнитной индукции, а из уравнения (6) следует, что изменение индукции СМП приводит к возникновению «зарядов смещения» $\varepsilon' \varepsilon_0 \frac{\partial B^*}{\partial t}$, которые наравне с электрическими зарядами плотности ρ являются источниками и стоками потенциального электрического поля. Заметим, что при этом нет необходимости использовать представление о магнитных монополях. Это явление можно назвать безвихревой электромагнитной индукцией. Оно подтверждено экспериментами, описанными в монографии [4].

Таким образом, обобщенная электродинамика является потенциально-вихревой теорией, учитывающей в полной мере все компоненты электрического и магнитного полей. К этому выводу независимо друг от друга различными путями пришли многие исследователи [3-10].

2. Волновые уравнения

Понятно, что потенциальная компонента магнитного поля участвует в волновом электромагнитном процессе. Применив оператор $\partial/\partial t$ к уравнению (4), после преобразований с учетом (5) и (6) получим два независимых уравнения для потенциальной и вихревой компонент электрического поля соответственно:

$$\Delta \mathbf{E}_p - \mu' \mu_0 \varepsilon' \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \mathbf{E}_p}{\partial t^2} = \mu' \mu_0 \frac{\partial \mathbf{j}_p}{\partial t} + \frac{1}{\varepsilon' \varepsilon_0} \nabla \rho, \quad (8)$$

$$\Delta \mathbf{E}_s - \mu' \mu_0 \varepsilon' \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \mathbf{E}_s}{\partial t^2} = \mu' \mu_0 \frac{\partial \mathbf{j}_s}{\partial t}. \quad (9)$$

Вычислив производную по времени от уравнения (5), с учетом (4), получим волновое уравнение для вектора \mathbf{H} :

$$\Delta \mathbf{H} - \varepsilon' \varepsilon_0 \mu' \mu_0 \frac{\partial^2 \mathbf{H}}{\partial t^2} = -\nabla \times \mathbf{j}. \quad (10)$$

С использованием уравнений (9) и (10) описывается известный механизм излучения и распространения поперечных электромагнитных волн.

Аналогичным образом, преобразовав (6) с учетом (4), получается волновое уравнение для скалярной функции H^* :

$$\Delta H^* - \varepsilon' \varepsilon_0 \mu' \mu_0 \frac{\partial^2 H^*}{\partial t^2} = \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{j}. \quad (11)$$

Дифференциальные уравнения (8) и (11) описывают механизм излучения и распространения продольных электромагнитных волн.

Обобщенная электродинамика (макроскопическая теория) указывает на два типа электромагнитных волн: поперечные и продольные. Первый тип волн давно известен, хорошо исследован и используется на практике. Второй тип волн открыт сравнительно недавно. Обзоры публикаций по этой проблеме приведены в монографиях [4; 11–14].

В качестве примера рассмотрим полуволновой вибратор Герца с током $\mathbf{j}_p(t)$ (рис. 1). Поскольку проводник с током имеет конечную длину, кроме векторного магнитного поля, создается СМП. Пусть ток возрастает, следовательно, индукция СМП увеличивается. При этом индуцированное электрическое поле \mathbf{E}_p стремится компенсировать исходный ток в проводнике (аналог правила Ленца). Рассмотрим поле вблизи точек A и B , совпадающих с концами токового отрезка. В точке A образуется сток индуцированного электрического поля \mathbf{E}_p , то есть $\frac{\partial B^*}{\partial t} < 0$, и создается отрицательное возрастающее по модулю СМП. Вблизи точки B создается положительное СМП, которое тоже возрастает $\left(\frac{\partial B^*}{\partial t} > 0\right)$, следовательно, здесь имеется источник индуцированного электрического поля \mathbf{E}_p . Когда исходный ток $\mathbf{j}_p(t)$ начинает убывать, полярность зон СМП изменяется.

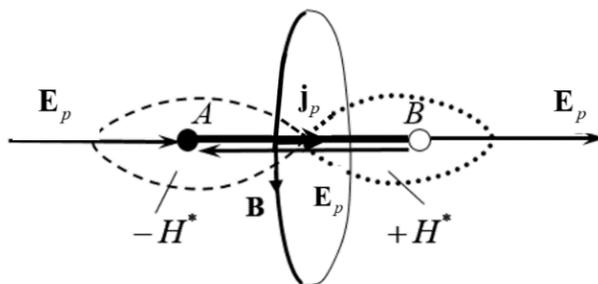


Рис. 1. Излучение электромагнитной волны полуволновым вибратором Герца

Источник: составлено авторами.

Таким образом, вибратор Герца, кроме поперечной волны, излучает еще и продольную, которая распространяется вдоль линии его расположения.

Важно заметить, что переменный электрический ток в самом вибраторе тоже можно рассматривать как продольную электромагнитную волну. Такое представление в традиционной теории не используется, поскольку в ней отсутствует СМП. А для описания волнового процесса требуются две потенциальные компоненты: электрическая и магнитная. Поэтому считается, что электромагнитный процесс в электропроводной среде распространяться не может. Этот ошибочный вывод исключил возможность создания средств подводной радиосвязи.

В случае падения поперечной электромагнитной волны из диэлектрика на поверхность проводника считается, что происходит затухание электромагнитного процесса. Вопрос о преобразовании энергии при этом не имеет однозначного решения. В обобщенной теории имеется физически содержательное толкование: поперечная электромагнитная волна трансформируется в продольную. Именно на этом принципе работают все принимающие антенны: энергия падающей поперечной волны преобразуется в переменный ток в проводнике, то есть в продольную волну.

Полное теоретическое описание процессов излучения и распространения комплексной (потенциально-вихревой) электромагнитной волны содержится в монографии [4]. Там же приведено подробное математическое описание распространения продольной электромагнитной волны в электропроводной среде.

3. Эксперименты с продольными электромагнитными волнами

Теоретические выводы, приведенные выше, успешно подтвердились в лабораторных и натурных испытаниях. В монографии Г.В. Николаева [15] описаны эксперименты с двухконтурными (биполярными) антеннами, одна из которых служит излучателем, другая – приемником продольных электромагнитных волн. Такие антенны образуют электрическую систему тороидального типа, в которой вихревое и потенциальное магнитные поля позиционно разделены: вихревое магнитное поле присутствует внутри тороидальной обмотки, а СМП создается на торцах тороида. Первые эксперименты с тороидальными антеннами в речной воде произведены М.А. Суриным в 2020–2022-е годы. Зафиксирован факт передачи коротковолнового сигнала между подводными антеннами на расстояние в несколько сотен метров.

