

## О решениях фундаментальных проблем физики и контурах новой физики

Захид Закир<sup>1</sup>

### Аннотация

В квантовой и гравитационной физике за последнее сто лет накопился большой набор фундаментальных проблем, что показывает незавершённость формирования базовых теорий. В статье дан обзор решений для ряда таких проблем, представленные автором в последнее время. В отличие от других попыток на базе гипотез, новые решения основаны на физических принципах и опытных фактах, что делает новые формулировки базовых теорий более последовательными. Проблемы «технического» характера, связанные с отклонением от известных принципов, решены последовательным следованием им. Другие проблемы были решены введением новых принципов или изменением прежних, но также на базе фактов. Следовательно, эти решения в этом или более уточнённом виде войдут в ту новую физику, которая инициируется ими. Рассмотрены контуры и перспективы этой новой физики. Обсуждены причины долгого кризиса в фундаментальной физике и пути его преодоления. Показано, что главной причиной кризиса был отход от методологии и этики естественных наук, а новая физика же начала формироваться 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, научная этика.

### Содержание

|                                                                                             |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Введение .....</b>                                                                       | <b>2</b>  |
| <b>1. О кризисе фундаментальной физики и путях к новой физике.....</b>                      | <b>3</b>  |
| 1.1. Кризис в основах современной физики 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. ....          | 7         |
| <b>2. Фундаментальные проблемы квантовой механики и их решения .....</b>                    | <b>12</b> |
| 2.1. Каковы физические принципы квантовой механики и в чём была нужда в них? .....          | 12        |
| 2.2. Проблема источника квантовых флуктуаций и парадокс Мюнхаузена .....                    | 13        |
| 2.3. Почему в квантовой теории складываются амплитуды вероятностей? .....                   | 15        |
| 2.4. Есть ли скрытые параметры и в чём причина нелокальности? .....                         | 15        |
| 2.5. В чём физический смысл соотношений неопределённостей и квантового<br>потенциала? ..... | 16        |
| 2.6. В чём физический смысл скорости света и её постоянства? .....                          | 16        |
| 2.7. В чём физический смысл энергии покоя частиц? .....                                     | 17        |
| 2.8. Как возникают квантовая статистика и неразличимость частиц? .....                      | 17        |
| <b>3. Проблемы квантовой теории поля и их решения .....</b>                                 | <b>19</b> |
| 3.1. Как правильно квантовать состояния с отрицательной энергией? .....                     | 19        |
| 3.2. Есть ли нулевые флуктуации вакуума полей? .....                                        | 21        |
| 3.3. Как квантовать струны и есть ли у них критические размерности? .....                   | 21        |
| 3.4. Каковы последовательные условия микропричинности? .....                                | 22        |

<sup>1</sup> *Центр теоретической физики и астрофизики, Ташкент, Узбекистан, [zzakir@ggph.uz](mailto:zzakir@ggph.uz) [ORCID](https://orcid.org/0000-0001-9148-3141)*

|           |                                                                                                      |           |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.5.      | Почему спин и статистика связаны? .....                                                              | 23        |
| 3.6.      | Бесконечны ли поправки высших порядков теории возмущений? .....                                      | 24        |
| 3.7.      | Бесконечны ли киральные аномалии и случайно ли их сокращение в СМ? .....                             | 25        |
| 3.8.      | Состоятельна ли квантовая гравитация? .....                                                          | 25        |
| 3.9.      | Как описывать возможную субструктуру фундаментальных частиц? .....                                   | 26        |
| 3.10.     | Есть ли необходимость в суперсимметрии? .....                                                        | 27        |
| <b>4.</b> | <b>Проблемы гравитационного коллапса и их решения .....</b>                                          | <b>27</b> |
| 4.1.      | Как описать структуру и эволюцию протяжённого объекта в ОТО? .....                                   | 28        |
| 4.2.      | Может ли поверхность коллапсирующей звезды пересечь её гравитационный радиус и упасть в центр? ..... | 29        |
| 4.3.      | Как коллапсирует оболочка и появятся ли у неё горизонт и сингулярность? .....                        | 30        |
| 4.4.      | Как коллапсирует пылевая звезда и как меняется её структура? .....                                   | 31        |
| 4.5.      | Как коллапсирует вращающаяся звезда и появится ли у неё эргосфера? .....                             | 33        |
| 4.6.      | Когда может произойти релятивистский взрыв коллапсирующей звезды? .....                              | 34        |
| 4.7.      | Имеют ли сколлапсировавшие звёзды «причёску»? .....                                                  | 35        |
| 4.8.      | Могут ли сливаться две сколлапсировавшие звезды? .....                                               | 36        |
| 4.9.      | Чем сверхмассивные коллапсары отличаются от обычных? .....                                           | 37        |
| 4.10.     | Есть ли квантовое испарение сколлапсировавших звёзд? .....                                           | 37        |
| <b>5.</b> | <b>Проблемы теории гравитации и их решения .....</b>                                                 | <b>38</b> |
| 5.1.      | Был ли прав Максвелл в отношении природы гравитации? .....                                           | 38        |
| 5.2.      | Что лежит в основе принципа эквивалентности? .....                                                   | 39        |
| 5.3.      | Каков физический механизм гравитации? .....                                                          | 40        |
| 5.4.      | В чём физический смысл уравнений Эйнштейна? .....                                                    | 41        |
| <b>6.</b> | <b>Проблемы космологии и их решения .....</b>                                                        | <b>42</b> |
| 6.1.      | Парадокс двойного красного смещения в релятивистской космологии .....                                | 42        |
| 6.2.      | Надо ли учитывать аберрацию в космологии? .....                                                      | 43        |
| 6.3.      | Меняется ли темп собственных времён в ходе расширения? .....                                         | 44        |
| 6.4.      | Существуют ли космологическая постоянная и тёмная энергия? .....                                     | 45        |
| 6.5.      | Проблемы фридмановских моделей космологии и их решения .....                                         | 45        |
| 6.6.      | Существует ли тёмная материя? .....                                                                  | 46        |
| 6.7.      | Каковы кривизна и глобальная структура вселенной? .....                                              | 46        |
| <b>7.</b> | <b>От СТО и ОТО к локальной и глобальной теориям относительности .....</b>                           | <b>47</b> |
| 7.1.      | ЛТО - это локальная форма СТО и поэтому она универсальна. ....                                       | 47        |
| 7.2.      | ГТО как физическая часть ОТО на гиперповерхностях одновременности. ....                              | 49        |
| 7.3.      | Следствия ЛТО и ГТО для квантовой и гравитационной физики. ....                                      | 51        |
| <b>8.</b> | <b>Контурь и перспективы новой физики .....</b>                                                      | <b>52</b> |
| 8.1.      | Контурь новой физики. ....                                                                           | 52        |
| 8.2.      | Научные перспективы новой физики. ....                                                               | 54        |
| 8.3.      | Социальные перспективы новой физики. ....                                                            | 55        |
|           | <b>Заключение .....</b>                                                                              | <b>56</b> |
|           | <b>Литература .....</b>                                                                              | <b>57</b> |

## Введение

Теория относительности и квантовая теория вместе с их приложениями к физике частиц, астрофизике и космологии составляют теоретическую основу современной физики. Они описывают большинство из известных фактов, предсказали много новых и многократно подтверждены. Тем не менее в основах этих базовых теорий и в их важных применениях оставалось множество нерешённых фундаментальных проблем. Более того, из-за неоднозначностей в определении базовых понятий и физических принципов они до сих пор не могли стать полноценными физическими теориями, т.е. кроме частных проблем была и общая проблема – их незавершённость.

Перечень нерешённых проблем физики достаточно широк и часто приводится в литературе. Но лишь некоторые из них фундаментальные, т.е. связаны с принципами

физики или их важнейшими следствиями. Более того, многие нерешённые проблемы были отнесены к «решённым» лишь из-за сложившегося консенсуса о «правильности» одной из гипотез. Решение по существу хотя бы части этих фундаментальных проблем заметно изменит физическую картину мира [30,35].

В данной статье даётся обзор тех фундаментальных проблем, для которых автором были представлены новые решения в статьях 2020 г. [39-44] и которые систематически излагаются в книгах [45-49] (в более ранних публикациях автора содержались лишь пробные версии). В отличие от других авторов, исходивших из гипотез без опытной основы, развиваемый подход исходит из физических принципов и фактов. Такой путь к решению проблем физики, как показывает история, наиболее надёжен и его результаты заслуживают доверия. Он обычно и продуктивен, так как давая объяснения ранее непонятым явлениям, ведёт и к неожиданным предсказаниям.

Наиболее простыми для понимания являются решения фундаментальных проблем «технического» характера, т.е. проблем, возникших из-за неадекватного применения принципов основных теорий или отклонения от них. Они решаются последовательным следованием этим принципам с исправлением искажений и ошибок в прежней парадигме, возникших из-за этих проблем. Этими решениями тем самым завершается формирование базовых теорий, которое задержалось из-за этих отклонений.

Более радикальными являются решения, связанные с введением новых или изменением известных принципов. Но даже в этих случаях речь идёт не о гипотезах, а о выводах из известных фактов. В физике как естественной науке любые изменения парадигмы, связанные с формулировкой новых или уточнением прежних принципов, открывают новые перспективы и поэтому начинают новый этап развития.

В Части 1 статьи обсуждены причины почти полувекowego кризиса в основаниях физики и пути его преодоления. Показано, что главной причиной кризиса был отход от методологии и этики естественных наук, а новая физика есть результат возврата к ним.

Решения конкретных проблем объединены в шесть частей (Части 2-7), каждая из которых самостоятельна, хотя и результаты всех частей взаимно согласуются. Поэтому каждую из частей можно читать независимо, начав с тех, которые более интересны для читателя. В последней части (Часть 8) рассмотрены контуры и перспективы новой физики, которые следуют из предложенных решений проблем.

*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 фундаментальной физики и путях к новой физике

В последние почти полвека, после триумфального открытия нейтронных звёзд в конце 60-х, а затем завершения СМ физики частиц в середине 70-х, фундаментальная физика находилась в глубоком кризисе. Все предсказания, которые были подтверждены экспериментально в этот период, были сделаны до 1975 года в рамках ОТО, КМ, КТП и СМ. Однако оставались нерешёнными ряд фундаментальных проблем как в этих теориях, так и для явлений, выходящих за их пределы. Но теоретические модели, созданные для решения этих проблем, не подтвердились, более того, создали больше проблем, чем решили [30]. Ниже обсуждаются причины такого долгого кризиса в физике и пути его преодоления.

1. *Кризис в фундаментальной физике 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.*

Проблемы методологии физики будут рассмотрены более детально в книге [49].

### 1.1. Кризис в основах современной физики и его причины.

Набор фундаментальных проблем физики, который будет рассмотрен в данной статье, возник в основном в первой половине 20-века и принял окончательный вид в 1970-е годы и с тех пор этот набор остался почти неизменным. Он стал органической частью действующей парадигмы, выражая её внутренние противоречия, а также противоречия с рядом известных фактов.

В качестве причин такого долгого застоя, фактически кризиса, указывались отсутствие опытных фактов необходимых для дальнейшего прогресса и невозможность проверки в обозримом будущем лидирующих гипотез [30,35]. Однако, в данной статье как раз и показывается обратное, что таких фактов было достаточно для нормального развития и поэтому это не объясняет такой долгий кризис.

Если кризис не был неизбежен, то он мог произойти из-за недостатка ресурсов - людских и прочих, – по сравнению с масштабами задач, а также по неблагоприятным для научного сообщества внешним причинам. Но, по иронии истории, в последние полвека фундаментальная физика имела больше ресурсов, людских и прочих, и внешние условия благоприятные для развития, 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 все условия для бурного развития.

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, как будет показано в следующем разделе, был *отход от естественно-научной методологии* при решении фундаментальных проблем физики и продвижение следующих из этого несостоятельных изменений в парадигме 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 фактов математическими гипотезами с нефизическими сущностями, противоречащими этим фактам. Всё это разделило научное сообщество на две непримиримые части – сторонников и противников таких искажений научной методологии. При этом стала деградировать каждая из этих частей сообщества - первая из-за достигнутой де-юре монополии на истину, вторая - из-за отнесения в диссиденты лишь из-за верности научной методологии, что стало катализатором системного кризиса.

