

О решениях проблем физики 20-века и основаниях теоретической физики 21-века

Захид Закир¹

Аннотация

На протяжении трёх четвертей 20-века, благодаря успехам экспериментальной физики, в основаниях теоретической физики происходил значительный прогресс и результатом этого совместного развития стала современная физическая картина мира. Но в последней четверти этого века весь прогресс свёлся к умозрительным математическим моделям без опытной основы и надежд на подтверждение. Более того, формирование базовых теорий физики, общей теории относительности, квантовой механики и квантовой теории поля, всё ещё оставалось незавершённым из-за неясностей и ряда фундаментальных проблем в их основаниях и важных применениях. В предыдущей обзорной статье (Закир, 2020) была рассмотрена основная часть этих проблем и были кратко изложены решения для них, предложенные автором в 2006-2020 гг. Данный обзор является её переработанной версией, дополненной ещё несколькими проблемами и их решениями, найденными автором в 2021-2022 гг. В отличие от иных попыток, исходивших из умозрительных гипотез, предложенные новые формулировки базовых теорий и их применений основаны на физических принципах, следующих из опытных фактов. В результате базовые теории, остававшиеся лишь успешными математическими моделями, стали наконец последовательными физическими теориями. Проблемы «технического» характера, возникшие из-за отклонения от базовых принципов, сняты строгим следованием этим принципам. Другие проблемы были решены введением новых принципов или изменением прежних, но также на базе фактов. Поэтому эти решения в том или ином виде войдут в ту новую физику, которая иницируется ими. Рассмотрены контуры и перспективы теоретической физики 21-века. Обсуждены причины кризиса в основаниях теоретической физики 20-века и пути его преодоления. Показано, что главной причиной кризиса был отход научного сообщества от методологии и этики естественных наук, а теоретическая физика 21-века формируется вследствие возврата к ним.

Ключевые слова: диффузионная квантовая механика, диффузионная гравитация, квантование полей, микропричинность, энергия вакуума, гравитационная регуляризация, перенормировка, квантовая гравитация, гравитационный коллапс, фрозары, космологическое красное смещение, космология с замедляющимся временем, локальная и глобальная теории относительности, методология физики, научная этика.

Содержание

Введение.....	3
1. О кризисе в основаниях физики 20-века и путях к физике 21-века	4
1.1. Кризис в основаниях физики 20-века и его причины.....	4
1.2. В чём состояли отклонения от методологии и этики естественных наук?.....	5
1.3. Возврат к методологии и этике естественных наук как путь к новой физике.	8
1.4. Исключение нефизических упрощений и обобщений в базовых теориях.	8
1.5. Исключение случаев двоемыслия в квантовой теории.	9
1.6. Исключение случаев двоемыслия в гравитационной физике.	11
2. Фундаментальные проблемы квантовой механики и их решения	14
2.1. Каковы физические принципы квантовой механики и почему они необходимы?	14

¹ *Центр теоретической физики и астрофизики, Ташкент Узбекистан, zzakir@qgph.uz* [ORCID](https://orcid.org/0000-0001-9141-1000)

2.2.	В чём источник квантовых флуктуаций и как решить парадокс Мюнхаузена?	16
2.3.	Почему в квантовой теории складываются амплитуды вероятностей?	17
2.4.	Есть ли скрытые параметры и в чём причина нелокальности?	18
2.5.	В чём физический смысл соотношений неопределённостей и квантового потенциала?	18
2.6.	В чём физический смысл скорости света и её постоянства?	19
2.7.	В чём физический смысл энергии покоя частиц?	19
2.8.	Как возникают квантовая статистика и неразличимость частиц?	20
3.	Проблемы квантовой теории поля и их решения	21
3.1.	Как правильно квантовать состояния с отрицательной энергией?	22
3.2.	Есть ли нулевые флуктуации вакуума полей?	23
3.3.	Как квантовать струны и есть ли у них критические размерности?	23
3.4.	Каковы последовательные условия микропричинности?	24
3.5.	Почему спин и статистика связаны?	25
3.6.	Бесконечны ли поправки высших порядков теории возмущений?	25
3.7.	Бесконечны ли киральные аномалии и случайно ли их сокращение в СМ?	26
3.8.	Состоятельна ли квантовая гравитация?	27
3.9.	Как описывать возможную субструктуру фундаментальных частиц?	27
3.10.	Есть ли необходимость в суперсимметрии?	28
4.	Проблемы гравитационного коллапса и их решения	29
4.1.	Как описать структуру и эволюцию протяжённого объекта в ОТО?	29
4.2.	Может ли поверхность коллапсирующей звезды пересечь её гравитационный радиус и упасть в центр?	30
4.3.	Как коллапсирует оболочка и появятся ли у неё горизонт и сингулярность?	32
4.4.	Как коллапсирует пылевая звезда и как меняется её структура?	33
4.5.	Как коллапсирует заряженная звезда и как её гравитационное поле меняется при росте заряда?	35
4.6.	Как коллапсирует вращающаяся звезда и появится ли у неё эргосфера?	37
4.7.	Как меняется поле вращающейся звезды при росте её углового момента?	38
4.8.	Когда может произойти релятивистский взрыв коллапсирующей звезды?	39
4.9.	Имеют ли сколлапсировавшие звёзды «причёску»?	40
4.10.	Могут ли сливаться две сколлапсировавшие звезды?	41
4.11.	Чем сверхмассивные коллапсары отличаются от обычных?	42
4.12.	Есть ли квантовое испарение сколлапсировавших звёзд?	42
5.	Проблемы теории гравитации и их решения	43
5.1.	Был ли прав Максвелл в отношении природы гравитации?	43
5.2.	Что лежит в основе принципа эквивалентности?	44
5.3.	Каков физический механизм гравитации?	45
5.4.	В чём физический смысл уравнений Эйнштейна?	46
6.	Проблемы космологии и их решения	47
6.1.	Проблема двойного красного смещения в релятивистской космологии	47
6.2.	Надо ли учитывать аберрацию в космологии?	48
6.3.	Меняется ли темп собственных времён в ходе расширения?	49
6.4.	Каковы знак и величина гравитационного смещения частот в космологии?	50
6.5.	Существуют ли космологическая постоянная и тёмная энергия?	51
6.6.	Проблемы фридмановских моделей космологии и их решения	52
6.7.	Существует ли тёмная материя?	52
6.8.	Каковы кривизна и глобальная структура вселенной?	53
7.	От СТО и ОТО к локальной и глобальной теориям относительности	53
7.1.	ЛТО - это локальная форма СТО и поэтому она универсальна.	54
7.2.	ГТО как физическая часть ОТО на гиперповерхностях одновременности.	55
7.3.	Следствия ЛТО и ГТО для квантовой и гравитационной физики.	57
8.	Контуры и перспективы теоретической физики 21-века	58
8.1.	Контуры теоретической физики 21-века	58
8.2.	Научные перспективы новой физики.	61
8.3.	Социальные аспекты новой физики.	62
	Заключение	64
	Литература	65

Введение

Основания теоретической физики 20-века образуют общая теория относительности, квантовая механика и квантовая теория поля вместе с их приложениями к физике частиц и конденсированных состояний, к астрофизике и космологии. Они объяснили известные основные факты, предсказали много новых явлений и хорошо подтверждены. Тем не менее в их основаниях и важных применениях оставался нерешённым целый ряд фундаментальных проблем. Более того, оставались также неясности и неоднозначности в определениях их основных понятий и физических принципов. Все это означало, что построение этих физических теорий не было завершено и, таким образом, помимо частных проблем, у них была ещё и общая проблема — их незавершённость.

В перечнях нерешённых проблем физики, приводимых в литературе, лишь часть связана с принципами физики или их важными следствиями и поэтому только эта часть имеет отношение к основаниям базовых теорий. Эти перечни обычно не объективны ещё из-за того, что некоторые из нерешённых проблем были отнесены к «решённым» лишь из-за сложившегося консенсуса о «правильности» одной из неподтверждённых гипотез. Ясно, что решение даже части этих фундаментальных проблем повлияет на физическую картину мира и откроет новые перспективы для решения остальных проблем.

В 2006-2020 гг. автором были предложены разные версии решений для основной части этих проблем и более-менее окончательные решения были описаны в предыдущем обзоре [48]. Данный обзор является его переработанной и дополненной версией с учётом нескольких новых проблем, решения которых были предложены автором в 2021-2022 гг. [45-47]. В отличие от иных попыток, исходивших из гипотез без опытной основы, излагаемые новые решения основаны на физических принципах, следующих из опытных фактов. Такой путь к решению проблем физики наиболее надёжен, а к его результатам можно доверять полностью, конечно, учитывая возможность технических ошибок, которые далее будут исправлены. Он обычно и продуктивен, так как объясняет ранее непонятные явления и снимает противоречия, а также предсказывает новые явления, которые в дальнейшем обычно подтверждаются на эксперименте.

Проблемы «технического» характера, возникшие из-за неадекватного применения принципов основных теорий или отклонения от них, были решены последовательным следованием этим принципам с исправлением прежних искажений и ошибок. Этим завершается формирование тех частей и соответствующих применений базовых теорий, развитие которых задержалось из-за таких незаконных отклонений. Решения же, связанные с введением новых или изменением известных принципов, приводят к более радикальным следствиям. Но и в этом случае выводы делаются исходя из известных опытных фактов. В физике, как естественной науке, изменения парадигмы из-за новых принципов и уточнения прежних, открывают новые перспективы и новый этап развития.

В первой и последней частях обзора обсуждаются причины почти полувекового кризиса в физике и пути его преодоления. Как было показано в [48], главной причиной кризиса оказался отход от методологии и этики естественных наук, а новая физика 21-века возникает в результате возврата к ним. Отдельные научные проблемы и их решения рассмотрены в шести частях (Части 2-7). Результаты всех частей взаимно согласуются, но каждая из них самостоятельна и её можно читать независимо от других, начав с тех, которые более интересны для читателя. В Части 8 рассмотрены контуры и перспективы теоретической физики 21-века, которые следуют из предложенных решений.

Более детальное и систематическое изложение новых трактовок будут даны в книгах [50-54]. Ответы на часто задаваемые вопросы будут опубликованы отдельно.

Список сокращений: СТО - специальная теория относительности ОТО - общая теория относительности, КТП - квантовая теория поля, ШФ - Штюкельберга-Фейнмана, СМ - Стандартная Модель, ДКМ - диффузионная квантовая механика, КЗВ - космология с замедляющимся временем, СО - система отсчёта, ЛСО - локальная СО, ГСО - глобальная СО, ЛТО - локальная теория относительности, ГТО - глобальная теория относительности.

1. О кризисе в основаниях физики 20-века и путях к физике 21-века

В 20-веке, после открытия нейтронных звёзд в конце 60-х, а затем завершения создания СМ физики частиц в середине 70-х, фундаментальная теоретическая физика впала в глубокий кризис вплоть до начала 21-века. Все предсказания, которые были подтверждены экспериментально в этот период, были сделаны до 1975 года в рамках ОТО, КМ, КТП и СМ. Однако оставался нерешённым ряд фундаментальных проблем для явлений, не только выходящих за их пределы, но и в самих этих теориях. Теоретические модели, созданные для решения этих проблем, не подтвердились, более того, создали больше проблем, чем решили [31].

В обзоре [48] были рассмотрены научные, методологические и социальные причины этого кризиса в фундаментальной физике и предложены пути его преодоления. Этот анализ приводится ниже с некоторыми дополнениями. Проблемы методологии физики будут рассмотрены более детально в книге [54].

1. *Кризис в основаниях физики 20-века и его основные причины.*
2. *В чём состояли отклонения от методологии и этики естественных наук?*
3. *Путь к новой физике в возврате к методологии и этике естественных наук.*
4. *Исключение нефизических упрощений и обобщений в базовых теориях.*
5. *Исключение случаев двоемыслия в квантовой теории.*
6. *Исключение случаев двоемыслия в гравитационной физике.*

1.1. Кризис в основаниях физики 20-века и его причины.

Фундаментальные проблемы теоретической физики 20-века выражали не только противоречия действующей парадигмы с рядом известных фактов, но и её внутренние противоречия. В то же время, причинами кризиса считались лишь недостаток опытных фактов для выбора одной из лидирующих гипотез и трудности при их проверке [31,36]. Однако, ниже будет показано обратное, что это не объясняет такой долгий кризис, так как опытных фактов было достаточно для нормального развития теории.

Этот кризис также не был вызван с отсутствием достаточных ресурсов у научного сообщества. Ведь в последние полвека фундаментальная физика имела больше ресурсов, людских и прочих, и наиболее благоприятные для развития внешние условия, чем за всю её историю до этого. Поэтому всё произошло как раз наоборот и самый долгий кризис в истории физики произошёл именно тогда, когда были беспрецедентные возможности для бурного развития.

Поэтому возникает вопрос: как такой кризис мог произойти в фундаментальной физике в отсутствие внутренних и внешних *объективных* причин? Естественно, только по *субъективным* причинам, кризисным процессам внутри самого научного сообщества.

Первой из таких причин кризиса был *отход от методологии естественных наук* при решении фундаментальных проблем физики и широкое продвижение ничем не подтверждённых элементов парадигмы вне-научными методами. Это привело, во-первых, к включению в парадигму в ряде случаев двух несовместимых объяснений физического явления как совместимых, и, во-вторых, к подмене анализа объективных фактов математическими гипотезами с нефизическими сущностями, противоречащими этим фактам. В результате научное сообщество разделилось на две непримиримые части – подавляющее большинство сторонников принятой парадигмы и небольшое число противников таких искажений научной методологии. При этом стала деградировать каждая из этих частей – большинство из-за достигнутой монополии на «истину» в нетрадиционном понимании, как результата консенсуса, а вторая – из-за маргинализации лишь вследствие верности традиционной научной методологии, где научная истина есть логическое следствие подтверждённых фактов и не зависит от числа и авторитета её сторонников. Всё это и стало катализатором системного кризиса.

Отход от методологии естественных наук, как первая из причин кризиса, привёл к двум следствиям, углубившим кризис, и чисто научный кризис превратился в кризис всего научного сообщества. Этими следствиями были систематические *искажения научной этики и научной политики*. Отход от традиционной научной методологии привёл к возражениям и альтернативам. Сплочение же большинства вокруг стандартной парадигмы с лидирующими гипотезами, возникшее именно вследствие обилия людских ресурсов сообщества, в отсутствие логически обоснованных ответов оппонентам привело к действию демократических механизмов принятия решений не только по социальным аспектам сообщества, но и по научным аспектам. Организованному большинству свойственно игнорирование критики со стороны меньшинства, какой бы обоснованной она ни была. Эта слабая сторона демократии привела к постепенному вытеснению сторонников разумных альтернатив из научной литературы и лидирующих групп, а часто и из научного сообщества.

Искажением научной этики и научной политики стало также навязывание научному сообществу, системе образования и широкой публике сомнительных доктрин методами широкомасштабной пропаганды. В результате, как научное сообщество, так и организация науки в целом встали на путь консервации стандартной парадигмы и лидирующих, но сомнительных направлений поиска, что привело к застою вместо развития. Не углубляясь в частные проблемы научного сообщества следует отметить, что общество, поддерживающее фундаментальную науку как важного условия развития и одного из базовых ценностей цивилизации, оказалось не готовым к этому и не имело механизмов содействия выходу научного сообщества из такого системного кризиса.

Этот кризис в истории физики уникален и тем, что если до этого такие периоды времени давали подтверждённые решения многих фундаментальных проблем, то после такого путча в методологии и организации науки фундаментальная физика оказалась практически бесплодной и зашла в тупик. Беспрецедентно большие ресурсы общества, включая людские, как оказалось, были направлены на иллюзорные цели, далёкие от реальности, на «борьбу с ветряными мельницами», что естественно для математики, но противопоказано естественной науке.

1.2. В чём состояли отклонения от методологии и этики естественных наук?

Отклонения от методологии естественных наук, как невольные и временные, были допущены уже в базовых теориях, в квантовой механике, КТП и ОТО, а в период кризиса они, вместо ликвидации, были доведены до абсурда. Эти отклонения состояли, во-первых, в примирении с противоречиями, практикуя *двоемыслие*, вместо их реального разрешения. Во-вторых, *раздувая нефизические части* базовых теорий, описывались иллюзорные миры, вместо того, чтобы ограничиться физическими частями этих теорий и описывать реальность.

А. Двоемыслие.

В ряде случаев два противоположных объяснения одного и того же физического явления принимались как одинаково допустимые. Способность людей придерживаться одновременно двух противоположных убеждений известно в психологии как феномен *двоемыслия*, ведущее *когнитивному диссонансу*. При двоемыслии в физике явление в одном случае объясняется желанной нереальной причиной, игнорируя реальную причину, а затем, когда надо объяснять и через реальную причину, игнорируется нереальная причина. В итоге создаётся ложное убеждение, что нереальная и реальная причины одинаково приемлемы и одинаково игнорируемы.

Двоемыслие характерно для сообществ, где устанавливается единомыслие не только в том, что истинно, но и в том, истинность чего не доказано, но был достигнут консенсус о его истинности в доминирующей части сообщества. В научном сообществе,

где доминируют сторонники двоемыслия, вместо устранения противоречий с помощью научной методологии, требуется примирение с ними, а единомыслие и единодушие в этом вопросе становятся условиями принадлежности к ведущей части сообщества или научному сообществу вообще.

В разделах 1.5-1.6 приведены примеры двоемыслия в квантовой и гравитационной физике. В квантовой физике это, например, корпускулярно-волновой дуализм, парадокс Мюнхаузена, нулевые флуктуации вакуума и трактовки состояний отрицательной энергии. Примеры в гравитационной физике это трактовки гравитационного замедления времени, гравитационного и космологического красных смещений, гравитационного коллапса, а также Доплер-эффекта и аберрации в космологии. Во всех таких случаях, как показано, возврат к естественно-научной методологии исключает двоемыслие.

В частности, корпускулярно-волновой дуализм состоит в том, что в повторных опытах, проводимых каждый раз с одним электроном, амплитуда вероятности в этом ансамбле электронов имеет волновые свойства, но приписывание волновых свойств *отдельному* электрону, практически точечной частице, было двоемыслием. Исходя из этого утверждалось, что отдельный электрон способен, как волна, *одновременно* пройти через две, три и сотни щелей на экране на его пути, (расщепляя на столько же кусочков свой заряд и спин!?), а затем на экране-детекторе *интерферировать с самим же собой*. Эти абсурдные утверждения были следствиями исходных гипотез, будто микрочастицы изолированы, но тем не менее могут флуктуировать, меняя свою энергию и импульс. Ниже будет показано, что когда проблема *источника* флуктуаций микрочастиц ставится и решается корректно, то далее уже не возникает таких абсурдных ситуаций.

Другой пример двоемыслия - это нулевые флуктуации вакуума квантовых полей. Известные эффекты, лэмбовский сдвиг и эффект Казимира, *полностью* объясняются электромагнитными полями реальных источников. Но, если кто-то *сумел бы выключить* (!) эти реальные источники и *предположил* бы существование нулевых флуктуаций вакуума электромагнитного поля, то эти два эффекта также полностью объяснялись бы. На этом основании в стандартной парадигме считалась «доказанной» реальность нулевых флуктуаций вакуума. При этом вопрос о том, как экспериментаторы смогут в реальном мире «выключить» или игнорировать реальные источники, не уточнялся, что характерно для двоемыслия.

Как будет показано в разделах 1.5-1.6 и в разделах по отдельным тематикам, эти и другие примеры двоемыслия основаны на отходе от естественно-научной методологии, тогда как возврат к ней и реальные решения проблем ведут к однозначным объяснениям.

Б. Погружение в нефизические части базовых теорий и в фиктивные миры

Базовые теории, с одной стороны, содержали физическую часть, на которой и были основаны все их успехи и авторитет, а с другой стороны, их исторически сложившиеся формулировки включали также и нефизическую часть, введенную основателями временно в надежде, что новые поколения смогут исключить её из теории.

Однако, вместо этого шага, требуемого естественно-научной методологией, последующие поколения исследователей стали делать обратное. Вместо ограничения исследований лишь физическими частями базовых теорий, они стали всесторонне развивать их нефизические части. Эти нефизические части считались узаконенными просто потому, что входили в исторически сложившиеся формулировки базовых теорий и игнорировалось то, что они, в отличие от физических частей, ничем не подтверждены.

Примером является упомянутая ранее ситуация в квантовой теории. При радиоактивном распаде предполагалось, что частица якобы выходит из потенциальной ямы без внешней помощи. Здесь выбор самой частицы как источника нужной ей энергии для такого выхода означает приписывание ей «мюнхаузенской» способности вытянуть себя из болота («парадокс Мюнхаузена» см. в разделе 1.3). В квантовой механике свободные частицы считались изолированными, как и в классической механике, но с «квантовыми» свойствами, т.е. способными случайно менять свою энергию и импульс.

Но такое поведение нарушало один из основных законов физики для изолированного объекта – сохранение его энергии и импульса в однородном пространстве-времени.

Ещё более странным и недопустимым с точки зрения естественно-научной методологии было игнорирование в стандартной формулировке КТП эффектов гравитации в петлевых диаграммах, где физическая энергия квантов в промежуточных состояниях может иметь очень большие, формально бесконечные значения. Исходя из этого упрощения, неприменимого около планковских энергий, далее делался вывод, что вклады таких диаграмм в характеристики частиц (массы, заряды, вероятности процессов) «бесконечны». Для устранения этих фиктивных «бесконечностей» затем развивались масштабные программы исследований на протяжении многих десятилетий.

И, наконец, формализм ОТО допускал введение произвольных систем отсчёта, хотя, согласно принципу эквивалентности, локально были допустимы только связанные локально-лоренцевыми преобразованиями, а все остальные были нефизическими. В ОТО также допускалась космологическая константа любого знака. На формальной «допустимости» в ОТО нефизических систем отсчёта основаны гипотезы о чёрных дырах и неустранимых «бесконечностях» в квантовой гравитации. А формальная допустимость в ОТО антигравитации с не меняющейся в ходе расширения пространства плотностью энергии лежит в основе действующей СМ в космологии.

Наиболее драматическим стал отход от естественно-научной методологии в теории коллапса звёзд. Эта теория достигла своей высшей точки в статье Оппенгеймера-Снайдера 1939 г. [23], где был найден набор одновременно происходящих событий вдоль мировых линий частиц внутри однородной пылевой звезды. Это было физическим решением задачи коллапса с корректным учётом начальных и граничных условий, и согласно этому решению звезда при коллапсе быстро застывает на гиперповерхностях одновременности. Однако, научное сообщество не поняло решение Оппенгеймера-Снайдера и пошло по ложному пути его игнорирования. Это делалось путём его подмены локальным решением Фридмана, совпадающим с ньютоновским (выдавая решение Фридмана за «решение Оппенгеймера-Снайдера»). Результатом стал сценарий коллапса ньютоновский теории с образованием «чёрных дыр». Уход поверхности звезды под гравитационный радиус, который *декларируется* этим сценарием, в ОТО не может произойти за конечное время внешнего мира и поэтому является нефизическим «событием». Истинное же решение Оппенгеймера-Снайдера, описывающее физические события при коллапсе, было восстановлено в правах в теории фрозаров (см. Часть 4).

В связи с этим следует напомнить, что методология математической физики, приоритет которой и был одним из главных причин кризиса, принципиально отличается от методологии теоретической физики. В теоретической физике некая модель истинна только если описывает реальность и это подтвердил эксперимент. В математической физике же изучение моделей фиктивных миров, более интересных и разнообразных, чем реальный мир, является нормальной научной деятельностью, а понятие истины сужено до уровня внутренней непротиворечивости математической модели. Обилие и красота этих нереальных миров часто заманивает и физиков, тогда как миссия последних – изучение единственной реальности, притом такой, какая она есть. Многие основатели физики попадали в эту ловушку математического могущества и красоты, но прежде это не вело к такому долговому доминированию в действующей парадигме фундаментальной физики фиктивных миров математической физики.

В период кризиса указанные отклонения от естественно-научной методологии уже воспринимались как норма и были окончательно узаконены также и для новых гипотез. Более того, последние целенаправленно усиливали и всесторонне развивали именно эти отклонения. При этом снятие физических ограничений в конструировании фиктивных миров, более интересных, чем реальность, стало сильнейшим допингом и научное сообщество надолго погрузилось в эти чудесные миры, почти позабыв реальную физику.

Итак, примирение с двоемыслием и узаконивание нефизических частей базовых теорий физики прикрываясь их проверенными на опыте физическими частями, а также

безоглядная математизация теоретической физики вели к отходу от естественно-научной методологии, а дальнейшие шаги на этом сомнительном, а часто просто ложном пути были обречены на неудачу изначально. В результате не была решена практически ни одна из фундаментальных проблем теоретической физики, даже те из них, для решения которых уже были все условия. Возврат же к естественно-научной методологии, как будет показано далее, позволяет найти разумные решения для большинства из этих проблем без новых гипотез и открывает пути к новой физике.

1.3. Возврат к методологии и этике естественных наук как путь к новой физике.

В основе методологии физики как естественной науки лежит накопление и анализ опытных фактов и объяснение их путём выдвижения гипотез и построения в итоге теории как той из гипотез, предсказания которой подтвердили факты. Фундаментальная физическая теория исходит из физических принципов, основанных на опыте и позволяет *описывать* и *объяснять* все остальные факты в области своей применимости.

Гипотеза вначале содержит по крайней мере одно исходное предположение, или математическую аксиому, прямо не следующую из опыта. Если одна из таких гипотез описывает большинство фактов или даже все известные, то она становится кандидатом на рабочую (феноменологическую) теорию. Если предсказания гипотезы подтвердились, т.е. она позволила открыть новые факты, то она становится *подтверждённой* рабочей (феноменологической) теорией.

Феноменологическая теория становится физической теорией только тогда, когда её исходные положения будут прямо или косвенно подтверждены на опыте, или будут следовать из других физических принципов. Пока этого нет, феноменологическая теория остаётся лишь математической моделью, которая описывает, но *не объясняет* явления.

Примерами феноменологических теорий являются ньютоновская гравитация и квантовая механика, а физическими теориями, объясняющими их – ОТО и ДКМ.

1.4. Исключение нефизических упрощений и обобщений в базовых теориях.

Гипотетические постулаты новой феноменологической теории и их основные применения часто формулируются по прямой аналогии с прежней устаревшей теорией, предполагая справедливыми те же *упрощения* и *идеализации*. Такая экстраполяция иногда подтверждается, а иногда нет. Если нет, то надо уточнить постулаты теории и их применения с учётом новых обстоятельств.

Иногда постулаты феноменологической теории формулируются более общими, чем нужно для соответствия с реальностью. Такая теория имеет тогда *нефизическую* часть, и подтверждение её физической части не касается её нефизической части. Поэтому надо отделить эти две части и исключить из теории её нефизическую часть.

По историческим причинам при формулировке постулатов базовых теорий физики и в их основных применениях имели место оба указанных случая, как необоснованные упрощения, так и излишние обобщения и требовались уточнения, чтобы они стали адекватными ситуации. Поэтому нужна проверка адекватности прежних упрощений и обобщений к новым реалиям, а также уточнение пределов их применимости. Только после этого феноменологическая теория приблизится к стадии полноценной физической теории, описывающей только реальный мир. Далее рассмотрим основные из таких уточнений и изменений в базовых теориях физики.

Квантовая механика была создана в виде некоего формализма, исходящего из чисто математических аксиом, и поэтому до сих пор оставалась феноменологической теорией. Формулировка физических принципов, следующих из опыта, и вывод из них формализма квантовой механики, превратили бы эту феноменологическую теорию в полноценную физическую теорию. Эта теория, в частности, не должна содержать

указанной выше нефизической гипотезы о том, что энергия и импульс *изолированной* частицы могут флуктуировать. Желание сохранить пустой окружающий фон не могло быть оправданием для отказа от такого базового закона физики как сохранение энергии и импульса изолированного объекта. Поэтому был прав Эйнштейн, который формулировал это образно как «Бог не играет в кости» и утверждал, что квантовая механика не полна и её следует дополнить ещё чем-то. В ДКМ (см. Часть 2) парадокса Мюнхаузена нет, так как частицы классические, а источником их флуктуаций является воздействие фонового скалярного поля, того дополнения, которого и требовалось квантовой механике. Это скалярное поле уже было открыто в физике частиц как особое поле, придающее массы частицам, и ДКМ лишь учитывает факт наличия флуктуаций этого поля, проявляющегося во всех квантовых явлениях. При флуктуациях рост энергии частицы происходит за счёт понижения энергии фонового скалярного поля на такую же величину из-за сохранения полной энергии в системе «частица + скалярное поле».

