

К теории гравитационно-замороженных сверхплотных и сверхмассивных объектов

Захид Закир¹

Аннотация

Парадигма чёрных дыр (ПЧД) основана на неявной гипотезе, что коллапс происходит быстро как по собственному времени падающих частиц, так и по мировому времени, но что информация об этом запаздывает. По общей теории относительности (ОТО) же в статическом поле имеется глобальная одновременность событий, собственные времена замедляются в мировом времени абсолютно и это подтверждено на экспериментах с часами, долго находившимися на разных высотах. Поэтому, основная гипотеза ПЧД несовместима с ОТО и в мировом времени коллапс действительно длится бесконечно долго. Для падающей частицы в любой момент мирового времени соответствующий момент собственного времени недостаточен для достижения гравитационного радиуса. Поэтому в ОТО горизонты и сингулярности не существует, чёрные дыры не образуются никогда. Вместо чёрных дыр ОТО предсказывает гравитационно-замороженное состояние вещества в сверхплотных и сверхмассивных объектах. Частицы внутри любого компактного объекта замораживаются сильным гравитационным полем, при этом замедление времени максимально, но конечно в центре и минимально на поверхности. В космологии это решает проблему начальной сингулярности, в астрофизике позволяет построить теорию сверхплотных звёзд, а также квазаров и АЯГ, в физике частиц ведёт к ультрафиолетовой конечности квантовых полей, в том числе и квантовой гравитации.

PACS: 95.30.Sf, 97.60.Lf, 98.35.Jk, 98.54.-h, 98.80.-k, 04.60.-m

Ключевые слова: чёрные дыры, горизонт, коллапс, сингулярность, кварковые звёзды, квазары, активные ядра галактик, космология, квантовая гравитация

Содержание

Введение	46
1. Гравитационное замораживание вместо коллапса	48
1.1. Асимметричность гравитационного замедления времени	48
1.2. Критика основных положений парадигмы чёрных дыр	50
1.3. Теоремы об отсутствии горизонта и неоднородном гравитационном замораживании	54
2. Гравитационно-замороженные объекты в астрофизике	57
2.1. Сверхплотные и сверхмассивные звёзды в фазовых состояниях Стандартной Модели	57
2.2. Основные свойства сверхплотных и сверхмассивных звёзд	58
2.3. Квазары и АЯГ как неоднородно-замороженные объекты	59
3. Гравитационное замораживание в космологии и физике частиц	60
3.1. Большой Взрыв как размораживание сверхмассивной Вселенной	60
3.2. Гравитационное замораживание квантовых флуктуаций и конечность квантовой гравитации	63
Заключение	65
Литература	66

¹ *Центр теоретической физики и астрофизики, Ташкент, Узбекистан;
zahidzakir@theor-phys.org*

Введение

Согласно общей теории относительности (ОТО), процессы вблизи статического источника гравитационного поля описываются не только в терминах собственных времён τ частиц свободно падающих к источнику, но и в терминах мирового времени t , выражающем глобальную одновременность событий. Каждому моменту собственного времени τ_1 соответствует определённый момент мирового времени t_1 и обе величины жёстко связаны друг с другом [1-3]. При этом мировое время приблизительно исчисляет время эволюции Вселенной (с учётом небольших поправок на местное движение относительно космического микроволнового фона). Поэтому, когда речь идёт о собственных временах частиц, замедленных гравитационными полями, мы должны иметь ясное представление о том, к каким интервалам времени эволюции Вселенной соответствуют эти интервалы собственных времён.

Однако, несмотря на эту связь, в *гипотезе чёрных дыр* (ПЧД) [4-10] неявно предполагается, что частица может достичь и даже пересечь гравитационный радиус не только за конечный интервал собственного времени, но и за *конечный интервал мирового времени*. При этом предполагается, что об этом, уже состоявшемся по мировому времени, коллапсе, удалённый наблюдатель *не узнает* только потому, что сигналы сильно *запаздывают* по пути к нему. Затем, исходя из такой картины, многие астрофизические объекты считались уже состоявшимися чёрными дырами, имеющими реальный горизонт и даже сингулярность в центре [6,7]. Ясно, что такая точка зрения ПЧД имеет смысл только, если *локальные собственные времена и мировое время протекают синхронно* и если коллапс действительно происходит быстро также и по мировому времени. Более того, в ПЧД гравитационному радиусу придаётся дополнительный смысл как радиуса горизонта - границы реально существующей в пространстве внутренней области - в которую коллапсирующее вещество должно провалиться фактически за конечное мировое время.