Первая причина привела к ещё двум другим причинам, которые углубили кризис, превратив чисто научный кризис в кризис всего научного сообщества. Этими причинами были систематические *искажения научной этики и научной политики*. Естественно, отход от естественно-научной методологии привёл к возражениям и альтернативам. Но большинство научного сообщества, сплотившееся вокруг стандартной парадигмы и лидирующих гипотез, в отсутствие логичных ответов оппонентам, не только стало игнорировать критику, но и вытеснять из научной литературы и научного сообщества сторонников разумных альтернатив. Искжением научной этики и научной политики было 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 направлений поиска, что привело к застою вместо развития. Отметим, не углубляясь в проблемы научного сообщества, что общество, поддерживающее фундаментальную науку как одной из базовых ценностей цивилизации, оказалось не готовым к такой ситуации и не имело механизмов содействия выходу фундаментальной науки из такого длительного системного кризиса.

Уникальность этого кризиса в истории физики состоит в том, что если до этого каждый период такой длительности давал подтверждённые решения для значительного числа фундаментальных проблем, то после такого «путча» в методологии и организации науки фундаментальная физика оказалась практически бесплодной и зашла в тупик.

Огромные ресурсы общества, как людские, так и прочие, оказались направленными в основном на иллюзорные цели, на «борьбу с ветряными мельницами», что естественно для математически-мыслящих людей, но противоестественно для физиков.

## 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 в примирении с противоречиями, практикуя так называемое *двоемыслие*, вместо их реального разрешения, а также в *раздувании нефизических частей базовых теорий*, описывая иллюзорные миры, вместо того, чтобы ограничиться их физическими частями и описывать реальность.

### А. Двоемыслие.

В ряде случаев два противоположных объяснения одного и того же физического явления принимались как одинаково допустимые. Это известно в психологии как феномен «двоемыслия», способности людей придерживаться двух противоположных убеждений одновременно. При двоемыслии явление в одном случае объясняется желанной нереальной причиной, не учитывая реальную причину, а затем, когда надо объяснять также и через реальную причину, не учитывается нереальная причина. В итоге создаётся ложное убеждение, что нереальная и реальная причины одинаково приемлемы.

Двоемыслие характерно для сообществ, где устанавливается единомыслие не только в том, что истинно, но и в том, истинность чего не доказано, но оно выгодно доминирующей части сообщества. В научном сообществе, где доминируют сторонники двоемыслия, вместо использования научной методологии для устранения противоречий, требуется примирение с ними, а единомыслие и единодушие в этом вопросе становятся условиями принадлежности к доминирующей части или научному сообществу вообще.

В разделе 1.3 приведены примеры двоемыслия в квантовой и гравитационной физике. В квантовой физике это - корпускулярно-волновой дуализм, парадокс Мюнхаузена, нулевые флуктуации вакуума и строгая микропричинность. В гравитационной физике - это трактовки гравитационного красного смещения, гравитационного замедления времени, гравитационного коллапса, красного смещения и аберрации в космологии. В каждом из этих случаев показано также то, как возврат к естественно-научной методологии исключает прежнее двоемыслие.

В частности, корпускулярно-волновой дуализм состоит в том, что в ансамбле опытов, проводимых каждый раз с одним электроном, этот ансамбль демонстрирует волновые свойства, но, когда волновые свойства приписывались *каждому* электрону, это было двоемыслием. Исходя из этого делались абсурдные утверждения, что электрон способен *одновременно* пройти через две, три и сотни щелей на экране на его пути, а затем на втором экране интерферировать с самим собой. К этому абсурду привело исходное предположение о том, что флуктуирующие микрочастицы изолированы и способны самопроизвольно менять свою энергию и импульс. Как будет показано в статье, когда с самого начала ставится вопрос об *источнике* флуктуаций микрочастиц и даётся корректный ответ, то остальные вопросы решаются без какого-либо абсурда.

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 *сможет выключить* (!) эти реальные источники и *предположит* существование нулевых флуктуаций вакуума, то эти два эффекта также полностью объясняются. На этом основании в стандартной парадигме было принято считать «доказанной» реальность нулевых флуктуаций вакуума. При этом вопрос о том, как экспериментаторы смогут в реальном

мире «выключать» воздействие реальных источников, не уточнялся, что характерно и для других случаев двоемыслия.

Двоемыслие с нулевыми флуктуациями привело, в частности, к моделям струн. Весь «бизнес» в этих моделях был основан на гипотезе о реальности нулевых флуктуаций вакуума. Так как это приводило к аномалиям, то для их устранения размерность пространства должна была равна критической, что фиксировало симметрии и свойства частиц и полей. Но, как выяснилось, поля и струны можно и нужно квантовать без нулевых флуктуаций, но тогда модели струн станут тривиальными из-за отсутствия критических размерностей.

Эти и другие примеры двоемыслия обсуждаются в разделе 1.3 и все они основаны на таком же отходе от естественно-научной методологии, тогда как возврат к ней и поиск реальных решений проблем исключает двоемыслие.

### **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, введённую 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 физическими частями базовых теорий, они стали развивать их нефизические части. Нефизические части при этом считались узаконенными потому, что входили в базовые теории и игнорировалось то, что они, в отличие от физических частей, 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 это нарушало один из основных законов физики для изолированного объекта – сохранение его энергии и импульса в однородном и изотропном пространстве.

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 значения. На основе этого временно введённого упрощения, становящегося незаконным 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 пути его игнорирования. Это игнорирование делалось путём его подмены локальным решением Фридмана, совпадающим с ньютоновским (выдавая решение Фридмана за «решение Оппенгеймера-Снайдера»). Результатом стал сценарий коллапса ньютоновской 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, в корне отличается от методологии теоретической физики. В теоретической физике математическая модель истинна лишь тогда, когда описывает реальность и это подтверждено экспериментально. В математической физике же изучение моделей 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 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 приводило к такому долговременному 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 миров, более интересных, чем реальность, стало сильнейшим допингом и научное сообщество надолго погрузилось в эти чудесные миры, практически позабыв реальную физику.

Итак, примирение с двоемыслием и узаконивание нефизических частей базовых теорий физики путём апелляции к их проверенным на опыте физическим частям, 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 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 на их базе теорий. Фундаментальная физическая теория исходит из физических принципов, основанных на опыте и позволяет *описывать* и *объяснять* путём дедукции все остальные факты в области своей применимости.

Гипотеза же 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 теорию. Если же предсказания гипотезы подтверждаются, т.е. она позволяет открыть новые факты, то она становится подтверждённой рабочей теорией. Тем не менее, пока исходные положения этой рабочей теории не будут прямо или косвенно

подтверждены на опыте, она остаётся лишь надёжной математической моделью, позволяющей описывать явления, но не *объясняющей* их.

#### **А. Исключение нефизических упрощений и обобщений в базовых теориях**

Гипотетические постулаты рабочей теории 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 необходимо уточнить постулаты рабочей теории с учётом новых обстоятельств.

Иногда постулаты рабочей теории формулируются более общими, чем это имеет место в реальном мире. Такая теория будет иметь как физическую, так и нефизическую части 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 исходных постулатов базовых теорий физики имели место оба этих вышеуказанных случая, как необоснованные упрощения, так и излишние обобщения, и поэтому требовались соответствующие уточнения. Это является одним из условий перехода базовых теорий физики из стадии рабочей теории в стадию полноценной физической теории, описывающей только реальный мир. Рассмотрим основные из этих изменений.

Квантовая механика в лице её формализма, основанного на чисто математических аксиомах, до сих пор оставалась рабочей теорией. Формулировка тех физических принципов, из которых следует формализм квантовой механики, превратит эту рабочую теорию в полноценную физическую теорию. Можно быть уверенными, что в этой теории не будет указанной выше (скорее всего нефизической) гипотезы о том, что энергия и импульс изолированной частицы могут не сохраняться. 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». В ДКМ (см. Часть 2) парадокс Мюнхаузена отсутствует, так как частицы классические, а источником их флуктуаций является воздействие фонового поля. Когда под действием флуктуаций этого фона энергия частицы кратковременно возрастет, энергия фонового поля в этом месте понизится на такую же величину, что и ведёт к сохранению энергии всей системы.

В КТП также вводился ряд искусственных процедур как при квантовании полей, так и при учёте или игнорировании известных явлений и фактов, таких как строгая микропричинность и гравитация на малых расстояниях. Более точная формулировка исходных физических принципов КТП должна позволить избавиться от указанных процедур и упрощений, а также от их абсурдных последствий в виде бесконечностей.

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

В естественно-научной методологии, если у явления предполагаются две одновременно влияющих причины, то следствия их влияния также учитываются одновременно. Если явление полностью объясняется одной реальной причиной, то вторая гипотетическая причина считается отсутствующей и отвергается.

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, 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.

### **Б. 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. Утверждение, что в опыте с двумя щелями электрон, практически точечная частица, якобы одновременно проходит через обе щели и поэтому интерферирует сам с собой, является абсурдным. Невозможность объяснить волновые свойства ансамбля частиц появилась из-за экстраполяции на микрочастицы представления классической механики об изолированной частице. В Части 2 показано, что микрочастицы нельзя считать изолированными, так как они флуктуируют и должны иметь внешний источник флуктуаций. Но если есть такой источник, фоновое поле, то микрочастицы можно считать классическими, а их ансамбль совершающим консервативную диффузию в этом поле. В опыте с щелями электрон проходит только через одну из щелей, но фоновое поле «знает» открыта или закрыта другая щель. Поэтому при многократном повторении, т.е. в ансамбле опытов, консервативность диффузии ведёт к волновым свойствам.
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 микрообъекты якобы обладают «квантовыми» свойствами, т.е. способны флуктуировать, самопроизвольно меняя свою энергию и импульс. В однородном и изотропном пространстве «квантовой» частице приписываются свойства, которые запрещены в таком пространстве и в этом состоит двоемыслие. Против этого и возражал Эйнштейн, 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 частице неоткуда взять такую энергию. Соотношение неопределённостей это не объясняет, так как само оно есть следствие флуктуаций. Ситуация такая же, как в известном мифе о Мюнхаузене, который однажды вытащил себя из болота на берег вместе с конём, сильно дёрнув за свои волосы. Выбор вышедшей из потенциальной ямы частицы как источника нужной ей энергии есть не факт, а такой же миф о чудесной (мюнхаузенской) способности. В ДКМ частицы классические и флуктуируют в фоновом поле и здесь парадокса Мюнхаузена нет. Когда при флуктуации фонового поля энергия частицы возрастёт, энергия фонового поля в этом месте понижается на такую же величину, что и обеспечивает сохранение полной энергии системы в целом.
3. *Нулевые флуктуации вакуума.* Ряд известных эффектов физики частиц (эффект Казимира, лэмбовский сдвиг и др.) могут быть полностью объяснены только нулевыми флуктуациями вакуума электромагнитного поля при искусственном предположении, что другие источники не дают вклада в эти эффекты. На этом основании был создан миф о том, что якобы 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 (полей атомов кристалла, петлевыми поправками) при условии отсутствия нулевых флуктуаций. Допускать сосуществование двух, исключających 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 стал возможен 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. *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 отношении микропричинности в КТП, тем самым, имело место двоемыслие. В Части 3 показано, что при квантовании полей в трактовке ШФ операторы полей в двух точках не коммутируют за световым конусом и ведут себя аналогично причинным пропагаторам. Это ведёт к более мягкой форме микропричинности в КТП, устраняя двоемыслие в этом вопросе.