В КТП также вводился ряд искусственных процедур при квантовании полей и при учёте или игнорировании известных явлений и фактов. Это, в частности, прямая аналогия с нерелятивистским гармоническим осциллятором, а также игнорирование гравитации на малых расстояниях. Более точная формулировка исходных физических принципов КТП, как будет показано ниже, позволила избавиться от указанных процедур и упрощений, а также от их абсурдных последствий в виде бесконечностей.

ОТО основанная на математическом принципе общей ковариантности, также оставалась феноменологической теорией, так как этот принцип, будучи слишком широким, не был адекватен свойствам физических координат. Но если формализм ОТО ограничить локальной лоренцевой инвариантностью, требуемой принципом эквивалентности, а системы отсчёта строить из стандартных масштабов и стандартных часов с их синхронизацией (когда это возможно), то ОТО становится полноценной физической теорией, которая исходит из физических принципов и оперирует физическими координатами.

В естественно-научной методологии, если у явления возможны две причины, влияющие одновременно, то следствия их влияния также следует учесть одновременно. Если же явление полностью объясняется одной бесспорно реальной причиной, то вторая гипотетическая причина должна считаться отсутствующей и отвергаться.

Если всё это будет сделано согласно естественно-научной методологии, т.е. путём поиска физических принципов и следования им, не допуская противоречий, то та новая физика 21-века, которая возникнет, будет не только описывать явления и структуры физики, но и объяснять их, а также открывать новые перспективы. В статье приводятся наиболее вероятные на взгляд автора решения ряда фундаментальных проблем физики, которые были найдены именно вследствие следования такой методологии.

Ниже приведены примеры двоемыслия в квантовой и гравитационной физике, а также показано, как они исключаются при возврате к методологии естественных наук.

1.5. Исключение случаев двоемыслия в квантовой теории.

1. *Корпускулярно-волновой дуализм.* Наличие у ансамбля частиц волновых свойств лежит в основе квантовой механики. Однако, приписывание волновых свойств *каждой из частиц* этого ансамбля, общепринятое как стандартная интерпретация, является примером двоемыслия. Утверждения, что в опыте с двумя щелями электрон, практически точечная частица с сохраняющимися зарядом и спином, якобы одновременно проходит через обе щели и затем интерферирует сам с собой, являются абсурдными. Невозможность объяснить волновые свойства ансамбля частиц появилась из-за экстраполяции на микрочастицы понятия изолированной частицы классической механики. В Части 2 показано, что микрочастицы нельзя считать изолированными, так как они флуктуируют и должны иметь внешний источник флуктуаций. Но если есть такой источник, флуктуирующее фоновое

скалярное поле, как это принято в ДКМ, то микрочастицы могут оставаться классическими и их ансамбль совершает консервативную диффузию в этом поле. В опыте с щелями каждый электрон проходит только через одну из щелей, но фоновое скалярное поле и распределение вероятностей в нём, заданные глобально, реагируют на состояние также и второй щели. Поэтому при многих повторениях, т.е. в ансамбле опытов, консервативность диффузии, как это следует из ДКМ, ведёт к волновым свойствам для амплитуд вероятностей.

2. *Парадокс Мюнхаузена.* В пустом евклидовом пространстве энергия и импульс изолированного объекта сохраняются и на этом основана вся классическая физика. В квантовой механике пространство такое же, но микрообъектам приписываются «квантовые» свойства, т.е. способность самопроизвольно флуктуировать, меняя свою энергию и импульс. Это означает, что в однородном и изотропном пространстве «квантовой» частице приписываются свойства, которые запрещены в таком пространстве и в этом состоит двоемыслие. Эйнштейн протестовал против этого, рассматривая это как признак неполноты квантовой механики. При флуктуации с достаточно большой энергией, «квантовая» частица имеет конечную вероятность покинуть потенциальную яму, преодолев барьер конечной высоты и ширины. Парадокс в том, что такие процессы реально наблюдаются, хотя в квантовой механике у частицы нет внешнего источника для требующейся энергии. Соотношение неопределённостей это не объясняет, а лишь описывает, так как само оно есть следствие флуктуаций. Ситуация такая же, как в известном мифе Мюнхаузена, который однажды вытащил себя из болота на берег вместе с конём, сильно дёрнув себя за волосы. Выбор вышедшей из потенциальной ямы частицы как источник нужной ей энергии есть не факт, а такой же миф о чудесной (мюнхаузенской) способности. В ДКМ же частицы остаются классическими, но взаимодействуют с флуктуирующим фоновым скалярным полем и здесь парадокса Мюнхаузена нет. Когда при флуктуации этого поля энергия частицы возрастёт, энергия фонового поля в этом месте понижается на такую же величину, что и обеспечивает сохранение полной энергии системы «частица + фоновое поле».
3. *Нулевые флуктуации вакуума.* Ряд известных эффектов физики частиц (эффект Казимира, лэмбовский сдвиг и др.) могут быть полностью объяснены нулевыми флуктуациями вакуума электромагнитного поля при *предположении*, что другие источники не дают вклада в эти эффекты. На этом основании был создан миф о том, что эти эксперименты подтвердили существование нулевых флуктуаций и нулевой энергии вакуума, и эта трактовка получила широкое распространение. Но эти же эксперименты *полностью* объясняются полями реальных источников (атомов кристалла, петлевыми поправками) без нулевых флуктуаций вакуума. Допускать сосуществование двух, исключаящих друг друга, объяснений одних и тех же экспериментов является двоемыслием. В Части 3 показывается, что в КТП нулевых флуктуаций нет и верным является только второе объяснение. Первое же «объяснение» на базе нулевых флуктуаций стало возможно лишь потому, что вклад реальных источников был незаконно «выключен», в чём и состоял отход от естественно-научной методологии. Если всё же настаивать на вкладе нулевых флуктуаций, то два вида вкладов должны были быть учтены вместе и тогда предсказываемые величины эффектов были бы вдвое больше наблюдаемых.
4. *Состояния положительной и отрицательной энергии.* Релятивистская квантовая теория в ковариантной форме содержит состояния с отрицательной энергией, которые должны быть учтены. В трактовке Штюкельберга-Фейнмана (ШФ) они идут только назад во времени и описывают античастицы положительной энергии, идущие только вперёд во времени. Эта трактовка, в виде кроссинг-симметрии, лежит в основе физики частиц. Но, раньше в КТП отрицательные энергии вели к

отрицательным вероятностям и поэтому в стандартной КТП постулировалось наличие частиц и античастиц только положительной энергии. Но в ковариантной диаграммной технике, на которой основана КТП, энергии частиц формально могут быть и отрицательными. В КТП поэтому имело место двоемыслие в этом вопросе: вначале постулировалось, что вакуум есть состояние наинизшей энергии и этим исключались состояния отрицательной энергии, а затем использовался формализм с такими состояниями, игнорируя отрицательные вероятности для них. В статьях [40] была дана последовательная формулировка трактовки ШФ, и предложен новый метод квантования состояний обоих знаков энергии, где вероятности для состояний отрицательной энергии положительны. В результате трактовка ШФ стала применимой также и в КТП, а прежнее двоемыслие было исключено.

5. *Микропричинность.* До сих пор считалось, что в КТП сохраняют силу условия микропричинности классической теории релятивистских полей и измерение поля в одной пространственно-временной точке (событии) не влияет на измерение в другой точке, если эти точки нельзя связать световым сигналом. Это выражалось в требовании, чтобы два оператора полей из этих точек (анти)коммутировали. В то же время, причинный пропагатор для квантов поля не исчезал за световым конусом и поэтому в КТП сверхсветовые перемещения квантов эффективно имели место, хотя и в масштабах их комптоновской длины. Если пропагатор допускает сверхсветовые сигналы (пусть и в мягкой форме, т.е. в малой окрестности), то классическая причинность, основанная на полном отсутствии таких сигналов, более недействительна и измерение в одной точке может влиять на измерение в другой точке даже вне светового конуса через виртуальные кванты, переносимые причинным пропагатором. В вопросе о строгой или мягкой микропричинности в КТП поэтому имело место двоемыслие. В Части 3 показано, что при квантовании полей в трактовке ШФ операторы полей, разделённые сверхсветовым интервалом, не коммутируют и ведут себя аналогично причинным пропагаторам. Это ведёт к мягкой форме микропричинности в КТП, устраняя двоемыслие в этом вопросе.

1.6. Исключение случаев двоемыслия в гравитационной физике.

1. *Гравитационное красное смещение.* Фотоны, испущенные около массивного тела, будут с красным смещением при регистрации более удалённым наблюдателем. В ньютоновской теории это объяснялось потерей энергии из-за работы против силы тяготения, т.е. фотоны излучались с той же частотой, что и вдали, но краснели в пути из-за уменьшения их первоначальной энергии. В ОТО же это объясняется противоположным образом – частота фотона в терминах времени удалённого наблюдателя была с красным смещением уже при излучении, так как там локальное собственное время идёт медленнее, а в пути эта частота и энергия фотона не меняются. Эти два объяснения, ньютоновская и эйнштейновская, взаимно исключают друг друга, но в первом порядке дают одну и ту же формулу для красного смещения, которая только и проверена на экспериментах. Поэтому они излагались так, как будто эквивалентны, в чём и состоял первый случай двоемыслия в трактовке красного смещения. Далее, измерение на экспериментах этого эффекта считалось подтверждением именно ОТО, а сам эффект долго преподносился как один из трёх «классических» эффектов ОТО. В этом состоял второй случай двоемыслия в трактовке красного смещения. Позже это второе двоемыслие, приписывание эффекта красного смещения только ОТО, было устранено. То, что гравитационное красное смещение есть следствие замедления темпа собственного времени при сильной гравитации и поэтому ньютоновская трактовка ошибочна, было доказано на экспериментально наблюдая большие интервалы двух часов при сильной и слабой гравитации. Но, тем не менее, первое двоемыслие об эквивалентности двух трактовок часто встречается в литературе.

2. *Гравитационное замедление времени.* В плоском пространстве-времени есть два вида релятивистского замедления собственных времён – между инерциальными СО, которое *относительно*, и в неинерциальной СО, которое *абсолютно*. Вторым случаем хорошо известен из парадокса часов (или близнецов). В соответствии с принципом эквивалентности замедление времени в гравитационном поле такое же, как и неинерциальное замедление, т.е. тоже *абсолютное*. Для удалённого наблюдателя процессы вблизи массивного тела идут медленнее, чем у него. Для наблюдателя же вблизи тела процессы вдали идут быстрее, чем у него. Тем самым оба наблюдателя говорят одно и то же, лишь используя свою единицу времени как эталон. В стандартной парадигме, с одной стороны, признаётся свойство абсолютности гравитационного замедления (красное или фиолетовое смещение при подъёме или падении фотонов), но с другой стороны, в ряде применений оно незаконно подменяется на свойство относительности инерциального замедления, делая затем выводы исходя из этой «относительности времени». Трактовка гравитационного замедления абсолютным в одном случае и относительным в другом случае является двоемыслием. В Частях 4-5 показывается, что гравитационное замедление времени, как и замедление времени в парадоксе часов, необратимо и абсолютно и этот факт устраняет двоемыслие в его трактовке.
3. *Гравитационный коллапс.* В результате указанной выше подмены абсолютного гравитационного замедления времени на относительное замедление, присущее только инерциальным СО, возникло «стандартное» описание коллапса звёзд с образованием чёрной дыры. При этом утверждалось, что, с одной стороны, для удалённого наблюдателя коллапсирующая звезда превращается в застывшую звезду с поверхностью, которая *никогда не пересекает* гравитационный радиус, а с другой стороны, для наблюдателя на звезде эта же поверхность якобы *легко и быстро пересекает* этот радиус. Это двоемыслие в судьбе звезды является следствием предыдущего двоемыслия в трактовке замедления времени. В действительности же оба описания дают одну и ту же картины при учёте абсолютности замедлений собственных времён по отношению к мировому времени удалённого наблюдателя. Коллапс ведёт к абсолютному замедлению и быстрому застыванию поверхности и внутренних слоёв в терминах мирового времени с образованием *фрозара* (frozen star, застывшая звезда), структура которого застыла из-за своей сильной гравитации. Это ясно из графиков мировых линий частиц в слоях в решении Оппенгеймер-Снайдера уравнений Эйнштейна.
4. *Влияние на гравитационное поле заряда и вращения источника.* Гравитационное поле в ОТО определяется полной энергией вещества и полей материи внутри сферы, на которой определяется метрика. Поэтому, если источник вращается, то в полную энергию даёт вклад энергия вращения, а если источник заряжен, то даёт вклад энергия его электрического поля внутри этой сферы и обе эти энергии усиливают гравитационное поле источника. Это означает, что в ОТО рост заряда и углового момента, увеличивая полную энергию источника, должен *усиливать* гравитацию и её эффекты, в частности, *увеличивать* радиусы орбит фотонов и массивных частиц, а также радиус тени коллапсара. Однако, исходя из метрик Рейснера-Нордстрёма для заряженного, Керра для вращающегося источника и Керра-Ньюмана в общем случае предсказывалось обратное поведение. А именно, рост заряда и углового момента якобы *ослабляет* гравитацию и все её эффекты, в частности, *уменьшает* радиусы орбит фотонов и массивных частиц, уменьшает площадь тени коллапсара. Эти результаты, абсурдные в рамках ОТО, считались совместимыми с ней, что и было двоемыслием. Корректное решение этого парадокса было дано в статьях автора 2022 г. [47] и двоемыслие было устранено. Оказалось, что эти метрики включали полную массу источника на бесконечности, зависящую от заряда и/или параметра вращения и поэтому считать зависимый

параметр константой при изменении других параметров было ошибкой. Хотя в случае заряда эта ошибка и путь её устранения были найдены в 1960 г., этот факт игнорировался более 60 лет, что подтверждает факт двоемыслия. Полное решение в [47] состояло в нахождении *метрик с независимыми параметрами*, где вместо полной массы входит масса нейтрального невращающегося вещества, и рост заряда и/или углового момента, увеличивая полную энергию, усиливает гравитацию и её эффекты вокруг источника него в полном согласии с ОТО.

5. *Космологическое красное смещение.* Из двух механизмов такого смещения, доплер-эффект и растяжения длин волн в ходе расширения, каждый из них почти полностью объясняет наблюдаемые красные смещения. Поэтому, при учёте их обоих предсказания вдвое превысили бы наблюдаемые значения. По этой причине одни авторы трактовали наблюдения только через доплер-эффект, игнорируя растяжение, а другие учитывали только растяжение, игнорируя доплер-эффект. В любом случае, при рассмотрении одного механизма полностью игнорировался другой механизм и со временем эти объяснения стали использоваться совместно, особенно для близких объектов, что и было двоемыслием. В действительности, как было показано автором [45], эти два механизма *независимы* и вклад в наблюдаемое красное смещение дают оба (парадокс двойного красного смещения, см. Часть 6). Было показано, что доплер-эффект смещает частоты *вначале*, при испускании фотонов и только затем происходит растяжение *вдоль всего пути* фотонов к наблюдателю. Неизбежное удвоение предсказываемого смещения по сравнению с наблюдаемым не имеет к этому факту никакого отношения. Поэтому возникающая проблема двойного красного смещения должна решаться не игнорированием одного из двух реальных и независимых физических явлений, а поиском третьего явления, компенсирующего одно из этих красных смещений. В Части 6 будет показано, что при испускании фотонов в более ранние эпохи их частоты не обязаны быть такими же как у нас здесь сейчас. Поэтому автором была предложена *космология с замедляющимся временем*, следующая из ДКМ, где фотоны испускаются с фиолетовым смещением, которое и компенсирует далее красное смещение от растяжения и в итоге остаётся лишь эффект Доплера.
6. *Аберрация в космологии.* Аберрация - это изменение направления на источник света и его видимой светимости из-за относительной скорости. В релятивистской кинематике наличие эффекта Доплера ведёт также и к аберрации светового потока, ослабляющего этот поток. Но в моделях релятивистской космологии аберрация не принималась во внимание, иногда даже если смещение трактовалось как эффект Доплера, так как это нарушило бы согласие теории с наблюдениями. В этом и состояло двоемыслие. Аберрация ведёт к тому, что удаляющиеся источники будут казаться более тусклыми, чем покоившиеся на том же расстоянии. Игнорирование же аберрации приводило к завышению расстояний до источников, либо к недооценке их абсолютных светимостей. Объяснить потускнение затем приходилось разными гипотезами, в частности об ускоренном расширении, для обоснования которой затем вводилась гипотеза тёмной энергии.
7. *Знак и величина гравитационного смещения частот в космологии.* В расчёте гравитационного смещения частот фотонов в космологии были два метода, которые давали смещение противоположного знака. В первом методе (Бонди, 1947) фотон считался покидающим шар с центром у его источника и поэтому к наблюдателю на периферии этого шара поступал с гравитационным *красным* смещением. Во втором методе (Зельдович и Новиков, 1975) фотон от источника на периферии шара с центром у наблюдателя считался падающим к центру этого шара и поэтому поступал с гравитационным *фиолетовым* смещением. При этом в обоих этих методах замена местами наблюдателя и источника меняет знак

смещения на обратную, что противоречит космологическому принципу. Двоемыслие в этом эффекте состояло в том, что почти полвека противоречие между этими двумя методами игнорировалось, а иногда, описывая эффект по второму методу, где смещение фиолетовое, ссылались на статью по первому методу, где оно красное. Корректное решение этой проблемы с помощью третьего метода, исключающего двоемыслие, было дано автором в 2021 г. [46]. Было показано, что на частоту фотонов влияет лишь вещество шара *между* источником и наблюдателем, с центром посередине между ними. Поскольку обе они находятся на периферии этого шара, то в статическом мире гравитационного смещения не было бы. Но в расширяющемся мире этот шар тоже расширяется и поэтому при обмене фотонами между источником и наблюдателем у них будет гравитационное красное смещение при поступлении из-за разности гравитационных потенциалов шара в точках их испускания и приёма. Смещение красное как для фотонов от источника к наблюдателю, так и для фотонов от наблюдателя к источнику, в полном согласии с космологическим принципом.

2. Фундаментальные проблемы квантовой механики и их решения

Квантовая механика всегда воспринималась лишь как очень успешная и надёжно работающая математическая модель. Незавершённость её формирования как физической теории выражалась в том, что так и не были найдены физические принципы, лежащие в её основе и следующие из опытных фактов, а также не было ясности в её физической интерпретации. Основные проблемы квантовой механики выражались, в частности, в отсутствии последовательных ответов на следующие вопросы:

1. *Каковы физические принципы квантовой механики и почему они необходимы?*
2. *В чём источник квантовых флуктуаций и как решить парадокс Мюнхаузена?*
3. *Почему в квантовой теории складываются амплитуды вероятностей?*
4. *Есть ли скрытые параметры и в чём причина нелокальности?*
5. *В чём физический смысл соотношений неопределённостей и квантового потенциала?*

Решение проблемы физических принципов, выраженной в первом вопросе, относится к радикальным изменениям, так как формулируются новые базовые принципы. Предложенное решение будет реалистичным, если будет исходить из экспериментальных фактов. Дальнейшие выводы же из этих физических принципов и их прямых следствий позволят решить или прояснить пути решения для других фундаментальных проблем, в частности, ответить на вопросы:

6. *В чём физический смысл скорости света и её постоянства?*
7. *В чём физический смысл энергии покоя частиц?*
8. *Как возникают квантовая статистика и неразличимость частиц?*

Всё это позволит также дать новые решения для ключевых проблем теории гравитации и космологии, которые приведены в Частях 5-6. Эти результаты содержатся в статьях [42-43] и в книге [50].

2.1. Каковы физические принципы квантовой механики и почему они необходимы?

Квантовая механика образует основания современной физики, но до сих пор не было ясности с её физической интерпретацией, а её формализм всё ещё основывался на математических аксиомах, а не на физических принципах, следующих из экспериментов. Поэтому замена математических аксиом физическими принципами прояснила бы

физическую интерпретацию квантовой механики и завершила бы её формирование как полноценной физической теории.

Первый шаг в этом направлении – это найти тот физический механизм, который приводит к её формализму. Для этого было предложено так много безуспешных гипотетических механизмов, что теперь любой новый встречают скептически. Так бывает, когда проблема либо неразрешима, либо элементы её решения уже были найдены, но в разных трактовках, из-за чего решение в целом так и не сформировалось. Первый случай недоказуем, тогда как второй вполне вероятен и заслуживает внимания и детального изучения. Именно это и было сделано в [42], где было показано, что некоторые из прежних механизмов взаимно дополняют друг друга и к ним был добавлен новый элемент, который их всех и объединил в искомый новый механизм.

Первые догадки о физическом механизме квантовой механики появились ещё в 1926 г. когда Маделунг записал уравнение Шрёдингера в гидродинамической форме [20]. В этой форме отличие от классической физики свелось к появлению в уравнении Гамильтона-Якоби квантового потенциала, порождаемого некой средой.

Идея о том, что квантовая механика есть теория движения классических частиц в некой среде подкреплялась тремя опытными фактами. Во-первых, все частицы, даже свободные, непрерывно флуктуируют, а во-вторых, волновые свойства в их ансамблях есть волны вероятности. В-третьих, локализованные состояния ансамбля свободных частиц со временем расплываются. Эти факты и вид волнового уравнения привели Эренфеста [3], Шрёдингера [29] и Фюрста [10] к аналогии с новым видом *диффузии*.

Эта специфическая диффузия должна была быть *без трения*, т.е. консервативной. По этой причине в стохастических трактовках [7,16] были сделаны попытки получить *консервативную диффузию* из двух семейств броуновских движений. Но позже было показано, что квантовая механика не сводится к таким простым марковским процессам [13]. Тем не менее эта попытка дала нечто более ценное – формализм консервативной диффузии, который оказался мало зависящим от частного механизма флуктуаций [14].

Кроме того, аналогия с диффузией в её интегральном представлении легла в основу физически наиболее наглядного из стандартных методов квантования – фейнмановских интегралов по путям [8]. Но фейнмановский интеграл есть комплексная версия винеровского интеграла, описывающего обычную, диссипативную диффузию. Поэтому естественно считать, что фейнмановский интеграл также описывает некий диффузионный процесс, а именно консервативную диффузию.

В статьях [42] были сформулированы физические принципы *диффузионной квантовой механики* (ДКМ) и было показано, что квантовая механика есть её частный случай. Геометрический постулат, лежащий в основе классической механики, что физическое пространство непрерывно, однородно и изотропно, остаётся в силе и в ДКМ. Принцип относительности также остаётся, будучи *первым физическим принципом* ДКМ.

Если поведение ансамбля квантовых частиц подобно специфической диффузии классических частиц, то необходимо выяснить, в чём состоит эта специфика и как можно описать этот тип диффузии. При обычной (диссипативной) диффузии частицы в среде, газе или жидкости, трение снижает начальную скорость дрейфа, и ансамбль становится покоящимся относительно среды, т.е. имеется выделенная система отсчёта система, где эта среда покоится. В отличие от диссипативной диффузии квантовые явления, согласно принципу относительности, происходят одинаково во всех инерциальных системах отсчёта. Поэтому при искомой диффузии скорость дрейфа в ансамбле свободных частиц должна быть постоянной, что означает отсутствия трения, консервативность диффузии.

В классической физике есть пример среды, флуктуации которой инвариантны и происходят одинаково во всех инерциальных системах отсчёта. Это – флуктуирующее классическое скалярное поле, где эволюция во времени локализованного ансамбля взаимодействующих с ним классических частиц происходит в форме консервативной диффузии. Поэтому движение ансамбля классических частиц в таком поле может рассматриваться как основа для диффузионной теории квантовых явлений.

Такое фоновое скалярное поле уже было открыто в физике частиц, как некое универсальное поле, вакуумный конденсат которого придаёт массы почти всем микрочастицам (кроме фотонов и глюонов). ДКМ лишь добавляет к свойствам этого скалярного поля постулат о его флуктуациях. Тем самым постулат квантования некой системы заменяется постулатом о флуктуациях классического скалярного поля, с которой эта система взаимодействует.

Итак, постулат о существовании флуктуирующего классического скалярного поля, с которым взаимодействуют классические частицы, является *вторым физическим принципом* ДКМ. Этот постулат подтверждён на опыте фактом квантовых флуктуаций свободных микрочастиц, а также физикой частиц. В статьях [42] было показано, что гидродинамическая картина, где инвариантная консервативная диффузия в таком скалярном поле описывается только плотностями и потоками, без указания источника и природы флуктуаций, позволяет вывести формализм квантовой механики и объяснить квантовое поведение диффундирующих классических частиц.

Итак, согласно ДКМ классические частицы флуктуируют из-за взаимодействия с флуктуирующим фоновым скалярным полем, а их ансамбли совершают консервативную диффузию. Формализм квантовой механики естественным образом следует из ДКМ в частном случае однородного и изотропного фонового поля.

Важность опоры на физические принципы в такой фундаментальной теории, как квантовая теория, становится понятным тогда, когда это ведёт к ясности в понимании физических явлений. Ясность понимания же придаёт уверенность в надёжности этой теории, позволяет понять перспективы её развития и ведёт к новым открытиям, простота и наглядность же облегчают её преподавание и популяризацию.

2.2. В чём источник квантовых флуктуаций и как решить парадокс Мюнхаузена?

Математический формализм квантовой механики возник при попытках описать наблюдаемые во множестве экспериментов квантовые флуктуации микрообъектов. Для адекватной физической интерпретации этого формализма необходимо было определить источник флуктуаций микрообъектов – это либо приборы, либо они сами такие, или же флуктуирует окружающий их фон.

В первую очередь были изучены флуктуации из-за приборов, так как при измерениях воздействие макроскопических приборов на классические микрочастицы могло систематически вносить элемент случайности. Но оказалось, что квантовые явления не объясняются этими флуктуациями. Во-первых, в ансамбле из многих одинаковых опытов над отдельной частицей случайности из-за измерений можно свести к минимуму и, тем не менее, квантовые свойства микрочастиц, например, дискретность уровней энергии или радиоактивный распад, при этом не исчезают. Во-вторых, квантовые явления определяют структуру вещества во всей вселенной без каких-либо наблюдателей и их приборов. Тем самым выяснилось, что приборы не порождают, а лишь выражают объективно существующие квантовые флуктуации.

Тогда источниками квантовых флуктуаций могут быть либо сами микрообъекты, либо окружающий их фон. Стандартный формализм квантовой механики основан на первой возможности, а ДКМ последовательно реализует вторую возможность.

Стандартный формализм основан на сохранении предположения классической механики о том, что окружающий фон – это пустое евклидово пространство. Но тогда микрообъектам приходилось приписывать некие загадочные «квантовые» свойства – способность флуктуировать самопроизвольно. При этом предположение о классическом характере фона на уровне микрочастиц есть лишь экстраполяция прежнего упрощения и не имеет наблюдательного основания. А результат же этого – случайность изменений энергии и импульса микрочастиц в однородном пространстве и времени – парадоксален

и именно это вызывало много возражений. Эйнштейн был одним из тех, кто частично понимал недопустимость этого и считал это признаком неполноты квантовой механики.

В квантовой механике при флуктуации с достаточно большой энергией, частица имеет конечную вероятность покинуть потенциальную яму, преодолев барьер любой конечной высоты и ширины. Если считать, что пространство пустое и что на частицу не действует ничего, кроме запирающего потенциала, то возникает парадокс, так как частице неоткуда взять недостающую (и не малую) энергию. Объяснение этого соотношением неопределённостей есть известный логический трюк, когда причина объясняется её же следствием, так как это соотношение есть следствие наличия квантовых флуктуаций и не может быть их объяснением.