Поэтому, необходимо ответить на вопросы о том, действительно ли в ОТО существует такое разделение пространства на две области, возникает ли горизонт вообще и в чём истинная роль гравитационного радиуса. Отметим, что даже прагматики, изучавшие лишь явления во внешней области, а также критики ПЧД, допускали существование горизонта, но, особенно последние, пытались найти механизмы, позволяющие удержать вещество от падения вовнутрь горизонта. Невозможность коллапса пытался доказать ещё Эйнштейн в 1939 г. [2] на примере вращающегося пылевого облака, ясно понимая, что падающая частица никогда не достигает горизонта и что это не просто координатный эффект. Позже альтернативные сценарии в основном сводились либо к моделям застывшей около горизонта звезды с пустой внутренностью [8], либо звезды, излучающей часть своей сверхкритической массы [12] и многие другие, где механизмы коллапса были усложнены с учётом различных гипотетических факторов.

В предыдущих своих публикациях [13] я пытался решить проблемы горизонта и сингулярностей, вообще исключив из теории ненаблюдаемую внутреннюю область. Но, как будет показано в данной статье, оказывается существует другое простое и окончательное решение проблемы. Горизонт в ОТО действительно не возникает, но внутренняя структура реальной звезды существует и описывается как новое фазовое состояние вещества. Таким образом, общая задача исключения из ОТО гипотетических предположений, противоречащих её физическим основам, оказалась поставленной правильно, хотя результаты по этой методологии получились иными, а ситуация оказалась намного проще.

Как известно, в ОТО мировое время вводится для объединения в единую гиперповерхность одновременно происходящих в данном поле событий и может измеряться не только удалённым наблюдателем, но и локальными наблюдателями в любой точке поля координатными часами, идущими синхронно с часами удалённого наблюдателя [5]. При этом в статическом поле мировое время является самым быстро протекающим временем, поскольку собственные времена всех локально-покоящихся систем отсчёта *замедлены* по отношению к нему в каждой точке поля гравитационным полем, а собственные времена свободно-падающих стандартных часов замедлены ещё и кинематически. В отличие от кинематического замедления, которое *симметрично* относительно наблюдателей, гравитационное замедление *асимметрично* и *абсолютно*, так как оба наблюдателя согласны, что медленнее идут те часы, которые ближе к источнику (за вычетом кинематических поправок).

Поэтому, необходимо ясно понимать, что истекший со времени Большого Взрыва интервал мирового времени соответствует такому малому интервалу собственных времён частиц, падающих в сильных полях, которые меньше интервалов собственных времён, необходимых для достижения гравитационного радиуса источника. В результате, основные предположения ПЧД в действительности оказываются несовместимыми с ОТО, а фактически же происходит гравитационное замораживание частиц в компактных объектах, поверхности которых близки к их гравитационным радиусам.

В связи с этим, в данной статье показывается, что при корректном определении соотношений темпов времён, *ОТО ведёт к новой теории сверхплотных и сверхмассивных состояний*. Согласно ОТО в терминах мирового времени частицы внутри любого компактного объекта будут заморожены сильным гравитационным полем начиная от центра, где замедление собственных времён максимально, вплоть до поверхности, где замедление меньше. Ещё Фейнман заметил, что центр Земли на день или два моложе её поверхности [11]. Как будет показано далее, любой объект в этом смысле не отличается от Земли, различаясь только степенью замораживания.