#### **В. 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 тем, что фотоны излучались с той же частотой, что и далеко от тела, но по мере удаления от тела, их энергия, а значит и частота, постепенно уменьшались из-за работы против силы тяготения. 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 соответствующая энергия фотона оставались неизменными. Эти два объяснения красного смещения, ньютоновская и эйнштейновская, взаимно исключают друг друга, но они излагались как эквивалентные, в чём и состоял первый случай двоемыслия в трактовке красного смещения. Более того, хотя величина смещения в первом приближении одинакова в обеих теориях, 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 ОТО эффекта красного смещения, было устранено. Тот факт, что гравитационное красное смещение связано с замедлением темпа собственного времени при сильной гравитации и поэтому ньютоновская трактовка ошибочна, было доказано на экспериментах в 1970-е гг. сравнениями хода часов в двух местах – вблизи и вдали от тела. Но, тем не менее, первое двоемыслие об эквивалентности двух трактовок так и не было устранено.
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*. Второй случай 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 смещения 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 *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 тогда ведёт к абсолютному замедлению и быстрому застыванию поверхности и других слоёв звезды в терминах времени внешнего мира с образованием *фрозара*, объекта, структура которого застыла из-за собственной сильной гравитации. Это ясно из графиков мировых линий частиц в слоях в решении Оппенгеймер-Снайдера уравнений Эйнштейна.
4. *Космологическое красное смещение.* Из двух механизмов такого смещения, эффекта Доплера и растяжения длин волн в ходе расширения, каждый из них почти полностью объясняет наблюдаемые красные смещения. Поэтому если бы их учитывали вместе, то предсказания вдвое превысили бы наблюдаемые значения. При таких противоречивых обстоятельствах одни авторы трактовали наблюдения через эффект Доплера, другие через растяжение, а затем установился консенсус в том, что верно второе объяснение, а первое есть лишь более наглядное описание результата растяжения. В действительности же эти два механизма независимы, при этом эффект Доплера смещает частоты вначале, при испускании фотонов, а второй – вдоль их пути к наблюдателю и поэтому вклад в наблюдаемое смещение дают оба вместе (парадокс двойного красного смещения, см. Часть 6). В любом случае, при рассмотрении одного механизма полностью игнорировался другой механизм, что и было случаем двоемыслия. В Части 6 показано, что при испускании фотонов в более ранние эпохи их частоты не обязаны быть такими же как у нас здесь сейчас. Парадокс двойного красного смещения решается в *космологии с замедляющимся временем*, следующей из ДКМ. В ней фотоны испускаются с фиолетовым смещением, оно компенсируется в пути красным смещением и наблюдается лишь результат эффекта Доплера.
5. *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. Но в моделях релятивистской космологии аберрация не принималась во внимание даже в тех случаях, когда смещения трактовались через 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 относительно нас на таком же расстоянии. Игнорирование же аберрации приводило к завышению расстояний до источников, либо к недооценке их абсолютных светимостей. Объяснить потускнение затем приходилось разными гипотезами, такими как об ускоренном расширении, для обоснования которой затем была введена другая гипотеза - о тёмной энергии.

В последующих частях статьи приводятся решения конкретных проблем, которые тем самым оказываются шагами к той новой физике, которая инициируется ими.

## 2. Фундаментальные проблемы квантовой механики и их решения

Квантовая механика всегда воспринималась лишь как очень успешная и надёжно работающая математическая модель. Незавершённость её формирования выражалась в том, что не были известны лежащие в её основе физические принципы, которые следовали бы из экспериментальных фактов, а также не было ясности в её физической интерпретации. Поэтому основными проблемами квантовой механики были:

4. *Каковы физические принципы квантовой механики и в чём была нужда в них?*
5. *Проблема источника квантовых флуктуаций и парадокс Мюнхаузена.*
6. *Почему в квантовой теории складываются амплитуды вероятностей?*
7. *Есть ли скрытые параметры и в чём причина нелокальности?*
8. *В чём физический смысл соотношений неопределённостей и квантового потенциала?*

Решение первой проблемы, естественно, относится к радикальным изменениям, так как формулируются новые базовые принципы. Предложенное решение будет реалистичным, если будет исходить из результатов экспериментов. Дальнейшие выводы же из этих физических принципов и их прямых следствий позволят решить или прояснить пути решения для следующих фундаментальных проблем:

9. *В чём физический смысл скорости света и её постоянства?*
10. *В чём физический смысл энергии покоя частиц?*
11. *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 [41-42] и в книге [45].

### 2.1. Каковы физические принципы квантовой механики и в чём была нужда в них?

Квантовая механика лежит в основе 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 на этом пути – это найти тот физический механизм, который приводит к её формализму. Для этого было предложено так много безуспешных гипотетических механизмов, что любой новый стал вызывать только скептицизм. Так бывает, когда проблема либо неразрешима, либо решение частично уже было найдено, но оказалось разбросанным в разных трактовках. Первый случай недоказуем, тогда как второй вполне вероятен и заслуживает изучения. В статьях [41-42] была исследована вторая возможность и некоторые из прежних механизмов были изучены как взаимно дополняющие друг друга.

Первые догадки о физическом механизме квантовой механики появились ещё в 1926 г. когда Маделунг записал уравнение Шрёдингера в гидродинамической форме [19]. 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 двумя наблюдательными фактами. Во-первых, частицы постоянно флуктуировали, а связанные с ними волны оказались волнами вероятности. Во-вторых, локализованные состояния ансамбля свободных частиц со временем расплывались. Эти факты и вид волнового уравнения привели Эренфеста [2], Шрёдингера [28] и Фюрста [11] к аналогии с неким новым видом диффузии.

Эта специфическая диффузия должна была быть без трения, т.е. консервативной. По этой причине в стохастических трактовках [6,15] 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 [12]. Тем не менее эта попытка дала нечто более ценное - формализм консервативной диффузии, который оказался мало зависящим от частного механизма флуктуаций [13].

Кроме того, аналогия с диффузией в её интегральном представлении легла в основу физически наиболее наглядного из стандартных методов квантования – фейнмановских интегралов по путям [7], комплексной версии винеровских интегралов, описывающих обычную, диссипативную диффузию.

В первой из статей [41] были сформулированы искомые физические принципы квантовой механики. Из наблюдательного факта, что волновой пакет, описывающий локализованный ансамбль микрообъектов, расплывается по закону диффузии, следует *квантовый принцип эквивалентности*, согласно которому движение ансамбля квантовых объектов в пустом пространстве эквивалентно консервативной диффузии ансамбля классических объектов в флуктуирующем фоновом поле.

Также было показано, что наблюдения подтверждают справедливость принципа относительности для квантовых явлений, формулируемого как *принцип постоянства квантовых флуктуаций*, а именно, что эти флуктуации и описывающая их диффузия происходят одинаково во всех инерциальных системах отсчёта.

Было показано, что эти два физических принципа, вместе с принципами механики, ведут к *диффузионной квантовой механике* (ДКМ), состоящей в учёте того факта, что классические частицы флуктуируют и совершают консервативную диффузию не в пустом пространстве, а из-за взаимодействия с флуктуирующим фоновым полем. При этом весь 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 механика, становится понятным тогда, когда они приводят 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. Проблема источника квантовых флуктуаций и 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 евклидовое 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 смутно понимал недопустимость этого и считал это признаком неполноты квантовой механики.

В квантовой механике при самопроизвольной 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 [41] 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 пустой окружающий фон. Но это желание не оправдывает отказ от такого базового закона физики, как сохранение энергии и импульса изолированного объекта в однородном и изотропном пространстве.

В ДКМ, где использована вторая возможность, когда частицы классические, а источником их флуктуаций является действие на них окружающего их фона, парадокс Мюнхаузена очевидно отсутствует. Если под действием флуктуаций фонового 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.

Фоновое поле вводилось в ряде других трактовок, но упрощённые модели флуктуаций этого фона не позволили им стать состоятельными теориями. Тем не менее они показали, что более естественным источником флуктуаций микрочастиц может быть внешнее флуктуирующее фоновое поле. Отличие ДКМ от этих упрощённых моделей состоит, во-первых, в опоре не на частные модели, а на физические принципы, следующие из наблюдений и, во-вторых, во введении фонового поля без уточнения его конкретных свойств. Здесь учтены лишь факты флуктуаций этого поля и сохранения полной энергии системы «частица + фоновое поле». Третьим отличием является то, что

принцип относительности требует инвариантности флуктуаций и диффузии в этом поле, что и ведёт к консервативности диффузии независимо от её конкретного механизма.

Задачами для дальнейших исследований в ДКМ становятся в основном причины и механизмы флуктуаций фонового поля, а также их дальнейшие следствия. Принятие же этих флуктуаций как наблюдательного факта в виде соответствующего физического принципа приводит к простой и ясной физической картине квантовых явлений.

### 2.3. Почему в квантовой теории складываются амплитуды вероятностей?

В классической физике вероятности двух альтернатив складываются. В квантовой механике же плотность вероятности определяется как квадрат модуля комплексной амплитуды (плотности) вероятностей, которая по историческим причинам называется волновой функцией. При этом складываются не сами вероятности двух альтернатив, а их амплитуды вероятностей. В результате могут возникнуть дополнительные члены, которые уменьшают или увеличивают сумму вероятностей двух альтернатив. Примером этого является картина интерференции вероятностей в ансамбле частиц, прошедших через экран с двумя щелями.

В ДКМ состояние ансамбля классических частиц описывается плотностью вероятности и функцией, связанной со скоростью дрейфа потока частиц. Из них и образуется амплитуда вероятности в терминах координат и времени. Канонические уравнения движения для этих двух функций нелинейны, но при образовании из них волновой функции эти уравнения линеаризуются и переходят в уравнение Шрёдингера, основное уравнение квантовой механики. Линейность уравнения Шрёдингера затем приводит к тому, что имеет место суперпозиция для волновых функций и поэтому складываются амплитуды вероятностей альтернатив.

Причиной различия с обычной диссипативной диффузией, где складываются сами вероятности, является консервативность диффузии в фоновом поле, сохранение средней энергии ансамбля частиц, т.е. отсутствие диссипации её энергии. Средние значения физических величин в ДКМ совпадают со средними квантовой механики.

### 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 неравенств Белла.

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 добавляется и энергия диффузионного потока в фоновом поле. Этот диффузионный поток возникает тогда, когда плотность вероятности имеет начальную неоднородность, и стремится выровнять неоднородность, т.е. направлен к области с меньшей плотностью.

Физический смысл энергии этого диффузионного потока состоит в том, что внешними силами (стенками ящика, внешним полем и т.д.) ранее была затрачена некая энергия для того, чтобы создать эту неоднородность в распределении ансамбля частиц в пространстве, а теперь эта энергия проявляется в виде энергии диффузионного потока.

Чем меньше область локализации, тем больше степень неоднородности плотности вероятности и тем больше требуется затратить энергию для локализации ансамбля. 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 в виде газа, состоящего из атомов и молекул, имеет систему покоя, где покоится, например, сосуд с газом. Эта система отсчёта оказывается привилегированной 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 отсчёта.

Это возможно лишь в случае, если величина скорости свободного пробега частицы между взаимодействиями с фоновым полем является инвариантной скоростью, которая одинакова 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 принципа постоянства квантовых флуктуаций в фоновом поле. Переход от классической механики к релятивистской теории, тем самым также оказывается одним из следствий ДКМ, как и сама специальная теория относительности.

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 поле, и она инвариантна потому, что инвариантны квантовые флуктуации.

Таким образом, вместо двух постулатов, об инвариантности квантовых флуктуаций и инвариантности скорости света, в ДКМ достаточно одного постулата об инвариантности флуктуаций, 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.

Для ансамбля 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 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 поле.

Итак, энергия флуктуаций частицы конечной массы в фоновом поле содержит постоянную часть, энергию «тепловых» флуктуаций, которая проявляется как энергия покоя. Таким образом, 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 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 хаотичность столкновений или другие формы взаимодействия в многочастичной системе. Фазовое пространство системы из  $N$  частиц разбивается на малые ячейки и вычисляются вероятности в интервалах энергий частиц. В частности, вероятности заполнения  $M$  состояний с определёнными числами заполнения задаются числом способов (статистическим весом), которым эти состояния можно заполнить. В классической статистической механике частицы *различимы*, а вероятности всех состояний считаются *одинаковыми*. Так как число состояний велико, то средние числа заполнения состояний очень малы. При малых же средних числах заполнения частицы распределяются по состояниям независимо друг от друга.

Помещая каждую из  $N$  различных частиц в одно из  $M$  состояний, получим определённое число возможных распределений. Так как те из них, которые отличаются лишь перестановкой частиц, считаются одинаковыми, то надо ещё разделить это число на общее число перестановок. Тем самым находим статистический вес распределения  $N$  частиц по  $M$  состояниям, обратное которого и есть вероятность реализации каждого из распределений. Из требования, чтобы энтропия при равновесии была максимальной, затем находится функция распределения частиц равновесного газа в классической статистике, которая даётся распределением Максвелла-Больцмана (МБ).