В статье [16] описан эксперимент с тороидальным соленоидом, по которому попускается ток частотой 50 Гц. Обмотка тороида заключена в сплошной заземленный экран. В результате на оси внутреннего отверстия тороида (за пределами экранированной области) обнаружено и измерено электрометрическим методом потенциальное электрическое поле. Показано, что этот эффект не связан с электромагнитными полями рассеяния. Сделан вывод о возможности проникновения продольной электромагнитной волны сквозь

заземленный экран. Это ее свойство следует учитывать при решении задач электромагнитной совместимости.

В статьях [17-18] приведены результаты лабораторных экспериментов со сферическими антеннами. Показано, что электропроводная сфера, на которой имеется нестационарный заряд $\rho = \rho(t)$ (или квазизаряд плотности $\epsilon' \epsilon_0 \frac{\partial B^*}{\partial t}$), излучает сферически симметричную продольную электромагнитную волну. В частности, описан эксперимент по передаче радиосигнала на частоте 27 МГц из клетки Фарадея [18].

В 2021–2023-х годах в акватории Японского моря произведена серия экспериментов по передаче высокочастотного модулированного радиосигнала с помощью сферических антенн, сконструированных в Дальневосточном федеральном университете. Условия экспериментов, анализ их результатов и соответствующая теория изложены в статьях [19–21]. В 2024 году изготовлен новый комплекс приемопередающей аппаратуры, который успешно испытан на пресноводном Можайском водохранилище [22]. Результаты, полученные в выполненных исследованиях, позволяют создать принципиально новые системы высокоскоростной радиосвязи между мобильными подводными объектами. Имеется принципиальная возможность организовать канал двухсторонней радиосвязи наземной или спутниковой станции с мобильным подводным объектом. Теоретические и экспериментальные работы в данном направлении ведутся в США [23–24], Европе [7; 14; 17; 25]. Есть сведения об успешных экспериментах, произведенных в Китае.

Заключение

Эксперименты, кратко представленные выше, позволяют говорить об открытии СМП и продольных электромагнитных волн, что существенно расширяет научные представления об электромагнитном поле и электромагнитных волнах. В настоящее время это научное направление содержит обоснованную теоретическую базу, подтвержденную результатами лабораторных и натуральных экспериментов. В частности, найдено принципиальное решение по организации каналов высокочастотной подводной радиосвязи между автономными мобильными объектами. Представлены результаты испытаний в натуральных условиях приемопередающих радиокомплексов двух типов: тороидальных и сферических.

Литература

1. *Ампер А. М.* Электродинамика. Москва : АН СССР, 1954.
2. *Тамм И. Е.* Основы теории электричества. Москва : Наука, 1976.
3. *Николаев Г. В.* Современная электродинамика и причины её парадоксальности. Томск : Твердыня, 2003.
4. *Томилин А. К.* Обобщенная электродинамика. Москва : Триумф, 2020. <https://doi.org/10.32986/978-5-93673-270-6-2020-04>

5. *Ohmura T.* A new formulation on the electromagnetic field // *Prog. Theor. Phys.* 1956. Vol. 16. P. 684–685.
6. *Хворостенко Н. П.* Продольные электромагнитные волны // *Изв. ВУЗов. Физика.* 1992. № 3. С. 24–29.
7. *Van Vlaenderen K. J., Waser A.* Generalization of classical electrodynamics to admit a scalar field and longitudinal waves // *Hadronic Journal.* 2001. No. 24. P. 609–628.
8. *Woodside D. A.* Three-vector and scalar field identities and uniqueness theorems in Euclidean and Minkowski spaces // *Am. J. Phys.* 2009. Vol. 77, no. 5. P. 438-446.
9. *Arbab A. I., Satti Z. A.* On the Generalized Maxwell Equations and Their Prediction of Electroscalar Wave // *Progress in physics.* 2009. Vol. 2. P. 8–13.
10. *Кечкин О. В., Мошарев П. А.* Общее гармоническое решение в электродинамике с дилатоном: точное выражение для полей и обобщенная сила Лоренца // *Вестник Московского университета. Серия 3: Физика. Астрономия.* 2020. № 5. С. 45–51.
11. *Нефедов Е. И.* Электромагнитные поля и волны. Москва : Академия, 2014.
12. *Nefyodov E. I., Smolskiy S. M.* Understanding of Electrodynamics, Radio Wave Propagation and Antennas. USA : Scientific Research Publishers, 2012.
13. *Протопопов А. А.* Физико-математические основы теории продольных электромагнитных волн: монография / под общ. ред. Е. И. Нефедова, А. А. Яшина. Тула : ТулГУ, 1999. 110 с.
14. *Zohuri B.* Scalar Waves // *Scalar Wave Driven Energy Applications.* Springer, 2019. P. 443. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91023-9_6
15. *Николаев Г. В.* Непротиворечивая электродинамика : теории, эксперименты, парадоксы. Томск, 1997. 144 с.
16. *Томили́н А. К., Мисюченко И., Викулин В. С.* Исследование квазистационарного электромагнитного поляна оси тороидального соленоида электрометрическим методом // *Прикладная физика.* 2024. № 5. С. 5–11. <https://doi.org/10.51368/1996-0948-2024-5-5-11>
17. *Meyl K.* Scalar Waves: Theory and Experiments // *Journal of Scientific Exploration.* 2001. Vol. 15, no. 2. P. 199–205.
18. *Sacco B., Tomilin A. K.* The Study of Electromagnetic Processes in the Experiments of Tesla. 2012. URL: <http://vixra.org/abs/1210.0158>
19. *Томили́н А.К., Лукин А.Ф., Гульков А.Н.* Эксперимент по созданию канала радиосвязи в морской среде // *ПЖТФ.* 2021. Т. 47, № 11. <https://doi.org/10.21883/PJTF.2021.11.51009.18710> [Tomilin A. K., Lukin A. F., Gulkov A. N. An Experiment to Form a Radio Communication Channel in a Marine Environment // *Technical Physics Letters.* 2021. Vol. 47, no. 6. <https://doi.org/10.1134/S1063785021060146>]
20. *Лукин А.Ф., Томили́н А.К., Гульков А.Н., Кремс К. А.* Оценка характеристик канала радиосвязи в морской среде // *ЖТФ.* 2022. Т. 92, № 9. <https://doi.org/10.21883/JTF.2022.09.52935.43-22>. [Lukin A. F., Tomilin A. K., Gulkov A. N., Krems K. A. Radio communication channel characteristics estimation in the marine environment // *Technical Physics.* 2022. Vol. 92, no. 9. <https://doi.org/10.21883/TP.2022.09.54688.43-22>]
21. *Томили́н А.К.* Принцип организации канала подводной радиосвязи с использованием шаровых антенн // *ЖТФ.* 2023. Т. 93, № 3. <https://doi.org/10.21883/JTF.2023.03.54852.255-22>
22. *Tomilin A., Panchelyuga V., Panchelyuga M.* Theoretical Basis and Development of Short-Wave Underwater Radio Communication Systems. 2024 IEEE 9th All-Russian Microwave Conference (RMC). P. 517–521. <https://doi.org/10.1109/RMC62880.2024.10845899>