Аналогом такой самопроизвольной флуктуации энергии среди людей является парадокс, который в [42] был назван парадоксом Мюнхаузена. В известном мифе этот персонаж однажды вытащил себя из болота на берег вместе с конём, сильно дёрнув себя за собственные волосы. Парадокс в том, что он очевидно не утонул, но способ его выхода был чудом. Для решения парадокса важен тот факт, что, способ выхода Мюнхаузена из болота это не подтверждённый факт, а миф о чудесной способности. Аналогично, выбор самой вышедшей из потенциальной ямы частицы как источника нужной ей энергии есть не факт, а такой же миф о чудесной (мюнхаузенской) способности, возникший из желания сохранить пустое пространство классической физики. Но это желание не оправдывает отказ от такого базового закона физики, как сохранение энергии и импульса изолированного объекта в однородном пространстве-времени.

В ДКМ, где используется вторая возможность, когда частицы классические, а источником их флуктуаций является воздействие фонового скалярного поля, парадокса Мюнхаузена нет. Если под действием этого поля энергия частицы на короткое время становится очень большой, то энергия фонового поля в этом месте понижается на такую же величину, что и обеспечивает сохранение полной энергии системы «частица + поле».

Задачами для дальнейших исследований в ДКМ становятся в основном причины и механизмы флуктуаций фонового скалярного поля, а также их иные следствия. Принятие же наличия флуктуирующего скалярного поля как следствия наблюдательных фактов и связанных с ними физических принципов ведёт к простой и ясной физической картине квантовых явлений.

2.3. Почему в квантовой теории складываются амплитуды вероятностей?

В классической физике при наличии двух альтернатив полная вероятность есть сумма вероятностей по каждой из альтернатив. В квантовой механике же вероятность какого-то события определяется как квадрат модуля комплексной амплитуды вероятности, называемой волновой функцией. При этом полная амплитуда вероятности для двух альтернатив есть сумма амплитуд по каждой из альтернатив. В результате, полная вероятность, определяемая как квадрат модуля полной амплитуды вероятности, содержит не только сумму вероятностей альтернатив, но также и перекрёстные члены, которые уменьшают или увеличивают сумму вероятностей двух альтернатив. Примером этого является картина интерференции амплитуд вероятностей (волновых функций) прохождения ансамбля частиц через две щели на экране.

В ДКМ состояние ансамбля классических частиц описывается плотностью вероятности и функцией действия, связанной со скоростью дрейфа потока частиц. Эти две функции образуют каноническую пару, а канонические уравнения движения для них оказываются нелинейными. Далее, если эти две вещественные функции считать модулем и фазой комплексной амплитуды вероятности, или волновой функции, то канонические уравнения линеаризуются и переходят в уравнение Шрёдингера, основное уравнение квантовой механики. Линейность уравнения Шрёдингера затем приводит к тому, что

суперпозиция волновых функций также является решением и поэтому полная амплитуда вероятности есть сумма амплитуд вероятностей альтернатив.

Причиной различия с диссипативной диффузией, где складываются вероятности, является консервативность диффузии в фоновом скалярном поле, где средняя энергия ансамбля частиц сохраняется, т.е. нет диссипации энергии ансамбля. Средние значения физических величин в ДКМ совпадают с их средними в квантовой механике.

2.4. Есть ли скрытые параметры и в чём причина нелокальности?

В рамках квантовой механики были доказаны несколько математических теорем, которые рассматривались как жёсткие ограничения для попыток её интерпретации в терминах классических понятий. Первой из них была теорема фон Неймана о невозможности скрытых параметров, а второй – неравенства Белла о нелокальности.

Первая теорема действительно исключила теории скрытых параметров, в которых квантовым частицам приписывались некие внутренние степени свободы, которые пока не наблюдаются, но со временем могут быть обнаружены. Вторая теорема же касалась различия решения вопросов нелокальности в классической и квантовой теориях, и квантовая механика была успешно подтверждена во многих экспериментах.

При этом обе теоремы исходили из главного различия между классической и квантовой теориями, что в первой теории складываются вероятности, а во второй – амплитуды вероятностей. ДКМ оказалась единственной последовательной теорией, которая описывает явления также, как в классической теории, но в ней складываются амплитуды вероятностей, также как в квантовой теории. Поэтому ДКМ находится в той же группе теорий, что и квантовая механика и, будучи её более последовательной формулировкой, удовлетворяет условиям теоремы фон Неймана и в ней неравенства Белла нарушаются в точности так, как в квантовой механике.

При этом причиной эффектов нелокальности является то, что ДКМ описывает взаимодействие с фоновым полем не отдельной частицы, а ансамбля частиц и в каждый момент состояния как фонового поля, так и ансамбля заданы глобально.

Отметим, что эта теорема и неравенства относятся к изолированной классической частицы в пустом евклидовом пространстве и справедливо утверждают невозможность в этой ситуации скрытых параметров, ведущих к самопроизвольным флуктуациям (парадокса Мюнхаузена), и эффектов нелокальности (нарушения релятивистской причинности). Но они не относятся к классической частице во внешнем поле и в этом случае ничего не ограничивают. Поэтому ДКМ, в рамках которой квантовые свойства возникают из-за такого взаимодействия, находится в согласии с этими ограничениями.

2.5. В чём физический смысл соотношений неопределённостей и квантового потенциала?

Полная энергия ансамбль классических частиц в пустом пространстве и внешнем потенциале равна сумме кинетической и потенциальной энергий, а в ДКМ к ним добавляются энергия флуктуаций частиц и энергия их диффузионного потока в фоновом поле. Этот диффузионный поток возникает тогда, когда плотность вероятности имеет начальную неоднородность, и стремится ликвидировать эту неоднородность, будучи направленным в область с меньшей плотностью вероятности.

Физический смысл энергии этого диффузионного потока в том, что она есть та потенциальная энергия, которая возникла из-за затраты энергии внешними силами (стенками ящика, внешним полем и т.д.) в ходе создания этой неоднородности в распределении ансамбля частиц в пространстве, а теперь эта потенциальная энергия переходит в кинетическую энергию диффузионного потока.

Чем меньше область локализации, тем больше степень неоднородности плотности вероятности и тем больше требуется затратить энергию для локализации ансамбля, а значит тем больше будет диффузионная скорость. Этот факт объясняет физический

смысл соотношений неопределённостей, согласно которым чем меньше область локализации, тем больше неопределённость импульса в ансамбле.

Поэтому так называемый «квантовый потенциал», который появлялся в представлении уравнений Шрёдингера в виде уравнения Гамильтона-Якоби-Маделунга, оказывается энергией локализации ансамбля частиц в конечном объёме. Квантовый потенциал как энергия локализации приводит к расплыванию ансамбля частиц. Так как диффузия делокализует ансамбль частиц и, в конечном итоге выравнивает плотности вероятности, то это прекращает и саму диффузию. Поэтому квантовый потенциал играет роль потенциальной энергии локализации.

2.6. В чём физический смысл скорости света и её постоянства?

Диффузия частиц происходит из-за их флуктуаций в сплошных средах. Поэтому основная характеристика диффузии частиц, выражающая взаимодействие со средой, это скорость флуктуаций частиц. В обычной среде среднее этой скорости равно нулю, а среднеквадратичное значение отлично от нуля. В классической статистической механике флуктуирующая среда, например, газ из атомов и молекул, имеет систему покоя, где покоится, например, сосуд с этим газом. Эта система отсчёта оказывается физически выделенной системой отсчёта для примесных атомов, диффундирующих в данном газе.

В случае же фонового поля принцип относительности исключает существование выделенной системы отсчёта и требует, чтобы флуктуации классических частиц в этом поле происходили одинаково во всех инерциальных системах. Это возможно лишь если величина скорости свободного пробега частицы между взаимодействиями с фоновым полем есть инвариантная скорость, одинаковая во всех инерциальных системах. Такая скорость хорошо известна в физике и представляет собой скорость света.

Таким образом, скорость света оказывается скоростью флуктуаций в фоновом поле, а постоянство скорости света во всех инерциальных системах отсчёта, свойство, на котором основана специальная теория относительности, оказывается следствием инвариантности флуктуаций фонового скалярного поля. Переход от классической механики к релятивистской теории, тем самым также оказывается одним из следствий ДКМ, как и сама СТО.

В рамках теории относительности до сих пор были вопросы, на которые не было ответа: почему скорость света универсальна и почему она инвариантна? В рамках ДКМ, как видим из вышеизложенного, возникают ответы на эти вопросы: скорость света есть скорость флуктуаций классических частиц в фоновом скалярном поле, и она инвариантна потому, что инвариантны флуктуации в этом поле.

Таким образом, вместо двух постулатов, об инвариантности квантовых флуктуаций и инвариантности скорости света, в ДКМ достаточно одного постулата о флуктуациях скалярного поля, а второй, о скорости света, оказывается его следствием.

2.7. В чём физический смысл энергии покоя частиц?

Тепловая энергия частиц в среде (газ, жидкость) с определённой температурой равна средней кинетической энергии их тепловых флуктуаций, т.е. пропорциональна массе и среднеквадратичной скорости частиц. В ДКМ такая же ситуация, естественно, должна быть и для частиц конечной массы в фоновом поле, т.е. они должны иметь «тепловую» энергию флуктуаций.

В ансамбле свободных частиц, плотность энергии которых однородна в пространстве, энергия локализации отсутствует. Поэтому, если исключить для них и энергию дрейфа, перейдя в систему покоя, то у таких свободных частиц полная энергия сводится только к их «тепловой» энергии в флуктуирующем фоновом скалярном поле, которая должна быть пропорциональна массе частицы.

Кроме того, как отмечалось в предыдущем разделе, скорость «тепловых» флуктуаций частиц в фоновом поле должна быть инвариантной и поэтому равняется

скорости света. Следовательно, «тепловая» энергия должна быть пропорциональной также и квадрату скорости света.

Эта часть полной энергии частиц должна была проявиться раньше как в теории, так и в экспериментах. При трактовке частиц в пустом классическом пространстве эта энергия должна была выглядеть загадочной и необъяснимой. Такая энергия хорошо известна из релятивистской теории и является *энергией покоя* частицы $E_0 = mc^2$. Поэтому именно её и следует отождествить с постоянной тепловой энергией флуктуаций частицы в фоновом скалярном поле.

Итак, энергия флуктуаций частицы конечной массы в фоновом скалярном поле содержит постоянную часть, энергию «тепловых» флуктуаций, которая проявляется как энергия покоя. Тем самым, если релятивистская теория ввела в физику энергию покоя, новое дополнение к энергии любой частицы конечной массы, играющей значительную роль в физике, то ДКМ позволяет объяснить её физический смысл и происхождение.

2.8. Как возникают квантовая статистика и неразличимость частиц?

В ДКМ изучалось диффузионное описание состояния ансамбля с одной частицей. Ансамбль опытов позволял определить вероятности во множестве опытов, каждый раз производимых над одной частицей при одинаковых условиях.

Классическая статистическая механика имеет дело с системами очень большого числа частиц, где источник флуктуаций - это хаотичные столкновения в многочастичной системе. Фазовое пространство системы из N частиц разбивается на малые ячейки и вычисляются вероятности в интервалах энергий частиц. Вероятности заполнения M состояний с некими числами заполнения задаются числом способов (статистическим весом), которым можно заполнить каждую из этих состояний. В классической статистической механике частицы *различимы*, а вероятности всех состояний считаются *одинаковыми*. Так как M велико, то средние числа заполнения состояний очень малы. Но тогда частицы распределяются по состояниям независимо друг от друга.

Помещая каждую из N различимых частиц в одно из M состояний, получим число возможных распределений. Те из них, которые отличаются лишь перестановкой частиц, считаются одинаковыми и поэтому это число надо разделить на общее число перестановок. Это даёт статистический вес распределения N частиц по M состояниям, а его обратное есть вероятность реализации каждого из распределений. Требуя, чтобы энтропия при равновесии была максимальной, находится функция распределения частиц газа в классической статистике, которая есть распределение Максвелла-Больцмана (МБ).

В квантовой механике вероятности состояний также считались одинаковыми и отличие от классической статистики сводилось к двум новым свойствам: а) частицы считались *неразличимыми*, и б) числа заполнения не обязательно малы. Но требование неразличимости частиц оказывается так меняет статистический вес, что классическая статистическая механика переходит в одну из двух форм квантовой статистики.

Первая из них относится к системе частиц с волновой функцией симметричной при перестановках двух частиц и в каждом состоянии, как и в классическом случае, может находиться любое число частиц (статистика Бозе-Эйнштейна (БЭ)). Вторая же относится к системам, где волновая функция антисимметрична и поэтому в каждом из состояний может находиться не более одной частицы (статистика Ферми-Дирака (ФД)).

В ДКМ частицы остаются классическими и поэтому остаются *различимыми*. Поэтому возникает вопрос: как квантовая статистика, где частицы эффективно неразличимы, может появиться в системе классических различимых частиц?

В ДКМ в газе микрочастиц есть два вида вероятностных законов – *столкновения* частиц между собой ведут к статистическим законам, аналогичным классической статистике, а консервативная диффузия частиц *между столкновениями* ведёт к

квантовым свойствам системы. Поэтому, если для классических частиц в пустом пространстве все состояния равновероятны, то для таких же частиц, которые *между столкновениями* совершают ещё и *флуктуации* из-за фонового поля, эти вероятности не обязаны быть одинаковыми.

Проще всего это отличие проявляется для состояний с антисимметричными волновыми функциями, когда в одном состоянии может быть не более одной частицы. Это свойство не связано с многочастичностью системы и имеет место даже для системы из двух частиц, т.е. это – следствие именно квантовых флуктуаций. Поэтому для таких систем вместо классического числа распределений надо взять число сочетаний из M элементов по N , в результате чего распределение МБ заменяется распределением ФД.

Причина, из-за которой в системе классических частиц появится статистика БЭ была найдена Терзоффом и Байером в 1979 г. [33]. Оказалось, что условие *равной вероятности* различных состояний различных классических частиц, когда вероятность попадания частицы в каждую из M состояний равна $1/M$, излишне сильное условие. Введя более мягкое условие, в классической физике было получено распределение БЭ.

Смягчение условий состояло в том, что вероятности могут быть *произвольными* и лишь их сумма должна равняться единице, после чего *усредняется* по их допустимым значениям. Однако, ранее было непонятно, почему *равновероятность* надо заменить на *усреднение по произвольным вероятностям*, так как в классическом идеальном газе для этого нет оснований, а в стандартной квантовой механике частицы не классические.

ДКМ даёт ясный ответ на этот вопрос. В классической газодинамике частицы между столкновениями движутся прямолинейно в пустом пространстве. Но в ДКМ они, взаимодействуя с фоновым полем между столкновениями, дополнительно флуктуируют. Поэтому для каждой частицы вероятности заполнения приобретают дополнительный случайный разброс, который следует учитывать, усредняя по всем этим отклонениям. Тогда в газе различных частиц, флуктуирующих между столкновениями, имеет место распределение БЭ.

В классической механике нет корреляции между частицами в разных состояниях, но она возникает в ДКМ, так как диффузия описывается амплитудами вероятности, заданными глобально, и амплитуды разных частиц перекрываются. Неразличимость частиц в квантовой статистике также проявляется эффективно как следствие учёта этих флуктуаций и связанных с ними корреляций между частицами.

Принципиально новым свойством квантовых флуктуаций является принцип исключения Паули для систем частиц описываемых антисимметричной волновой функцией при перестановке частиц. Независимо от деталей связи спина и статистики, ДКМ, описывающая процессы с помощью амплитуд вероятностей, в общем случае допускает такие состояния. Плотность вероятности есть квадрат модуля амплитуды и, в отличие от вероятности, может иметь оба знака. Поэтому, если консервативной диффузии где-то соответствует антисимметричная волновая функция, меняющая знак при перестановке частиц, то будут наблюдаться все последствия статистики ФД и принципа Паули, следующие из изменения знака волновой функции при перестановках.

3. Проблемы квантовой теории поля и их решения

Проблемы физики частиц и полей оказались в основном «техническим» и были решены без существенного изменения базовых принципов. Изменения сводились к уточнению и введению более аккуратных формулировок. Первые пять проблем - это:

9. *Как правильно квантовать состояния с отрицательной энергией?*
10. *Есть ли нулевые флуктуации вакуума полей?*
11. *Как квантовать струны и есть ли у них критические размерности?*

12. *Каковы последовательные условия микропричинности?*

13. *Почему спин и статистика связаны?*

Они оказались тесно связанными между собой, так как решение первой проблемы позволило решить две другие, а эти два решения привели к решению и двух следующих.

Следующие связанные между собой проблемы КТП – это вопросы о том,

14. *Бесконечны ли поправки высших порядков теории возмущений?*

15. *Бесконечны ли киральные аномалии и случайно ли их сокращение в СМ?*

16. *Состоятельна ли квантовая гравитация?*

17. *Как описывать возможную субструктуру фундаментальных частиц?*

18. *Есть ли необходимость в суперсимметрии?*

Для решения первых двух проблем оказалось достаточным учесть гравитационное застывание на планковском масштабе, одно из базовых гравитационных эффектов ОТО, которое экспериментально подтверждено, но до сих пор игнорировалось в физике частиц по сугубо историческим и субъективным причинам. А ответы на другие вопросы следуют из решения указанных проблем. Эти результаты изложены в [40] и в книге [48].

3.1. Как правильно квантовать состояния с отрицательной энергией?

В релятивистской форме КТП состояния положительной и отрицательной энергии возникают на равноправной основе. При этом частицы отрицательной энергии изначально трактовались как способ описания античастиц положительной энергии. Но реализация этого оказалась не просто и, после ряда этапов, задача была решена недавно.

При первоначальном подходе состояния с отрицательной энергией вели к двум серьёзным проблемам, которые делали теорию несостоятельной. Первая проблема - это безостановочное падение частиц в эти состояния. Гипотеза Дирака [1] о заполненном вакууме и дырках в нём решала эту проблему только для фермионов и никак не могла решить для бозонов. Вторая проблема - это появление отрицательных вероятностей для частиц отрицательной энергии при обычном квантовании полей [26].

Первая проблема была решена в 1940-е гг. в трактовке Штюкельберга-Фейнмана (ШФ) [8,31], где частицы отрицательной энергии, движущиеся только назад во времени, описывают античастицы положительной энергии, движущиеся вперёд во времени. Тогда переход частицы в состояние с отрицательной энергией есть аннигиляция положительно-энергетической пары частица-античастица. Однако, в трактовке ШФ вторая проблема – отрицательные вероятности – не была решена, что снова делало её несостоятельной. Поэтому применение этой трактовки в КТП считалось несостоятельным и лишь эвристическим.

В результате стандартной стала формулировка КТП с частицами и античастицами только положительной энергии, где нет проблем с вероятностями. При этом операторы рождения (уничтожения) частиц отрицательной энергии заменялись операторами уничтожения (рождения) античастиц. Но, в результате этой ручной операции появлялась бесконечная нулевая энергия вакуума даже тогда, когда её не было до этой замены. Это вело к несостоятельности теории уже по этой причине (см. следующий раздел).

Понимание последствий этих фактов привело к попыткам вернуться к исходной картине с частицами обоих знаков энергии, как-то решив две связанные с ними проблемы. Из этих попыток реальным шагом вперёд стало устранение отрицательных вероятностей М. Павшичем [27] в 1998 г. Начав с выражения для оператора энергии поля с обеими знаками, им было показано, что в этом случае вероятности всех состояний остаются положительными.

Но в этой и в ряде других попыток состояния с отрицательной энергией вводились с целью, что их нулевые энергии сократят нулевые энергии состояний положительной энергии. Но для этого их тоже приходилось считать идущими вперёд во времени, что

противоречило трактовке ШФ и, тем самым, вновь возникала проблема падения в состояния с отрицательной энергией.

В статьях [40] был сформулирован новый метод последовательного квантования систем с состояниями двух знаков энергии в рамках трактовки ШФ, свободный от обеих проблем состояний с отрицательной энергией. В новом методе состояния описываются согласно трактовке ШФ, что исключает падение частиц в состояния с отрицательной энергией. Но и выражения для энергии поля выбираются так, чтобы удовлетворять требованиям трактовки ШФ. Это условие внутренней согласованности теории ранее не выполнялось, в чём и состояла ошибка прежних попыток. Способ выполнения этого условия был указан в [40], после чего трактовка ШФ воспроизводила результаты Павшича [27] и состояния имели положительные вероятности. Тем самым в такой последовательной формулировке трактовка ШФ оказалась применимой и в КТП.

Одним из изменений в формализме КТП при переходе к трактовке ШФ стало введение в [40] симметричного по времени хронологического произведения операторов, которое переходит в обычное хронологическое произведение при эволюции вперёд и в антихронологическое при эволюции назад во времени. Оператор симметричного по времени хронологического упорядочения естественным образом привёл к причинному пропагатору ШФ и к стандартной диаграммной технике для взаимодействующих полей.

3.2. Есть ли нулевые флуктуации вакуума полей?

В стандартной формулировке КТП состояния свободных полей имеют только положительную энергию, а операторы античастиц вводятся «вручную». В результате такого введения античастиц появляется бесконечная «нулевая энергия» вакуума даже в тогда, когда такой энергии не было до перехода к античастицам. Эта энергия аналогична нулевой энергии гармонических осцилляторов, низшему уровню энергии, и считалась проявлением «нулевых флуктуаций» поля.

Вклад нулевых флуктуаций, который бесконечен, предсказывался для всех полей СМ, и этот факт, из-за неизбежности учёта гравитации, делало теорию несостоятельной. При наличии такой колоссальной плотности энергии в каждой точке вселенной, вместо наблюдаемой чрезвычайной малости эффектов гравитации в физике частиц имело бы место обратное – полное доминирование эффектов гравитации, что абсурдно. Эта ситуация была названа проблемой космологической постоянной.

В статьях [40], где был сформулирован последовательный метод квантования полей и струн в трактовке ШФ, где вероятности положительны, а нулевой энергии нет. Этот метод квантования был применён к осцилляторам с двумя знаками энергии, а затем и к релятивистским полям и струнам. Переход от трактовки ШФ к античастицам можно производить с помощью зарядовой или кроссинг симметрий.

Этот метод квантования ведёт к ряду новых следствий. В частности, отсутствие нулевых флуктуаций вакуума находится в согласии с экспериментами, так как эффекты, которые приписывались этим флуктуациям (лэмбовский сдвиг, эффект Казимира), полностью объясняются вкладами полей реальных источников. Отсутствие же нулевой энергии свободных полей частично решает проблему космологической постоянной.

Таким образом, рассмотренные в предыдущем и в этом разделе два результата, обеспечение положительности вероятностей и отсутствия нулевых флуктуаций, исправляют искажения в прежних процедурах квантования полей и делают формализм КТП математически корректным и физически состоятельным.

3.3. Как квантовать струны и есть ли у них критические размерности?

Модели релятивистских струн основаны на гипотезе, что первичные объекты физики - это струны, одномерные объекты без толщины, с длиной порядка планковской длины, а известные частицы есть кванты их колебательных состояний. В этих моделях размерность пространства-времени считается равной критической – 26-мерным для

бозонной струны и 10-мерным для фермионной. При этом высшие измерения считаются компактными в масштабе Планка, что затем определяет симметрию квантов.

Эта гипотеза чисто умозрительная и не имеет никакой эмпирической базы, но тем не менее она и её обобщения долго доминировали в физике частиц. Как было показано в статьях [40], они оказались несостоятельными и с теоретической точки зрения. Было показано, что при последовательной формулировке модели струн станут тривиальными, так как в них не будет выделенной размерности пространства-времени.

Причина этого в том, что стандартные формулировки моделей бозонной и фермионной струн включали бесконечную нулевую энергию вакуума, но так как эти модели претендовали также и на описание гравитации, то в них нельзя было отбрасывать бесконечную часть нулевой энергии. Принятая в КТП процедура «регуляризации», т.е. отбрасывания бесконечной части энергии вакуума, имеет смысл лишь в отсутствии гравитации и становится незаконной в моделях с гравитацией. Поэтому простые модели струн были внутренне противоречивыми и несостоятельными.

Попытки преодоления этого противоречия привели к моделям суперструн, которые содержали равное число бозонных и фермионных степеней свободы и поэтому в них могла реализоваться суперсимметрия. В прежних процедурах квантования бозонные и фермионные степени свободы имели нулевые энергии разного знака, и суперсимметрия вела к их взаимному сокращению, хотя и лишь в 10-мерном пространстве-времени. Но даже в этом случае суперсимметрия должна была быть нарушена на расстояниях порядка планковских, что снова порождала проблему огромной плотности энергии вакуума, несовместимой с существованием гравитации. В результате модели суперструн оказались далёкими от реальности.

Однако, реальная ситуация оказалась намного проще. При последовательном квантовании релятивистской струны в трактовке ШФ имеются модели без нулевой энергии, которые поэтому конечны и допустимы с физической точки зрения. Однако, в отсутствие нулевой энергии не оказалось и выделенных размерностей пространства-времени. Тем самым, если модели струн с нулевой энергией были несостоятельными, то модели без неё стали тривиальными.

3.4. Каковы последовательные условия микропричинности?

В прежней стандартной формулировке КТП условие микропричинности совпадала с соответствующим условием классической теории релятивистских полей. Утверждалось, что изменение поля в одной пространственно-временной точке (событии) не влияет на поле в другой точке, если эти события нельзя связать световым сигналом. В квантовой механике это означало одновременную измеримость полевых операторы в этих точках, что выражалось в том, что эти операторы коммутируют. Перестановочные функции (коммутаторы) полей поэтому должны были быть пропорциональными нечётным функциям интервала времени, исчезающим за световым конусом, что и выражало микропричинность и локальность в КТП.

Из-за прямой замены операторов рождения частиц отрицательной энергии операторами уничтожения античастиц положительной энергии, перестановочные функции операторов полей давались функцией Паули-Йордана, исчезающей за световым конусом. Это считалось свидетельством выполнения в КТП классического условия микропричинности и использовалось в обобщениях и применениях теории.

В то же время, причинный пропагатор для квантов поля *не исчезал* за световым конусом. Но если пропагатор допускает сверхсветовые сигналы (пусть и в мягкой форме, т.е. в малой окрестности), то классическая причинность, основанная на полном отсутствии таких сигналов, более недействительна. А именно, измерение в одной точке может влиять на измерение в другой точке даже вне светового конуса через виртуальные кванты, переносимые причинным пропагатором.

Новый метод квантования на базе трактовки ШФ [40] оказался последовательным в этом вопросе, так как приводит к чётным перестановочным функциям (коммутаторам и антикоммутаторам) как для бозонных, так и для фермионных полей. Эти функции не исчезают за световым конусом, но быстро спадают вне комптоновской длины и этом смысле ведут себя подобно причинным пропагаторам.

Таким образом, в новой формулировке КТП даётся единая формулировка условий микропричинности как для обеих типов полей, бозонов и фермионов, так и для обеих видов базовых функций полей – перестановочных функций и причинных пропагаторов. Поэтому это условие микропричинности является последовательным.

С физической точки зрения это означает, что за световым конусом классические условия локальности и релятивистской причинности выполняются не строго, а приближённо из-за корреляций функций полей в масштабах комптоновской длины. Поэтому они выполняются тем лучше, чем больше расстояния по сравнению с этим характерным масштабом нелокальности. При этом смягчение условий классической микропричинности для всех квантовых полей не является чем-то новым, так как оно в скрытом виде было и в прежней формулировке, но лишь для фермионов, а в явном виде присутствовало для причинных пропагаторов.

3.5. Почему спин и статистика связаны?

В стандартной КТП доказательство теоремы о спине и статистике основывалось на двух аргументах. Первым было условие положительной энергии для спинорного поля, приводящее к антикоммутаторам, а вторым - условие микропричинности, требующее исчезновения (анти) коммутаторов полевых операторов вне светового конуса.