В формализме квантовой механики вероятности реализации разных состояний системы частиц также считались одинаковыми и отличие от классической статистики сводилось к двум новым свойствам: а) частицы считались *неразличимыми*, и б) числа заполнения не обязательно должны были быть малыми. Оказалось, что предположение о неразличимости частиц так меняет статистический вес состояний, 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 о том, 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. Роль диффузии между столкновениями незначительна при высоких температурах и большой плотности состояний, когда малы числа заполнения, но существенна при низких температурах и не малых числах заполнения.

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, то 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. [32]. Оказалось, что условие равной вероятности различных состояний различимых классических частиц, когда вероятность попадания частицы в каждую из  $M$  состояний равна  $1/M$ , является излишне сильным ограничением. Введя вместо этого 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 здесь возникал вопрос о том, почему *равновероятность* должна быть заменена на *усреднение по произвольным вероятностям* и на это не было ответа, потому что, в классическом идеальном газе для этого нет оснований, а в стандартной квантовой механике частицы не считаются классическими.

В рамках ДКМ имеется ясный ответ на этот вопрос. Классическая газодинамика предполагает, что частицы между столкновениями движутся прямолинейно в пустом пространстве. Но в ДКМ классические частицы взаимодействуют ещё и с фоновым

полем, и между столкновениями происходят дополнительные флуктуации. Поэтому для каждой частицы вероятности заполнения приобретают дополнительный случайный разброс. Отсюда следует необходимость учитывать этот новый разброс вероятностей и усреднить по всем этим отклонениям. Тогда в газе различных частиц, которые между столкновениями ещё дополнительно флуктуируют, имеет место распределение БЭ.

Корреляция между частицами в разных состояниях, отсутствующая в классической механике, в ДКМ возникает из того факта, что диффузия частиц описывается амплитудами вероятности, заданными глобально, и амплитуды множества частиц взаимно перекрываются. Неразличимость частиц в квантовой статистике также проявляется эффективно как следствие учёта этих дополнительных флуктуаций и связанных с ними корреляций между частицами в их ансамбле.

Принципиально новым свойством квантовых флуктуаций является принцип исключения Паули для систем частиц описываемых антисимметричной волновой функцией при перестановке частиц. Не обсуждая детали связи спина и статистики отметим, что ДКМ, описывающая процессы с помощью амплитуд вероятностей, в общем случае допускает такие состояния независимо от причин их возникновения. Плотность вероятности есть квадрат модуля амплитуды и в результате амплитуда, в отличие от вероятности, может иметь оба знака. Поэтому, если по каким-то причинам имеет место консервативная диффузия с антисимметричными волновыми функциями, меняющими 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:

12. *Как правильно квантовать состояния с отрицательной энергией?*
13. *Есть ли нулевые флуктуации вакуума полей?*
14. *Как квантовать струны и есть ли у них критические размерности?*
15. *Каковы последовательные условия микропричинности?*
16. *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 остальных двух.

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

17. *Бесконечны ли поправки высших порядков теории возмущений?*
18. *Бесконечны ли киральные аномалии и случайно ли их сокращение в СМ?*
19. *Состоятельна ли квантовая гравитация?*
20. *Как описывать возможную субструктуру фундаментальных частиц?*
21. *Есть ли необходимость в суперсимметрии?*

Для решения первых двух проблем оказалось достаточным учесть одно из базовых гравитационных эффектов ОТО, которое экспериментально подтверждено, но до сих пор не учитывалось в физике частиц по сугубо историческим причинам. А ответы на другие вопросы следуют из решения вышеуказанных проблем. Эти результаты изложены в статьях [40] и в книге [46].

#### 3.1. Как правильно квантовать состояния с отрицательной энергией?

В КТП состояния положительной и отрицательной энергии возникают на равноправной основе. При этом частицы отрицательной энергии с самого начала трактовались как способ описания античастиц положительной энергии. Но реализация этой идеи оказалась не простой и, после ряда этапов, задача была решена лишь недавно.

При первоначальном наивном 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 - появление отрицательных вероятностей для частиц отрицательной энергии при обычном квантовании полей [26].

Первая проблема была решена в 1940-е годы в трактовке Штюкельберга-Фейнмана (ШФ) [8,31]. Эта трактовка вводит частицы двух знаков энергии, где частицы с отрицательной энергией, движущиеся только назад во времени, фактически описывают античастицы с положительной энергией, движущиеся только вперёд во времени. Тогда переход частицы в состояние с отрицательной энергией означает процесс аннигиляции положительно-энергетической пары частица-античастица с переходом их энергии в энергию излучения.

Однако, в трактовке ШФ вторая из проблем – появление отрицательных вероятностей – не была решена, что делало её несостоятельной. Поэтому применение этой трактовки в КТП считалось непоследовательным и условным.

В результате этого стандартной стала формулировка КТП с частицами и античастицами только положительной энергии, когда нет проблем с вероятностями. В этой формулировке операторы рождения частиц отрицательной энергии заменялись операторами уничтожения античастиц «вручную». Но, в результате этой ручной операции появлялась бесконечная нулевая энергия вакуума даже тогда, когда её не было до этой замены. Это означало несостоятельность теории уже по этой причине (эта проблема и её решение будут обсуждаться в следующем разделе).

Осознание 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 нахождение и устранение причины появления отрицательных вероятностей М. Павшичем [27] в 1998 г. Он стартовал с выражения для оператора энергии поля с обеими знаками и показал, что в этом случае вероятности всех состояний остаются положительными.

Но как в этой, так и в ряде других попыток, состояния с отрицательной энергией вводились в надежде на то, 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 первой из статей [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, с одной стороны, все состояния описываются согласно трактовке ШФ, что исключает падение частиц в состояния с отрицательной энергией. С другой стороны, описание функций, описывающих траектории частиц, в том числе и выражение для энергии поля, изначально выбираются такими, чтобы строго удовлетворить требованиям трактовки ШФ. Это условие внутренней согласованности теории ранее не выполнялось, в чём и состояла ошибка прежних попыток. Способ обеспечения выполнения этого условия был указан в [40], после чего оказалось, что трактовка ШФ автоматически воспроизводит результаты Павшича [27] и все состояния имеют 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 энергия вакуума полей даже в тех случаях, когда такой энергии не было до перехода к античастицам. Это – «нулевая энергия» вакуума, поля, аналогичная «нулевой энергии» гармонических осцилляторов, низшему уровню энергии, и считалась проявлением «нулевых флуктуаций» поля.

Вклад нулевых флуктуаций, который бесконечен, был предсказан для всех полей СМ, и это, из-за неизбежного учёта гравитации, делало теорию несостоятельной. При наличии нулевой энергии, т.е. 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 статье [40], где был сформулирован метод квантования полей и струн в трактовке ШФ, ведущий только к положительным вероятностям, было показано, что некоторые известные выражения для энергии классических полей не ведут к нулевой энергии. Этот последовательный метод квантования был применён к гармоническим осцилляторам с двумя знаками энергии, а затем к релятивистским полям и струнам. При этом перейти от трактовки ШФ к античастицам можно с помощью зарядовой или кроссинг симметрий.

Имеется ряд следствий нового метода квантования. 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 процедурах квантования полей и делают формализм КТП математически корректным и физически состоятельным.

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

Гипотеза струн предполагает, что фундаментальные объекты физики - это струны с длиной порядка планковской длины, одномерные объекты без толщины, а их кванты наблюдаются как известные частицы. Считалось, что струны имеют критические размерности пространства-времени – 26-мерное для бозонной струны и 10-мерное для фермионной. Симметрии этих высших измерений и фиксировали свойства симметрии струн и их квантов.

Однако, эта чисто умозрительная гипотеза и её обобщения, хотя и занимали доминирующее положение в физике частиц в последние четыре десятилетия, тем не менее, не только не имеют эмпирической базы, но, как было показано в статье [40], не состоятельны с теоретической точки зрения тоже. Было показано, что при состоятельной 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, имела смысл лишь в отсутствии гравитации и становилась незаконной в моделях с гравитацией. Поэтому первые 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?

Прежняя стандартная формулировка КТП основывалась на условии микропричинности, применявшемся в классической теории релятивистских полей. Утверждалось, что измерения поля в одной пространственно-временной точке (событии) не влияют на измерения в другой точке, если их нельзя связать световым сигналом. В квантовой механике это означало одновременную измеримость полевых переменных в этих точках, что выражалось в требовании о том, чтобы операторы бозонного поля коммутировали. Перестановочные функции (коммутаторы) бозонных полей поэтому должны были быть нечётными функциями интервала времени, исчезающими за световым конусом, в чём и выражались 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. При этом амплитуды сверхсветовых перемещений частиц и их античастиц взаимно сокращали друг друга и в итоге вероятности реальных перемещений исчезали. Это означало, что в КТП сверхсветовые перемещения отдельно взятых частицы и античастицы допускаются в масштабах их комптоновской длины, а взаимное сокращение этих амплитуд является проявлением многочастичного характера процессов в КТП. 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.

Для фермионных полей противоречивость определения микропричинности в прежней трактовке оказывается ещё более явной. Антискоммутатор фермионных полей ранее представлялся через функцию Паули-Йордана и утверждалось, что он также исчезает за световым конусом и определение микропричинности распространялось и на фермионы. На деле же это представление верно лишь внутри и на световом конусе, а вот вне светового конуса, где функция Паули-Йордана исчезает, а антискоммутатор фермионного поля отличен от нуля, это представление ошибочно.

Таким образом, прежнее определение микропричинности, декларированное как исчезновение коммутаторов или антискоммутаторов полей за световым конусом, выполнялось для бозонов, но не выполнялось для фермионов, а также противоречило свойствам причинных пропагаторов.

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 также, как и причинные пропагаторы.

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 прежней стандартной формулировке КТП доказательство теоремы о связи спина и статистики [25] основывалась на двух условиях. В частном случае свободных полей - это условие положительности энергии квантов со спином половина, из-за чего вместо коммутаторов вводились антикоммутаторы, а в более общем случае полей с взаимодействиями - это условие микропричинности, понимаемое как отсутствие сверхсветовых корреляций событий в разных точках поля.

Поля со спином половина квантуются в рамках трактовки ШФ введением антикоммутаторов, предполагая, что это фермионное поле. Но в этом случае антикоммутаторы не приводят к исключению квантов с отрицательной энергией. Это означает, что появление антикоммутаторов в последовательной квантовой теории поля без расходящейся нулевой энергии не связано со знаком энергии квантов.

В прежней стандартной формулировке факт увязки антикоммутаторов со знаком энергии был артефактом «ручной» замены операторов рождения (уничтожения) квантов отрицательной энергии операторами уничтожения (рождения) античастиц, которое и вело к нулевой энергии. Но в КТП на базе трактовки ШФ прежние условия микропричинности модифицируются, становясь более «мягкой». При этом антикоммутаторы полей спина половина ведут себя также, как и причинные пропагаторы, не исчезающие за световым конусом. Это не создаёт проблем, а лишь восстанавливает внутреннюю согласованность КТП, так как одночастичные ограничения не обязаны строго соблюдаться в многочастичной теории.

Таким образом, условие микропричинности, которое в КТП в действительности не является такой строгой, как в классической теории, также не является основанием для введения антикоммутаторов. В этой связи следует учесть два факта.

Во-первых, это факт описания квантов с целым спином симметричными волновыми функциями, так как, например, в системе с двумя парами электронов каждая из пар имеет целый суммарный спин, а при попарной перестановке электронов общая волновая функция не меняет свой знак. Это означает, что первая часть теоремы о связи спина и статистики, что частицы целого спина являются бозонами, очевидно доказано.

Во-вторых, это факт того, что частицы с полуцелым спином в рамках трактовки ШФ могут в принципе описываться как симметричными, так и антисимметричными волновыми функциями, но опыт показывает, что верно второе, т.е. они являются фермионами. Тем самым, на данном уровне нашего понимания КТП вторая часть прежней теоремы о связи спина и статистики, что кванты с полуцелым спином являются

фермионами, не является теоремой, которая доказана, а является постулатом, основанным на выводах из экспериментов.