23. *Hively L. M.* Systems, apparatuses, and methods for generating and/or utilizing scalar-longitudinal waves. Patent № US 9, 306,527 B1. Apr. 5. 2016.
24. *Hively L. M., Land M.* Extended electrodynamics and SHP theory // *Journal of Physics: Conference Series* 1956 (2021). Article no. 012011. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1956/1/012011>
25. *Monstein C., Wesley J. P.* Observation of Scalar Longitudinal Electrodynamic Waves // *Europhysics Letters*. 2002. Vol. 59, no. 4. P. 514–520.

LONGITUDINAL ELECTROMAGNETIC WAVES

Aleksandr K. Tomilin^{1*}, Victor A. Panchelyuga^{2}**

*¹Department of Mechanical Engineering,
National Research Tomsk Polytechnic University
30 Lenin Ave, Tomsk, 634050, Russian Federation*

*²Institute of Theoretical and Experimental Biophysics
of the Russian Academy of Science*

3b Institutskaja St, Pushchino, Moscow region, 142290, Russian Federation

Abstract. The initial idea of potential-vortex electrodynamics theory is discussed. Differential equations of generalized electrodynamics and wave equations describing both transverse and longitudinal electromagnetic waves are presented. The process of radiation of both types of waves by a half-wave Hertz vibrator is described. It is shown that longitudinal electromagnetic waves propagate in electrically conducting media. A short review of publications containing the results of experiments with longitudinal waves is given.

Keywords: transverse electromagnetic waves, longitudinal electromagnetic waves, Maxwell's equations, Helmholtz theorem, scalar magnetic field

* E-mail: aktomilin@tpu.ru

** E-mail: VictorPanchelyuga@gmail.com

DOI: 10.22363/2224-7580-2025-1-157-166

EDN: YVELHI

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ В МОРСКОЙ СРЕДЕ: КРАТКИЙ ОБЗОР

А.Ф. Лукин

*Индивидуальный исследователь
Российская Федерация, Приморский край*

Аннотация. Представлены результаты наиболее значимых теоретических и экспериментальных работ в области использования электромагнитных высокочастотных волн в морской среде, опубликованных в XX и начале XXI века. Кратко описаны основные характеристики распространения волн, наблюдаемые эффекты, а также рекомендации по разработке и конструированию эффективных подводных антенн.

Ключевые слова: электромагнитные волны, морская среда, подводные антенны, затухание радиоволн, высокочастотные радиоволны

Введение

Современная прикладная электродинамика недостаточное внимание уделяет вопросам излучения, распространения и приема высокочастотных электромагнитных сигналов в водной среде. В особенности это характерно для морской среды, имеющей высокую удельную электропроводность. Во многих монографиях и научных статьях, на основании уравнений Максвелла и закона Ома, с использованием метода комплексных амплитуд вводится понятие комплексной диэлектрической проницаемости для проводящей среды. В результате получают оценки для глубины проникновения высокочастотных электромагнитных волн в проводящую среду, например в морскую воду. Глубиной проникновения считается расстояние, на котором амплитуда электромагнитной волны уменьшается за счет поглощения в среде в $e = 2,71828$ раза. В результате, например, для частот в 1 МГц и выше расстояние, на котором может быть обеспечен энергетический бюджет потенциальной радиолинии, оценивается единицами метров. В результате в физике и радиотехнике среди специалистов, сформировалось устойчивое мнение о нецелесообразности практического применения электромагнитных волн в проводящих водных средах.

Однако в последние десятилетия множество публикаций посвящено созданию подводных сетей связи и передачи данных, в которых именно электромагнитные каналы связи имеют преимущества перед гидроакустическими и оптическими каналами. Прежде всего, это связано с тем, что электромагнитные высокочастотные каналы связи могут обеспечить более высокие

скорости передачи данных, чем гидроакустические каналы. В то же время электромагнитные каналы в меньшей степени зависят от прозрачности или мутности воды, чем оптические каналы.

Но самое главное, что проведенные в разных странах разными группами исследователей прямые эксперименты по распространению высокочастотных электромагнитных волн в проводящих водных средах, в частности в морской среде, доказали, что теоретические расчеты по поглощению таких волн оказались значительно завышены.

Задача настоящей статьи – показать развитие подводной высокочастотной радиосвязи по материалам публикаций в открытой печати и привлечь внимание исследователей и разработчиков прикладных систем к тематике этих работ.

1. Публикации в XX веке

В настоящей работе не предполагается рассматривать системы электромагнитной связи в диапазонах сверхдлинных волн (СДВ), например [1; 2]. На эту тему в доступной литературе существует множество публикаций.

Первые публикации в области подводной электромагнитной связи в море относятся к 1919–1920 годам. В 1919 году П. Лоуэлл (P.D. Lowell) [3] описал петлевые магнитные антенны, которые использовались для связи между подводными лодками и были встроены в их корпуса как часть антенной системы.

В 1919 году А. Тейлор (A. Taylor) [4] проводил эксперименты с длинной (до 153 м) проводной антенной на подводной лодке в штате Вашингтон.

В 1920 году Р. Бэтчер (R.R. Batcher) [5] использовал петлевые магнитные антенны, встроенные в корпуса подводных лодок. Были проведены эксперименты по передаче электромагнитных сигналов под водой между лодками на полной скорости хода, на расстоянии до 20 км с помощью магнитных антенн.

В 1951 году Р. Мур (R.K. Moore) [6] впервые разработал теорию погруженных в морскую воду электромагнитных петлевых антенн. В частности, для связи подводных лодок испытывались горизонтальные и вертикальные дипольные антенны, погруженные в море.