В трактовке ШФ поле со спином $1/2$ квантуется с помощью антикоммутаторов в предположении, что это поле фермионов. Но здесь антикоммутаторы не исключили отрицательные энергии, и введение антикоммутаторов прямо не связывалось со знаком энергии. Как было отмечено выше, в трактовке ШФ условия микропричинности становятся слабее, поскольку коммутаторы бозонного поля не обращаются в нуль на пространственноподобных интервалах, также как причинные пропагаторы.

В связи с этим появляются новые аспекты доказательства теоремы о спине и статистике. Доказательство должно основываться на более общих аргументах, поскольку конкретные свойства полевых операторов дают только достаточное условие, но не необходимое условие.

3.6. Бесконечны ли поправки высших порядков теории возмущений?

Главной нерешённой проблемой стандартной формулировки КТП была проблема ультрафиолетовых бесконечностей, неограниченный рост поправок высших порядков теории возмущений на малых расстояниях или больших энергиях флуктуаций. В терминах диаграмм Фейнмана они даются петлевыми диаграммами, и проблема состояла в расходимости интегралов из этих петлевых диаграмм.

На практике производилось обрезание (регуляризация) на конечных расстояниях или энергиях, когда поправки ещё малы и ряды теории возмущений сходятся. Величины предсказываемых масс и зарядов частиц, являющиеся суммами затравочных величин и поправок, растущих с ростом энергии обрезания, были приравнены измеряемым массам и зарядам. Эта процедура «перенормировки» сделала КТП формально конечной.

Проблема была сведена к вопросу о том, каков тот *неизвестный* физический механизм, который делает регуляризации конечными, чтобы поправки к массам и зарядам так и остались малыми. Долгие поиски такого нового механизма на базе радикальных гипотез, однако, оказались безуспешными. Главной причиной был ошибочный вывод о том, что все известные явления были уже учтены.

В статьях [41] было показано, что необходимый механизм был известен ещё до создания КТП и это - гравитационное замедление времени, один из подтверждённых на

эксперименте базовых эффектов ОТО. Стандартная формулировка КТП включала кванты большой энергии, но не учитывала их гравитацию, а в попытках же её учёта гравитация считалась лишь одним из обычных полей. Но в ОТО внешнее гравитационное поле квантов ещё и замедляет локальные собственные времена относительно мирового времени t удалённых наблюдателей.

В результате, на планковской длине, которая есть гравитационный радиус квантов планковской энергии, все процессы застывают в терминах мирового времени. Застывание же квантовых флуктуаций означает предельно сильное красное смещение частот вплоть до их зануления и поэтому они не дают вклада в вероятности процессов. Таким образом, учёт эффектов гравитации квантов ведёт к гравитационной регуляризации интегралов петлевых диаграмм на планковской длине.

Нелинейность полей усиливает гравитационные эффекты, а значит и застывание происходит при ещё больших расстояниях, что ещё сильнее подавляет вклады больших энергий. Конечность поправок высших порядков теории возмущений на малых расстояниях, если поправки малы на планковской длине, делает состоятельными также и модели с неперенормируемыми полями. В случае калибровочных полей и квантовой гравитации инвариантное планковское обрезание интегралов даёт верхние пределы для петлевых поправок, которые оказались малыми, и их ряды теории возмущений сходятся.

Первое свидетельство конечности теорий известных из опыта полей – это согласие СМ с экспериментом с высокой точностью. Наиболее точными и хорошо проверенными являются предсказания КЭД. Согласие с экспериментами КХД и электрослабой теории также хорошее. Малость вычисляемых масс, зарядов и магнитных моментов кварков и лептонов, где затравочные значения определяются из сравнения с измеряемыми значениями, означает малость петлевых поправок и сходимость теории возмущений, что косвенно подтверждает гравитационную регуляризацию, требуемую ОТО.

При этом квантовая гравитация стала не только состоятельной, но и существенно более простой, чем ожидалось, так как вклады высокого порядка оказались чрезвычайно малыми и поправки свелись к однопетлевым гравитонным вкладам.

Таким образом, КТП стала конечной и состоятельной при её приспособлении к уже известным и хорошо подтверждённым принципам физики, требования которых должны были быть учтены с самого начала. В связи с этим отпала необходимость в поиске и проверке весьма радикальных гипотез и это значительно упрощает ситуацию и выводит развитие из тупика математических фантазий последних пол столетия. Также важно то, что долгий этап формирования КТП, когда несмотря на множество успехов теории, её основы оставались противоречивыми, теперь можно считать закончившимся.

3.7. Бесконечны ли киральные аномалии и случайно ли их сокращение в СМ?

Есть особый класс петлевых диаграмм, треугольные фермионные диаграммы, которые растут с энергией обрезания линейно и ведут к киральным аномалиям. При гравитационной регуляризации, оставаясь конечными, аномальные диаграммы дают недопустимо большой вклад в наблюдаемые.

Поэтому критерием состоятельности моделей физики частиц является взаимное сокращение аномалий в совокупности диаграмм для каждого наблюдаемого. В СМ имеет место именно такое сокращение киральных аномалий, что было одним из главных критериев отбора кварковых моделей и теорий калибровочных полей.

Гравитационная регуляризация делает ситуацию с киральными аномалиями в теориях калибровочных полей методологически разумной, так как теория оперирует с конечными, хотя и большими величинами, которые в конечном итоге сокращаются.

Другая ситуация с киральными аномалиями в феноменологических моделях с участием пи-мезонов, состоящих из кварк-антикварковой пары. Введение эффективных

локальных полей и токов для пионов является идеализацией, теряющей смысл уже на расстояниях, меньших размера пионов.

3.8. Состоятельна ли квантовая гравитация?

Квантование калибровочных полей и поля гравитонов в приближении слабого поля сводится к квантованию двух поперечных физических состояний векторных или тензорных полей. Поэтому квантование поля фотонов в трактовке ШФ применима и в этом случае, а учёт нелинейности и внутренних симметрий полей не меняет основного вывода об отсутствии нулевой энергии вакуума. Поскольку отсутствие нулевой энергии свободных полей следует из наличия у релятивистских полей состояний двух знаков энергии, то взаимодействия квантов не меняют этого результата.

В случае гравитонов эффективная константа связи мала вплоть до планковского расстояния, где гравитационный радиус кванта сравнивается с её длиной волны, что приводит к сильному красному смещению частот флуктуаций. Быстрое уменьшение частот флуктуаций на таких расстояниях из-за гравитационного застывания ведёт к малости эффектов нелинейности.

Вывод о том, что при квантовании поля гравитонов в одной системе отсчёта, в поперечной калибровке и в приближении слабой связи нулевая энергия вакуума отсутствует, сохраняет свою силу для всех систем отсчёта и для всех калибровок из-за калибровочной и лоренц-инвариантности вакуума полей.

Вывод о конечности петлевых вкладов из-за собственного гравитационного поля верен и для квантовой гравитации, так как гравитационное замедление времени только усиливается квантовыми эффектами гравитации.

Размерная константа связи в квантовой гравитации ведёт к степенным вкладам от гравитонных петлевых диаграмм. Однако, в отличие от скалярного поля, эффективная безразмерная константа связи при этом очень мала в большей части интервала энергий вплоть до планковской энергии, так что петлевые вклады квантовой гравитации, как логарифмические, так и степенные, остаются малыми даже в этой области.

В результате, квантовая гравитация оказывается не только конечной, но и в ней можно применять теорию возмущений. Физические наблюдаемые могут быть представлены как сумма голых значений и малых поправок квантовой гравитации, а ряды теории возмущений с малыми эффективными константами связи сходятся.

3.9. Как описывать возможную субструктуру фундаментальных частиц?

В СМ физике частиц число основных частиц, формально вводимых как бесструктурные, велико и составляет несколько десятков. Однако, не исключается, что эти частицы могут иметь внутреннюю структуру на очень малых расстояниях и это даже желательно. Если первичность стабильных частиц первого поколения кварков и лептонов ещё можно понять, то трудно считать настолько же первичными ещё два их поколения, отличающиеся в основном лишь массами.

В связи с этим развивались составные модели известных фундаментальных частиц, субчастицы которых стали называть под именем *преоны*, применяя другие названия для конкретных моделей. Однако, до сих пор не было признаков наличия субструктуры у кварков и лептонов, и тем более у калибровочных и скалярного бозонов, а предложенные модели не были в достаточной мере состоятельными.

Главной трудностью в этих моделях стал *парадокс массы* – малая область локализации преонов ведёт, из-за соотношения неопределённостей, к их большим кинетическим энергиям, тогда как наблюдаемые массы частиц СМ намного порядков меньше. Это значит, что энергия связи преонов должна почти компенсировать их кинетическую энергию. Но даже в этом случае разница масс между возбуждёнными

состояниями была бы очень большой, и поэтому второе и третье поколения фермионов не могут быть просто возбуждёнными состояниями первого поколения.

Попытки совместить парадокс массы с квантовой механикой или обойти его различными способами существенно усложняли модели. В результате, интерес к преонным моделям практически исчез и всё внимание было переключено на теории с несоставными частицами. Но они порождали больше проблем, чем решали и приводили к ещё более сложным наборам первичных частиц, чем даже сама СМ.

ДКМ реанимирует составные модели СМ, так как в ней есть механизм образования составных частиц малой массы, аналогичный механизму химических реакций между примесями. Этот механизм снимает парадокс массы, позволяя «обойти» соотношения неопределённостей [37,42].

Если в среде из тяжёлых атомов два лёгких атома с разными массами начали диффундировать на расстоянии намного больше длины свободного пробега, то механизм диффузии препятствует их дальнейшему сближению. Для образования составных частиц надо локализовать каждый из ансамблей примесных атомов в одном малом объёме и это ведёт к затрате энергии тем больше, чем меньше конечный объём локализации этих ансамблей. Однако, если две частицы вначале случайно оказались близки на расстоянии меньше длины свободного пробега и образовать связанное состояние (атомы образовали молекулу), то далее эта составная частица (молекула) диффундирует так же, как другие атомы, отличаясь лишь массой.

В статьях [37,42] было предложено использовать такой же механизм образования составных частиц малой массы и в ДКМ. Затем этот механизм был применён к простейшей из моделей преонов – модели рионов. Этот механизм практически снимает парадокс массы, сделав составные модели частиц СМ состоятельными и тем самым ещё более упрощает ситуацию с объединением полей.

Итак, составные модели частиц СМ представляют собой наиболее перспективное направление развития физики частиц и дополняют модели объединения взаимодействий. Успех составных моделей существенно уменьшил бы число фундаментальных частиц, включая и переносчиков взаимодействия, что позволило бы значительно упростить модели объединения и сузило бы круг возможных кандидатов на такие модели.

Гравитационная регуляризация открывает новые перспективы именно для составных моделей. Во-первых, предсказывается составной характер скалярного бозона, и притом в масштабах расстояний, которые могут быть доступны для экспериментов в недалёкой перспективе. В связи с этим теоретические проблемы составных моделей становятся наиболее актуальными и видимо вскоре будут решены.

Отметим, что более пристальное внимание к составным моделям и сосредоточение усилий на решении их проблем приведёт к тому, что дальнейший прогресс в физике частиц будет связываться с разумной с точки зрения исторической традиции перспективой - уменьшением числа первичных частиц и упрощением описывающих их моделей, включая и моделей объединения их взаимодействий.

3.10. Есть ли необходимость в суперсимметрии?

Возможное существование суперсимметрии, симметрии между бозонами и фермионами, позволяющее решить проблемы с бесконечностями в КТП и проблем объединения в физике частиц, была приоритетной гипотезой за последние полвека.

Были три ожидания от этой новой симметрии: взаимное сокращение нулевых энергий бозонов и фермионов, частичное сокращение бесконечностей в петлевых диаграммах, а также поиски более простых моделей объединения полей и частиц.

Идея о возможности сокращения нулевых энергий бозонов и фермионов следует из того факта, что при стандартном квантовании фермионных полей возникала не обычная нулевая энергия, а нулевая энергия отрицательного знака.

Однако, последовательное ШФ-квантование фермионов показало, что на самом деле фермионы в релятивистской теории не имеют нулевой энергии вообще. В прежней трактовке (отрицательная) нулевая энергия появлялась из-за того, что операторы античастиц вводились в фермионные полевые функции вручную. В трактовке ШФ же переход к античастицам не обязателен и поэтому нет и нулевой энергии. А если всё же переходить в картину античастиц, то это можно сделать в диаграммах конкретных процессов, используя перекрёстную или *СТР*-симметрию, что обычно и делается при расчётах. Но такой корректный переход не меняет энергию поля именно из-за указанных симметрий. Таким образом, из трёх основных аргументов в пользу суперсимметрии один, связанный с нулевыми энергиями, оказался теперь неактуальным.

Преимуществом суперсимметрии считалась также конечность некоторых петлевых поправок. Но для этого массы бозонов и фермионов должны были быть одинаковыми, а также должны были бы существовать суперпартнёры частиц. Но различия масс наблюдаемых частиц и размножение числа фундаментальных частиц из-за необходимости суперпартнёров делают идею суперсимметрии нереалистичной.

4. Проблемы гравитационного коллапса и их решения

Эффекты ОТО проверены во многих экспериментах и наблюдениях, но явления в экстремально сильных полях, таких как поля звёзд, испытывающих гравитационный коллапс, не только нетривиальны, но и наблюдались лишь косвенно. Поэтому возник ряд альтернативных трактовок, которые сначала должны были дать ответы на вопросы:

19. *Как описать структуру и эволюцию протяжённого объекта в ОТО?*
20. *Может ли поверхность коллапсирующей звезды пересечь её гравитационный радиус и упасть в центр?*

Общепринятая парадигма была основана на математических трюках с локальными решениями. Но с физической точки зрения главным является то, что части протяжённого объекта должны сосуществовать одновременно. Это значит, что положения его частей в любой момент времени должно описываться на гиперповерхности одновременности. Более того, эта гиперповерхность одновременности должна быть сшита на поверхности с гиперповерхностью одновременности внешнего мира, где задано поле звезды вне её.

Поэтому в ОТО физическая картина структуры и эволюции протяжённых объектов, таких как звёзды и поля, в конечном итоге должно описываться в терминах мирового времени, отмечающего эти гиперповерхности. Этот факт ведёт к решению следующих проблем гравитационного коллапса:

21. *Как коллапсирует оболочка и появятся ли у неё горизонт и сингулярность?*
22. *Как коллапсирует пылевая звезда и какой будет её структура?*
23. *Как коллапсирует заряженная звезда и как её гравитационное поле меняется при росте заряда?*
24. *Как коллапсирует вращающаяся звезда и появится ли у неё эргосфера?*
25. *Как меняется поле вращающейся звезды при росте её углового момента?*
26. *Может ли произойти релятивистский взрыв коллапсирующей звезды?*
27. *Имеют ли сколлапсировавшие звёзды «причёску»?*
28. *Могут ли сливаться две сколлапсировавшие звезды?*
29. *Чем сверхмассивные коллапсары отличаются от обычных?*
30. *Есть ли квантовое испарение сколлапсировавших звёзд?*

Эти результаты изложены в статьях [36,44] и в книге [52].

4.1. Как описать структуру и эволюцию протяжённого объекта в ОТО?

В классической (нерелятивистской) физике время абсолютно и гиперповерхности одновременности движущихся систем отсчёта одинаковы. Поэтому форма объекта не

зависит от её движения и сферический объект можно описывать в сферической системе координат в любой из систем отсчёта.

В СТО же время относительно и гиперповерхности одновременности движущихся относительно друг друга инерциальных систем разные. Поэтому шар сферически-симметричен только в системе покоя его центра, а в любой другой инерциальной системе, где центр шара движется, он становится эллипсоидом, сплюснутым вдоль вектора скорости центра. Поэтому в СТО сферические координаты уместны для описания такого тела только в его системе покоя и неадекватны симметрии тела в движущихся системах отсчёта.

При описании структуры и эволюции протяжённого объекта в ОТО положения его частиц также должны задаваться на гиперповерхности одновременности системы покоя его центра симметрии. События на этой гиперповерхности отмечаются моментами мирового времени t . Но событиям на мировой линии каждой частицы соответствуют моменты собственного времени τ . Поэтому эти события описываются в терминах двух видов времени, где каждый из них выражает только одно из двух основных свойств физического времени для данного объекта.

Описание эволюции в терминах τ , выражающем *локальный темп протекания физических процессов* в разных частях объекта, долго считалось стандартным. Но темп протекания собственных времён частиц замедляется в системе покоя центра объекта по двум причинам – из-за движения этих частиц, а также из-за гравитационного замедления собственных времён относительно мирового времени. Поэтому *одновременным* событиям в разных частях объекта соответствуют *разные* значения τ , а значит τ не даёт описания объекта в целом как совокупности частиц, сосуществующих одновременно.

Последнее реализуется лишь при описании в мировом времени t , выражающем *глобальную одновременность* событий как во всём объёме объекте, так и вокруг него. Это предполагает наличие синхронизированных мировых часов как внутри объекта, так и в его окрестностях, везде показывающих одинаковое значение t для одновременных событий. Отставание стандартных часов, сопутствующих частицам, от мировых часов выражает релятивистское и гравитационное замедление процессов с этими частицами.

При этом, как и релятивистское замедление собственного времени ускоренного объекта, гравитационное замедление необратимо и абсолютно. Это означает, что если стандартные часы в центре звезды отстают от таких часов на поверхности, а последние отстают от стандартных часов на большом удалении, то такое же соотношение времён этих трёх часов будут регистрировать наблюдатели в любой из систем отсчёта.

4.2. Может ли поверхность коллапсирующей звезды пересечь её гравитационный радиус и упасть в центр?

В ньютоновской теории ответ на этот вопрос был очевидным: если масса коллапсирующей звезды превышает нескольких масс Солнца, то да, её поверхность упадёт во внутрь гравитационного радиуса звезды и со сверхсветовыми скоростями быстро достигнет центра, где с остальным веществом звезды образует сингулярность, бесконечно плотное состояние.

Однако, в ОТО имеет место гравитационное замедление локальных собственных времён τ относительно мирового времени t и поэтому описания эволюции поверхности в терминах двух времён, τ и t , различаются. Таким образом, здесь ситуация не так очевидна и в результате возникли две трактовки процесса коллапса в ОТО.

Первая трактовка давала такой же сценарий, как и ньютоновская теория, так как в ОТО траектории частиц на поверхности звезды в терминах τ описывается той же формулой, что и в ньютоновской теории. Это привело к гипотезе чёрных дыр, доминировавшей в физике и астрономии в течение полвека. Эта трактовка дополняет ОТО гипотезой, что при описании событий на поверхности можно игнорировать

события во внешнем мире и считать τ способным идти независимо от t при достижении поверхностью гравитационного радиуса и падении во внутрь него. В результате, t считался «неудачным» выбором для временной координаты, не охватывающим события внутри гравитационного радиуса, и утверждая, что τ содержит такие события, описание в терминах этой координаты считалось дающим истинную картину.

Вторая трактовка даёт отрицательный ответ на указанный вопрос исходя из того факта, что в терминах t поверхность коллапсирующей звезды застывает вне её гравитационного радиуса, никогда не достигая его при конечном t . Причиной этого является гравитационное замедление τ и всех процессов в звезде, включая сам коллапс, в терминах t . При этом вблизи гравитационного радиуса τ практически перестаёт идти относительно t , что и означает гравитационное застывание. Эта трактовка в конечном итоге привела к теории фрозаров (frozar от frozen star, застывшая звезда), которая не вводит в ОТО новую гипотезу, но также и не игнорирует эффекты ОТО для сохранения ньютоновского сценария коллапса. Теория фрозаров лишь описывает полное застывание структуры звезды в терминах времени внешнего мира t как неизбежное следствие ОТО.

Мировые линии частиц поверхности в терминах t описывают каждый момент их существования в реальном мире и поэтому дают полную картину эволюции этих частиц, также как и поверхности в целом. То, что частицы на поверхности остаются вне гравитационного радиуса звезды за всё время существования внешнего мира, есть инвариантный факт, который констатируют все наблюдатели с любыми координатами.

Отметим, что в поле Шварцшильда [29], описывающем гравитационное поле вне и на поверхности сферической звезды, радиальная компонента метрики сильно возрастает, когда эта координата приближается к гравитационному радиусу звезды. При этом временная компонента метрики также сильно уменьшается. В двух вышеуказанных подходах эти факты трактуются по-разному.

В гипотезе чёрных дыр акцент делался на тот факт, что при переходе к локальным сопутствующим координатам на базе τ локально справедлива СТО. Из этого затем выводилось утверждение, что локальные наблюдатели пересекают гравитационный радиус точно также, как в ньютоновской теории.

Теория фрозаров [36,44] идёт дальше в анализе следствий таких преобразований физически измеряемых величин, в том числе собственных времён и радиальных расстояний, делая акцент на то, что здесь нельзя делать поспешных выводов. Дело в том, что ОТО привносит в эту картину ряд ограничений, отсутствующих в ньютоновской теории, и поэтому делать выводы без их учёта, как это и практиковалось ранее, означало бы выход за пределы ОТО, вследствие чего и выводы не имели бы отношения к ОТО.

Дело в том, что при переходе от глобальных шварцшильдовских координат к координатам локальных наблюдателей сингулярное поведение метрики лишь переносится от метрики на сами координаты. Поэтому исключить сингулярное поведение в компонентах метрики преобразованиями координат можно, но лишь ценой переноса сингулярности на сами координаты. Это означает, что пределы изменения новых координат будут содержать *новые ограничения*, которые обязательно надо указать. Явная сингулярность в метрике, после её переноса на координаты, становится *неявной*, выражаясь в ограничении пределов изменения новых координат. Поэтому если не указать эти новые пределы и незаконно распространять на новые координаты пределы прежних координат, то это просто ошибка, а не избавление от сингулярности.

В гипотезе чёрных дыр не учитывался тот факт, что в *бесконечном* интервале времени внешнего мира t соответствующий интервал собственного времени τ на поверхности звезды *конечен* и не содержит событий, соответствующих пересечению гравитационного радиуса и тем более движения внутри него. Поэтому чёрные дыры не имеют отношения к ОТО и есть результат незаконного выхода за пределы этой теории. Если учесть это отличие ОТО от ньютоновской теории, то приходим к теории фрозаров.

4.3. Как коллапсирует оболочка и появятся ли у неё горизонт и сингулярность?

Модель тонкой пылевой оболочки является простейшей и точно-решаемой моделью, показывающей основные свойства общерелятивистского коллапса. В терминах мирового времени t , времени внешнего мира, коллапсирующая оболочка застывает вне своего гравитационного радиуса, её внутренность остаётся плоской, а пробные частицы внутри неё также застывают в тех местах, в которых их застал процесс застывания. Мировые линии частиц оболочки в терминах t описывают каждый момент их жизни в реальном мире и поэтому дают полную картину эволюции оболочки.

Необратимое застывание относительно t всех физических процессов на и внутри оболочки из-за гравитационного замедления собственных времён есть то физическое явление, которое и останавливает коллапс оболочки. Факты замедления и последующего застывания относительно t локальных собственных времён и всех процессов являются ключевыми для понимания процесса коллапса также и других объектов.

Именно это фундаментальное физическое явление, застывание процессов при сильной гравитации в терминах мирового времени, времени внешнего мира, отличает релятивистский коллапс от ньютоновского, где такого механизма остановки процессов нет. Наличие в ОТО гравитационного застывания означает, что из двух интервалов физического времени один, для собственного времени, остаётся конечным даже тогда, когда второй, интервал мирового времени, стремится к бесконечности.

Коллапс тонкой пылевой оболочки приводит к образованию *полого фрозара*, объекта, полностью застывшего из-за собственной сильной гравитации. Он состоит из оболочки, застывшей над своим гравитационным радиусом, и пустой внутренности, где пространство плоское и где застыли также и пробные частицы. Полый фрозар не имеет «горизонта событий», так как оболочка застывает, не достигая гравитационного радиуса, не имеет и сингулярности в центре, так как внутренняя область остаётся пространственно-плоской и там частиц оболочки нет.

Ранее, экстраполируя на коллапс оболочки в ОТО ньютоновский сценарий, предсказывалось образование гипотетической *чёрной дыры* с горизонтом событий на гравитационном радиусе и бесконечной плотностью материи (сингулярностью) в центре, образованной из-за падения туда оболочки.

Однако, эволюция пылевой оболочки на гиперповерхности одновременности в системе покоя её центра показывает ошибочность с физической точки зрения такой экстраполяции. Одна из ошибок состояла в наивном утверждении, что не только в ньютоновской теории, но и в ОТО оболочка переходит гравитационный радиус в *конечный* момент t , но внешние наблюдатели не могут получить информацию об этом. В действительности же уравнения движения ОТО позволяют построить мировые линии частиц оболочки для любого конечного момента t и в каждый из этих моментов оболочка остаётся вне своего гравитационного радиуса (Рис. 4.1).

Итак, согласно ОТО оболочка застывает в терминах t , не достигнув своего гравитационного радиуса и становится *местом, где ничего не происходит*. Это так не только для внешних наблюдателей, но и пробных частиц внутри, которые застывают тоже, их мировые линии параллельны друг к другу и какого-либо падения в центр не произойдёт никогда.

При коллапсе оболочки вывод о формировании полого фрозара не связан с частным выбором координат, а остаётся верным для любого другого выбора физических координат, выражающих реальные расстояния и соотношения интервалов физических времён на оболочке и вдали от неё. Физические расстояния между частицами оболочки, а также положения пробных частиц, взятые в один и тот же момент t , будут одинаковыми для всех систем отсчёта и останутся практически неизменными в последующие моменты t .

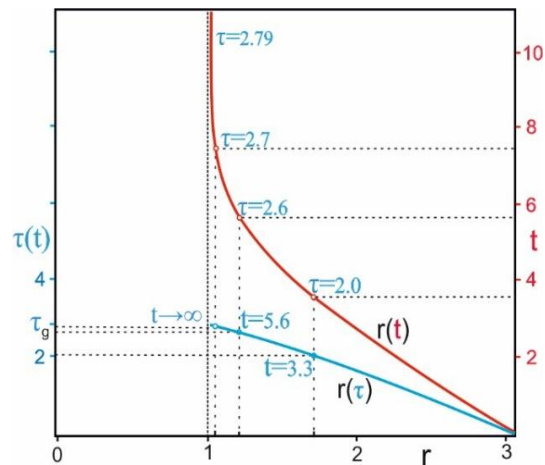


Рис. 4.1. Мировая линия падающей пробной частицы в терминах мирового времени t (шкала справа) и собственного времени τ (шкала слева).

4.4. Как коллапсирует пылевая звезда и как меняется её структура?

Звезда в целом как протяжённый объект есть совокупность одновременно сосуществующих частиц и поэтому её структура в системе покоя её центра должна быть задана как совокупность одновременных событий.

Это определение, естественное в СТО, не меняется и в ОТО. Для обычных звёзд, белых карликов и нейтронных звёзд гравитационное замедление времени невелико. В общем случае вне сферической звезды гравитационное поле статическое, а в статических полях одновременность событий определяется также, как в СТО. Это же относится и к поверхности такой звезды, где внешнее и внутреннее решения для поля сшиваются.

Для внутренних слоёв звезды есть точные решения уравнений ОТО для простых случаев, которые позволяют связать собственные времена частиц в слоях с собственным временем на поверхности. Отобрав вдоль мировых линий частиц слоёв те значения их собственных времён τ , которые отвечают событиям, одновременным с поверхностью, можно описать мгновенную структуру звезды в соответствующий момент t .

Структура и эволюция звезды в этой физической картине определяется из анализа точных решений уравнений поля и уравнений движения при физически корректно поставленных начальных и граничных условиях. Решение уравнений Эйнштейна для сферической пылевой звезды с локально-однородной плотностью, частицы которой падают радиально с параболической скоростью, нашли Оппенгеймер и Снайдер (ОС) в 1939 г. [23]. Они преобразовали известное локальное решение Фридмана (в форме Толмана [33]) в терминах τ в глобальное решение в терминах t . Решение ОС позволило описать структуру коллапсирующей звезды как совокупности одновременных событий.