### 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 петлевых диаграмм.

На практике производилось обрезание (регуляризация) на конечных расстояниях (и энергиях), когда поправки ещё малы и ряды теории возмущений сходятся. Растущие с ростом энергии обрезания части поправок, вместе с затравочными массами и зарядами частиц, должны были давать их измеряемые массы и заряды. Поэтому подстановка вместо них известных из эксперимента масс и зарядов была логичной, и эта процедура, названная «перенормировкой», сделала КТП конечной и успешной теорией.

Проблема тем самым была сведена к вопросу о том, каков тот *неизвестный* физический механизм, который делает регуляризацию конечными, чтобы поправки к массам и зарядам так и остались малыми. Однако, долгие поиски такого нового механизма на базе радикальных гипотез оказались безуспешными. Основной причиной этого был поспешный вывод о том, что все известные явления уже учтены.

Во второй из статей [40] показывается, что искомый механизм существовал изначально 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 учёта гравитации она считалась лишь одним из полей. Но согласно 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 и поэтому не дают вклада в вероятности процессов физики частиц. Застывание же квантовых флуктуаций означает предельно сильное красное смещение частот вплоть до их зануления, т.е. учёт эффектов гравитации квантов ведёт к гравитационной регуляризации интегралов петлевых диаграмм на планковской длине.

Нелинейность полей усиливает гравитационные эффекты, а значит и застывание начнётся при ещё больших расстояниях, что ещё сильнее подавляет вклады больших энергий. Конечность поправок высших порядков теории возмущений на малых расстояниях делает состоятельными и модели с неперенормируемыми полями, если поправки малы на планковской длине. Для 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 с экспериментом СМ 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 свелась к однопетлевым гравитонным вкладам, тогда как вклады более высокого порядка оказались чрезвычайно малыми.

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 и существенно оздоравливает ситуацию в физике частиц. Также важно то, что долгий начальный этап формирования КТП, когда несмотря на многочисленные успехи теории её основы были внутренне противоречивыми, теперь можно считать закончившимся.

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

Есть особый класс петлевых диаграмм, треугольные диаграммы с фермионными пропагаторами, которые линейно растут с энергией обрезания и ведут к киральным аномалиям. При гравитационной регуляризации, даже будучи конечными, аномальные диаграммы ведут к очень большим вкладам в наблюдаемые величины.

Поэтому критерием состоятельности моделей физики частиц является взаимное сокращение аномалий в совокупности диаграмм для каждого наблюдаемого процесса. В СМ имеет место именно такое сокращение киральных аномалий, что было одним из главных критериев отбора кварковых моделей и моделей 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. Вводимые локальные поля и токи пионов являются эффективными и поэтому теряют смысл на малых расстояниях.

### 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 слаба 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 позволяет применять теорию возмущений. Физические наблюдаемые тогда можно

представить в виде затравочных значений и малых квантово-полевых поправок. При разложении по этим эффективным константам связи ряды теории возмущений 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 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 чего интерес к преонным моделям практически исчез. Всё внимание было переключено на теории с несоставными частицами, которые 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 [37,41].

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 ансамбля составных частиц надо локализовать каждый из ансамблей примесных атомов в определённом малом объёме и это предполагает затрату энергии тем больше, чем меньше конечный объём локализации этих ансамблей. Однако, если две частицы вначале случайно находились на расстоянии меньше длины свободного пробега и за время меньшее времени пробега успели образовать связанное состояние (атомы соединились в молекулу), то далее эта составная частица (молекула) диффундирует так же, как другие атомы, отличаясь лишь массой.

В статьях [37,41] было предложено использовать такой же механизм образования составных частиц малой массы и в ДКМ и затем этот механизм был применён к простейшей из моделей преонов – модели ришонов. 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 основные из них 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 эту суперсимметрию 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:

22. *Как описать структуру и эволюцию протяжённого объекта в ОТО?*
23. *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:

24. *Как коллапсирует оболочка и появятся ли у неё горизонт и сингулярность?*
25. *Как коллапсирует пылевая звезда и какой будет её структура?*
26. *Как коллапсирует вращающаяся звезда и появится ли у неё эргосфера?*
27. *Может ли произойти релятивистский взрыв коллапсирующей звезды?*
28. *Имеют ли сколлапсировавшие звёзды «причёску»?*
29. *Могут ли сливаться две сколлапсировавшие звезды?*
30. *Чем сверхмассивные коллапсары отличаются от обычных?*
31. *Есть ли квантовое испарение сколлапсировавших звёзд?*

Эти результаты изложены в статьях [39,43] и в книге [47].

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

В классической 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 разных инерциальных систем отсчёта отличаются. В результате шар сферически-симметричен только в системе покоя центра, а в других инерциальных системах он становится эллипсоидом, сплюснутым вдоль скорости. Поэтому в СТО сферическая система координат уместна для описания сферического тела только в его системе покоя и неадекватна 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  $\tau$ . 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  $\tau$ , 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  $\tau$ , а значит  $\tau$  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 вместе с остальным веществом звезды образует сингулярность, бесконечно плотное состояние.

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

Первая трактовка также давала такой сценарий, как и ньютоновская теория, так как в ОТО траектории частиц на поверхности звезды в терминах  $\tau$  описывается той же формулой, что и в ньютоновской теории. Это привело к гипотезе чёрных дыр, доминировавшей в течение полвека. Суть этой трактовки состоит в дополнении ОТО гипотезой, что при описании событий на поверхности можно игнорировать события во внешнем мире и считать  $\tau$  способным идти независимо от  $t$  на и внутри гравитационного радиуса. По этой причине  $t$  считался «неудачным» выбором для временной координаты, а  $\tau$  соответственно дающим истинную картину.

Вторая трактовка даёт отрицательный ответ на указанный вопрос учитывая тот факт, что в терминах  $t$  поверхность коллапсирующей звезды застывает вне её гравитационного радиуса, никогда не достигая его. Причиной этого является гравитационное замедление  $\tau$  относительно времени внешнего мира, выражаемого  $t$ . При этом вблизи гравитационного радиуса  $\tau$  практически перестаёт идти относительно  $t$ , что и означает застывание. Эта трактовка в конечном итоге привела к теории фрозаров, которая не вводит в ОТО какую-либо гипотезу и лишь описывает картину полного застывания структуры звёзд в терминах  $t$ .

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 практически перестают двигаться, ничего не меняет в вопросах факта их существования и нахождения вне гравитационного радиуса звезды.

Отметим, что в поле Шварцшильда [29], описывающем гравитационное поле вне и на поверхности сферической звезды, радиальная компонента метрики содержит сингулярность, т.е. стремится к бесконечности, когда эта координата приближается к гравитационному радиусу звезды. При этом временная компонента метрики зануляется. 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  $\tau$  локально справедлива СТО и сингулярности нет. Из этого затем выводилось утверждение, что локальные наблюдатели спокойно пересекают гравитационный радиус точно также, как это было в ньютоновской теории.

Теория фрозаров [39,43] 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 выход за пределы ОТО, вследствие чего и выводы не имели отношения к ОТО.

Дело в том, что при переходе к другим координатам сингулярность лишь переносится либо от одних компонент метрики на другие (как при переходе от сферических к декартовым координатам), либо от метрики переносится на сами координаты (как при переходе от глобальных шварцшильдовских координат к

координатам локальных наблюдателей). Поэтому исключить сингулярности 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 соответствующий интервал собственного времени на поверхности звезды конечен. Если же аккуратно учесть это фундаментальное 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 существования 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 является тем физическим явлением, которое останавливает коллапс оболочки. Этот факт замедления и последующего застывания локальных собственных времён относительно  $t$ , является ключевым фактом для понимания процесса коллапса также и других объектов.

Именно это фундаментальное физическое явление, застывание процессов при сильной гравитации в терминах 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 (frozar от frozen star, застывшая звезда). Он состоит из оболочки, застывшей над своим гравитационным радиусом, и пустой внутренности, где пространство плоское и где застыли также и пробные частицы. Полный 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 путём экстраполяции ньютоновского сценария коллапса в ОТО 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, где покоится её центр, ясно 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 якобы не могут получить об этом информации. 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. 1).

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

При коллапсе оболочки вывод о формировании полого фрозара вместо чёрной дыры 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  $t$ .

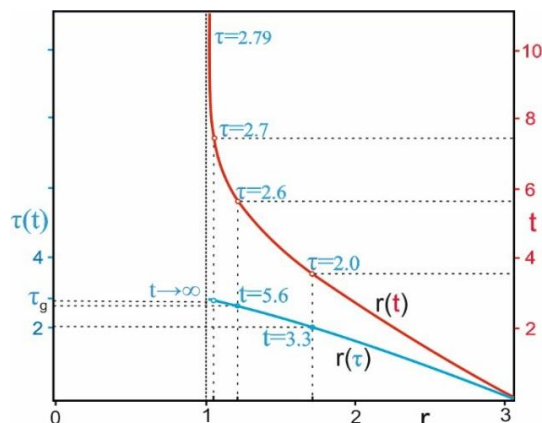


Рис. 1. Мировая линия падающей пробной частицы в терминах мирового времени  $t$  и собственного времени  $\tau$ .

#### 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 инерции должна быть задана как совокупность одновременных событий.

Это определение, естественное в СТО, не меняется и в ОТО. Для обычных звёзд, включая белых карликов и даже нейтронных звёзд, гравитационное замедление времени невелико. В общем случае же вне сферической звезды её 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  $\tau$ , 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. В случае сферической пылевой звезды, плотность которой локально однородна, а частицы падают радиально с параболической скоростью, Оппенгеймером и Снайдером (ОС) в 1939 г. было найдено точное решение уравнений Эйнштейна [23]. Они преобразовали известное локальное решение Фридмана (в форме Толмана [33]) в терминах  $\tau$  в глобальное решение в терминах  $t$ . Решение ОС впервые позволило описать структуру коллапсирующей звезды как совокупности одновременных событий.

Позже точные решения были найдены также и для эллиптической скорости 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 (параболической, эллиптической и гиперболической) было дано автором в 2017 г. [38,39,43]. Отметим, что эти три скорости, сохраняющие однородность плотности, соответствуют трём значениям кривизны однородного пространства - нулевому, 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 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 плотности достаточно массивных звёзд 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 [38,39,43].

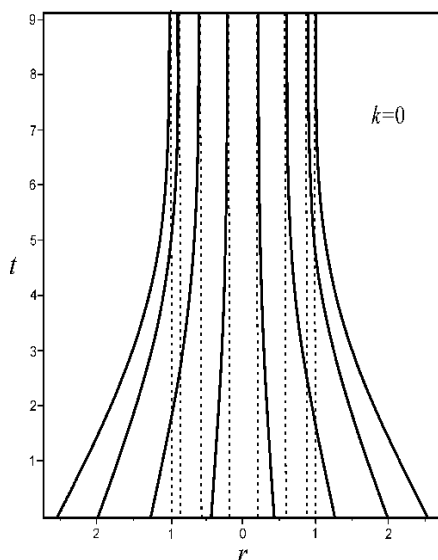


Рис. 2. Мировые линии частиц звезды вдоль диаметра (в единицах гравитационного радиуса) по решению ОС. При больших  $t$  частицы на поверхности застывают вне гравитационного радиуса, внутренние слои застывают около своих асимптот (пунктиры).

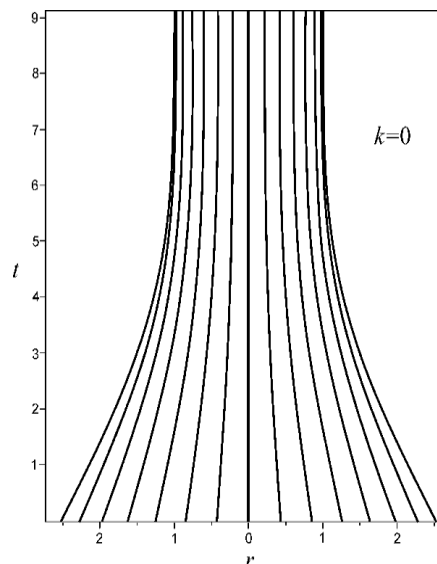


Рис. 3. Мировые линии ОС из Рис. 2 с немного большим числом слоёв для отображения характера застывания различных слоёв.