В 1969 году по программе SEDAR [7] успешно испытывалась система дистанционного подводного электромагнитного размыкателя для подъема оборудования, установленного на дне моря. Система состоит из буксируемой на поверхности антенной решетки, а также приемника и механизма размыкания заякоренных устройств на глубинах до 200 м. Система работала на дальностях до 1000 м при выходной мощности передатчика 1000 Вт.

В 1959 году Р. Тернер (R.W. Turner) [8] подробно описал систему электромагнитной связи между подводными лодками во времена Второй мировой войны. Приведены варианты конструкций высокочастотных антенн. Указаны измеренные оценки затухания электромагнитных волн в морской воде с удельной электропроводностью 4 См/м. Например, для 1 МГц затухание составило около 10 dB/foot (32,8 дБ/м).

В 1966 году компанией «Northrup Corporation of Washington» [9] опубликованы итоги экспериментов по распространению электромагнитных волн в морской среде. На частоте 500 МГц электромагнитные волны успешно передавались на коротких расстояниях. В экспериментах дочерней компании Page Communications Engineers были использованы сигналы с частотами от 100 Гц до 500 МГц, которые передавались на расстояние 12 футов (3,65 м) в пластиковом бассейне. Последующие эксперименты в заливе Сан-Франциско показали успешную передачу сигнала с помощью передатчика мощностью 250 Вт на глубине 250 футов (76 м) на расстояние 1500 футов (457 м). Сила сигнала на частоте 7 МГц при длине излучающего диполя 20 футов (6 м) практически не менялась с глубиной, что не допускало объяснение факта передачи поверхностными волнами. С ростом длины диполя сила сигнала также возрастала. Последнее замечание вызывает вопросы, так как ставит под сомнение резонансные характеристики дипольных антенн в проводящей среде.

В 1973 году М. Сигел (M. Siegel) и Р. Кинг (R.W.P. King) [10] привели результаты исследования коротких диполей, погруженных на 0,15 м в океан на частотах 100 кГц и 14 МГц. Были измерены напряженности электрического поля, распределения токов по антеннам, а также импеданса. Приведены сравнения полученных данных с теорией.

В 1972 году И. Боги (I.S. Vogie) [11] опубликовал данные о зависимости скорости электромагнитных волн, глубины проникновения, длины волны от частоты для морской воды. Приведены примеры использования электромагнитных волн под водой для связи между дайверами на глубинах 30 м, для расстояний в 100 м при мощности передатчиков 10 Вт. Береговая станция покрывала зону в 5 км² при дальности 355 м и мощности передатчика 160 Вт.

В 1987 году Л. Батлер (L. Butler) [12] исследовал эффекты распространения электромагнитных волн на частоте 1,8 МГц. Сделан вывод, что из-за высокого затухания сигнала в морской воде решения по организации каналов связи возможны в области частот 10–30 кГц. Работа на частоте 1,8 МГц ограничена высоким уровнем затухания в 46 дБ/м.

В 1977 году U.S. Naval Underwater Ordnance Station, Newport, Rhode Island опубликовало материал «Electromagnetic radiation in sea water» [13]. В нем детально изложены, в зависимости от частоты, такие характеристики, как присущий морской воде импеданс, скорость распространения волн, степень затухания. Приводятся коэффициенты передачи волн через границу раздела «вода – воздух» в зависимости от углов падения для волн с вертикальной и горизонтальной поляризацией.

2. Публикации в XXI веке

В 2004 году Аль-Шамма (Al-Shamma) [14] вместе с другими учеными из Университета г. Ливерпуль (Великобритания), провели фундаментальные измерения затухания электромагнитных волн на мегагерцовых частотах в морской воде. Для электрических и магнитных антенн, в экспериментальном

бассейне и в морских условиях (в одном из доков Ливерпуля) измерены зависимости затухания волн от расстояния. На частоте 1 МГц при удельной электропроводности воды 4 См/м основное затухание амплитуды наблюдалось в ближней зоне антенн на расстояниях 1–1,5 м. С дальнейшим ростом расстояния до 90 м затухание изменялось очень слабо с расстоянием. Аналогичное явление наблюдалось при распространении электромагнитных волн с увеличением глубины. От 0,6 до 1,3 м амплитуда сигнала уменьшалась от 0,04 мВ до 0,003 мВ, а далее – до 6 м находилась в пределах 0,003–0,004 мВ. Также было показано преимущество чувствительности магнитной рамки перед электрическим диполем.

В 2008 году А. Гудевенок (Apostolous Goudevenoc) [15] обобщил результаты исследований, выполненных Университете Ливерпуля. Для пресной и для морской воды приведены таблицы по ослаблению сигнала для частот от 0,5 до 60 МГц, как с учетом его дифракции, так и поглощения в среде. Даны рекомендации по конструированию подводных антенн.

В 2009 году Дж. Гох (J.H. Goh) и др. [16] разработали технологию создания системы подводной электромагнитной связи, включая расчет и конструирование рамочных магнитных антенн. Приведен расчет подводной магнитной антенны из двух витков для рабочей частоты 8 МГц. Исследованы характеристики уровня принимаемого сигнала для частот в диапазоне 4–20 МГц. Сделан вывод о том, что, несмотря на высокое затухание сигнала в ближней зоне антенны, сигнал в дальней зоне существенно выше, чем это считалось ранее. Описаны преимущества использования электромагнитных волн под водой для решения задач связи, передачи данных, передачи компрессированного видео и радиолокации.

В 2014 году Н. Джордж (Nisha George) с соавт. [17] опубликовали практический обзор по конструированию и применению подводных электромагнитных антенн для использования в океане. Исследовано пиковое усиление, возвратные потери, диаграммы направленности. Отмечена высокая востребованность антенн, работающих в полосе частот более 500 МГц на короткие расстояния.

В 2013 году Г. Хаттаб (Ghaith Hattab) и др. [18] рассмотрели модель подводных коммуникаций для создания сетей передачи данных. Выполнены оценки потери сигнала в зависимости от параметров морской среды. Приведены температурные зависимости диэлектрической проницаемости и удельной электропроводности воды, коэффициенты отражения электромагнитных волн от границ раздела сред. Изложены теоретические результаты и результаты моделирования.

В 2019 году О. Абадерин (Oluyomi Abaderin) [19] детально рассмотрел вопросы теории и практики расчетов и конструирования подводных электромагнитных антенн. Опубликованы расчеты характеристик многих конкретных антенн при работе в морских условиях.