В первом разделе статьи обсуждается абсолютность замедления собственных времён в гравитационном поле по отношению к мировому времени, показывается несовместимость основных положений ПЧД с ОТО, а также доказываются теоремы об отсутствии горизонта и физической сингулярности. Во втором разделе кратко описываются основные свойства гравитационно-замороженных объектов в астрофизике. В третьем разделе рассматривается

роль гравитационного замораживания в космологии и в квантовой теории поля. В последующих публикациях будет приведено более детальное рассмотрение сформулированного в статье подхода.

1. Гравитационное замораживание вместо коллапса

1.1. Асимметричность гравитационного замедления времени

Уравнения Эйнштейна для вакуума вне центрально-симметричного источника ведут к линейному элементу Шварцшильда в координатах кривизны [3]:

$$ds^2 = (1 - r_g / r) c^2 dt^2 - \frac{dr^2}{1 - r_g / r} - r^2 d^2\Omega, \quad (1)$$

где $r_g = 2GM / c^2$ - гравитационный радиус и формально имеются две сингулярности в метрике.

Первая сингулярность в центре $r = 0$ есть и в ньютоновском потенциале, но только для *точечных* источников. Здесь же она становится физической только, если радиус объекта может быть меньше r_g , что и постулируется в ПЧД дополнительно. А как же дело обстоит в ОТО на самом деле, будет рассматриваться в разделе 1.3.

Другая *сингулярность на гравитационном радиусе* $r = r_g$ в ПЧД принято считать фиктивной и исчезающей при переходе от «неудачных» координат кривизны t, r к некоторым другим, в частности, к локальным координатам свободно падающих частиц [4-9]. В связи с такими утверждениями и ввиду общей ковариантности уравнений, рассмотрим вопрос о том, какие свойства решений уравнений Эйнштейна имеют реальный физический смысл, выражая физические свойства объектов, а какие являются вводящими в заблуждение координатными эффектами.

Во-первых, в окрестности каждой точки статического поля можно ввести *координатные часы*, измеряющие мировое время t . Они настроены идти быстрее стандартных настолько, чтобы всегда быть *синхронными с часами удалённого наблюдателя* [5]. Другими словами, на гиперповерхности одновременности удалённого наблюдателя все координатные часы будут показывать один и тот же момент мирового времени. Поэтому именно на базе показаний этой совокупности часов, т.е. по мировому времени, можно корректно сформулировать гамильтонову динамику в данном поле. Конечно, координаты удалённого наблюдателя могут быть подвергнуты преобразованиям из группы Пуанкаре, но только в системе покоя источника мы будем иметь дело с чисто гравитационными эффектами, а все движущиеся системы отсчёта вносят только кинематические осложнения.

В ОТО чем ближе к источнику, тем сильнее замедление собственных времён и тем быстрее будет ход координатных часов по сравнению со стандартными часами в этой точке. Поэтому, вокруг сферического источника интервал собственного времени $\Delta\tau$, измеренный покоящимися стандартными

часами, связан с интервалом мирового времени Δt , измеренным покоящимися координатными часами в этой же точке, как:

$$\Delta \tau = \Delta t \sqrt{1 - r_g / r}. \quad (2)$$

Во-вторых, здесь для нас важно то обстоятельство, что для сравнения интервала $\Delta \tau$ с интервалом Δt не обязательно посылать сигналы к удалённому наблюдателю. Для этого достаточно сравнить показания стандартных часов с показаниями соседних координатных часов.

И, наконец, в-третьих, отношение этих интервалов времени *инвариантно*, поскольку измеряется взаимно покоящимися стандартными и координатными часами около одной и той же точки. Наблюдатели в любой другой системе отсчёта будут получать одно и то же соотношение (2) для интервалов времени, измеряемых этими двумя часами в данной точке.