Графики мировых линий частиц звезды показывают внутреннюю структуру пылевой звезды в разные моменты  $t$  (Рис. 2-3). 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 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 везде часами мирового времени. 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, простейшими из которых и являются 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  $\tau$  и мирового времени  $t$ , были попытки продолжения описания мифических «событий» при в нефизической области «за пределами бесконечного мирового времени». Поверхности звезды при этом придавалась мифическая способность пересекать гравитационный радиус в эпоху «после бесконечности» 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.

В отличие от нейтронных звёзд, при падении вещества на фрозар не будет вспышки излучения так как около поверхности вещество и процесс его падения быстро застывают. Поэтому для внешнего наблюдателя падение вещества на фрозар будет очень «тихим». Это и ряд других свойств фрозаров согласуется с наблюдаемыми свойствами известных компактных объектов, которые являются «кандидатами 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 состоянии, в каком была перед застыванием. Фрозары не имеют горизонта и сингулярности и ведут к ряду наблюдаемых эффектов, а область пространства, занимаемая ими, есть «место, где ничего не происходит».

Гипотеза же чёрных дыр, предсказания которой никогда и нигде не наблюдались, основана на ньютоновском сценарии, чисто формально внедрённом в ОТО, и 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 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 входит не только гравитационный радиус, но и угловая скорость и параметр, характеризующий сплюснутость звезды из-за вращения.

Собственное время частицы на поверхности звезды замедлено по отношению к  $t$  как гравитационно, так и кинематически, при этом нерадиальная часть скорости этих частиц максимальна на экваторе и равна нулю на полюсах. Локальная скорость частиц поверхности лишь асимптотически приближается к скорости света в любой конечный момент  $t$ .

Поэтому при сжатии звезды частицы на поверхности около полюсов, как и в случае сферической звезды, застывают по мере приближения к гравитационному радиусу. Но на других широтах полная скорость частиц на поверхности растёт по мере сжатия быстрее, чем на полюсах, так как к радиальной скорости падения добавляется

скорость вращения. Поэтому расстояния от центра, когда полная скорость стремится к скорости света и застывают собственные времена частиц, будут всё больше и больше. На экваторе это расстояние, зависящее от угловой скорости, достигнет максимума.

Таким образом, для внешней статической системы отсчёта по мере сжатия вращающейся звезды процессы на её поверхности застывают в терминах  $t$ . Поверхность, таким образом, застывает оставаясь сплюснутым эллипсоидом. Застывают также все процессы во внутренних слоях, 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 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 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.

#### 4.6. Когда может произойти релятивистский взрыв коллапсирующей звезды?

При рассмотрении сжатия *холодного* вещества (пылевого или с давлением) не учитывались температурные эффект, 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 внутри звезды в большей мере, чем на 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 близко 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 [20,39,43].

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 может переходить к состоянию 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 разогрев остановит сжатие и приведёт к взрыву.

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.

#### 4.7. Имеют ли сколлапсировавшие звёзды «причёску»?

Поверхности белых карликов и нейтронных звёзд не содержат больших неоднородностей из-за их сильной гравитации. Любое падающее на них вещество также поглощается компактной звездой или распределяется по её поверхности.

В случае фрозаров ситуация противоположная из-за чрезвычайно сильной гравитации: аккрецирующее вещество, падая почти радиально, быстро застывает на поверхности, а поперечный размер аккрецирующего участка вещества не возрастёт. В результате вещество становится 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 сплющится и застынет на поверхности фрозара в виде локальной «причёски», крупного маскона (Рис. 4). Это ведёт к заметной локальной неоднородности гравитационного поля фрозара. Также возможен 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

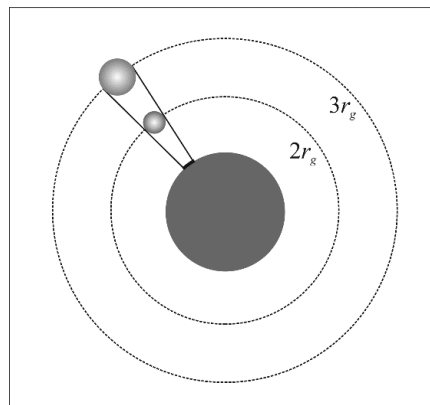


Рис. 4. Радиальное падение нейтронной звезды массы  $1.5M_{\odot}$  на фрозар массы  $7M_{\odot}$ , что ведёт к сплющиванию нейтронной звезды (как маскона на Луне) и застыванию на поверхности фрозара как «причёски». Это ведёт к локальной неоднородности поля фрозара и его тени.

поле исследований для изучения структуры и истории формирования каждого из фрозаров [43].

Неоднородность распределения плотности вещества на поверхности фрозара приводит к неоднородностям гравитационного поля фрозара над этими областями поверхности. Эти неоднородности, хотя и уменьшаются с расстоянием, ведут к наблюдаемым эффектам. В некоторых случаях, например, при наличии орбитальных источников излучения, их можно обнаружить с помощью методов гравиметрии, а также неровностей красных смещений вещества вокруг фрозара.

Одним из наблюдаемых следствий таких возмущений метрики является появление небольших отклонений в тени фрозара. Гравитационное отклонение световых лучей искажается возмущениями метрики. Более сильное отклонение лучей от более массивного участка поверхности увеличивает границу тени над этой областью, и 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.

#### 4.8. 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 два или более фрозара при сближении не смогут слиться и застывают на некотором расстоянии друг от друга, 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. 5). Таким образом, в ОТО два фрозара не могут слиться и происходит только их слипание. Такая же ситуация, ещё более наглядная, имеет место и для трёх фрозаров (Рис. 5).

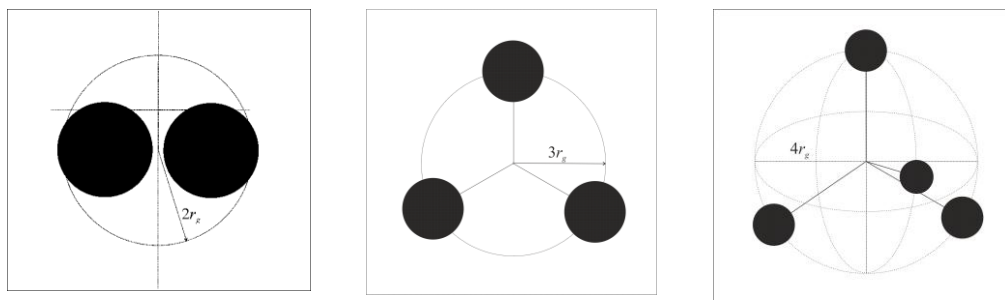


Рис. 5. Гравитационное застывание двух, трёх и четырёх фрозаров одинаковой массы на гравитационном радиусе центра инерции системы  $nr_g$  ( $n = 2, 3, 4$ ).

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. 5).

Фактически застывшее скопление образует гравитационный кристалл, где расстояния между фрозарами в несколько раз превышают размеры каждого из них.

Результат слипания фрозаров представляет собой наиболее крупную неоднородность в кластере из фрозаров. Эти неоднородности также приводят к наблюдаемым эффектам, более сильным, чем аналогичные эффекты, рассмотренные выше, такие как масконы на поверхности фрозара. Гравиметрия, а также другие методы, связанные с изучением поведения орбит и дисков, также могут позволить изучить внутреннюю структуру таких кластеров фрозаров.

Кроме того, слипание 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.

#### 4.9. 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, значительно превышающие массу Солнца, имеют сложную и неоднородную структуру. Это связано с тем, что 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 падают почти радиально, образуя над гравитационным радиусом системы 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 на гравитационном поле 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 не могут быть объяснены обычными причинами.

#### 4.10. 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. При этом энергия виртуальной пары частица-античастица положительная. Поэтому в ОТО 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 улететь.

Отсутствие «горизонта событий» в корректно решённой задаче коллапса в ОТО, когда поверхность звезды застывает навечно вне гравитационного радиуса, а «горизонт» не образуется никогда, делает бессмысленным также и картину «испарения».

Однако, 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:

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

Решения этих проблем изложены в статьях [41] и в книге [45].

### 5.1. Был ли прав Максвелл в отношении природы гравитации?

В книге 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  $M_1$  и  $M_2$ ... Если  $R$  представляет собой результирующую силу тяготения..., то  $\dots E = C - \sum R^2 dV / 8\pi$ . 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.».

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 пришёл к выводу, что этот факт кое-что говорит о физическом механизме гравитации. А именно, он догадался, что разумный выход из положения будет только в случае, когда во всём пространстве есть некая среда с огромным запасом положительной энергии, большей по модулю величины наиболее глубокой из «гравитационных потенциальных ям». Тогда плотность энергии гравитационного поля выражает 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», созвучен ДКМ, основанной на существовании фонового поля. Как было показано во второй из статей [41] и будет рассмотрено ниже, проблема отрицательности энергии ньютоновского поля, вызывавшая озабоченность Максвелла, естественным образом решается в диффузионной теории гравитации, следующей из ДКМ, и именно так, как Максвелл и предполагал.

## 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 поле, а энергия флуктуаций частицы, или её «тепловая энергия», равная энергии покоя  $mc^2$ , есть тот «уровень энергии», которую занимает частица в фоновом поле. Флуктуации частиц вблизи массивного тела будут медленнее, чем вдали от него, и это означает, что скорость флуктуаций вблизи тела  $c'$  меньше  $c$ . В результате,  $c'$  становится зависящим от расстояния до массивного тела, а энергия покоя частицы вблизи 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 частиц в окрестностях массивного тела.

Итак, изменение состояния фонового поля вблизи массивного тела сводится в первом приближении к появлению потенциальной энергии взаимодействия частицы с

эффективным внешним полем, которая пропорциональна массе частицы и потенциалу поля замедления флуктуаций:  $U = m\varphi$ .

Полная энергия частицы с дрейфовой скоростью  $\mathbf{v}$  тогда содержит кроме кинетической энергии, также энергию покоя  $mc^2$  и потенциальную энергию  $m\varphi$ . Уравнение движения в ньютоновском приближении в результате принимают 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  $\varphi$  ускоряются одинаково, независимо от их масс.

Это следствие диффузионной трактовки гравитации в ДКМ выражает основное отличительное свойство гравитации, отсутствующее у других полей. Принцип эквивалентности, сформулированный Эйнштейном на основе этого свойства, 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 достаточно быстрый нагрев этого тела до температуры среды в этой области. Этот нагрев тела ведёт к локальному охлаждению среды относительно других областей.

Результатом же локального охлаждения среды, до его релаксации, является уменьшение тепловой энергии молекул в этой области, что снижает интенсивность флуктуаций всех молекул, 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 молекул примеси.

В ДКМ при большой концентрации классических частиц, погруженных в фоновое поле, должны происходить аналогичные процессы. Интенсивность флуктуаций частиц в этой области должна снижаться из-за локального уменьшения плотности энергии фонового поля, а это должно привести к термодиффузионному потоку других классических частиц в эту область с более низкой интенсивностью флуктуаций.

Однако теперь не обязательно, чтобы градиент плотности энергии фонового поля приводил к «потоку тепла» в более «холодную» область и к выравниванию локальных плотностей энергии. В данном случае замедление флуктуаций означает ни мало, ни много 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 частиц отождествляется с гравитацией.

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 в среднем меньше на величину энергии покоя этой частицы.

Влияние одной частицы на фоновое поле незначительно, но очень большое число частиц в малой области заметно понижает местную плотность энергии фонового поля. Это уменьшает здесь скорость флуктуаций частиц и ведёт к термодиффузионному

потоку частиц в эту область. Поэтому потенциал гравитационного поля пропорционален массе источника.

Приращения скорости, из-за консервативности диффузии, кумулятивные, т.е. накапливаются, и появляющееся термодиффузионное ускорение не зависит от масс ускоряемых частиц. В результате мировые линии частиц искривляются одинаково и все процессы с ними замедляются, что равносильно замедлению собственных времён.

Таким образом, локальный дефицит энергии фонового поля, порождая консервативную термодиффузию, 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 «источник + фоновое 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), которые будут рассмотрены в Части 6.