В 2007 году Дж. Лукас (J. Lucas) и К. Йип (C.K. Yip) и др. [20] привели результаты натуральных экспериментов в морской воде и лабораторных экспериментов в волноводе. Отмечен высокий уровень потерь сигнала в ближней

зоне передающей антенны. Впервые предложена модель распространения электромагнитных волн в проводящей морской среде, которая базируется на эффектах вторичного электромагнитного излучения возбужденными молекулами воды.

Детальные экспериментальные измерения были выполнены в рамках Европейского проекта EMCOMM. В 2008 году К. Йип и др. [21] провели эксперименты по распространению электромагнитных волн в диапазоне частот 1–20 МГц в морской воде с удельной электропроводностью воды 4 См/м. При мощности передатчика 30 Вт дальность приема сигнала составила 100 м. В области частот 3,7–5,0 МГц уровень сигнала быстро снижался в области дистанций ближней зоны от передатчика, а затем медленно менялся с расстоянием до 90 м, оставаясь при этом выше уровня собственных электрических шумов в воде (–135 дБм).

В 2017 году М. Тахир (Muhammad Tahir) и др. [22] рассмотрели возможные модели и механизмы сложной картины затухания электромагнитных волн в морской среде. В ближней зоне антенны доминировали токи проводимости, что вызывает высокую степень затухания. В дальней зоне доминировал диэлектрический молекулярный дипольный ток смещения, который вызывал значительно меньшие потери по затуханию. Теоретический анализ и проведенные эксперименты показали возможность подводной радиосвязи на расстояниях до 100 м в диапазоне частот 1–20 МГц при мощности передатчика 100 Вт. Сообщается, что в 2006 году был выпущен первый коммерческий подводный радиомодем S1550 от компании «Wireless Fibre Systems». Он позволял передавать данные со скоростью 100 бит/с на несколько десятков метров. В 2007 году та же компания выпустила подводный радиомодем S5550, который на расстоянии одного метра обеспечивал передачу данных со скоростями от 1 до 10 Мбит/с. В рамках проекта EMCOMM была успешно продемонстрирована связь между движущимся автономным подводным аппаратом и базовой станцией для выгрузки данных и передачи команд. Приводится пример использования подводной антенны, инкапсулированной в герметичный бокс, наполненный дистиллированной водой, с целью уменьшения потерь в ближней зоне. Работы финансировались Changchun University of Science and Technology, P.R. China.

В 2008 году Л. Лю (Lanbo Liu) с соавт. [23], ученые из Университета штата Коннектикут (США), рассмотрели физические основы и инженерные реализации эффективного обмена информацией с помощью беспроводной связи, используя физические волны в качестве носителя между узлами в подводной сенсорной сети (UWSN). Анализируется отношение удельной электропроводности и диэлектрической проницаемости морской воды как фактора, определяющего так называемую частоту перехода, равную 888 МГц. Авторы предполагают, что для частот ниже частоты перехода электромагнитное поле не является полноценной волной и ведет себя преимущественно как диффузное поле. Для частот, превышающих частоту перехода, поведение электромагнитного поля в большей степени является волновым процессом.

В 2020 году П. Асвати (P.M. Aswathy) [24] исследовал вопросы ошибок и многолучевого распространения сигнала, а также надежность подводных датчиков и сетей в целом. Указывается на возможные применения подводных сетей для обнаружения объектов на дне океана, для мониторинга окружающей среды и сбора океанографической информации, а также для задач обороны и прогнозирования стихийных бедствий.

В 2018 году российская компания ПАО «Ива» (IVA Technologies) [25] сообщила о создании электромагнитного комбинированного комплекса для подводной связи и передачи данных. Комплекс обеспечивает на расстояниях до 83 м магнитную связь, а до 2000 м гидроакустическую связь. Глубины, на которых работает система, – до 26 м.

В 2022 году Институтом физики им. Л.В. Киренского СО РАН совместно с НПП «Радиосвязь» холдинга «Радиоэлектроника» [26] на водохранилище Красноярской ГЭС продемонстрирован эксперимент по магнитной индуктивной связи в области частот до 1 МГц. Антенна диаметром около одного метра из нескольких витков провода передавала данные с глубины 93 м со скоростью 120 Кбит/с. Передатчик имел мощность 200 Вт, отношение сигнал/помеха составило 20 дБ.

В 2005 году В.П. Смагин (ВГУЭС) опубликовал работу [27], в которой излагается теория и экспериментальные результаты по исследованию электромагнитных полей в океане от береговых и корабельных акустических волн, а также от течений. Изложены результаты возникновения подводных электромагнитных шумов в океане и их источники.

В 2006 году А.Н. Шибков из Владивостока опубликовал работу [28], в которой изложил теорию и экспериментальные результаты по подводной электромагнитной связи в морской воде.

В 2021 году А.К. Томилин с соавт. [29] опубликовали результаты экспериментальных исследований по созданию подводного канала радиосвязи в морской воде на частоте 27 МГц. При мощности передатчика около 1 Вт дальность уверенного приема составила более 470 м с использованием специально сконструированных «шаровых антенн».

В 2022 году А.Ф. Лукин с соавт. [30] опубликовали результаты экспериментов, связанных с распространением в морской среде Японского моря электромагнитных волн на частоте 27 МГц. Показано, что для прямых измерений принимаемой мощности сигнала на несущей частоте, на расстоянии 80 м между приемником и передатчиком, уровень отношения сигнал/помеха составил 28,7 дБ. Удельная электропроводность морской воды составляла 4.77 См/м. Мощность передатчика радиостанции составляла около 1 Вт.

В 2023 году А.К. Томилин [31] опубликовал работу по теоретическому обоснованию экспериментов, изложенных в [29; 30].

В 2020 году А. Тарик (Auesha Tarig) и др. [32] обсудили новые методы и технологии в области подводных беспроводных сенсорных сетей (UWSN), которые используются для сбора информации под водой, мониторинга состояния среды, обмена данными с подводными аппаратами. Описано несколько архитектур средств связи и протоколов маршрутизации.

В 2020 году И. Смольянинов (Igor Smolyaninov) и др. [33] опубликовали работу, в которой представлено несколько конструкций подводных антенн, малых волновых размеров для работы на частотах 2, 50 МГц и 2,4 ГГц. Антенны обладают особенностями по улучшению связи с поверхностными электромагнитными волнами. Согласование импеданса антенн со средой обеспечивается промежуточным корпусом, заполненным деионизированной морской водой. В эксперименте был зафиксирован уверенный прием видеосигнала Wi-Fi на расстояниях, значительно превышающих расчетную глубину проникновения радиосигнала частоты 2,4 ГГц.