Позже аналогичные решения были найдены также для эллиптической скорости падения двумя другими методами О. Клейном в 1961 г. [17] и С. Вайнбергом в 1972 г. [34]. Полное решение задачи коллапса однородной пылевой звезды в ОТО указанными тремя методами (ОС, Клейна и Вайнберга) для трёх выделенных скоростей падения (параболической, эллиптической и гиперболической) было дано автором в 2017 г.

[36,39,44]. Отметим, что эти три скорости, сохраняющие однородность плотности, соответствуют трём видам кривизны - плоскому, положительному и отрицательному.

В результате было показано, что в терминах t застывает не только поверхность звезды над её гравитационным радиусом, но и весь её объём. В ходе коллапса центр звезды застывает раньше других слоёв, после чего быстро застывает вся структура звезды. Это значит, что гравитационное замедление времени есть тот физический механизм, который останавливает коллапс звезды в терминах t . Каждый из внутренних слоёв застывает вблизи своего эффективного гравитационного радиуса, создаваемого веществом внутри этого слоя (с учётом влияния внешних слоёв).

Перед застыванием достаточно массивных звёзд их плотности ниже чем у нейтронной звезды и поэтому, если они не взорвались до этого, то коллапс таких звёзд происходит аналогично пылевой звезде с образованием *полностью застывшей звезды* или *фрозара*. Таким образом, коллапс звёзд в ОТО в любой конечный момент t , времени внешнего мира, приводит к фрозару, объекту имеющему почти однородную и практически застывшую внутреннюю структуру [36,39,44].

Графики мировых линий частиц звезды показывают внутреннюю структуру пылевой звезды в разные моменты t (Рис. 4.2). Мировые линии частиц в слоях приближаются к своим асимптотам на внутренних эффективных гравитационных радиусах, которые параллельны оси мирового времени. Слои, эквидистантные вначале, при застывании также останутся почти эквидистантными в нижних слоях и уплотняются лишь вблизи поверхности. Это показывает, что картина застывшей звезды относится как к поверхности, асимптотически приближающейся к гравитационному радиусу, оставаясь вне его, так и к структуре пылевой звезды в целом.

Отметим, что координаты Шварцшильда - это физические координаты в статическом поле, которые адекватно учитывают симметрии поля и измеряются стандартными масштабами вдоль окружностей и синхронно идущими вездe мировыми часами. Поэтому введение вместо них других параметров не меняет физических результатов, так как описание физических процессов и структуры объектов в конечном итоге сводится к измерению тех же реально измеримых физических координат частиц. Новые координаты, обычно просто некие параметры, которых часто невозможно измерить и для получения физически измеряемых величин надо вернуться к измеряемым физическим координатам, простейшие из которых и есть именно шварцшильдовские координаты. Поэтому изображение структуры и эволюции звезды с асимптотически застывающими слоями на гиперповерхностях одновременности будет воспроизведено во всех системах отсчёта с физическими координатами.

Из-за различия двух форм физического времени в ОТО, собственного времени τ и мирового времени t , были попытки считать реальными мифические «события» в нефизической области «после бесконечного мирового времени». Поверхности звезды при этом приписывалась мифическая способность пересекать гравитационный радиус в

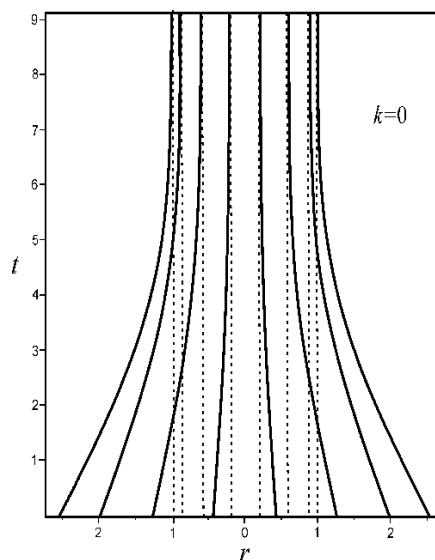


Рис. 4.2. Мировые линии частиц звезды вдоль диаметра (в единицах гравитационного радиуса) по решению ОС. При больших t частицы на поверхности застывают вне гравитационного радиуса, внутренние слои застывают около своих асимптот (пунктиры).

эпоху «после бесконечного мирового времени» и достигать центра за конечный интервал собственного времени, образуя сингулярность. Эта область математической физики стала известна как теория чёрных дыр и широко продвигалась. Однако, она не имеет отношения к реальным звёздам в физическом мире, существующем лишь на гиперповерхности одновременности при конечном значении t , времени внешнего мира.

При падении вещества на фрозар, в отличие от нейтронных звёзд, не будет вспышки излучения, так как около поверхности вещество быстро застывает и процесс его падения практически останавливается. Поэтому для внешнего наблюдателя падение вещества на фрозар будет очень «тихим». Это и ряд других свойств фрозаров согласуется с наблюдаемыми свойствами известных компактных объектов, «кандидатов в фрозары».

Итак, физическая картина коллапса звёзд в ОТО на гиперповерхностях одновременности принципиально отличается от сценария ньютоновской теории. При приближении поверхности коллапсирующей звезды к её гравитационному радиусу все процессы в звезде быстро застывают, и звезда становится фрозаром. Фрозар – это звезда с поверхностью вне гравитационного радиуса, внутренняя структура которой полностью застыла в том виде, в каком была перед застыванием. Фрозары не имеют горизонта и сингулярности и ведут к наблюдаемым эффектам, а область пространства, занимаемая ими, есть «место, где ничего не происходит».

Гипотеза же чёрных дыр, главные атрибуты которой (горизонт и сингулярность в центре) никогда и нигде не наблюдались, основана на ньютоновском сценарии, чисто формально внедрённом в ОТО. Эта гипотеза не имеет отношения к физике реальных явлений, так как основана на предположениях, которые естественны в ньютоновской теории, но не реализуемы ни в ОТО, ни в природе.

4.5. Как коллапсирует заряженная звезда и как её гравитационное поле меняется при росте заряда?

Если звезда имеет электрический заряд Q , то весь этот заряд будет сосредоточен на её поверхности, где достигается электростатическое равновесие (Рис. 4.3 а). Поэтому в статьях [47] была изучена простейшая точно решаемая модель – пылевой шар с зарядом на поверхности радиуса $r_b > r_g$, где r_g - гравитационный радиус нейтрального вещества шара, и была найдена метрика вне и на поверхности такого шара.

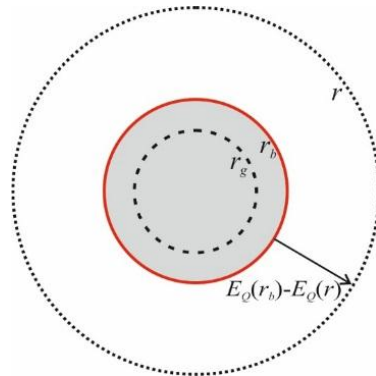


Рис. 4.3а. Гравитационное и электрическое поля шара. Заряд на поверхности $r_b > r_g$.

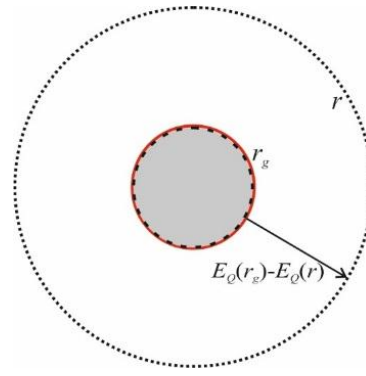


Рис. 4.3б. Гравитационное и электрическое поля фрозара. Заряд на поверхности $r_b = r_g$.

В этой модели электрическое поле есть только на поверхности и вне шара, а в метрику при радиальной координате r даёт вклад только энергия поля в слое между r_b

и $r > r_b$. В системе покоя центра шара метрика вне шара статическая и зависит от трёх независимых параметров – Q и r_b , а также массы нейтрального вещества шара M или гравитационного радиуса нейтрального вещества r_g .

В этой метрике с независимыми параметрами вклад в неё энергии электрического поля имеет тот же знак, что и вклад вещества и поэтому присутствие заряда не ослабляет, а усиливает гравитацию вне шара. В результате с ростом заряда усиливаются и эффекты гравитации, в частности, увеличиваются красные смещения, радиусы орбит фотонов и массивных частиц, растёт также и радиус тени (когда r_b меньше радиуса тени).

В ОТО коллапс пылевого шара, согласно решению Оппенгеймера-Снайдера [23] в терминах t , ведёт к образованию фрозара, звезды с гравитационно-застывшей структурой и с поверхностью над r_g (Рис. 4.3б). Поэтому метрика вне заряженного фрозара следует из метрики вне заряженного шара при $r_b \rightarrow r_g$. Из трёх параметров шара в метрике фрозара останутся лишь два независимых параметра – r_g и Q , а наблюдаемые следствия для фрозара такие же, как и для шара, но с $r_b \simeq r_g$ (Рис. 4.4а).

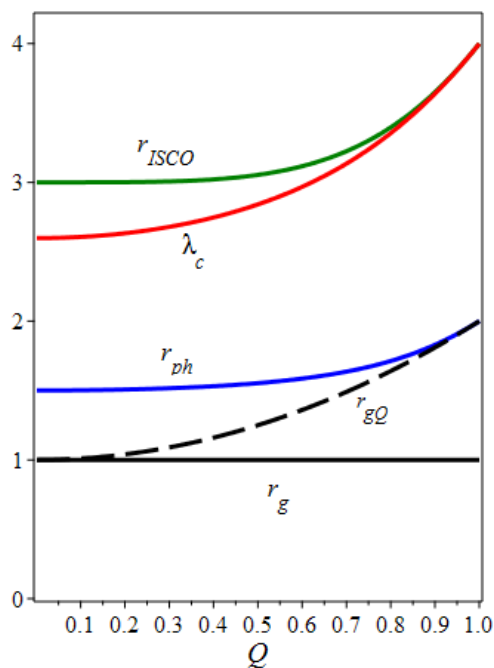


Рис. 4.4а. Радиусы орбит и тени вокруг фрозара при $r_g = 1$.

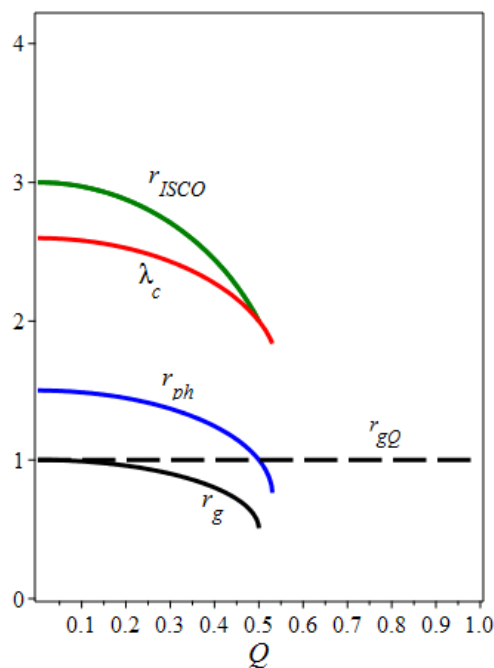


Рис. 4.4б. Радиусы орбит и тени в теории ЧД при $r_{gQ} = 1$.

Все эти следствия физически корректны, но они противоположны выводам теории чёрных дыр, которые делались исходя из стандартной метрики Рейснера-Нордстрёма. В этой метрике полная масса заряженного источника считалась константой, игнорируя её зависимость от заряда, что затем и вело к ошибочным предсказаниям об ослаблении эффектов гравитации при росте этих параметров (ссылки в [47]) (Рис. 4.4б). Эти предсказания были абсурдными, так как рост заряда, ведущее к увеличению энергии электрического поля, ослабляет гравитацию и все её эффекты, в частности, уменьшает радиусы орбит фотонов и массивных частиц, и радиус тени (Рис. 4.5).

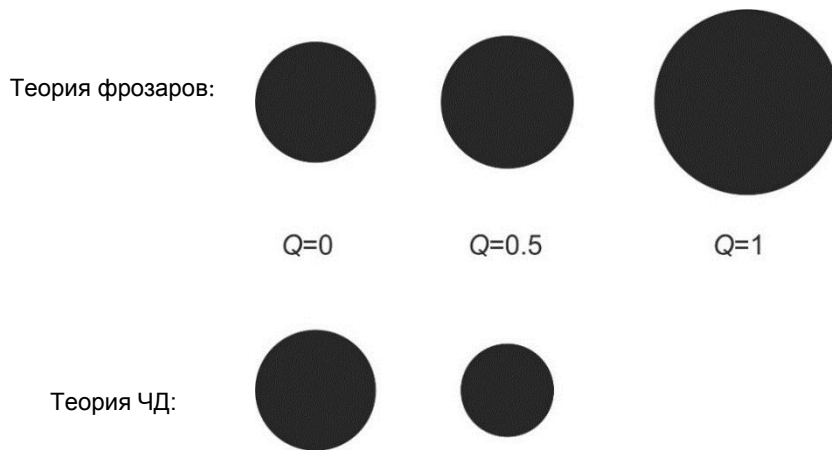


Рис. 4.5. Зависимость от заряда тени фрозара (вверху) и ЧД (внизу).

Полное решение задачи в теории фрозаров [47] состояло в нахождении метрики с независимыми параметрами, где вместо полной массы входит масса нейтрального вещества M , и рост заряда, увеличивая полную энергию из-за энергии электрического поля, усиливает гравитацию и её эффекты вокруг источника, как и должно быть в ОТО.

4.6. Как коллапсирует вращающаяся звезда и появится ли у неё эргосфера?

Пространственно-временной интервал между двумя событиями вокруг и на поверхности вращающейся звезды задаётся решением Керра [16]. В это решение входят гравитационный радиус на экваторе и угловой момент, ведущий к сплюснутости звезды.

Собственное время частицы на поверхности звезды замедлено по отношению к t как гравитационно, так и кинематически, при этом вдобавок к радиальной скорости частиц имеется также и угловая скорость. Последняя максимальна на экваторе и равна нулю на полюсах. Полная скорость частиц на поверхности относительно покоящихся локальных систем отсчёта асимптотически приближается к скорости света.

Поэтому при сжатии звезды частицы на поверхности около полюсов, как и в случае сферической звезды, застывают по мере приближения к гравитационному радиусу на полюсе. Но на других широтах полная скорость частиц на поверхности растёт по мере сжатия быстрее, чем на полюсах из-за роста угловой скорости. Поэтому расстояния от центра до точки на поверхности, где полная скорость стремится к скорости света, будут всё больше и больше. На экваторе это расстояние, зависящее от угловой скорости, достигнет максимума (Рис. 4.6).

Из метрики Керра следует, что в этом случае процессы на поверхности вращающейся звезды застывают в терминах t . Поверхность, таким образом, застывает оставаясь сплюснутым эллипсоидом вращения. Застывают также и внутренние слои, и звезда превращается в фрозар с угловым моментом.

Гравитационное замедление времени в слое звезды (в статической системе), как и у сферической звезды, определяется эффективным гравитационным радиусом на уровне этого слоя. Последний зависит как от внутреннего гравитационного радиуса, так и от

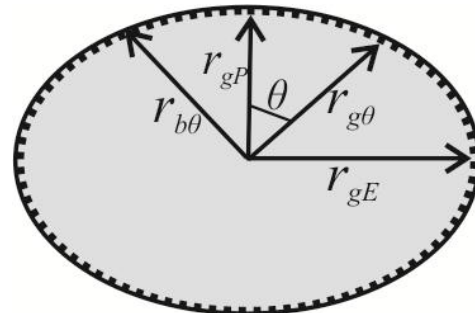


Рис. 4.6. Структура фрозара с угловым моментом и радиус-вектором поверхности $\mathbf{r}_{b\theta}$.

эффекта замедления времени, создаваемого веществом вне этого слоя. При этом момент импульса вращавшейся звезды сохраняется, а её внешнее поле остаётся таким же, как и до застывания, поскольку застывание не означает абсолютную остановку.

Итак, в статической системе отсчёта поверхность фрозара с угловым моментом перестаёт сжиматься радиально, оставаясь за пределами внешнего гравитационного радиуса метрики Керра, ранее считавшегося внешней границей эргосферы. Смысл же этой границы в том, что здесь локальная физическая скорость частиц поверхности достигла бы скорости света. Поскольку метрика внутри такого фрозара задаётся материальным решением и не является метрикой Керра, то такой фрозар не имеет эргосферы. Непосредственным результатом этого факта является отсутствие эффектов, связанных с возможным существованием эргосферы, таких как извлечение энергии вращения при попадании частиц в эргосферу путём последующего высвобождения.

Прежняя же экстраполяция решения Керра, являющегося вакуумным решением, во внутрь коллапсирующей звезды, не имела никаких логических оснований и была лишь нефизической математической абстракцией.

4.7. Как меняется поле вращающейся звезды при росте её углового момента?

Гравитационное поле в ОТО генерируется полной энергией вещества и полей материи внутри объёма, на границе которой определяется метрика. Поэтому, если источник вращается, то в полную энергию даёт вклад энергия вращения и эта энергия усиливает гравитационное поле вокруг источника. Это означает, что в ОТО рост углового момента, увеличивая полную энергию источника, должен усиливать гравитацию и её эффекты, в частности, увеличивать красные смещения (Рис. 4.7), экваториальные радиусы орбит фотонов и массивных частиц, площадь тени (Рис. 4.8б).

Однако, в теории чёрных дыр, исходя из метрики Керра, указывалось обратное, а именно, что рост углового момента *ослабляет* гравитацию и все её эффекты, в частности, *уменьшает* красные смещения, экваториальные радиусы орбит фотонов и массивных частиц, а также площадь тени коллапсара (ссылки см. в [47]) (Рис. 4.8а). Дело в том, что метрика Керра включала гравитационный радиус на экваторе, который зависит от параметра вращения и поэтому было ошибкой считать такой зависимый параметр константой, когда меняется параметр вращения.

В статьях автора 2022 г. [47] было дано корректное в рамках ОТО решение этой проблемы, состоящее в нахождении метрики с независимыми параметрами. В новую форму метрики Керра включает гравитационный радиус не на экваторе, а на полюсе, который в теории фрозаров определяется массой невращающегося вещества и не зависит от параметра вращения. В результате, теория фрозаров с модифицированной метрикой Керра предсказывает, что рост углового момента, увеличивая полную энергию, усиливает гравитацию и её эффекты вне коллапсара, как и требуется ОТО.

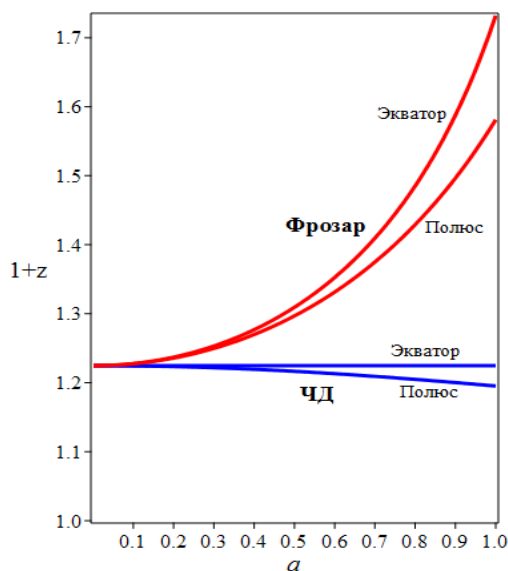
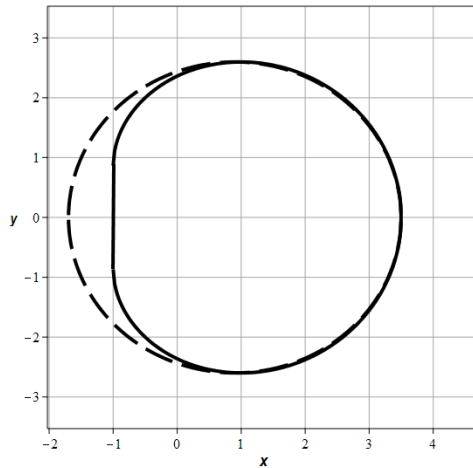
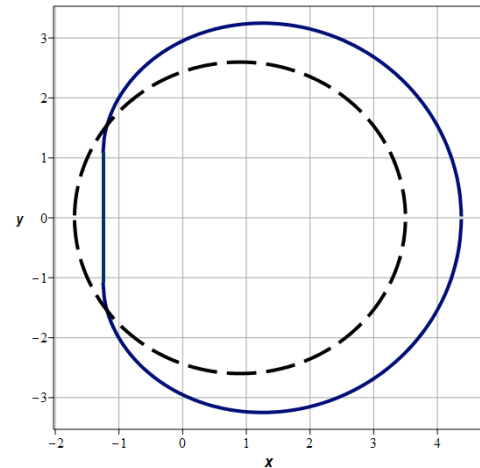


Рис. 4.7. Зависимость от a фактора красного смещения $1+z = g_{00}^{-1/2}(r, \theta)$ при $r = 3r_g$.

Рис. 4.8а. Контур тени ЧД при $a = r_{gE} / 2$.

Штриховая линия при $a = 0$ (сдвинута для сравнения площадей).

Рис. 4.8б. Контур тени фрозара с $a = r_{gP} / 2$.

Штриховая линия при $a = 0$ (сдвинута для сравнения площадей).

4.8. Когда может произойти релятивистский взрыв коллапсирующей звезды?

При рассмотрении сжатия *холодного* вещества (пылевого или с давлением) не учитывались температурные эффекты, что вело к полному и вечному гравитационному застыванию звезды с переходом в состояние фрозара. Если же учитывать эффекты температуры, то сжатие оказывается *горячим*.

Сначала рассмотрим случай сверхмассивной звезды. В этом случае при приближении поверхности звезды к гравитационному радиусу средняя плотность всё ещё остаётся малой и локально справедливо уравнение состояния идеального газа. В то же время локальная температура вблизи поверхности в терминах t быстро растёт.

Энергия падающего слоя около поверхности в локальных статических системах вдоль его пути возрастает. Если в случае пыли этот рост приводил только к росту кинетической энергии падающего слоя в каждой из этих локальных систем, то в газе часть этой кинетической энергии трансформируется в тепло и собственная температура слоя возрастёт. Около центра такой звезды локальная температура растёт быстрее, чем на поверхности. В результате, локальное давление вблизи центра также быстро растёт.

Таким образом, по мере сжатия сверхмассивной звезды малой плотности происходит экспоненциально быстрый (в мировом времени) рост локальных температур глубоко внутри гораздо больше, чем около поверхности, что ведёт к *неоднородному росту* локальных давлений. Локальные давления вблизи поверхности меняются мало, тогда как локальные давления в окрестности центра *растут экспоненциально быстро* (в мировом времени), что на какой-то стадии ведёт к *остановке и обратному расширению* внутренних слоёв звезды близких к поверхности, а далее и к расширению поверхности.

Отметим новый и нетривиальный релятивистский эффект, который состоит в том, что на первой стадии происходит всё большее сосредоточение основной массы-энергии звезды вблизи её поверхности с образованием полупустой центральной и средней областей и массивной приповерхностной оболочки звезды [20,36,44].

Из-за быстрого роста температуры вещество звезды переходит в горячую радиационно-доминированную фазу. Переход сначала центральных, а затем и верхних слоёв в такую фазу может остановить сжатие и привести к *релятивистскому взрыву*. В литературе есть немало свидетельств того, что в ОТО при численном моделировании с

использованием реалистичных уравнений состояния звезда переходит в состояние расширения.

Чем больше масса звезды, тем больше вероятность того, что застывание произойдёт быстрее разогрева и образуется фрозар. Но чем меньше масса звезды, тем больше вероятность того, что застывание будет недостаточно быстрым, а быстрый разогрев остановит сжатие и приведёт к отскоку или взрыву звезды.

В ходе сжатия значительная часть вещества окажется вблизи поверхности, где согласно ОТО физический объём сильно вырастает, а энергия сжатия трансформируется в тепло с переходом вещества в радиационно-доминированную фазу. Если звезда не успела застыть, то часть ультрарелятивистского вещества и радиации начинает быстро покидать звезду, что проявляется как релятивистский взрыв, а сам объект наблюдается как релятивистская сверхновая или гиперновая.

4.9. Имеют ли сколлапсировавшие звёзды «причёску»?

На поверхности белых карликов и нейтронных звёзд неоднородности малы из-за их сильной гравитации. Падающее на них вещество либо поглощается компактной звездой или его частицы постепенно равномерно распределяются по её поверхности.

В случае фрозаров ситуация противоположная из-за чрезвычайно предельно сильной гравитации: аккрецирующее вещество, падая около поверхности практически радиально, быстро застывает у поверхности, а поперечный размер аккрецирующего участка вещества не успевает возрасти. В результате вещество застывает сплюснутым радиально без растекания по поверхности.

Это приводит к неоднородному распределению упавшего на поверхность фрозара вещества, аналогичному массивным аномалиям (масконам) на поверхности Луны. При падении вещества из диска неоднородность максимальна вблизи экватора.

В частности, при радиальном падении нейтронной звезды на более массивный фрозар, вещество нейтронной звезды сплющивается и застывает на поверхности фрозара в виде локальной «причёски», крупного маскона (Рис. 4.4). Это порождает заметную локальную неоднородность гравитационного поля фрозара. Возможен и взрыв нейтронной звезды из-за поперечного сжатия при падении на фрозар, что может привести к наблюдаемой мощной вспышке.

Таким образом, формирование неоднородного ландшафта на поверхности фрозара отличает фрозаров от двух других классов компактных объектов - белых карликов и нейтронных звёзд. Наблюдаемые эффекты такого ландшафта, связанные с локальными аномалиями гравитационного поля фрозара – это новое направление для изучения структуры и истории формирования фрозаров [44].

Неоднородность распределения плотности вещества на поверхности фрозара приводит к неоднородностям гравитационного поля фрозара над этими областями поверхности. Эти неоднородности, хотя и уменьшаются с расстоянием, тем не менее ведут к наблюдаемым эффектам. В частности, для источников излучения на орбитах их можно

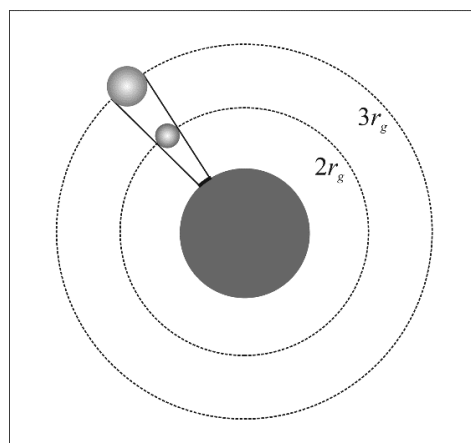


Рис. 4.4. Радиальное падение нейтронной звезды массы $1.5M_{\odot}$ на фрозар массы $7M_{\odot}$, что ведёт к сплющиванию нейтронной звезды (как маскона на Луне) и застыванию на поверхности фрозара как «причёски». Это ведёт к локальной неоднородности поля фрозара и его тени.

обнаружить с помощью методов гравиметрии, а также неровностей красных смещений вещества вокруг фрозара.

Наблюдаемыми следствиями таких возмущений метрики будут, в частности, небольшие отклонения в тени фрозара. Гравитационное отклонение световых лучей искажается возмущениями метрики и более сильное отклонение лучей от более массивного участка поверхности увеличивает границу тени над этой областью, так что граница тени будет содержать неровности.

Другой класс наблюдаемых эффектов связан с возмущением красных смещений и траекторий орбит объектов вокруг фрозара. Возмущения метрики могут привести и к дополнительной прецессии орбит, которая может наблюдаться по излучению обращающегося объекта.

Крупные неоднородности на поверхности ведут к появлению неоднородностей в диске вокруг фрозара, которые дают вклад в вариации его яркости и в некоторых случаях их возможно удастся отделить от других вкладов, особенно для сверхмассивных фрозаров.