Итак, фундаментальным следствием консервативной диффузии в ДКМ является соответствующая термодиффузия в неоднородном фоновом поле, где неоднородность плотности энергии фонового 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 источника понижена на величину энергии квантовых флуктуаций её частиц (т.е. их энергии покоя) и кинетическую энергию, полученную из фонового поля в ходе формирования источника. Полная энергия источника и формируется из той энергии, на которую уменьшилась энергия фонового поля в её окрестностях. Поэтому сумма полной энергии источника и дефицита энергии фонового поля вокруг него равна нулю.

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

В общем случае условие баланса энергий источника и фонового поля вокруг него должно быть записано локально, т.е. через плотность энергии и импульса источника 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

Главными проблемами релятивистской космологии [5,10,18] сначала её формирования были три проблемы, на которые, по иронии истории, исследователи до сих пор не обращали практически никакого внимания:

36. *Парадокс двойного красного смещения в релятивистской космологии.*
37. *Есть ли абберрация в космологии?*
38. *Меняется ли темп собственных времён в ходе расширения?*

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

В статьях [42] было показано, что снятие этого предположения и переход к более общей ситуации, допускаемой ОТО, к космологии с замедляющимся временем, решает этот парадокс. Новая модель не содержит тёмной энергии и других проблем прежних моделей с ранней вселенной, т.е. решается ещё ряд проблем прежних моделей:

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

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

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

Решения этих проблем космологии изложены в статьях [42] и в книгах [45,48].

### 6.1. Парадокс двойного красного смещения в релятивистской космологии

В статическом пространстве фотоны от удаляющихся от нас источников придут к нам с доплеровским красным смещением. При этом в нашей системе покоя это смещение имеется уже вначале и далее не меняется, т.е. фотоны придут к нам с первоначальным доплеровским смещением независимо от расстояния [22].

Если же пространство расширяется, но источник покоится относительно нас (не сопутствует расширению), то фотоны от такого статического источника испускаются без доплеровского смещения. В пути длины волн этих фотонов возрастут из-за расширения пространства и фотоны придут с красным смещением из-за растяжения. Это сугубо космологическое красное смещение растёт с расстоянием.

Это - два независимых механизма космологического красного смещения: первый, эффект Доплера для удаляющихся от нас источников, имеется уже вначале, а второй, растяжение длин волн фотонов от любых источников, возникает в ходе распространения.

В расширяющемся пространстве сопутствующие расширению объекты 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, введя вблизи такого источника ещё один 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 обоих механизмов, а не одного из этих эффектов. Но при

предположении, что начальная длина волны совпадала с длиной волны фотонов здесь у нас, реально наблюдаемые смещения соответствуют вкладу лишь одного из этих механизмов. Итак, теория предсказывает два вида красных смещений, а наблюдения показывают наличие только одного из них. Это - *парадокс 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 учитывается в релятивистской форме и возникают различия.

В стандартной формулировке релятивистской космологии как причина красного смещения указывался лишь один из этих двух механизмов. 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. Этим теория фактически подгонялась к наблюдениям, так как учёт обеих видов смещения привёл бы к удвоению предсказаний в полном противоречии с наблюдениями.

В статьях [42] было показано, что согласие теории с наблюдениями достигается не игнорированием одного из двух независимых физических явлений, что ошибочно и завело развитие теории в тупик, а поиском третьего, допустимого в ОТО механизма, компенсирующего вклад одного из двух видов красного смещения.

Ключ для решения парадокса двойного красного смещения дало переосмысление считавшегося очевидным предположения о том, что начальная длина волны фотона совпадала с длиной волны фотонов у нас. В ОТО в общем случае это не так и поэтому возврат к более общему случаю позволил решить парадокс 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 (она учитывалась лишь в моделях без расширения пространства). Причиной этого была трактовка красных смещений как результата растяжения длин волн.

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 в приходящих на данный телесный угол.

При увеличении телесного угла конуса число фотонов в конусе прежней величины уменьшится, что означает снижение видимой светимости. Это уменьшение плотности светового потока, приходящего от удаляющихся объектов, обязательно должно учитываться в расширяющейся вселенной. При этом аберрация ведёт к тому, что удаляющиеся источники будут казаться более тусклыми, чем покоившиеся относительно нас на таком же расстоянии.

Необоснованное игнорирование же аберрации, как это делалось до сих пор, приводило либо к систематическому завышению расстояний до источников, либо к систематической недооценке их абсолютных светимостей. Для объяснения такого «загадочного» потускнения затем вводились разные гипотезы, главной из которых 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?

Парадокс 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 парадокса – 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, чтобы длина волны фотона при его испускании в более раннюю эпоху совпадала с длиной волны такого же фотона у нас только в ту же самую раннюю эпоху (учёта эффекта Доплера). Длина волны фотона, испущенного вдали от нас в эпоху 10 млрд. лет после Большого Взрыва по местному собственному времени там, должна совпадать с длиной волны такого фотона здесь также в эпоху 10 млрд. лет после Большого Взрыва по собственному времени здесь. Это значит, что для длин волн фотонов в разных местах, испущенных в *разные эпохи*, космологический принцип не накладывает ограничений.

Поэтому, чтобы сделать второй шаг для решения парадокса 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 частности, отличалась ли длина волны фотона, испущенного здесь у нас в более раннюю эпоху от длины волны такого фотона сейчас?

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 парадокс двойного красного смещения решается только если темп собственного времени везде замедлялся в ходе расширения.

При переменном собственном времени надо выбрать как эталон время одной из эпох. Для нас естественно выбрать эталоном темп нашего времени, так как сигналы от прежних эпох сравниваем с сигналами в наше время. Такая модель космологии с замедляющимся временем (КЗВ) не содержит указанный парадокс.

Прежде в основном изучалось влияние на космологическую эволюцию роста расстояний между объектами, а в КЗВ изучается также влияние роста интервала времени между событиями. При этом показывается, что ОТО согласуется с наблюдениями только при более быстром темпе времени в прежние эпохи и его замедлении в ходе расширения.

Дело в том, что в этом случае в дополнение к двум механизмам космологического смещения, эффекту Доплера и растяжению, появляется и третий механизм - фиолетовое смещение для фотонов, испущенных в более ранние эпохи. Этот новый вид смещения компенсируется в пути красным смещением из-за растяжения длин волн и наблюдаемое смещение будет содержать лишь красное смещение только из-за эффекта Доплера.

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 [42], 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. Существуют ли космологическая постоянная и тёмная энергия?

Объяснение наблюдаемых космологических красных смещений релятивистским эффектом Доплера меняет зависимость видимых светимостей от величины красных смещений, а также ведёт к необходимости учёта абберрации, что естественным образом объясняет дополнительное потускнение источников.

Игнорирование же этих двух обстоятельств, практиковавшееся до сих пор, приводило к завышению расстояний или недооценке абсолютных светимостей. Чтобы объяснить все это, было сделано предположение об ускоренном расширении, а затем, для обоснования этого, была введена «тёмная энергия».

В результате, прежняя стандартная модель космологии основывалась на введении космологической постоянной, плотности тёмной энергии, наличие которой ведёт к отталкиванию между массами, т.е. антигравитации. Однако, величина космологической постоянной получалась настолько малой, что не могла быть объяснена не только нулевой энергией вакуума в Стандартной Модели физики частиц, но и её гипотетическими обобщениями. Это и есть *проблема космологической постоянной*, которая оказалась практически неразрешимой в прежней СМ космологии.

В действительности, как уже обсуждалось выше во второй части статьи, физика частиц не даёт никаких, ни теоретических, ни наблюдательных оснований для введения нулевой энергии вакуума. Это значит, что космология может быть в согласии с физикой частиц только при отсутствии космологической постоянной.

В КЗВ космологическая константа, а значит и тёмная энергия, отсутствуют, а уравнения Эйнштейна с плотностью энергии материи вполне достаточны для описания наблюдений. Этим достигается согласие между космологией и физикой частиц в проблеме энергии вакуума.

В то же время, в ДКМ вводится фоновой 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.

#### 6.5. 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 уравнении 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, уменьшается. 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.

### 6.6. 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 в небольших объёмах 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 [42].

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

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 спадает 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.

### 6.7. 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 оказались практически вне поля зрения исследователей.

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 новой парадигме реанимации моделей вселенной конечного объёма может стать одним из наиболее радикальных изменений в физической картине мира.

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

Как в СТО, так и в ОТО локальные и глобальные релятивистские эффекты описывались без акцента на принципиальные различия между ними. В статье [44] показывается, 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:

43. *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). Она тоже оказалось универсальной, применимой как в плоском, так и в искривлённом пространстве-времени:

44. *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 теорий, что и сняло ряд их проблем, которые в рамках ОТО долго не имели однозначного решения:

45. *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.

Более детально ЛТО и ГТО изложены в статье [44] и в книге [48].

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

В окрестности любой точки пространства можно ввести ЛСО, скорости и ускорения которых могут отличаться величиной и направлением. Каждая из них состоит из базиса в виде пробной частицы малой массы, к которой прикреплен локальная тетрада. Тетрада же, четыре взаимно ортогональных единичных векторов в пространстве-времени, с физической точки зрения есть три стандартных масштаба, образующих пространственную триаду, а также стандартные часы. Событие, физическое явление в данной точке пространства в данный момент времени, является мировой точкой в 4-мерном пространстве событий, а непрерывная цепочка событий, есть мировая линия.

Классическая механика основана на *принципе относительности*, согласно которому все ЛСО в данном месте равноправны для формулирования физических законов. Координаты и время события в двух ЛСО связаны преобразованиями Галилея. Эволюция во времени частиц и полей даётся уравнениями движения, которые следуют из принципа наименьшего действия.

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. При этом переходы между ЛСО даётся локально-лоренцевыми преобразованиями.

Интервалы времени измеряются с помощью одномоментных событий. Измерение расстояний, т.е. сравнение их с эталоном длины, можно только одновременной фиксацией концов масштабов, т.е. с помощью одновременных событий. Относительность одновременности, т.е. различие гиперповерхности 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 необязательно.

Но в плоском пространстве-времени без гравитации имеются неинерциальные ЛСО, которые также описываются ЛТО. Это следует из того факта, что ускорение  $\mathbf{a}$  локально не влияет на темп хода времени и на длины масштабов (свойство локальности). Для слабых ускорений можно пренебречь членами порядка  $\mathbf{a}^2$  и свойство локальности имеет место потому, что изменения в темпе времени и длине масштабов могут зависеть лишь от чётной степени ускорения  $\mathbf{a}^2$  и выше, которыми можно пренебречь ввиду их малости. При сильных ускорениях для свойства локальности нет таких прямых аргументов, но эксперименты пока не противоречат ему и поэтому, имея в виде опоры 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 обстоятельства, принцип локальности будем считать справедливым во всех неинерциальных ЛСО.

Отсюда следует, что 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 и во времени, т.е. за время сопутствия.

В гравитационном поле в покоящихся ЛСО, вместо принципа локальности, имеет место принцип эквивалентности, согласно которому локально справедлива ЛТО и для ЛСО имеет место локальная лоренц-инвариантность. В ИСО в гравитационном поле, согласно принципу эквивалентности, в сочетании с принципом локальности, также имеет место локальная лоренц-инвариантность.

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 в окрестности каждой точки пространства вводятся семейства ЛСО и локальные события описываются в терминах локальных пространственных координат и локальных собственных времён одной из ЛСО в данной точке. Это значит, что в рамках ЛТО в точке А задаётся «А-время» одной из ЛСО, а в точке В, находящейся дальше близкой окрестности А, задаётся «В-время» другой ЛСО, но не определено общее для А и В «время» [3]. Также обстоит дело и с определением длин стандартных масштабов.

Рассмотрим поэтому определения времён и длин, общих для двух ЛСО в А и В. Для этого в одной точке, выбранной как начало координат, в начальный момент времени, т.е. в событии *О*, выберем одну из ЛСО в этой точке как базовую, а затем из каждого семейства ЛСО в других точках выберем по одному ЛСО в момент, одновременный с событием *О* с точки зрения наблюдателя в базовом ЛСО. В другие моменты по времени базовой ЛСО повторим ту же процедуру. Если затем в каждый момент времени в такой одновременно сосуществующей в разных точках совокупности ЛСО синхронизовать соседние стандартные часы и непрерывно состыковать соседние пространственные триады, состоящих из стандартных масштабов, то тем самым образуем ГСО. Даже если синхронизация нарушится через малый интервал времени, хотя бы в небольшой промежуток времени мы будем иметь дело с ГСО.