Т. де Пайетт (Thierry Deschamps de Paillette) и др. [34] в 2017 году опубликовали работу о конструкции подводной антенны для обслуживания датчиков подводной сенсорной сети. На основе оценок импеданса и коэффициента отражений волн была разработана петлевая антенна для диапазона 1–10 МГц, работающая с использованием эффекта ближнего поля в радиусе 5 м. В качестве диэлектрической оболочки антенны использовался резервуар с дистиллированной водой.

3. Обсуждение

Материалы, процитированные в настоящем кратком обзоре публикаций посвящены теме применения электромагнитных волн для морской подводной связи и построения подводных сетей. В совокупности они опровергают сложившееся устойчивое мнение многих специалистов о нецелесообразности практического применения электромагнитных волн в проводящих водных средах. Проведенные экспериментальные работ указывают на актуальность и практическую значимость научно-технического направления по передаче электромагнитных сигналов в водной, в том числе в морской, среде.

Полученные экспериментальные результаты по дальности уверенного приема радиосигналов в морской среде многократно превышают для разных диапазонов частот расчетные теоретические выводы о поглощении радиоволн в морской среде, которые публикуются в большинстве статей и монографий. Наблюдаемые экспериментально характеристики зависимости поглощения радиоволн в ближней и дальней зонах от антенн радиопередатчиков могут стать основой для разработки новых теорий поведения электромагнитных полей в проводящих средах.

Можно отметить два конкретных характерных явления, которые наблюдаются в экспериментах. Первое связано с характерным резким, до 80 дБ, падением мощности излучаемого передатчиком сигнала в ближней зоне, с последующим относительно медленным поглощением мощности на значительных расстояниях. Второе явление заключается в существенном повышении эффективности работы антенн в морской проводящей среде, если металлические элементы антенн окружены прослойкой из дистиллированной или пресной деионизированной воды. Можно предположить, что перспективным направлением для разработки новых электромагнитных антенн для морских применений будут антенны с многослойными диэлектрическими экранами.

Уже имеющиеся результаты проведенных работ указывают на прорывные перспективы использования электромагнитных высокочастотных волн для создания широкополосных подводных сетей, систем навигации и дистанционного обнаружения подводных объектов.

Литература

1. *Береговой А.* Направления развития средств связи подводных лодок ВМС зарубежных стран. Ч. 1 // Зарубежное военное обозрение. 2022. № 10. С. 75–80.
2. Советская система «ЗЕВС» и американская «Seafarer». URL: <https://scharapow-w.livejournal.com/177437.html>
3. *Lowell P.D.* Development of loop aeriels for Submarine radio communication // *Physics Rev.* 1919. Vol. 14. P. 193.
4. *Taylor A.* Short Wave Reception and Transmission on ground wires (Subterranean and Submarine) // *Radio Engineers, Proceedings of the Institute.* 1919. Vol. 7. P. 337–361.
5. *Batche R. R.* Loop antenna for submarines // *Wireless Age.* 1920. Vol. 7. P. 28.
6. *Moore R. K.* Theory of radio communication between submerged submarines // Ph.D. Thesis, Cornell University, 1951.
7. SEDAR—Submerged Electrode Detection and Ranging system using electric conduction fields (Braincon Corp., Marion, Mass.). Signals by electric fields // *Oceanology International.* 1969. P. 22.
8. *Turner R. W.* Submarine Communication Antenna Systems // *Proceedings of the IRE.* 1959. Vol. 47. P. 735–739.
9. Underwater radio communication // *Wireless World.* 1973. P. 80. URL: <https://worldradiohistory.com/UK/Wireless-World/60s/Wireless-World-1966-02.pdf>.
10. *Siegel M., King R. W. P.* Electromagnetic Propagation between Antennas submerged in Ocean // *IEEE Trans. Antennas Propagation.* 1973. Vol. 21. P. 507–513.
11. *Bogie I.S.* Conduction and Magnetic Signaling in the Sea. Background Review// *Radio and Electronic Engineer.* 1972. Vol. 10. P. 447–452. URL: https://journals.scholarsportal.info/details/00337722/v42i0010/447_camsitsabr.xml
12. *Butler L.* Undewater Radio Communication // *Amateur Radio.* 1987. URL: <http://www.gsl.net/vk5br/UwaterComms.htm>
13. Electromagnetic Radiation in Sea Water. Defense Technical Information Center. URL: <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA046687.pdf>
14. *Shamma-Al, Shaw A., Saman S.* Propagation of Electromagnetic Waves at MHz Frequency through Sea water // *IEEE Trans. Antennas Propagation.* 2004. Vol. 52, no. 11. P. 2843–2849.
15. *Goudevenos Apostolos.* Through Water Electromagnetic communications // The University of Liverpool. 2008. 151 p. URL: <https://livrepository.liverpool.ac.uk/3069550/1/494085.pdf>
16. *Goh J.H., Shaw A., Shamma-Al.* Underwater Wireless Communication System // *Journal of Physics: Conference Series.* 2009. Vol. 178. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/178/1/012029>; URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/178/1/012029/pdf>
17. *Nisha George, Ganesan R., Dinakardas C. N.* Design of Wide Band Antenna for Ocean Communication: Review // *International Journal of Advanced Computer Research.* 2014. Vol. 4, no. 1. Issue 14. URL: <https://www.accentjournals.org/PaperDirectory/Journal/IJACR/2014/3/34.pdf>
18. *Hattab Ghaith, El-Tarhuni Mohamed, Al-Ali Moutaz, Joudeh Tarek, Qaddoumi Nasser.* An Underwater Wireless Sensor Network with Realistic Radio Frequency Path Loss Model // Hindawi Publishing Corporation. *International Journal of Distributed Sensor Networks.* 2013. Vol. 2013, Article ID 508708, 9 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/508708>