4.10. Могут ли сливаться две сколлапсировавшие звезды?

В ньютоновской теории два компактных сферических объекта при слиянии образуют более массивный компактный объект, конечное устойчивое состояние которого также является в основном сферическим. Однако, в ОТО практическая остановка всех процессов в сильном поле означает также и остановку процесса слияния, так что два или более фрозара при сближении не смогут слиться. Они застынут на некотором расстоянии, образуя застывший кластер из двух или более фрозаров.

Пусть два фрозара равной массы и радиуса поверхности, очень близкие к их гравитационным радиусам, радиально падают к общему центру инерции, где расположен центр статической системы координат с мировым временем t . Гравитационный радиус системы вдвое больше гравитационного радиуса каждого из фрозаров. При падении радиальная координата центра каждого фрозара остаётся вне гравитационного радиуса системы из-за застывания всех процессов, включая падение, в терминах t (Рис. 4.5). Таким образом, в ОТО два фрозара не смогут слиться и происходит только их слипание. Такая же ситуация, ещё более наглядная, имеет место и для трёх фрозаров (Рис. 4.5).

Это особенно ясно в случае четырёх радиально падающих фрозаров одинаковой массы, расположенных на вершинах тетраэдра. Здесь гравитационный радиус системы примерно в четыре раза больше гравитационного радиуса любого из фрозаров (Рис. 4.5). Фактически застывшее скопление образует гравитационный кристалл, где расстояния между фрозарами в несколько раз превышают размеры каждого из них.

Результат слипания фрозаров есть наиболее крупная неоднородность в кластере из фрозаров. Эти неоднородности приводят к более сильным наблюдаемым эффектам, чем

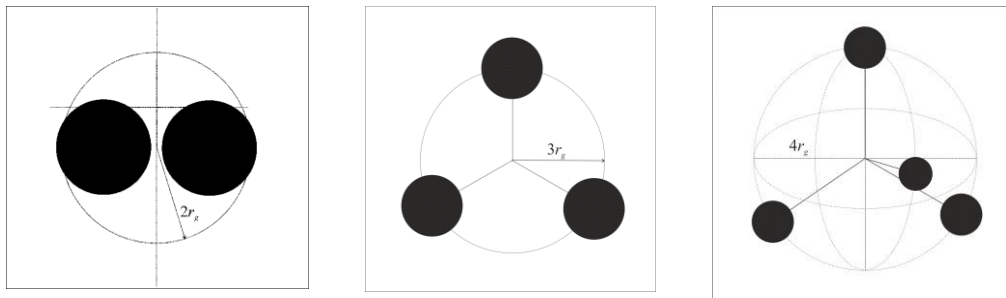


Рис. 4.5. Гравитационное застывание двух, трёх и четырёх фрозаров одинаковой массы на гравитационном радиусе центра инерции системы nr_g ($n = 2, 3, 4$).

рассмотренные выше эффекты от масконов на поверхности фрозара. Гравиметрия, а

также другие методы, связанные с изучением поведения орбит и дисков, также могут позволить изучать косвенно внутреннюю структуру таких кластеров фрозаров.

Кроме того, слияние двух фрозаров также приводит к более короткой и более слабой вспышке испускаемого излучения на заключительной стадии, включая гравитационные волны, чем при слиянии. Этот вопрос требует дальнейшего изучения с подробным численным моделированием процесса.

4.11. Чем сверхмассивные коллапсары отличаются от обычных?

Процесс роста фрозаров или их скоплений при аккреции с неоднородным застыванием на некоторых участках поверхности приводит к образованию гибрида фрозаров с обычным веществом. Этот процесс может привести к образованию фрозаров промежуточных масс, а также сверхмассивных фрозаров. В результате такие гравитационно-застывшие скопления очень большой массы образуют *новое состояние вещества*, которое видимо и инициировало образование галактик в более ранние эпохи или образовалось позднее из-за падения звёзд и газа в центры галактик.

В любом из этих случаев гравитационно-застывшие объекты, на много порядков превышающие массу Солнца, имеют сложную и неоднородную структуру, так как при их образовании массивные падающие объекты, в том числе целые звезды, разрушались приливными силами лишь частично, и большая часть их вещества сплющивалась и застывала на компактных участках поверхности.

Обычно при разрушении обычной звезды приливными силами фрозара звёздной массы образуется аккреционный диск вокруг фрозара. В случае же сверхмассивных фрозаров, где приливные силы малы, обычные звёзды и компактные объекты звёздных масс могут захватываться без потери основной части их вещества и тогда на конечной стадии, падая почти радиально, образуют над гравитационным радиусом системы сплюснутый маскон звёздной массы.

Итак, падение обычного вещества в течение долгого времени превращает скопления фрозаров в кластер из фрозаров и обычного вещества, так как упавшее вещество также застывает над гравитационным радиусом скопления. Поэтому при моделировании структуры компактных гравитационно-застывших массивных или сверхмассивных скоплений фрозаров надо учитывать образование гравитационно-застывших неоднородных кластеров фрозаров и обычной материи.

Неоднородность структуры сверхмассивного фрозара приводит к возмущениям газов, вращающихся вокруг него, что может вызвать турбулентности и колебания, которые также наблюдаемы и не могут быть объяснены обычными причинами.

4.12. Есть ли квантовое испарение сколлапсировавших звёзд?

При квантовых флуктуациях полей в статическом гравитационном поле мировые линии частиц обычные как внутри, так и на поверхности звезды и здесь энергия виртуальной пары частица-античастица положительная. Поэтому в поле звезды не происходит квантового рождения реальных пар частиц из вакуума.

В гипотезе чёрных дыр предсказывалось «квантовое испарение» этих чёрных дыр, так как если одна из частиц рождается внутри «горизонта событий» (гравитационного радиуса), то её энергия будет отрицательной и её падение в центр уменьшит полную энергию дыры, а вторая частица вне горизонта с положительной энергией могла покинуть окрестность звезды.

Поскольку в корректно решённой задаче коллапса в ОТО поверхность звезды застывает навечно вне гравитационного радиуса, а «горизонт» не образуется никогда, то этим исключается такое «испарение» коллапсара, так как энергии обеих частиц пары везде положительны.

Тем не менее, при вакуумных флуктуациях квантовых полей в окрестности фрозара один из квантов пары может упасть на фрозар, а другой может покинуть его

окрестности, если это разрешено законами сохранения (например, в присутствии термостата или внешних полей). В этом случае замораживание части квантовых флуктуаций в фрозаре ведёт к появлению эффективной энтропии и температуры.

Но, в отличие от гипотезы «квантового испарения» сколлапсировавших объектов, при таком рождении частиц за счёт энергии внешних источников масса фрозара растёт из-за поглощения частиц положительной энергии. Поэтому в этих случаях речь должна идти не об «испарении», а о «конденсации» на фрозаре остатков пар частиц.

5. Проблемы теории гравитации и их решения

ОТО, практически все предсказания которой подтвердились на экспериментах, даёт геометрическую теорию гравитации, где гравитация - это кривизна пространства-времени, возникающая из-за присутствия материи. Но ОТО не объясняет этот факт, а исходит из этого и поэтому за этой геометрической картиной должен лежать некий физический механизм, объясняющий почему материя искривляет пространство-время.

Поэтому, в основаниях теории гравитации оставались нерешёнными ряд проблем, из которых рассмотрим следующие:

31. *Был ли прав Максвелл в отношении природы гравитации?*
32. *Что лежит в основе принципа эквивалентности?*
33. *Каков физический механизм гравитации?*
34. *В чём физический смысл уравнений Эйнштейна?*

Решения этих проблем изложены в статьях [43] и в книге [50].

5.1. Был ли прав Максвелл в отношении природы гравитации?

В книге Дж. К. Максвелла «Динамическая теория электромагнитного поля» (1864) [21] есть весьма примечательный раздел «Замечание о действии силы тяготения» (в конце Части 5) с его гипотезой о физическом механизме гравитации.

«После того как мы проследили действие окружающей среды как на магнитные, так и на электрические притяжения и отталкивания... и нашли, что они обратно пропорциональны квадрату расстояний, мы, естественно, приходим к вопросу, нельзя ли свести притяжение гравитации, следующее такому же закону, к действию окружающей среды.

Тяготение отличается от магнетизма и электричества тем, что относящиеся к нему тела все одного и того же рода, вместо того чтобы обладать противоположными знаками ..., и что действующая между этими телами сила является притяжением...

Линии силы тяготения вблизи двух плотных тел имеют в точности ту же самую форму, что и линии магнитной силы около двух одноименных полюсов; но в то время как полюсы отталкиваются, тела притягиваются. Пусть E будет внутренней энергией поля, окружающего два тяготеющих тела... Если R представляет собой результирующую силу тяготения..., то ...

$$E = C - \sum R^2 dV / 8\pi.$$
 Следовательно, внутренняя энергия поля тяготения должна быть меньше там, где существует результирующая сила тяготения.

Так как всякая энергия по своему существу положительна, то невозможно, чтобы какая-либо часть пространства обладала отрицательной внутренней энергией. Поэтому те части пространства, в которых нет результирующей силы... должны обладать внутренней энергией на единицу объёма, большей на $R^2 / 8\pi$, где R - наибольшее возможное значение силы тяготения в любой части вселенной.

Следовательно, предположение, что тяготение возникает от действия окружающей среды указанным выше путём, приводит к заключению, что каждая

часть этой среды обладает, будучи невозмущённой, громадной внутренней энергией и что присутствие плотных тел влияет на среду в сторону уменьшения этой энергии, где только имеется результирующее притяжение.

Поскольку я не могу понять, каким образом среда может обладать такими свойствами, я не могу идти дальше в этом направлении в поисках причины тяготения.» (Дж. К. Максвелл, [21] с. 308).

В современных обозначениях энергия гравитационного поля в нерелятивистском приближении и слабом поле даётся выражением $E = -\sum (\nabla \varphi)^2 dV / 8\pi G$, где φ - ньютоновский потенциал и G - гравитационная константа, т.е. $R = \nabla \varphi / \sqrt{G}$.

Итак, уже более полутора столетия назад Максвелл заметил, что если потенциал Ньютона относится к полю, то *плотность энергии этого гравитационного поля отрицательна*. Так как он считал это недопустимым с точки зрения физики, то понял, что этот факт кое-что говорит о физическом механизме гравитации. А именно, догадался, что разумным выходом из этой ситуации является предположение, что в пространстве есть некая среда с большим запасом положительной энергии S , большей по модулю величины наиболее глубокой из «гравитационных потенциальных ям». Тогда плотность энергии гравитационного поля есть локальный дефицит плотности энергии этой среды.

Его основной вывод, что «...каждая часть этой среды обладает, будучи невозмущённой, громадной внутренней энергией и что присутствие плотных тел влияет на среду в сторону уменьшения этой энергии», реализован в ДКМ, основанной на существовании флуктуирующего фонового скалярного поля. Как было показано в статьях [43] (см. ниже), отрицательность энергии ньютоновского поля, вызывавшая сильную озабоченность Максвелла, естественным образом объясняется в диффузионной теории гравитации, следующей из ДКМ, и именно так, как Максвелл и предполагал.

Отметим, что ньютоновская гравитация есть частный случай ОТО для слабых полей и поэтому вывод об отрицательности энергии гравитационного поля относится и к ОТО, т.е. это не просто устаревший недостаток ньютоновской теории.

5.2. Что лежит в основе принципа эквивалентности?

Полноценное объяснение физической природы гравитации должно включать учёт релятивистских эффектов. Диффузионная трактовка гравитации в ДКМ поэтому будет состоять из сочетания квантовых и релятивистских явлений.

Но как первый шаг рассмотрим простой случай, когда неоднородности плотности энергии фонового поля малы и постоянны во времени. Эти два упрощения позволяют вывести из ДКМ те базовые физические свойства гравитации, из которых исходили обе прежние теории, ньютоновская и эйнштейновская. Эти следствия ДКМ должны проявиться также и на уровне классической физики, т.е. после усреднения по квантовым флуктуациям и поэтому следствия ДКМ будем анализировать в рамках классической механики с релятивистскими поправками низшего порядка.

В ДКМ скорость света c есть скорость флуктуаций частиц в фоновом скалярном поле, а энергия флуктуаций частиц массивного тела, или её «тепловая энергия», равная энергии покоя Mc^2 , есть та энергия, которую частицы тела получили от фонового поля. Энергия самого фонового поля, соответственно, уменьшилась на эту величину, вследствие чего скорость флуктуаций отдельных частиц вблизи массивного тела будут медленнее, чем вдали от него. Но если скорость флуктуаций вблизи тела c' меньше c , то c' становится зависящим от расстояния до массивного тела, а энергия покоя частицы вблизи массивного тела, соответственно, оказывается равной mc'^2 .

Эта понизившаяся энергия покоя может быть выражена через «невозмущённую» энергию покоя в виде: $mc'^2 = mc^2 + m\varphi$. Здесь $\varphi = -(c^2 - c'^2)$ и эта отрицательно-

определённая функция играет роль «потенциала» частицы в эффективном внешнем поле, в поле замедления флуктуаций в фоновом поле в окрестностях массивного тела.

Итак, изменение состояния фонового скалярного поля вблизи массивного тела сводится в первом приближении к появлению потенциальной энергии $U = m\varphi$ взаимодействия частицы с эффективным внешним полем, которая пропорциональна массе частицы и потенциалу поля замедления флуктуаций φ .

Полная энергия частицы с дрейфовой скоростью $\mathbf{v}$ тогда содержит кроме кинетической энергии $m\mathbf{v}^2 / 2$, также энергию покоя mc^2 и потенциальную энергию $m\varphi$. Уравнение движения в результате принимает вид: $\mathbf{a} = -\nabla\varphi$. Здесь $\mathbf{a}$ - ускорение частицы из-за разницы в скоростях флуктуации в соседних точках фонового поля. Так как масса частицы выпадает из уравнения движения, то, следовательно, все частицы в эффективном потенциале φ *ускоряются одинаково, независимо от их масс*.

Это следствие диффузионной трактовки гравитации в ДКМ выражает основное отличительное свойство гравитации, отсутствующее у других полей. Ранее этот факт, открытый Галилеем экспериментально, был положен в основу ОТО. *Принцип эквивалентности*, постулированный Эйнштейном на основе этого факта, привёл к аналогии с поведением частиц в ускоренных системах отсчёта и далее, в рамках ОТО, позволил открыть геометрическую природу гравитации [4].

5.3. Каков физический механизм гравитации?

В сплошных средах при погружении в них холодного компактного тела происходит нагрев этого тела до температуры среды в этой области. Этот нагрев тела, отбирая часть тепловой энергии среды, ведёт к локальному охлаждению этой области среды относительно других областей. Результатом же локального охлаждения среды, до его релаксации, является уменьшение тепловой энергии частиц (атомов, молекул) в этой области, что снижает интенсивность флуктуаций всех частиц, как среды, так и примесных, по сравнению с другими областями с прежней температурой. Появление же градиента температуры в среде приводит к потоку тепла, а также к термодиффузионному потоку примесей.

В ДКМ при большой концентрации классических частиц в флуктуирующем фоновом скалярном поле происходят такие же процессы. Интенсивность флуктуаций частиц в этой области снижается из-за передачи энергии фонового поля частицам в виде энергии их флуктуаций. Это локальное уменьшение плотности энергии фонового поля далее ведёт к термодиффузионному потоку других классических частиц в эту область с более низкой энергией флуктуаций.

Однако теперь не обязательно, чтобы градиент плотности энергии фонового поля приводил к «потоку тепла» в более «холодную» область и к релаксации с выравниванием локальных плотностей энергии. В данном случае замедление флуктуаций означает также замедление локального темпа времени, так как здесь замедляются все процессы. А это приводит, как и в ОТО, к двум видам температуры – в терминах локальных собственных времён и в терминах мирового времени. Тепловое равновесие при этом наступает при равенстве температур в терминах мирового времени, тогда как локальные температуры могут быть разными в разных местах.

В ДКМ консервативная (сохраняющая среднюю энергию) диффузия классических частиц в фоновом поле при её однородной плотности энергии объясняет формализм квантовой механики. При этом даётся физическое объяснение и двум фундаментальным фактам - флуктуации энергии частиц в фоновом поле («тепловая» энергия) проявляется как их энергия покоя, а соответствующее понижение энергии фонового поля около массивного тела отождествляется с гравитацией по следующим причинам.

В ДКМ полная энергия системы «частица + фоновое поле» сохраняется. Так как на флуктуации частицы затрачивается часть энергии фонового поля, равная энергии

покоя частицы, то энергия самого фонового поля в окрестности частицы становится меньше на эту величину. Влияние отдельных микрочастиц на энергию фонового поля незначительно, но массивное тело в своей окрестности заметно понижает плотность энергии фонового поля. Это уменьшает энергию флуктуаций частиц в этой области и ведёт к термодиффузионному потоку частиц в эту область, при этом этот поток растёт с ростом массы тела, породившего данную неоднородность.

Приращения скорости, из-за консервативности диффузии, кумулятивные, т.е. накапливаются. При этом появляющееся термодиффузионное ускорение не зависит от масс ускоряемого тела, так как каждая из частиц тела испытывает то же самое ускорение, как и все остальные. В результате мировые линии частиц искривляются одинаково и все процессы с ними замедляются, что равносильно замедлению собственных времён.

Тем самым, локальный дефицит энергии фонового поля ведёт к консервативной термодиффузии и воспроизводит основные свойства гравитации. На гиперповерхности одновременности, где задано фоновое поле, возникают эффективные метрика, связность и кривизна, а уравнения Эйнштейна для метрики следуют из баланса энергий в системе «массивное тело + фоновое скалярное поле».

Гравитация в результате оказывается следствием ДКМ, проявлением квантовых флуктуаций частиц в неоднородном фоновом поле, т.е. диффузионной гравитацией. Диффузионная трактовка гравитации ведёт к ряду наблюдательных следствий в астрофизике (эффект тёмной материи) и в космологии (фиолетовое смещение в более ранние эпохи), которые рассмотрены в Части 6.

Итак, фундаментальным следствием консервативной диффузии в ДКМ является соответствующая термодиффузия в неоднородном фоновом поле, где неоднородность плотности энергии фонового скалярного поля порождается присутствием вещества. Эта термодиффузия и оказывается искомым физическим механизмом гравитации.

Поскольку эта трактовка основана на квантовых представлениях, то она реализует некую новую форму синтеза теории гравитации и квантовой теории. Из двух базовых постулатов современной физики, о существовании квантовых флуктуаций и гравитации, ДКМ оставляет как постулат только первую, а вторая оказывается её следствием, т.е. теория гравитации становится частью квантовой теории.

Задачами для дальнейших исследований становятся в основном причины и механизмы флуктуаций фонового поля, тогда как принятие этих флуктуаций как наблюдательного факта приводит к простой и ясной физической картине как квантовых, так и гравитационных явлений, значительно упрощая ситуацию в основаниях физики.

5.4. В чём физический смысл уравнений Эйнштейна?

Одним из основных постулатов ОТО является то, что гравитация порождается энергией-импульсом источника. В диффузионной трактовке энергия фонового поля вокруг массивного тела понижена на величину энергии флуктуаций её частиц (т.е. их энергии покоя). Таким образом, энергия покоя всего тела формируется из той энергии, на которую уменьшилась энергия фонового поля в её окрестностях. Поэтому сумма энергии покоя тела и дефицита энергии фонового поля вокруг него равна нулю.

Понижение плотности энергии фонового поля около массивного тела и её плавное восстановление по мере удаления от него можно описывать в диффузионной картине, в терминах гравитационного потенциала или кривизны пространства-времени.

В общем случае условие баланса энергий массивного тела и фонового поля вокруг него должно быть записано локально, т.е. через плотность энергии и импульса тела с одной стороны, и функции, характеризующей геометрию пространства-времени, с другой стороны, что и приводит к уравнениям Эйнштейна для гравитационного поля [4].

Более ясная физическая картина проясняет и вопрос с энергией гравитационного поля в системе покоя источника, а во всех остальных системах отсчёта эту энергию можно найти преобразованием её значений в системе покоя.

Тем самым, теория диффузионной гравитации представляет собой следующий шаг в понимании природы гравитации после ОТО. Из этой теории, как было показано выше, естественным образом следуют как принцип эквивалентности, так и связь полевых величин с энергией-импульсом материи. Поэтому новая трактовка естественным образом воспроизводит формализм ОТО, но уже не как формально-математической модели, а как геометрического метода описания диффузионной гравитации, когда не обязательно уточнять её микроскопический механизм.

6. Проблемы космологии и их решения

В релятивистской космологии [5,10,18] с начала её формирования были три фундаментальные проблемы, которые практически игнорировались до сих пор:

35. *Проблема двойного красного смещения в релятивистской космологии.*
36. *Есть ли аберрация в космологии?*
37. *Меняется ли темп собственных времён в ходе расширения?*

В основе фридмановских моделей [10] лежит предположение о постоянстве темпа собственных времён в ходе расширения. В результате, при совместном учёте вкладов растяжения длин волн и эффекта Доплера, которое в ОТО обязательно, возникала проблема двойного красного смещения.

В статьях [45] было показано, что снятие этого предположения и переход к более общей модели, допускаемой ОТО, к космологии с замедляющимся временем (КЗВ), решает указанные три проблемы. КЗВ не содержит тёмной энергии и других проблем прежних моделей с ранней вселенной, т.е. она решает также следующие проблем:

38. *Существуют ли космологическая постоянная и тёмная энергия?*
39. *Проблемы фридмановских моделей космологии и их решения.*

Проблемами, которые решаются в новой модели исходя из наблюдений, являются:

40. *Существует ли тёмная материя?*
41. *Каковы кривизна и глобальная структура вселенной?*

Решения всех этих проблем космологии изложены в [45] и в книгах [50,53].

6.1. Проблема двойного красного смещения в релятивистской космологии

Если бы пространство во вселенной было бы плоским и статическим, то фотоны от удаляющихся источников поступали бы с *доплеровским красным смещением*. В нашей системе покоя это красное смещение, возникшее при испускании, уже не менялось бы в пути и фотоны прибывали бы к нам с начальным доплеровским смещением независимо от расстояния [22]. Тогда наблюдаемый рост красных смещений с расстоянием объяснялся бы ростом скорости удаления источников, независимо от физического механизма такого поведения скоростей.

Если пространство является *расширяющимся*, как этого требует ОТО, то фотоны от *не сопутствующего* источника, покоившегося относительно нас, не содержат доплеровского сдвига. Вместо этого, в пути длины волн этих фотонов растягиваются из-за расширения пространства, и они прибывают с *красным смещением из-за растяжения*. Это - чисто космологическое красное смещение, растущее с ростом расстояния.

Таким образом, имеются два независимых механизма космологического красного смещения: первый, эффект Доплера для фотона от любого удаляющегося источника, возникает вначале, а второй, растяжение длин волн фотонов от любых источников, возникает в пути в ходе распространения. Эти два механизма независимы друг от друга. Действительно, доплеровское смещение происходит у фотонов от любого источника, удаляющегося в системе покоя наблюдателя, и оно не зависит от того, добавится ли к

этому начальному смещению ещё что-то позднее в пути. Аналогично, растяжение длин волн в расширяющемся пространстве произойдёт у любого фотона, независимо от того, было у него начальное доплеровское смещение или нет.

В расширяющемся пространстве объекты, *сопутствующие* расширению, удаляются от нас со скоростями, растущими с расстоянием. Поэтому в нашей системе покоя фотоны от таких источников испускаются с доплеровским красным смещением вначале, а затем в пути приобретают дополнительное красное смещение из-за растяжения их длин волн. Это легко проверить, если вблизи такого источника окажется другой источник, покоящийся в нашей системе покоя, фотоны от которого придут без эффекта Доплера и только с растяжением длин волн.

Итак, космологическое красное смещение сопутствующих расширению объектов содержит вклад обеих механизмов, а не одного из этих эффектов. Но при предположении, что начальная длина волны тогда совпадала с длиной волны фотонов у нас здесь и сейчас, реально наблюдаемые красные смещения соответствуют вкладу лишь одного из этих механизмов. Таким образом, теория предсказывает два вида красных смещений, которые дают вклад совместно, а наблюдения показывают наличие вклада только одного этих механизмов. Это - *проблема двойного красного смещения*.

При малых скоростях вклад обеих видов красного смещения одинаков, что и было причиной путаницы в трактовке природы смещения. Если скорости не малы, то эффект Доплера содержит релятивистские вклады и возникают различия.

В стандартной формулировке релятивистской космологии как причина красного смещения указывался лишь один из этих двух механизмов, игнорируя второй. Одни авторы утверждали, что причина - эффект Доплера, а другие – растяжение длины волны в пути в ходе расширения пространства. Такая двойственность в объяснении красного смещения была проблемой, но вместо её решения был создан *миф*, что эти две трактовки являются эквивалентными способами описания одного и того же физического явления. Исходя из этого мифа при учёте одного из эффектов полностью игнорировался другой. Тем самым, фактически теория подгонялась к наблюдениям, так как учёт обеих видов смещения привёл бы к удвоению предсказаний в полном противоречии с наблюдениями.

Как было показано в [45], согласие теории с наблюдениями должно достигаться не игнорированием одного из двух независимых физических явлений, что является ошибкой, а поиском третьего, допустимого в ОТО механизма, компенсирующего вклад одного из двух видов красного смещения.

Ключ для решения проблемы двойного красного смещения дало переосмысление считавшегося очевидным предположения о том, что начальная частота фотона совпадала с частотой фотонов у нас сейчас. В ОТО это ограничение не обязательно и возврат в КЗВ к более общему случаю решил проблему двойного красного смещения (см. раздел 6.3).

6.2. Надо ли учитывать аберрацию в космологии?

Аберрация, изменение направления на источник света и его видимой светимости из-за относительной скорости, является одним из основных оптических эффектов в астрономии, учёт которого позволяет исключить оптические искажения.

Однако, в релятивистской космологии, где скорости удаления источников достаточно большие, аберрация не принималась во внимание. Причиной этого была трактовка красных смещений только как результата растяжения длин волн. Иногда аберрация учитывалась в ньютоновских моделях без расширения пространства.

Как было показано в разделе 6.1, в космологическое красное смещение дают вклад как растяжение, так и эффект Доплера. Но в релятивистской кинематике если источник удаляется, то эффект Доплера и аберрация определяются одними и теми же факторами и поэтому наличие эффекта Доплера ведёт также и к аберрации. Эти два эффекта влияют на свойства потока фотонов вместе – первый уменьшает частоту фотонов, а второй – число фотонов внутри данного телесного угла.

При увеличении телесного угла конуса число фотонов в конусе прежней величины уменьшится, что означает снижение видимой светимости. В расширяющейся вселенной такое уменьшение плотности светового потока от удаляющихся объектов должно быть учтено. Из-за абберрации удаляющиеся источники будут казаться более тусклыми, чем покоившиеся источники на таком же расстоянии.

Необоснованное игнорирование же абберрации, как это было до сих пор, приводило к систематическому завышению расстояний до источников или же к недооценке их абсолютных светимостей. Для объяснения такого «загадочного» потускнения затем вводились разные гипотезы и главной из них была гипотеза об ускоренном расширении, для обоснования которой затем была введена другая гипотеза - о тёмной энергии.

6.3. Меняется ли темп собственных времён в ходе расширения?

Проблема двойного красного смещения в расширяющейся вселенной не имеет решения в фридмановских моделях, где темп собственных времён постоянен. Этот факт делает эти модели несостоятельными из-за противоречия их фактического предсказания (двойное красное смещение) данным наблюдений (одинарное красное смещение).

Первый шаг для решения проблемы – это найти ответ на вопрос: что говорит космологический принцип о начальной длине волны фотонов от далёких источников?