Физическая система координат в пространстве при этом формируется в зависимости от свойств симметрии той физической системы, которую надо описывать с помощью 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, например, сферическая симметрия, то строится сферическая система и т.д.

Вводя ГСО, мы тем самым выходим за пределы ЛТО и теорию, описывающую события путём введения ГСО, далее будем называть ГТО. В рамках ГТО в каждой из ГСО физическая реальность предстаёт как совокупность частиц и полей, мгновенно сосуществующих в пространстве на некоторой гиперповерхности одновременности, где ЛСО, образующие 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* [3]. 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 результатом 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 СТО. Ниже кратко обсудим основные положения и некоторые следствия такой трактовки.

### 7.2.2. Протяжённые ИСО в плоском пространстве-времени.

В плоском пространстве-времени совокупность ЛСО с разными скоростями и/или ускорениями образует *неоднородную протяжённую СО*. В такой СО справедлив

принцип локальной лоренц-инвариантности и элементами протяжённых СО являются только ЛСО связанные с другими ЛСО локально-лоренцевыми преобразованиями и сдвигами. Кроме того, релятивистская причинность требует, чтобы любая протяжённая СО, как единая система материальных объектов, состояла лишь из одновременно сосуществующих ЛСО. Поэтому протяжённая СО должна быть построена на гиперповерхности одновременности одной из глобальных ИСО, выбранной как базовая.

Если один из двух часов испытает ускорение, то будут отставать часы, испытавшие 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 ЛСО, и процессы в них происходят медленнее, чем у неускоренной частицы.

В плоском пространстве-времени построение неоднородных протяжённых СО из ЛСО на гиперповерхности одновременности базовой ИСО, таким образом, составляет первую стадию глобализации ЛТО. Это позволяет корректно выйти за пределы ИСО при описании физических явлений и составит начальную стадию 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 СО, которые означают, что положения частей такой протяжённой конструкции как ГСО должны фиксироваться одновременно хотя бы в одной глобальной ИСО, которая будет считаться лабораторной ИСО. Неоднородная ГСО строится именно 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 выделенной глобальной ИСО является та, где покоится её центр симметрии, поскольку только в ней система сферически-симметрична, а во всех остальных 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. Это значит, что ГСО должна быть совокупностью тел, сосуществующих одновременно хотя бы в одной глобальной ИСО, а значит 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.

Главная задача, стоящая перед ГТО – это построение теории 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 *ускоренным* ЛСО в плоском пространстве-времени. Это означает, что в гравитационном поле, как и в ускоренных ЛСО, локально справедлива ЛТО и поэтому соседние ЛСО, покоящиеся в гравитационном поле на гиперповерхности одновременности базовой ЛСО, связаны между собой локально-лоренцевыми преобразованиями.

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 теории ОТО даётся только этой её частью. Для отражения этого обстоятельства в формализме ОТО были развиты

специальные 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 произведения одних физических координат, измеряемых стандартными масштабами и часами, к другим физическим координатам делается для упрощений с учётом симметрий, как при переходе от декартовых координат к сферическим. Однако, 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 в конечном итоге вселенная в целом, описывается в терминах двух видов времени каждый из которых выражает только одно из двух основных свойств физического времени. Собственное время  $\tau$  выражает локальный темп физических процессов в ЛСО, а описание протяжённого объекта как совокупности одновременно существующих частиц производится в терминах мирового времени  $t$ , выражающего 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 эффекта Доплера и аберрации (см. Часть 6).

## 8. Контуры и перспективы новой физики

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.

46. *Контуры новой физики.*
47. *Научные перспективы новой физики.*
48. *Социальные перспективы новой физики.*

Перспективы и методология физики более детально рассмотрены в книге [49].

### 8.1. Контуры новой физики.

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 считать эти флуктуации как свидетельства 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.

Такую более общую теорию квантовых явлений, диффузионную квантовую механику, ДКМ, оказалось возможным сформулировать исходя из физических принципов. В случае однородного фонового поля ДКМ воспроизводит формализм квантовой механики, включая и квантовую статистику, на базе классических понятий.

Учёт обратного воздействия 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. При этом этот дефицит возникает вследствие того, что сама энергия покоя массивного тела есть та тепловая энергия, которая затрачена фоновым полем на флуктуации частиц этого тела. Баланс энергий между таким телом и фоновым полем в его окрестностях приводит к уравнениям Эйнштейна и всем соответствующим физическим следствиям ОТО.

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 должно быть компенсировано красным смещением в пути и фотоны должны были поступить к нам только с красным смещением из-за эффекта Доплера, связанного со скоростью удаления источников. В Части 7 отмечалось, что формула «светимость - красное смещение» КЗВ, космологии с замедляющимся временем, соответствует данным по красным смещениям удалённых объектов.

Вдобавок к этому, плотность энергии фонового поля вокруг центров галактик уменьшается в ходе расширения неравномерно, так как она была неравномерной изначально, да и само расширение было замедляющимся. Оказалось, что учёт влияния начальной неоднородности и хода замедления на конечное распределение плотности энергии фонового поля, а значит и гравитационного потенциала, ведёт к модификации ньютоновского потенциала примерно так, как это и требуется для описания кривых вращения галактик и дисперсий скоростей в их скоплениях.

Релятивистские поля в ковариантной формулировке КТП изначально имеют состояния с обеими знаками энергии. В трактовке ШФ частицы с отрицательной энергией идут только назад во времени и описывают античастицы с положительной энергией идущие только вперёд во времени. Эта трактовка вполне последовательна в том смысле, что при аккуратном определении интегралов по времени в выражении для функции действия ведёт к состояниям только с положительной вероятностью. При этом существуют лагранжианы, которые не ведут к нулевой энергии вакуума и поэтому в ней энергия вакуума квантованных полей и струн равна нулю. Теории струн в результате становятся тривиальными, так как в них не будет конформной аномалии, а значит и не будет ограничений на размерность пространства.

В КТП внешнее гравитационное поле квантов большой энергии в петлевых диаграммах замедляет их собственные времена относительно времени удалённых наблюдателей. При этом 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 инвариантное планковское обрезание интегралов по энергии даёт верхние пределы для петлевых поправок, которые малы и ряды теории возмущений сходятся.

Таким образом, КТП, включая и квантовую гравитацию, при квантовании в трактовке ШФ с учётом гравитационной саморегуляризации конечна. Это означает, что КТП изначально была корректной и состоятельной, что и объясняет её феноменальный успех в физике частиц, а указанные небольшие исправления исторически сложившихся элементов формулировки окончательно прояснили эти обстоятельства.

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, всё время оставаясь вне этого радиуса. Тонкая пылевая оболочка застывает вне своего гравитационного радиуса, а её внутренность остаётся плоской. При коллапсе звезды положения её частиц, как у всякого 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.

Во всём этом можно убедиться на примере точного решения уравнений ОТО 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. Перед застыванием плотности достаточно массивных звёзд 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 звёзд застывает ещё до достижения поверхностью внешней границы эргосферы, так что вращавшийся фрозар не имеет ни горизонта, ни эргосферы. Аккреция на фрозар ведёт к застыванию падающего вещества над

поверхностью с образованием неоднородного ландшафта 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 в основном как такие неоднородные кластеры. Фрозары и их кластеры не «лысые» и могут иметь «причёску» и асимметричную структуру. Обнаружить неоднородности их поля можно гравиметрией, неоднородностями теней, красных смещений и орбит вещества.

В теории относительности процессы можно описывать как в локальных, так и в глобальных СО. Каждый из этих двух способов универсален и поэтому 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, которая применима 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.

Связь между флуктуирующим фоновым 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 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 разделить 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 перспективы новой физики.**

К социальным аспектам перспектив новой физики относятся перспективы её признания и дальнейшего развития научным сообществом, что важно уже не только для исследователей, но и преподавателей, администраторов науки, а также 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, а также выявляется противоречие естественно-научной методологии основных гипотез периода кризиса, что завершает этот кризис и открывает путь к новой физике. Быстрому признанию и дальнейшему развитию этих новшеств мировым научным сообществом препятствуют также ряд необычных на первый взгляд обстоятельств.

Первое – это отношение недоверия, основанное на презумпции ошибочности, когда такие изменения делаются исследователем-одиночкой, причём малоизвестным, да ещё и из страны, малоизвестной в плане фундаментальных открытий в физике. Однако, теоретическая физика тем и отличается от экспериментальной, что чаще всего новые кардинальные идеи выдвигали и на их основе строили новые базовые теории не большие группы, а отдельные исследователи, как правило, не входившие в большие группы и не разделявшие их предрассудки. В данном случае автор в ходе решения указанных выше проблем имел информацию об успехах и ошибках всех таких групп, но был максимально удалён и изолирован от них, сохранив главную ценность исследователя – суверенитет.

Второе – это понимание многими того факта, что если признать то, что изложено выше, то теряет ценность большинство трудов многих лидеров нынешнего научного сообщества и огромного числа их последователей, а также рушится их авторитет, основанный на создании и продвижении в течение полувека гипотез, оказавшихся в

итоге несостоятельными. С этими же опасениями связано и третье обстоятельство – это наследие кризиса в виде всеобщей боязни взять на себя ответственность за одобрение логичной и обоснованной новой научной теории, если она существенно меняет действующую парадигму. Такие инфантильность и конформизм бывают 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 ориентировались, становились лишь те исследователи, хотя бы одна из идей которых подтвердилась на эксперименте. Делать же карьеру в науке на основе лишь гипотез было рискованно, так как гипотезы, будучи «научными стартапами», часто лопались как мыльные пузыри и вместе с ними разрушались и построенные на них карьеры. Но в ходе последнего кризиса в фундаментальной физике не подтверждалась ни одна из новых гипотез и поэтому «истинные авторитеты» перестали возникать.

В этих условиях перед каждым исследователем вставала морально-этическая дилемма: а) либо делать научную карьеру на считающихся перспективными гипотезах, осознавая риск обрушения её в дальнейшем, б) либо воздержаться делать карьеру на гипотезах как на потенциальных ошибках и стараться сделать 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, принявших более прагматичное решение (а).

В условиях кризиса прагматичные члены научного сообщества, в отсутствие 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 беспроблемным 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 долгий кризис в фундаментальной физике, который обсуждался в Части 1.

Развитие науки обычно идёт через конкуренцию поколений исследователей и то, что не сделано одним поколением даже при наличии возможностей, сделают другие, более рационально действующие поколения. Но те исследователи, которые отказавшись от требовавшихся от них в период кризиса конформизма и единомыслия, всё же сумеют вернуться к объективности и беспристрастности, лежащих в основе естественно-научной методологии, то и они ещё имеют шанс внести реальный вклад в науку, 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. Тот факт, что для этого оказалось достаточным исходить из имеющихся фактов, проверенных во множестве экспериментов и наблюдений, 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 двойное 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. Закир З. (2014) *ТФАК*, **9**(2) 75;
37. Закир З. (2016) *ТФАК*, **11**, 1.
38. Закир З. (2017) *ТФАК*, **12**(1) 1; **12**(1) 17.
39. Zakir Z. (2018) *Astroph.& Sp. Sci.* **363**: 30.
40. Закир З. (2020) *Квант. и грав. физ.*, **1:001-7128**; **1:002-7128**.

41. Закир З. (2020) *Квант. и грав. физ.*, [1:003-7129](#); [1:004-7129](#).
42. Закир З. (2020) *Квант. и грав. физ.*, [1:005-7130](#); [1:008-7160](#).
43. Закир З. (2020) *Квант. и грав. физ.*, [1:006-7132](#); [1:007-7133](#).
44. Закир З. (2020) *Квант. и грав. физ.*, [1:010-7272](#) (публ. 28.11.2020).
45. Закир З. (2020) *Диффузионная квант. мех. и диффуз. гравитация*. ЦТФА, Т.
46. Закир З. (2020) *Конечная квантовая теория поля*. ЦТФА, Т.
47. Закир З. (2020) *Теория фрозаров. Релятивистский коллапс звёзд*. ЦТФА, Т.
48. Закир З. (2021) *Локальная и глобальная теории относительности*. ЦТФА, Т.
49. Закир З. (2021) *Основания физики*. ЦТФА, Т.