19. *Aboderin Oluyomi*. Antenna Design for Underwater Applications // Porto University. 2019. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Antenna-Design-for-Underwater-Application-Aboderin/0c6f035be22ef1e077acd6896868699e468e884d>
20. *Lucas J., Yip C. K.* A determination of the propagation of electromagnetic waves through seawater // International Journal of the Society for Underwater Technology. 2007. Vol. 27, no. 1. P. 1–9.
21. *Yip C. K., Goudevenos A., Lucas J.* Antenna design for the propagation of EM waves in seawater // International Journal of the Society for Underwater Technology. 2008. Vol. 28, no. 1. P. 11–20.
22. *Tahir Muhammad, Piao Yan, Liu Shuo*. Channel characterization of EM waves propagation at MHz frequency through seawater // International Journal of Communication Systems. 2017. 15 p. <https://doi.org/10.1002/dac.3462/full>.
23. *Liu Lanbo, Zhou Shengli, Cui Jun-Hong*. Prospects and Problems of Wireless Communication for Underwater Sensor Networks // Wirel. Commun. Mob. Comput. 2008. P. 977–994. <https://doi.org/10.1002/wcm.654>.
24. *Aswathy P. M.* Underwater Wireless Communication // International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). 2020. Vol. 8, no. 4. P. 1–3.
25. Подводная связь по-русски: интервью Алексея Аляшева, «ХайТэк» (IVA Tech). 02.08.2021 // URL: <https://content-review.com/articles/53251/?ysclid=m8mvvp9zwf502041339>
26. В Красноярске разработали систему связи для подводных и подземных объектов. 17.10.2022 // URL: <https://www.press-line.ru/news/2022/10/v-krasnoyarske-razrabotali-sistemu-svyazi-dlya-podvodnyh-i-podzemnyh-obektov><https://www.press-line.ru/news/2022/10/v-krasnoyarske-razrabotali-sistemu-svyazi-dlya-podvodnyh-i-podzemnyh-obektov>
27. *Смагин В. П.* Электромагнитные поля береговых, корабельных, акустических волн, течений и их использование для изучения Мирового океана : дис. ... д-ра физ.-мат. наук. РГБ ОД, 71:06-1/235. Владивосток : ВГУЭС, 2005. 198 с.
28. *Шибков А. Н.* Подводная связь и навигация с использованием электромагнитного поля : дис. ... д-ра техн. наук. РГБ ОД, 71:07-5/399. Владивосток : ДВГТУ, 2006. 284 с.
29. *Томилин А. К., Лукин А. Ф., Гульков А. Н.* Эксперимент по созданию канала радиосвязи в морской среде // Письма в ЖТФ. 2021. Т. 47, вып. 11. С. 48–50. URL: <http://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/51009>; <https://doi.org/10.21883/PJTF.2021.11.51009.18710>
30. *Лукин А. Ф., Томилин А. К., Гульков А. Н., Кремс К. А.* Оценка характеристик канала радиосвязи в морской среде // Журнал технической физики. 2022. Т. 92, вып. 9. С. 1425–1429. URL: <https://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/52935>; <https://doi.org/10.21883/JTF.2022.09.52935.43-22>.
31. *Томилин А. К.* Принцип организации канала подводной радиосвязи с использованием шаровых антенн // Журнал технической физики. 2023. Вып. 3. С. 397. URL: <https://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/54852>, <https://doi.org/10.21883/JTF.2023.03.54852.255-22>
32. *Auesha Tarig, Farooque Azam, Waseem Anwar Muhammed, Abdul Wahab Zahoor Tayybaand Muzaffar*. Recent Trends in Underwater Wireless Sensor Networks (UWSNs) – A Systematic Literature Review // Programming and Computer Software. 2020. Vol. 46, no. 8. P. 699–711.
33. *Smolyaninov I., Balzano Q., Young D.* Development of Broadband Underwater Radio Communication for Application in Unmanned Underwater Vehicles // Journal of Marine Science and Engineering. 2020. Vol. 8. P. 370. <https://doi.org/10.3390/jmse8050370&>
34. *Paillette Deschamps de, Alain Gaugue, Emmanuel Parlier, Sylvain Dardenne*. Antenna Design Thierry for Underwater Wireless Telemetry Systems // 2017 11th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP), Paris, France. 2017. P. 2251–2255. <https://doi.org/10.23919/EuCAP.2017.7928513>. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/author/37087043038>

HIGH-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC WAVES IN THE MARINE ENVIRONMENT: A BRIEF REVIEW

A.F. Lukin

*Individual researcher
Primorsky Krai, Russian Federation*

Abstract. The article presents the results of the most significant theoretical and experimental works in the field of using electromagnetic high-frequency waves in the marine environment, published in the 20th and early 21st centuries. The main characteristics of wave propagation, observed effects, and recommendations for the development and design of effective underwater antennas are briefly described.

Keywords: electromagnetic waves, marine environment, underwater antennas, radio wave attenuation, high-frequency radio waves

ПАМЯТИ НАШИХ КОЛЛЕГ

DOI: 10.22363/2224-7580-2025-1-167-168

EDN: YVEWHQ



ПЕРМИНОВ ВАСИЛИЙ ЯКОВЛЕВИЧ (1938–2024)

4 декабря 2024 года на 87-м году жизни скончался заслуженный профессор Московского государственного университета профессор кафедры философии естественных факультетов **Василий Яковлевич Перминов**.

Василий Яковлевич более 50 лет преподавал философские дисциплины студентам и аспирантам механико-математического факультета МГУ. Он был и остается одним из самых уважаемых и влиятельных специалистов по философии математики в России. Его книги «Философские и методологические проблемы математики» (в соавторстве, 1981 г.), «Развитие представлений о надежности математического доказательства» (1986 г., 2-е изд. 2004 г.), «Философия и основания математики» (2001 г.) являются общепризнанной классикой в данной области.

Василий Яковлевич в своей деятельности значительное внимание уделял проблеме оснований математики. В одной из своих последних работ он

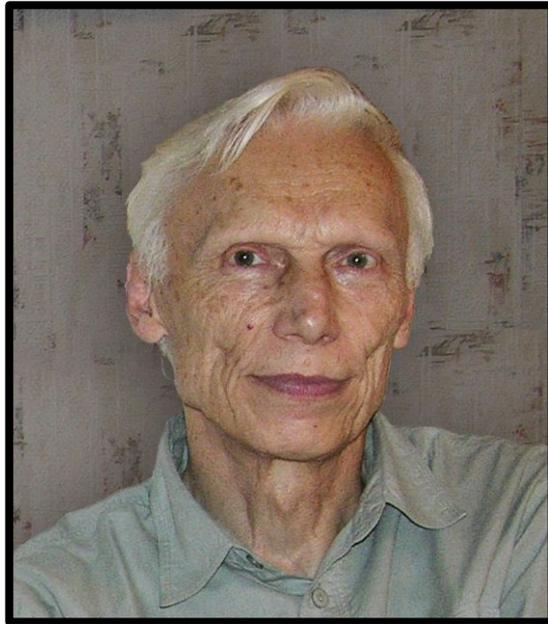
следующим образом изложил свое понимание этой проблемы: «Процесс обоснования математики не закончен. Старые программы обоснования были обречены на неудачу вследствие слабости своих методологических и философских предпосылок. С достаточной определенностью можно предполагать, что прогресс в решении проблемы обоснования зависит сегодня не столько от изобретения новых методов логического анализа, сколько от углубления философии математики, от прояснения наших представлений о природе математического мышления и путей рационального оправдания обосновательного слоя. Прояснение глубинной метафизики математического мышления, прояснение связи исходных математических понятий со структурой реальности дает нам возможность существенного продвижения в этом направлении».