Космологический принцип требует, чтобы средняя плотность материи везде была одинаковой, но лишь при условии, что эти плотности везде берутся *в один и тот же момент локальных собственных времён*, т.е. на «гиперповерхности одновозрастности». Поэтому из ОТО и космологического принципа следует, что длина волны фотона при его испускании вдали в более раннюю эпоху совпадает с длиной волны такого же фотона, испущенного здесь вблизи нас также *в ту же самую раннюю эпоху* (с учётом эффекта Доплера). Это означает, что космологический принцип, требуя одинаковости частот и длин волн фотонов, испущенных в разных местах в одну и ту же эпоху, не накладывает ограничений для фотонов, испущенных в разных местах *в разные эпохи*.

Поэтому, чтобы сделать второй шаг для решения проблемы двойного красного смещения, надо ответить на вопрос о том, как связаны друг с другом длины волн фотонов, испускаемых *в одном и том же месте, но в разные эпохи*. В ОТО имеется свобода в выборе темпа собственных времён в разные эпохи космологического времени и выбор может быть сделан только исходя из данных наблюдений. Эти данные же показывают, что проблема двойного красного смещения решается только если темп собственного времени везде замедлялся в ходе расширения.

При замедляющемся собственном времени в каждой точке надо выбрать как эталон время одной из эпох. Для нас естественно выбрать эталоном темп времени нашей эпохи, так как сигналы от прежних эпох сравниваем с сигналами в наше время. В такой модели *космологии с замедляющимся временем* (КЗВ) нет проблемы двойного смещения.

Прежде в основном изучалось влияние на космологическую эволюцию роста расстояний между объектами, а в КЗВ изучается также влияние роста интервала времени между событиями. Оказалось, что релятивистская космология с расширяющимся пространством согласуется с наблюдениями только если темп собственных времён был быстрее в прежние эпохи и замедлялся в ходе расширения.

Дело в том, что в этом случае к двум механизмам космологического красного смещения, эффекту Доплера и растяжению, добавляется и третий механизм - фиолетовое смещение для фотонов, испущенных в более ранние эпохи. Этот новый вид смещения компенсирует в пути красное смещение из-за растяжения длин волн и будет наблюдаться лишь доплеровское красное смещение.

Наблюдения уже в линейной части зависимости красных смещений от расстояния отвергают модели с метрикой Фридмана, ведущие к двойному красному смещению и согласуются лишь с КЗВ с одинарным конечным смещением. Как было показано в [45],

новое соотношение «модуль расстояния-красное смещение» согласуется с данными наблюдений и описывает их без тёмной энергии или других умозрительных гипотез.

КЗВ приводит также к ряду нетривиальных следствий для ранней вселенной и позволяет естественным образом решить космологические проблемы прежних моделей.

6.4. Каковы знак и величина гравитационного смещения частот в космологии?

В расчёте гравитационного смещения частот фотонов в космологии были два метода, которые давали смещения противоположного знака.

В первом методе (Бонди, 1947 [55]) фотон считался покидающим шар с центром у его источника и поэтому к наблюдателю на периферии этого шара поступал с гравитационным *красным* смещением (Рис. 6.1, сфера В). Во втором методе (Зельдович и Новиков, 1975 [55]) фотон от источника на периферии шара с центром у наблюдателя считался падающим к центру этого шара и поэтому поступал с гравитационным *фиолетовым* смещением (Рис. 6.1, сфера А). В обоих этих методах удивительным был тот факт, что при замене местами наблюдателя и источника смещение частоты фотонов меняет знак, что противоречит космологическому принципу. Почти полвека никто не усматривал противоречия между этими двумя методами и тем более между обеими ими и космологическим принципом. Ситуация доходила до абсурда, когда некоторые авторы, описывая эффект по второму методу, где смещение фиолетовое, ссылки делали на статью о первом методе, где оно красное.

В 2021 г. автор сформулировал третий метод, корректно решающий проблему [46]. Было показано, что на частоту фотонов влияет лишь вещество шара *между* источником и наблюдателем, с центром посередине между ними (Рис. 6.1, сфера С). Поскольку обе они находятся на периферии этого шара, то в статическом мире гравитационного смещения не было бы.

Но в расширяющемся мире этот шар также расширяется и поэтому при обмене фотонами между источником и наблюдателем будет наблюдаться гравитационное красное смещение частот поступивших фотонов из-за разности гравитационного потенциала шара в точках их испускания и приёма. При этом смещение частот красное как для фотонов от источника к наблюдателю, так и для фотонов от наблюдателя к источнику, в полном согласии с космологическим принципом.

Рассмотренный эффект является результатом влияния на фотоны материи в ограниченной окрестности наблюдателя, до данного источника, и поэтому в масштабах всей вселенной является *локальным* гравитационным красным смещением.

Однако, нестационарность космологической метрики приводит также и к *глобальному* гравитационному красному смещению, определяемому материей всей вселенной. Оно следует из того факта, что в моменты испускания и приёма фотонов средние плотности материи разные и поэтому гравитационное замедление времени,

наблюдений. Этим достигается согласие между космологией и физикой частиц в проблеме энергии вакуума.

В то же время, в ДКМ вводится фоновое поле, уменьшение плотности энергии которой и проявляется как гравитация. В КЗВ поэтому некий аналог тёмной энергии имеет место, но кривизну создаёт не вся плотность энергии этого фонового поля, а лишь та её небольшая часть, которая перешла в энергию материи, а сама плотность уменьшается со временем. Поэтому в КЗВ нет проблемы космологической постоянной.

6.6. Проблемы фридмановских моделей космологии и их решения

В прежних фридмановских моделях возникал ряд космологических проблем, в частности, проблемы горизонта, однородности, плоскостности, энтропии и начальной сингулярности. В КЗВ этих проблем нет и основными причинами являются изменения в уравнивании эволюции и то, что в ранние эпохи скорость света была гораздо выше и радиус горизонта возрастал с более высокой скоростью, чем нынешняя скорость света.

Проблема плоскостности и тонкой настройки. В фридмановской модели в ранние периоды пространство становится плоским с большой точностью. В КЗВ проблемы плоскостности нет, так как параметр кривизны в ранние эпохи, как оказалось, меняется по другому закону. Поэтому нет нужды и в так называемой «тонкой настройке», вызывавшей проблемы в прежних моделях.

Проблемы однородности, изотропности и горизонта. В фридмановской модели эти проблемы возникали из-за того, что при расширении вселенной размер причинно-связанной области (горизонта) рос медленнее, чем размер самой вселенной. Реликтовый поток перестал взаимодействовать с веществом после эпохи рекомбинации и плотности излучения в причинно-несвязанных областях никак не могли быть выровнены, но из этих областей поступают в среднем изотропные и однородные потоки, что было необъяснимо. В КЗВ этих проблем нет, так как крупномасштабная однородность и изотропность распределения материи были следствиями причинной связи разных областей в условиях более быстрой скорости света и более быстрой эволюции.

В эпоху доминирования радиации и в эпоху рекомбинации частицы вещества диффундировали как небольшая примесь в высокотемпературном газе фотонов. В те эпохи почти ультрарелятивистские частицы диффундировали быстро, выравнивая любую заметную неоднородность в распределении вещества и излучения в причинно-связанных областях. Так как в КЗВ скорость света была быстрее в терминах времени нашей эпохи, а радиус кривизны вселенной и размер причинно-связанной области возрастали в ранние эпохи тоже быстрее, чем в фридмановской модели, то в КЗВ проблема горизонта не возникает.

6.7. Существует ли тёмная материя?

Космологические модели устанавливают пределы для плотности небарионной тёмной материи. В КЗВ нет такой необходимости, хотя и в принципе незначительная примесь такой материи не исключается. В любом случае, как практическое отсутствие, так и наличие небольшой доли тёмной материи лишь немного меняет другие параметры теории и поэтому в КЗВ нет проблемы тёмной материи.

Предварительное исследование возможного с точки зрения диффузионной трактовки гравитации растяжение ньютоновского потенциала в ранние эпохи показало, что наблюдаемые эффекты, обычно приписываемые тёмной материи, могут быть объяснены таким растяжением [45].

Сохранение энергии фонового скалярного поля в расширяющемся объёме приводит к новому сценарию, в котором значения потенциала сохраняются на границах этого объёма, а значит в физическом объёме они станут растянутыми. В результате, в расширяющемся объёме значения гравитационного потенциала будут сопутствовать расширению.

Радиус гравитационно-связанной области растёт со временем из-за уменьшения скорости расширения и различные слои вокруг галактики перестают расширяться в разное время. Таким образом, чем дальше расположен слой от галактики, тем дольше он расширялся и утолщался, в то время как разность потенциалов на его границах оставалась неизменной. Это сдвигает значения потенциала вокруг галактики пропорционально расстоянию и, как результат, гравитационное ускорение падает обратно пропорционально расстоянию, как у центростремительного ускорения.

Этот факт естественным образом объясняет известные эмпирические факты, такие как плато в кривых вращения и зависимости скорость-масса для галактик и дисперсию скоростей в скоплениях галактик.

6.8. Каковы кривизна и глобальная структура вселенной?

Бесконечность пространства в ньютоновской космологии приводила к ряду проблем, которые были практически неразрешимы. В релятивистской космологии тоже есть модели «открытой» вселенной бесконечного объёма (с плоским и гиперболическим пространствами), в которых возникают такие же проблемы.

Вначале возможность «закрытой» вселенной конечного объёма в виде трёхмерной сферы казалась одной из главных достоинств релятивистской космологии. Тем более, как выяснилось позже, объяснить Большой Взрыв в пространстве конечного объёма естественнее, чем в бесконечном пространстве. Однако, в фридмановской модели не удавалось согласовать параметры закрытой модели с наблюдательными данными и такие модели считались бесперспективными и далёкими от реальности.

Но в КЗВ кривизна пространства в нашу эпоху не играет такую решающую роль, как в фридмановских моделях. При этом модель закрытой вселенной оказалась вполне допустимой при тех параметрах, которые описывают наблюдательные данные. Поэтому возможность в КЗВ реанимации моделей вселенной конечного объёма может стать одним из наиболее радикальных изменений в физической картине мира в целом.

7. От СТО и ОТО к локальной и глобальной теориям относительности

Как в СТО, так и в ОТО локальные и глобальные релятивистские эффекты описывались не обращая внимания на принципиальные различия между ними. В статье [49] было показано, что каждый из этих двух классов эффектов универсален и поэтому фактически описывается отдельной теорией.

Во-первых, описания в локальных системах отсчёта (ЛСО), связанных локально-лоренцевыми преобразованиями, образуют *локальную теорию относительности* (ЛТО). ЛТО универсальна, так как принцип локальности позволяет применять её к неинерциальным ЛСО, а принцип эквивалентности - к ЛСО в гравитационном поле:

42. *ЛТО - это локальная форма СТО и поэтому универсальна.*

Во-вторых, описание явлений в протяжённых областях с помощью глобальных систем отсчёта (ГСО), построенных из ЛСО на гиперповерхностях одновременности, образует отдельную теорию, *глобальную теорию относительности* (ГТО). ГТО тоже является универсальной теорией, применимой как в плоском, так и в искривлённом пространстве-времени:

43. *ГТО как физическая часть ОТО на гиперповерхностях одновременности.*

В результате локальные части СТО и ОТО в терминах физических координат составили ЛТО, а глобальные их части образовали ГТО. Тем самым, фрагменты СТО и ОТО оказались частями двух универсальных теорий, каждая из которых единым образом описывает явления как в плоском, так и в искривлённом пространстве-времени.

Выяснение этого обстоятельства позволило дать чисто физическое описание явлений квантовой и гравитационной физики, пользуясь методами этих универсальных

теорий. Они сняли ряд прежних проблем, которые в рамках ОТО долго не имели однозначного решения:

44. Следствия ЛТО и ГТО для квантовой и гравитационной физики.

Классическая механика в своё время была переформулирована без изменения её физических основ - из формы ньютоновской механики приняла более универсальные формы лагранжевой и гамильтоновой механик, которые взаимно дополняли друг друга. ЛТО и ГТО, будучи образованными из физических частей СТО и ОТО, также исходят из их физических принципов, но, описывая разные аспекты физических явлений, каждая из них универсальна, и они взаимно дополняют друг друга.

При этом ГТО, в отличие ОТО с её произвольными координатами, ограничена лишь физическими координатами, которые только и имеют физический смысл. В ГТО вся нефизическая часть ОТО принимает вид параметрической инвариантности, которой не придаётся физического смысла, считая это математическим свойством формализма, полезным лишь для решения математических задач.

Более детально ЛТО и ГТО изложены в статье [49] и в книге [53].

7.1. ЛТО - это локальная форма СТО и поэтому она универсальна.

ЛТО, представляющая собой локальную форму СТО, состоит в дополнении классической механики *принципом постоянства скорости света* во всех ЛСО [3]. Это приводит к наличию в пространстве событий инвариантных (светоподобных) изотропных линий. В результате ось времени выступает не просто как четвёртая координата, а становится той координатой, которая делает пространство событий 4-мерным псевдоевклидовым пространством. Переход от одной ЛСО к другой, движущейся относительно первой, происходит тогда в виде поворота пространственной и временной осей координат навстречу друг к другу. В результате одновременность событий оказывается относительной и разные ЛСО имеют разные гиперповерхности одновременности. Переход между ЛСО даётся локально-лоренцевым преобразованием.

Интервалы времени измеряются с помощью одномоментных событий. Измерение расстояний, т.е. сравнение их с эталоном длины, производится одновременной фиксацией концов масштабов, т.е. одновременными событиями. Относительность одновременности, различие гиперповерхностей одновременности, приводит к базовым релятивистским эффектам – замедлению собственных времён и сокращению масштабов.

Первым и наиболее часто используемым применением ЛТО является случай плоского пространства без гравитации, когда ЛСО становятся локальными ИСО и входят в состав глобальной ИСО. Все понятия и соотношения ЛТО, приведённые выше, были открыты именно в этом частном случае, в рамках СТО, являющейся теорией явлений в глобальных ИСО и по которой имеется обширная научная и учебная литература. Локальные ИСО в разных местах данного ИСО взаимно неподвижны и поэтому для локальности ЛСО ограничения во времени необязательны.

В плоском пространстве-времени без гравитации имеются также неинерциальные ЛСО, которые также описываются ЛТО. Это следует из того факта, что ускорение $\mathbf{a}$ локально не влияет на темп хода стандартных часов и на длины стандартных масштабов (свойство локальности). Это свойство локальности имеет место потому, что изменения в темпе хода часов и длине масштабов могут зависеть лишь от чётной степени ускорения, $\mathbf{a}^2$ и выше, которыми можно пренебречь в случае слабых ускорений. При сильных ускорениях для свойства локальности нет таких прямых аргументов, но эксперименты пока не противоречат ему и поэтому, имея опираясь на эксперименты, его часто называют *принципом локальности*. Косвенным аргументом же является то, что в гравитационном поле имеется его аналог – *принцип эквивалентности*, который подтверждён экспериментами [4]. Учитывая эти три факта, принцип локальности можно считать справедливым во всех неинерциальных ЛСО.

Следовательно, две неинерциальные ЛСО в окрестности одного и того же события связаны между собой локально-лоренцевым преобразованием и в них имеет место локальная лоренц-инвариантность. Для большего упрощения ситуации часто вводятся сопутствующие локальные ИСО, в которых локальная лоренц-инвариантность очевидна. Для них локальность означает также и кратковременность, ограниченность временем сопутствия.

В ЛСО, покоящихся в гравитационном поле, вместо принципа локальности справедлив принцип эквивалентности, согласно которому локально справедлива ЛТО. Поэтому и в этом случае для ЛСО имеет место локальная лоренц-инвариантность. В НСО в гравитационном поле принцип эквивалентности в сочетании с принципом локальности также ведёт к локальной лоренц-инвариантности.

Итак, ЛТО есть локализованная форма СТО, которая, в отличие от СТО в целом, применима как в неускоренных, так и в ускоренных ЛСО, при этом как в плоском, так и в искривлённом пространстве-времени. В ЛТО базовые релятивистские эффекты для движущихся локальных ИСО, замедление времён и сокращение длин, являются результатом относительности одновременности. Из-за несовпадения гиперповерхностей одновременности, все явления в движущихся локальных ИСО приходится проецировать на гиперповерхность одновременности покоящейся (базовой) локальной ИСО, что и приводит к релятивистским эффектам.

7.2. ГТО как физическая часть ОТО на гиперповерхностях одновременности.

В ЛТО события в окрестности каждой точки пространства описываются в терминах локальных пространственных координат и локальных собственных времён одной из ЛСО используя стандартные часы и стандартные масштабы. В результате, в точке А задаётся «А-время» одной из ЛСО, а в близкой точке В, задаётся «В-время» другой ЛСО, но не определено общее для А и В «время» [3]. Такая же ситуация с длинами масштабов.

Рассмотрим поэтому определения времён и длин, общих для двух ЛСО в А и В. Для этого в событии O , выбранной как начало пространственных координат и времени, выберем одну из ЛСО в этой точке как *базовую*. Затем из семейств ЛСО в каждой точке также выберем по одному ЛСО, который покоится относительно базовой ЛСО в момент времени *одновременный* с событием O . В этот момент времени в такой одновременно сосуществующей в разных точках совокупности ЛСО синхронизуем их стандартные часы (эйнштейновским методом), а также непрерывно состыкуем их соседние пространственные триады, состоящие из стандартных масштабов. Описанная процедура есть метод построения глобальной системы физических координат на гиперповерхности одновременности, которая (вместе с телом отсчёта) образует *глобальную СО* (ГСО). Если синхронизация нарушится через некоторое время, то ГСО просуществует хотя бы в этот небольшой промежуток времени.

Физическая система координат в пространстве формируется исходя от свойств симметрии физической системы, которая описывается данной ГСО. Пространство без учёта влияния полей и частиц является однородным и изотропным и наиболее полно эти симметрии пространства выражает декартова система координат. Но, если в физической системе имеется сферическая симметрия, можно строить сферическую систему и т. д.

Вводя ГСО, тем самым выходим за пределы ЛТО и теорию, описывающую события путём введения ГСО можно назвать *глобальной теорией относительности* (ГТО) [49]. Согласно ГТО, в каждой из ГСО физическая реальность предстаёт как совокупность частиц и полей, мгновенно сосуществующих в пространстве на некоторой гиперповерхности одновременности, где множество ЛСО в разных точках, образующих ГСО, сосуществуют одновременно в терминах времени базовой ЛСО.

7.2.1. Глобальные ИСО в плоском пространстве-времени.

В плоском пространстве-времени принцип относительности и принцип постоянства скорости света справедливы в ГТО в глобальной форме, т.е. законы физики, включая постоянство скорости света, одинаковы во всех глобальных ИСО. Таким образом, ГТО в данном простейшем случае воспроизводит СТО.

Принцип относительности в этом случае принимает форму *глобальной лоренц-инвариантности*. При учёте однородности пространства и времени, ведущей к трансляционной инвариантности, группой симметрии, становится группа Пуанкаре.

В ЛТО замедление времён и сокращение длин в движущихся локальных ИСО были результатами проецирования на гиперповерхность одновременности покоящейся локальной ИСО. В глобальной ИСО ситуация такая же, но теперь уже глобально.

Для нас важен тот факт, что рассмотренный выше глобальный аспект СТО – построение глобальной ИСО на гиперповерхности одновременности базовой ЛСО, оказывается более универсальной конструкцией, чем сама СТО. Будучи применимым как для неинерциальных ГСО, так и для ГСО в гравитационном поле, эта конструкция лежит в основе ГТО, теории также универсальной, как и ЛТО.

7.2.2. Протяжённые ГСО в плоском пространстве-времени.

В плоском пространстве-времени ГСО, состоящее из ЛСО с разными скоростями и/или ускорениями (меняющимися непрерывно в соседних точках) образует *неоднородную ГСО*. В ней справедлив принцип локальной лоренц-инвариантности и элементами ГСО являются только ЛСО связанные с соседними ЛСО локально-лоренцевыми преобразованиями и сдвигами. Кроме того, релятивистская причинность требует, чтобы любая ГСО, как единая система материальных объектов, состояла из одновременно сосуществующих ЛСО. Поэтому ГСО должна быть построена на гиперповерхности одновременности одной из глобальных ИСО, выбранной как базовая.

Если один из двух часов испытает ускорение, то будут отставать часы, испытывавшие ускорение, так как пространственно-временной интервал вдоль не прямой мировой линии меньше, чем у прямой мировой линии. В частности, при осцилляциях и флуктуациях частиц их собственные времена замедляются необратимо по сравнению с собственным временем частицы, покоящейся в ИСО, и процессы в них происходят медленнее, чем у неускоренного объекта.

В плоском пространстве-времени построение неоднородных протяжённых СО из ЛСО на гиперповерхности одновременности базовой ИСО, таким образом, есть первая стадия глобализации ЛТО. Это позволяет корректно выйти за пределы ИСО при описании физических явлений и является начальной стадией построения ГТО как глобализации ЛТО или выделения физической части ОТО. Далее эту процедуру можно будет использовать и для описания событий в гравитационном поле.

Отметим здесь ключевую роль требований причинности при построении неоднородной ГСО, которые означают, что положения частей такой протяжённой конструкции как ГСО должны фиксироваться одновременно хотя бы в одной глобальной ИСО, которая будет считаться базовой (лабораторной) ИСО. Неоднородная ГСО строится на её гиперповерхности одновременности, и при этом в каждый момент на эту гиперповерхность проецируются пространственные оси всех ЛСО. В частности, для сферически-симметричной физической системы преимущественной (собственной) глобальной ИСО является та, где покоится её центр симметрии, поскольку только в ней система сферически-симметрична, а во всех остальных ИСО является эллипсоидальной.

7.2.3. Гравитационное поле в покоящихся ГСО.

Основными в понимании физических основ ГТО для неинерциальных СО в плоском пространстве-времени были два факта. Первый факт – это то, что ГСО – это система физических координат как совокупности стандартных масштабов, снабжённых стандартными часами, состыкованных в данный момент времени базовой глобальной ИСО. ГСО может образовать только система масштабов и часов, сосуществующих одновременно хотя бы в одной глобальной ИСО, а значит ГСО должна быть построена на гиперповерхности одновременности этой ИСО. Второй факт – это справедливость в этих ГСО принципа локальности, выражаемой локальной лоренц-инвариантностью. Это существенно ограничивает общековариантность, на которой была основана ОТО, так как исключаются нелоренцевы преобразования.

ГТО также позволяет построить последовательную теорию гравитационных полей реальных источников. Но, для решения этой задачи нет нужды в движущихся СО, так как эффекты гравитации в чистом виде проявляются в ГСО, *покоящейся* относительно источника поля. В этом случае принцип эквивалентности утверждает, что ЛСО *покоящиеся* в гравитационном поле эквивалентны ЛСО *ускоренно-движущимся* в плоском пространстве-времени. Это означает, что в гравитационном поле, как и в ускоренно-движущихся ЛСО, локально справедлива ЛТО и поэтому соседние ЛСО, покоящиеся в гравитационном поле на гиперповерхности одновременности базовой ЛСО, связаны между собой неким аналогом локально-лоренцевых преобразований.

Вначале общая ковариантность считалась эвристическим принципом, из общих следствий которой с помощью локально-лоренцевой инвариантности следует отобрать физически-реализуемую часть [4]. При всех проверках ОТО в экспериментах неявно учитывался именно этот факт, что физическое содержание ОТО даётся только этой её частью. Для отражения этого обстоятельства в формализме ОТО были развиты разные методы, такие как тетрадная, гамильтонова и биметрическая формулировки, которые частично решали эту задачу. Однако, каждый из них не решал проблему в целом, а объединить их в единый метод не удавалось.

В ГТО, изначально основанной только на физических координатах ЛСО, нет проблемы исключения нефизических аспектов, но вышеуказанные методы, которые были развиты в рамках формализма ОТО, могут применяться как инструменты ГТО. Тем самым, ГТО как ОТО в физических координатах, заданных на гиперповерхности одновременности базовой ЛСО, сохраняет физическую часть ОТО, включая все экспериментально наблюдаемые следствия, и исключает нефизическую часть ОТО.

7.3. Следствия ЛТО и ГТО для квантовой и гравитационной физики.

При экстраполяции ОТО в области, где не было прямых проверок, картина физической реальности часто искажалась. Теория, будучи излишне общей, включала и нефизические элементы, такие как произвольные системы отсчёта и их координаты, так что при применениях ОТО к реальным системам с физическими координатами всегда надо было уточнять, какая её часть описывает реальные события, а какая нет.

В простых случаях это несложно, а при экстремальных условиях базовые понятия теории надо было приводить в соответствие релятивистскими ограничениями в окрестности каждой локальной системы. Поэтому задача отделения физической части ОТО от нефизической была фундаментальной проблемой, решение которой должно было превратить реалистичную часть ОТО в последовательную физическую теорию, всем следствиям которой можно было бы доверять полностью.

ГТО, как такая физическая часть ОТО, оперирует физическими координатами, основанными на определении расстояний и времён вместе с физическими компонентами метрики, выражающими геометрию пространства-времени в данном гравитационном поле. Переход от одних физических координат, измеряемых стандартными масштабами и часами, к другим физическим координатам производится для упрощений и удобств,

которые даёт учёт симметрий описываемой физической системы. Примером является переход от декартовых координат к сферическим в системе со сферической симметрией. Но такой переход не может изменить геометрию пространства-времени в системе покоя источника и лишь вносит геометрические и кинематические искажения в эту картину.

В частности, ЛТО и ГТО описывают локальные и глобальные свойства гравитации, отделяя эффекты поля от эффектов движения. Такое отделение можно производить разными методами, в частности, с помощью биметрического формализма, где одна метрика описывает геометрию ГСО, а другая – геометрию пространства-времени, а энергия и угловой момент гравитационного поля описываются тензорами.

В ГТО эволюция протяжённых объектов, таких как звёзды, поля и Вселенная в целом, описывается в терминах двух видов времени, каждый из которых выражает одно из двух основных свойств физического времени. Собственное время τ выражает локальный темп физических процессов в ЛСО, а описание протяжённого объекта как совокупности одновременно существующих частиц производится в терминах мирового времени t , который выражает глобальную одновременность событий в ГСО.

В физике частиц ГТО ведёт к гравитационной регуляризации петлевых диаграмм на планковской длине (см. Часть 3), в релятивистской астрофизике компактных объектов ведёт к теории фрозаров (см. Часть 4), а в космологии – к модели с замедляющимся временем на гиперповерхностях одновременности, где эффекты растяжения компенсируются начальным фиолетовым смещением и наблюдаются только вклады доплеровского красного смещения и абберации (см. Часть 6).

8. Контуры и перспективы теоретической физики 21-века

В Части 1 статьи было отмечено, что произошедший кризис в фундаментальной физике был вызван отходом от естественно-научной методологии, а возврат к последней с учётом некоторых новых идей может привести к новой физике. В Частях 2-7 было показано, что это действительно так и ниже будут кратко рассмотрены некоторые итоги, которые позволяют наметить контуры новой физики и её перспективы.

1. *Контуры теоретической физики 21-века.*
2. *Научные аспекты новой физики.*
3. *Социальные аспекты новой физики.*

Перспективы и методология физики более детально рассмотрены в книге [54].

8.1. Контуры теоретической физики 21-века.

1. *Диффузионная квантовая механика (ДКМ).* В квантовой механике частицы флуктуируют и поэтому сохранение концепции евклидова пространства и классической изолированной частицы вместе с сохранением энергии и импульса такой частицы вполне возможны, если эти флуктуации считать свидетельствами существования флуктуирующего фонового поля. Согласно принципу относительности, это поле должно быть скалярным, а случайные взаимодействия частиц с ним должны приводить к консервативной диффузии ансамбля этих частиц. Скорость движения частиц между взаимодействиями с фоновым полем также должна быть инвариантной и поэтому равняется скорости света, а тепловая энергия флуктуаций проявляется как энергия покоя частиц. Такая более общая теория квантовых явлений, ДКМ, как оказалось, может быть сформулирована исходя из физических принципов, следующих из экспериментальных фактов. При однородном фоновом скалярном поле ДКМ воспроизводит формализм квантовой механики, включая и квантовую статистику, на базе классических понятий. ДКМ даёт новый механизм малой массы для составных систем, решая парадокс массы в составных моделях кварков и лептонов и делает эти модели состоятельными.