Выражаем соболезнования родным, друзьям и близким Василия Яковлевича. Ученики и коллеги сохранят светлую и благодарную память о его профессионализме и человеческих качествах.

Профессор *В.А. Шапошников*,
профессор *Ю.С. Владимиров*

PERMINOV VASILY YAKOVLEVICH
(1938–2024)

DOI: 10.22363/2224-7580-2025-1-169-170
EDN: YWNPSQ



**СБЫТОВ ЮРИЙ ГРИГОРЬЕВИЧ
(1936–2024)**

7 декабря 2024 года после тяжелой болезни ушел из жизни известный российский физик-теоретик – Юрий Григорьевич Сбытов – специалист в области теории гравитации и космологии. Он обладал хорошей математической подготовкой, был доброжелательным научным консультантом по проблемам общей теории относительности и гравитации и объективным критиком научных работ других авторов.

После окончания физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова в 1960 году Юрий Григорьевич Сбытов поступил в аспирантуру к профессору Д.Д. Иваненко, желая под его руководством заниматься гравитацией. Особо его интересовала проблема определения энергии гравитационного поля. Для ее решения он использовал различные формулировки общей теории относительности (метрическую, тетрадную и иные). Попыткам решения данной проблемы были посвящены его кандидатская диссертация и ряд последующих работ. В дальнейшем его заинтересовали проблемы определения гравитационных волн, их взаимодействия с другими видами излучения и проблема их детектирования. По этой тематике им был опубликован ряд работ.

В 80-е годы XX века у Ю.Г. Сбытова возник интерес к исследованиям проблем поведения излучения во вращающейся Вселенной. Совместно

с В.Ф. Пановым им было исследовано воздействие кривизны пространства-времени на относительный позиционный угол между направлением максимальной вытянутости радиоисточника и направлением интегральной плоскости поляризации при распространении излучения от источника к наблюдателю. Был обнаружен эффект анизотропии, обусловленный глобальным вращением Вселенной.

Ю.Г. Сбытов был активным участником научного (гравитационного) семинара профессора Д.Д. Иваненко, оставил свои подробные воспоминания об истории и о стиле работы этого семинара, имеющего мировую известность. Он продолжал сотрудничать с бывшими участниками этого семинара и после кончины Д.Д. Иваненко.

Память о Юрии Григорьевиче навсегда останется в сердцах его родных и коллег. Мы глубоко скорбим в связи с его кончиной.

Ю.С. Владимиров, В.Ф. Панов

**SBYTOV YURI GRIGORIEVICH
(1936–2024)**

НАШИ АВТОРЫ

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

БАБЕНКО Инна Анатольевна – кандидат физико-математических наук, преподаватель РУДН (Москва).

ВИЗГИН Владимир Павлович – доктор физико-математических наук, профессор Института истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН (Москва).

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

ЖИЛКИН Андрей Георгиевич – доктор физико-математических наук, доцент Института астрономии РАН (Москва).

КОНОНОВ Валентин Георгиевич – независимый эксперт (Курск).

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

ЛЕВИН Сергей Федорович – доктор физико-математических наук, профессор Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (Москва).

ЛУКИН Александр Федорович – кандидат физико-математических наук, ныне индивидуальный исследователь (Приморский край).

МОЛЧАНОВ Алексей Борисович – кандидат физико-математических наук, ассистент кафедры теоретической физики физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (Москва).

ПАНЧЕЛЮГА Виктор Анатольевич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института теоретической и экспериментальной биофизики РАН (Пушино).

ПАНЧЕЛЮГА Мария Сергеевна – научный сотрудник Института теоретической и экспериментальной биофизики РАН (Пушино).

ПЕРМИНОВ Василий Яковлевич (1938–2024) – доктор философских наук, профессор философского факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

СБЫТОВ Юрий Григорьевич (1936–2024) – кандидат физико-математических наук, бывший участник семинара Д.Д. Иваненко.

ТОМИЛИН Александр Константинович – доктор физико-математических наук, профессор Национального исследовательского Томского политехнического университета (Томск).

ФИЛЬЧЕНКОВ Михаил Леонидович – доктор физико-математических наук, профессор Института гравитации и космологии РУДН (Москва).

Общие требования по оформлению статей для журнала «Метафизика»

Автор представляет Ответственному секретарю текст статьи, оформленной в соответствии с правилами Редакции. После согласования с Главным редактором статья направляется на внутреннее рецензирование и затем принимается решение о возможности ее опубликования в журнале «Метафизика». О принятом решении автор информируется.

Формат статьи:

- Текст статьи – до 20–40 тыс. знаков в электронном формате.
- Язык публикации – русский/английский.
- Краткая аннотация статьи (два-три предложения, до 10–15 строк) на русском и английском языках.
- Ключевые слова – не более 12.
- Информация об авторе: Ф.И.О. полностью, ученая степень и звание, место работы, должность, почтовый служебный адрес на русском и английском языках, 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 (названия частей, подразделов) даются выделением «Ж» (полуужирный).
- ✓ Разрядка текста, абзацы и переносы, расставленные вручную, не допускаются.
- ✓ Рисунки и схемы допускаются в компьютерном формате.
- ✓ Века даются только римскими цифрами: XX век.
- ✓ Ссылки на литературу даются по факту со сквозной нумерацией (не по алфавиту) и оформляются в тексте арабскими цифрами, взятыми в квадратные скобки, после цифры ставится точка и указывается страница/страницы: [1. С. 5–6].
- ✓ Номер сноски в списке литературы дается арабскими цифрами без скобок.
- ✓ Примечания (если они необходимы) оформляются автоматическими подстрочными сносками со сквозной нумерацией.

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].

Литература

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

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.

Редакция в случае неопубликования статьи авторские материалы не возвращает.

Будем рады сотрудничеству!

Контакты:

Белов (Юртаев) Владимир Иванович, тел.: 8-910-4334697; e-mail: vyou@yandex.ru