2. *Диффузионная гравитация.* Учёт обратного действия большой концентрации частиц на плотность энергии фонового поля, оказывается, воспроизводит свойства

гравитации. Диффузионная трактовка квантовой теории поэтому ведёт к диффузионной трактовке гравитации как дефицита плотности энергии фонового поля в окрестности массивных тел. Этот дефицит возникает потому, что энергия покоя тела оказывается тепловой энергией, переданной фоновым полем частицам этого тела в виде энергии их флуктуаций. Баланс энергий между телом и фоновым полем в его окрестностях поэтому ведёт к уравнениям Эйнштейна и всем соответствующим физическим следствиям ОТО.

3. *Квантование релятивистских систем без нулевой энергии.* Релятивистские поля в ковариантной формулировке КТП изначально имеют состояния с обеими знаками энергии. В трактовке Штюкельберга-Фейнмана частицы с отрицательной энергией идут только назад во времени и описывают античастицы с положительной энергией идущие только вперёд во времени. Эта трактовка становится последовательной при аккуратном определении интегралов по времени в функции действия и ведёт к состояниям только с положительной вероятностью. Минимальные лагранжианы полей и струн ведут к гамильтонианам без нулевой энергии вакуума. Этот факт частично решает проблему космологической постоянной. Теории струн же становятся тривиальными, так как нет конформной аномалии, а значит нет и выделенной размерности пространства.

4. *Конечная квантовая теория поля с гравитационной саморегуляризацией.* В КТП внешнее гравитационное поле квантов большой энергии в петлевых диаграммах замедляет их собственные времена относительно времени удалённых наблюдателей. На планковской длине, гравитационном радиусе квантов планковской энергии, все процессы застывают для этих наблюдателей и поэтому не дают вклада в вероятности процессов. Застывание квантовых флуктуаций означает сильное красное смещение высоких частот вплоть до их зануления, т.е. гравитация квантов ведёт к их саморегуляризации. Нелинейность полей усиливает гравитационные эффекты, а значит и застывание, что ещё сильнее подавляет вклады больших энергий. Конечность поправок от малых расстояний делает состоятельными и неперенормируемые модели, если эти поправки малы вплоть до планковской энергии, что и имеет место для квантовой гравитации. Для калибровочных полей и квантовой гравитации обрезание интегралов при инвариантной планковской энергии даёт верхние пределы для петлевых поправок, которые малы и ряды теории возмущений сходятся. Таким образом, КТП, включая и квантовую гравитацию, конечна при квантовании в трактовке ШФ с учётом гравитационной саморегуляризации. Это означает, что КТП изначально была корректной и состоятельной, что и объясняет её успех в физике частиц, а исправления устаревших элементов теории окончательно прояснили эти обстоятельства.

5. *Теория фрозаров.* Гравитационное застывание собственных времён относительно мирового времени на гиперповерхностях одновременности приводит к тому, что коллапсирующие объекты застывают, когда их поверхности приблизятся к их гравитационным радиусам, оставаясь всегда вне его. Тонкая пылевая оболочка застывает вне своего гравитационного радиуса, а её внутренность остаётся плоской. При коллапсе звезды положения её частиц, как у протяжённого объекта, должны задаваться на гиперповерхностях одновременности, отмечаемых моментами мирового времени. При этом поверхность пылевой звезды тогда застывает над её гравитационным радиусом и такое асимптотическое поведение мировых линий частиц звезды на поверхности инвариантно. Центр звезды застывает раньше других слоёв, после чего быстро застывает вся структура звезды. Это означает, что специфически общерелятивистское явление - гравитационное замедление времени – и есть тот физический механизм, который останавливает коллапс в терминах обычного астрономического времени вокруг звезды.

Всё это демонстрирует также решение уравнений Эйнштейна для однородной пылевой звезды в терминах мирового времени, найденного Оппенгеймером и Снайдером. Графики мировых линий слоёв показывают, что пылевая звезда при коллапсе переходит в состояние фрозара, объекта с полностью застывшей структурой. Внутренние слои остаются локально однородными и застывают вблизи своих

эффективных гравитационных радиусов, образованных материей внутри каждого слоя, а также влиянием внешних слоёв на ход их собственного времени.

Плотности достаточно массивных звёзд перед их застыванием ниже чем у нейтронной звезды и поэтому, если их ядра не взорвались до этого, то коллапс таких звёзд происходит как у пылевой звезды с образованием фрозара. Вращение звезды застывает до того, как поверхность дойдёт до внешней границы эргосферы и такой фрозар также не имеет ни горизонта, ни эргосферы. Увеличение заряда и углового момента звезды усиливает её гравитацию, как и эффекты гравитации, в частности, увеличивают красные смещения, радиусы и площадь тени.

Аккреция на фрозар ведёт к застыванию падающего вещества над поверхностью, образуя неоднородный ландшафт из сплюснутых масконов. Фрозары не сливаются, а слипаются около гравитационного радиуса многофрозарной системы, образуя вместе с обычной материей застывший фрозарный кластер. Сверхмассивные фрозары, или сверхфрозары формируются как такие неоднородные кластеры. Фрозары и их кластеры не «лысые», имеют «причёску» и асимметричную структуру, что можно обнаружить гравиметрией, а также по неоднородностям теней, красных смещений и орбит вещества.

6. *Космология с замедляющимся временем* (КЗВ). Если во вселенной имеется такое фоновое скалярное поле, то в ходе расширения пространства её плотность энергии со временем должна везде уменьшаться. Так как это должно приводить к уменьшению интенсивности квантовых флуктуаций частиц, в том числе и их энергии покоя, то, следовательно, собственные времена должны замедляться в ходе космологического расширения. Тогда в прошлом время шло быстрее, а значит было начальное фиолетовое смещение частот фотонов, испущенных в более ранние эпохи. Но это фиолетовое смещение компенсируется красным смещением в пути из-за растяжения длин волн в ходе расширения и фотоны поступают только с доплеровским красным смещением, связанным со скоростью удаления источников. В Части 7 отмечалось, что формула «светимость - красное смещение» в КЗВ в принципе согласуется с наблюдениями.

7. *Локальное и глобальное гравитационные красные смещения в космологии*. В однородной вселенной на частоту фотонов, испущенных удалённым источником, влияет вещество шара между источником и наблюдателем, с центром посередине между ними. Этот шар расширяется и поэтому фотоны, испущенные при меньшем радиусе шара, поступают к наблюдателю при большем радиусе. В результате возникает разность потенциалов шара в эти две эпохи, что ведёт к гравитационному красному смещению частоты фотонов. Это смещение, как результат влияния на фотоны материи в конечной окрестности наблюдателя, до определённого источника, является в масштабах всей вселенной *локальным* гравитационным красным смещением в космологии. Возникает также и *глобальное* гравитационное красное смещение в космологии, определяемое материей почти всей вселенной. В моменты испускания и приёма фотонов средние плотности материи разные и поэтому гравитационное замедление времени, создаваемое материей *вне* указанной сферы между наблюдателем и источником, почти всей вселенной, также различно. Это глобальное смещение чувствительно к выбору модели вселенной и поэтому в дальнейшем позволит тестировать глобальную структуру вселенной, конечна она или нет, и если да, то каковы её масса и объём.

8. *Сопутствующий расширению потенциал и эффект тёмной энергии*. Вокруг центров галактик плотность энергии фонового скалярного поля уменьшается в ходе расширения неравномерно, так как она была неравномерной вначале, а скорость расширения замедлялась. Оказалось, что учёт влияния начальной неоднородности и хода замедления на конечное распределение плотности энергии фонового поля, т.е. согласно диффузионной гравитации, гравитационного потенциала вокруг галактики, ведёт к модификации ньютоновского потенциала. Результат оказался таким, как это и требуется для описания кривых вращения галактик и дисперсий скоростей в их скоплениях и поэтому нет необходимости в гипотезе тёмной материи.

9. *Локальная и глобальная теории относительности.* В теории относительности процессы можно описывать как в локальных, так и в глобальных СО. Каждый из этих двух способов универсален и фактически образует отдельную теорию. Описания в ЛСО, связанных локально-лоренцевыми преобразованиями, образуют ЛТО, которая универсальна, так как принцип локальности позволяет применять её к неинерциальным ЛСО, а принцип эквивалентности - к ЛСО в гравитационном поле. Тем самым ЛТО есть локализованная форма СТО, будучи применимой как в неускоренных, так и в ускоренных ЛСО, и как в плоском, так и в искривлённом пространстве-времени.

ГСО есть совокупность одновременно сосуществующих ЛСО и поэтому каждая из них должна быть построена на некоей гиперповерхности одновременности. Введение ГСО, тем самым, означает выход за пределы ЛТО и теорией, описывающей события путём введения таких ГСО, является ГТО. В ГТО физическая реальность предстаёт как совокупность частиц и полей, сосуществующих на гиперповерхности одновременности одной из ГСО. ГТО оперирует физическими координатами, основанными на определении расстояний и времён физическими масштабами и часами и поэтому является физической частью ОТО. ЛТО и ГТО описывают локальные и глобальные свойства гравитации, отделяя эффекты поля от эффектов движения разными методами, ранее предложенными в рамках ОТО.

8.2. Научные перспективы новой физики.

Перспективы той части новой физики, которая обсуждалась выше, как и любого новшества в науке, имеют два аспекта – научные и социальные. Здесь рассмотрим собственно научные перспективы, которые интересны для активных исследователей и беспристрастных читателей.

Диффузионная трактовка квантовой теории, ДКМ, приводит не только к новой и последовательной трактовке известных явлений квантовой физики, но и открывает новые перспективы для развития физики частиц, особенно в направлениях объединения взаимодействий и составных моделей частиц СМ.

Связь между флуктуирующим фоновым скалярным полем ДКМ и конденсатом скалярного поля, который в СМ генерирует массы (а значит и энергии покоя) частиц, требует более детального изучения.

Решение вопроса о наличии ещё одного измерения пространства также может внести большую ясность в источники флуктуаций фонового поля или флуктуирующий конденсат. Это особенно интересно в условиях космологического расширения нашего пространства и уточнения вопросов о том, откуда появляются те всё новые и новые участки пространства, которых в прошлом не было в нашем мире и как они наполняются скалярным конденсатом.

Диффузионная трактовка гравитации, новый и неожиданный синтез квантовой и гравитационной физики, открывает новые перспективы для дальнейших исследований как в самой теории гравитации, так и в её применениях в астрофизике и космологии. То, что эта трактовка даёт естественный механизм возникновения эффекта тёмной материи, связанного с сопутствием расширению гравитационного потенциала, показывает возможность сюрпризов при изучении гравитации в расширяющемся пространстве, особенно в сценариях образования галактик, скоплений и космической паутины.

В космологии с замедляющимся временем, после уточнения деталей моделей расширения, открываются возможности установить без искусственных гипотез реальные расстояния до объектов и их истинные светимости, определить наиболее реалистичные сценарии расширения и хода космической эволюции начиная с ранних периодов.

Квантование в рамках трактовки ШФ и гравитационная регуляризация позволяют по-новому ставить и решать задачи, связанные с составными моделями, моделями объединения, конденсатами полей, а также вкладами за рамками теории возмущений.

Теория фрозаров, как последовательная теория релятивистского коллапса, может предсказывать новые явления в астрофизике компактных объектов, особенно, в случае сверхмассивных фрозаров, структура которых наиболее неоднородна. В более ранней вселенной также могут быть неожиданные сценарии развития достаточно плотных областей, гравитационное схлопывание которых необходимо учитывать совместно с эффектом тёмной материи, когда расширение углубляет гравитационный потенциал.

В новой физике СТО и ОТО принимают новые формы – ЛТО и ГТО, которые, будучи свободными от внутренних проблем, можно будет применять ко все областям физики уже как сугубо физических теорий, чётко определяющих собственно физические аспекты явлений в каждой из областей их применения. В этих условиях предстоит ряд изменений в этих областях, в частности, в КТП в ускоренных СО и во внешнем гравитационном поле, где ГТО позволит чётко отделить реальные и фиктивные кванты.

Отметим, что прогнозы дальнейших направлений исследований теперь будут более определёнными и научно-обоснованными, чем это было до сих пор. Это связано с теми обстоятельствами, что они будут основываться не на гипотезах, а на общих физических теориях, исходящих из общих физических принципов с учётом наиболее вероятных направлений их дальнейшего обобщения, вытекающего из их внутренней логики и ряда пока необъяснённых фактов.

8.3. Социальные аспекты новой физики.

Перспективы новой физики зависят, кроме научных, также и от социальных аспектов научного сообщества данного и следующих поколений. К ним относятся перспективы её признания и развития исследователями, что важно также и для преподавателей и администраторов науки, популяризаторов и широкой публики.

При этом признание не частных и несущественных, а кардинальных изменений в парадигме весьма болезненно для большей части научного сообщества и поэтому это может длиться достаточно долго. Дело в том, что описанные в статье новшества касаются оснований и важнейших применений базовых теорий, выявлено также противоречие естественно-научной методологии тех основных гипотез, которые и породили кризис. При этом важно то, что эти новшества есть выход из кризиса и составят первые элементы новой физики. Однако, быстрому признанию и развитию этих новшеств научным сообществом препятствуют ряд необычных на первый взгляд обстоятельств.

Первое - это предвзятое недоверие, основанное на презумпции ошибочности, когда такие изменения предлагаются независимым исследователем, который не поддерживается ни одной из влиятельных групп. Однако, теоретическая физика отличается от экспериментальной именно тем, что чаще всего новые кардинальные идеи выдвигаются не в больших группах, а отдельными исследователями, как правило, не входящими в такие группы и свободными от их предрассудков, табу и прочих ограничений. В данном случае автор в ходе решения указанных выше проблем имел основную информацию об успехах и ошибках почти всех групп, но будучи максимально удалённым и изолированным от них, сохранил главную ценность исследователя – суверенитет как в научном, так и в социальном плане.

Второе – это понимание коллегами того, что если вышеизложенное будет признано правильным, то теряет ценность большинство "достижений" многих лидеров научного сообщества и их последователей со всеми вытекающими из этого последствиями для них.

С этими же опасениями связано и третье обстоятельство – это наследие кризиса в виде всеобщей боязни взять на себя ответственность за одобрение новой научной теории, если даже она логична и основана на фактах, но существенно меняет действующую парадигму. Такие инфантильность и конформизм культивировались в сообществах, где от ряда поколений требовались единомыслие в базовых доктринах и лояльность к лидирующим группам как условия комфортной жизни и продвижения в сообществе.

До этого кризиса лидерами сообщества физиков, или «истинными авторитетами», на мнение которых ориентировалось большинство, становились те исследователи, у которых хотя бы одна идея фундаментального характера подтвердилась на эксперименте и вошла в учебники. Делать же карьеру в науке на основе лишь гипотез было рискованно, так как гипотезы, будучи «научными стартапами», часто оказывались ошибочными и построенные на них карьеры переставали быть успешными. Но в ходе нынешнего кризиса в фундаментальной физике не подтверждалась ни одна из новых гипотез и поэтому «истинные авторитеты» перестали возникать уже почти полвека.

В этих условиях перед каждым исследователем вставала морально-этическая дилемма: а) либо делать научную карьеру на считающихся перспективными гипотезах, осознавая риск обесценения такой карьеры, когда гипотеза окажется ошибочной, б) либо воздержаться делать карьеру на гипотезах как на потенциальных ошибках и стараться делать реальный вклад в науку. Решение (б) в условиях кризиса означало, ввиду долгих лет поисков без демонстрации «успеха», оттеснение такого исследователя до уровня маргинала в сообществе более «успешных» коллег с прагматичным решением (а).

В условиях кризиса именно прагматичные члены научного сообщества, не имея реальных открытий, успешно продвигались в карьере путём конструирования и всестороннего исследования множества нереальных миров и безграничного числа их важных деталей, а объединившись и заняв ключевые позиции в инфраструктуре науки, оказались непотопляемыми. Это делало их выбор беспроектным и ещё более притягивало к ним новые поколения, для которых отказ от суверенитета исследователя ради внешне успешной карьеры уже стал естественным. Такая институционализация отхода от этики естественных наук вела к подмене науки её имитацией, результатом чего и стал почти полувековой кризис в фундаментальной физике обсуждавшийся в Части 1.

Печальным результатом кризиса, всё более углублявшим его, стал и тот факт, что интересы большинства членов научного сообщества сузились до интересов групп и направлений, к которым они принадлежат и они потеряли интерес к тому, как на самом деле устроен реальный мир, т.е. главная миссия добросовестного исследователя стала им чуждой. Ещё более печальным оказался тот факт, что каждое новое и реальное знание, следующее из экспериментов, неизбежно обрушивало ту иллюзорную картину мира, благодаря которой был достигнут их статус в сообществе себе подобных и поэтому это знание стало восприниматься ими как угроза этому статусу, а значит и благополучию.

Тем не менее, научный прогресс происходит в виде конкуренции поколений исследователей и то, что при наличии возможностей не было сделано одним поколением, будет сделано другими, более рационально действующими поколениями, к которым и относится автор. Эти поколения будут просто и трезво квалифицировать действие или бездействие исследователей прежних нескольких поколений, фактически предавших свою миссию исследовать реальность и подменивших теоретическую физику как естественную науку её имитацией в виде математической физики, т.е. подменивших физику одним из её инструментов.

Появление решения ряда фундаментальных проблем на основе известных фактов и без новых гипотез означает, что если до этого прочие альтернативы были допустимыми гипотезами, то после этого они становятся научными ошибками. Игнорирование же реального решения из-за конфликта интересов, продолжая выдавать прочие ошибочные попытки за нормальную научную деятельность, становится уже научным подлогом, т. е. научным преступлением. Поскольку это сопряжено растратой огромных людских и материальных ресурсов теми, кто, злоупотребляя доверием общества фактически стал рассматривать науку как бизнес, где главный критерий - не истина, а личный и групповой интерес, то всё это является и экономическим преступлением. Когда нереалистичные модели, противоречие которых известным фактам и подтверждённым теориям доказано, продолжают выдавать за модели реальности, то это - подмена науки псевдонаукой. Поэтому нынешний этап кризиса в фундаментальной физике будет квалифицироваться будущими поколениями как период господства псевдонауки в научном сообществе.

Отговорки типа «никто из серьёзных учёных всё это не поддерживает», лишь усугубляют личную ответственность того, кто прикрывает этим своё противодействие или бездействие в продвижении нового знания, так как естественные науки основаны не на диктате большинства или мнения авторитетов, а на диктате наблюдательных фактов и логических выводов из них. В момент открытия нового знания один прав, а всё научное сообщество ошибается и это часто воспринималось болезненно этим подавляющим большинством. Но ранее возникало небольшое меньшинство, которое подхватывало это новое знание и быстро продвигалось в ранее неизведанные области, делая новые открытия и на этой эстафете знаний держался научный прогресс. Для всё ещё бездействовавшего большинства это было ещё более болезненным, а когда же оно было вынуждено всерьёз воспринять поток нового знания, тогда оказывалось, что «поезд уже ушёл» и окно возможностей для данного поколения в данной области уже закрылось.

В заключении этого раздела следует отметить два обстоятельства. Во-первых, у автора, привыкшего к восточным традициям уважительного отношения к любому, кто сообщает нечто новое, всегда вызывало удивление высокомерие и неуважительное игнорирование со стороны большинства коллег, особенно именитых, при попытках обсудить новые идеи и результаты, если они противоречили действующей парадигме. Ещё более удивляло нежелание вникнуть в новые идеи или их аргументацию, не говоря уже о том, чтобы исправить пробелы в своём образовании, из-за которых они обычно и не понимали о чём идёт речь. Но нет сомнения, что большинству настоящих исследователей, преподавателей и любителей науки новое знание даёт радость познания реальности, то, чем наука и отличается от фантазии.

Автор же, после нескольких десятилетий поисков в практически полной изоляции от коллег, в основном из-за противоположного понимания научной этики, испытывает чувство глубокой благодарности всем коллегам за ту честь, которую оказали скромному исследователю, путём изоляции научного сообщества от него и его нескромных идей и результатов, т.е. уступив ему всё «поле боя» в самых перспективных направлениях. Каждый исследователь мечтает сделать большую часть открытий, отпущенных историей на долю его поколения, желательно без конкуренции и связанной с ней излишней спешки. Автор в этом не исключение, но сюрпризом в первую очередь для него самого остаётся тот факт, что коллеги все вместе видимо позволили ему осуществить эту мечту.

Во-вторых, наука развивается методом проб и ошибок и те из исследователей, которые так и не научились исправлять свои и чужие ошибки, извлекая правильные уроки из них, какими бы горькими они не были, должны найти смелость признаться себе, что ошиблись профессией и им лучше преподавать уже известные знания, принося реальную пользу, чем тратить свою жизнь и ресурсы общества на бессмысленные имитации нового знания. Однако, те из активных исследователей, которые сохранили способность к самостоятельным решениям и поступкам, отказавшись от конформизма и единомыслия, вернуться к главным ценностям, лежащим в основе естественных наук - объективности и беспристрастности, то у них всё ещё есть шанс внести реальный вклад в развитие уже частично сложившейся новой физики 21-века, следуя восточной мудрости: «Неважно, как далеко вы ушли по неверному пути, возвращайтесь!».

Заключение

Рассмотренные фундаментальные проблемы, некоторые из которых оставались нерешёнными со времени создания базовых теорий современной физики, как видим, имеют вполне приемлемые решения и при этом без новых гипотез. То, что для этого оказалось достаточным исходить из известных фактов, позволяет надеяться, что эти решения верны или по крайней мере близки к истине. Они позволили объяснить прежде непонятные явления, объединить теории разных явлений и предсказать новые явления.

Если до сих пор квантовая теория и теория относительности в своих основаниях были очевидным образом незавершёнными, то теперь ситуация становится значительно

лучше и проще. Исследователи, которые будут переосмысливать эти базовые теории с учётом новых решений, испытают двоякое ощущение. Первое это удовлетворение от того, что эти теории достигли определённого уровня законченности и даже совершенства. Второе это интерес к новым перспективам, которые открывают новые решения, так как усовершенствованные инструменты позволяют решать более широкий круг задач и открывают пути для решения и других, пока не решённых проблем.

В заключение отметим, что главное здесь - постепенное уточнение истинной картины реальности путём непредвзятого анализа фактов с реальным, а не иллюзорным, решением проблем. Здесь любое прояснение основ картины физической реальности, тем более в ряде её аспектов, является абсолютной ценностью, не теряющей свою значимость в будущем, даже если станет частью ещё более широкой картины.

Литература

1. Dirac P.A.M. (1930) *Proc. R. Soc.*, A **126**, 360.
2. Ehrenfest P. (1927) *Zs. Phys.*, **45**, 455.
3. Einstein A. (1905) *Ann. d. Phys.*, **17**, 891; Эйнштейн А. (1965) *Собр. науч. тр.* т.1, с. 7.
4. Einstein A. (1916) *Ann. d. Phys.*, **49**, 769; Эйнштейн А. (1965) *Собр. науч. тр.* т.1, с. 452.
5. Einstein A. (1917) *Sitz. preuss. Akad. Wiss.*, **1**, 142.
6. Fényes I. (1952). *Z. Phys.*, **132**, 81.
7. Feynman R. P. (1948) *Phys. Rev.*, 20(2), 367.
8. Feynman R. (1949) *Phys. Rev.*, 76, 749.
9. Фейнман Р., Хибс А. (1968) *Квантовая механика и интегралы по траекториям* М.
10. Friedmann A. (1922). *Z. Phys.*, **10**, 376.
11. Fürth R. (1933) *Zs. Phys.*, **81**, 143.
12. Grabert H., Hänggi P., Talkner P. (1979) *Phys. Rev. A* **19**, 2440.
13. Guerra F., Marra R. (1983) *Phys. Rev. D* **28**, 1916.
14. Hubble E. (1929) *Proc. Nat. Acad. Sci.*, **15**, 168.
15. Nelson E. (1966) *Phys. Rev.*, **150**, 1057; (1985) *Quantum Fluctuations*. Pr.U.P.
16. Kerr R. (1963) *Phys. Rev. Lett.*, **11**, 237.
17. Klein O. (1961). Ein. Prob. allgem Rel. в *W. Heisenb. Phys. unz. Z.*, 58.
18. Lemaître G. (1927) *Ann. Soc. Sci. Bruxel.*, **A47**, 49.
19. Madelung E. (1926) *Zs. Phys.*, **40**, 322.
20. Marshall T. (2012) *Astrophys. Space Sci.*, **342**:329.
21. Максвелл Дж. К. (1952) Избр. Соч., с. 308, М.
22. Milne E.A. (1934) *Q. J. Math. Oxf.* **5**, 64; Farley F.J.M. (2010) *P. R. Soc. A.*, **466**:3089.
23. Oppenheimer J., Snyder H. (1939) *Phys. Rev.*, **56**, 455.
24. Pauli W., Weisskopf, V. (1934) *Helv. Phys. Acta*, **7**, 709.
25. Pauli W. (1940) *Phys. Rev.* **58**, 716.
26. Pauli W. (1943) *Rev. Mod. Phys.* **15**, 175.
27. Pavšič M. (1999) *Phys. Lett. A* **254**, 119.
28. Schrödinger E. (1930) *Sitz. Preus. Akad. Wiss.*, 418; (1932) *Ann. I.H.P.* **2**(4) 269.
29. Schwarzschild K. (1916) *Sitz. Preus. Akad. Wiss.*, 189.
30. Смолин Л. (2007) *Неприятности с физикой: взлёт теории струн, упадок науки и что за этим следует*. Peng. B. (русс. текст в интерн. 2008).
31. Stueckelberg, E.C.G. (1941) *Helv. Phys. Acta*, **14**(7) 588.
32. Tersoff J., Bayer D. (1983) *Phys. Rev. Lett.* **50**, 553.
33. Tolman R. (1934) *Proc. N. Acad. Sci. USA*, **20**, 169.
34. Вайнберг С. (1975) *Гравитация и космология*. М.
35. Вайнберг С. (2004) *Мечты об окончательной теории*. М.
36. Zakir Z. (2018) *Astroph. & Sp. Sci.* **363**: 30.

37. Закир З. (2014) *ТФАК*, **9**(2) 75;
38. Закир З. (2016) *ТФАК*, **11**, 1.
39. Закир З. (2017) *ТФАК*, **12**(1) 1; **12**(1) 17.
40. Закир З. (2020) *Квант. и грав. физ.*, 1:001-7128; (2022) 3:019-7744.
41. Закир З. (2020) *Квант. и грав. физ.*, 1:002-7128; (2021) 2:015-7613.
42. Закир З. (2020) *Квант. и грав. физ.* 1:003-7129; (2021) 2:013-7610.
43. Закир З. (2020) *Квант. и грав. физ.* 1:004-7129; (2021) 2:014-7610.
44. Закир З. (2020) *Квант. и грав. физ.*, 1:006-7132; 1:007-7133.
45. Закир З. (2020) *Квант. и грав. физ.*, 1:005-7130; 1:008-7160; (2021) 2:012-7533.
46. Закир З. (2021) *Квант. и грав. физ.*, 2:011-7528.
47. Закир З. (2022) *Квант. и грав. физ.*, 3:018-7715; 3:016-7694; 3:017-7694.
48. Закир З. (2020) *Квант. и грав. физ.*, 1:009-7260.
49. Закир З. (2020) *Квант. и грав. физ.*, 1:010-7272.
50. Закир З. (2022) *Диффузионная квант. мех. и диффуз. гравитация*. ЦТФА, Т.
51. Закир З. (2022) *Конечная квантовая теория поля*. ЦТФА, Т.
52. Закир З. (2022) *Теория фрозаров. Релятивистский коллапс звёзд*. ЦТФА, Т.
53. Закир З. (2022) *Локальная и глобальная теории относительности*. ЦТФА, Т.
54. Закир З. (2022) *Основания физики*. ЦТФА, Т.
55. Зельдович Я.Б., Новиков И.Д. (1975) *Строение и эволюция вселенной*. М.; Bondi H. (1947) *MNRAS*, **107**, 410.