В ньютоновской теории время абсолютно и собственные времена всегда совпадают с мировым временем. При этом считается, что фотон в сильном поле излучается с той же частотой (измеренной в мировом времени), что и фотон, излучаемый вдали от источника, а изменение частоты происходит *по пути от излучателя к приёмнику*. Предполагается, что красное смещение происходит из-за уменьшения кинетической энергии фотона (отождествляемой с $h\nu$) при выполнении работы против сил тяжести, а фиолетовое смещение – из-за увеличения кинетической энергии при падении фотона в поле (роль «эффективной массы» играет $m = h\nu / c^2$):

$$h\nu - \frac{GM}{r} \left(\frac{h\nu}{c^2} \right) = h\nu_0 - \frac{GM}{r_0} \left(\frac{h\nu_0}{c^2} \right). \quad (3)$$

Поэтому гравитационное смещение частоты фотонов, излучённых источником в данном поле и зарегистрированных наблюдателем на другой высоте в ньютоновской гравитации в первом приближении даётся формулой:

$$\frac{\nu - \nu_0}{\nu_0} \approx \frac{r_g}{2h\nu_0} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0} \right). \quad (4)$$

Формально ОТО в первом приближении даёт ту же самую формулу, но по совершенно другой причине - замедления собственных времён в гравитационном поле и излучения источником света фотонов со сдвигом частоты, частоты которых (измеренные в мировом времени) уже не меняются при дальнейшем распространении (см.[17]).

Поскольку в этих двух трактовках причина изменения частоты фотона объясняется по-разному, то были изучены другие эффекты и поставлены эксперименты, позволившие подтвердить трактовку ОТО и опровергнуть ньютоновскую (см. [14-17]). В ньютоновской теории показания часов не зависят от высоты и длительности пребывания в поле, а в ОТО стандартные часы, находившиеся некоторое время ближе к источнику, отстанут от более удалённых. При этом суммарная величина отставания $\Delta \tau$ при разнице высот Δh пропорциональна времени нахождения в поле t :

$$\Delta \tau \approx t \cdot g \Delta h / c^2, \quad (5)$$

где g - гравитационное ускорение.

Эксперименты [15,16] по измерению *отставания* хода часов на Земле по сравнению с часами на большой высоте при *длительном* пребывании последних на больших высотах с достаточной точностью подтвердили формулу ОТО (5) и сейчас этот эффект обязательно учитывается в спутниковых системах глобального позиционирования [14]. Итак, факт *замедления* собственных времён в гравитационном поле по сравнению со временем удалённого наблюдателя подтверждён экспериментально и уже используется на практике.

1.2. Критика основных положений парадигмы чёрных дыр

На базе формально-математического подхода к пространственно-временной геометрии в сильных гравитационных полях компактных источников сложилась *парадигма чёрных дыр* (ПЧД), которая была общепринятой в течение более чем четырёх десятилетий [4-10]. Теоретическая часть гипотезы состоит из теории *быстрого* коллапса и образования чёрных дыр, а также теории процессов *внутри* горизонта [5-7,9], включая теоремы о неизбежности образования физической сингулярности в центре [6,7]. Наблюдательная же часть гипотезы сводится к попыткам обнаружить признаки горизонта у *кандидатов* в чёрные дыры, которыми сторонники ПЧД *считают* все звёзды плотнее нейтронной звёзды, а также центральные части квазаров и многих галактик [10].

Однако, ПЧД основывается главным образом на нескольких *неявных* предположениях, которые, хотя и явно не формулируются в публикациях, но тем не менее, мысленно подразумевались основателями и сторонниками гипотезы при предсказаниях существования объектов с реальным горизонтом.

Ещё в 1939 г. Оппенгеймер и Снайдер в статье [4], положившей начало ПЧД, писали: «Поскольку давление звёздного вещества недостаточно..., звезда будет сжиматься и его граница r_b неотвратимо будет стремиться к гравитационному радиусу r_0Таким образом, звезда постепенно замыкается, изолируясь от далёкого наблюдателя... Хотя с точки зрения далёкого наблюдателя для такой полной изоляции требуется бесконечное время, наблюдатель, сопутствующий звёздному веществу, находит этот срок конечным и, возможно, очень коротким. ...Когда t стремится к бесконечности..., величина τ стремится к конечному предельному значению (τ_0)... После этого момента τ_0 наблюдатель, сопутствующий веществу, уже не сможет послать со звезды светового сигнала... Для звезды, которая имеет массу 10^{33} г., это время τ_0 равняется приблизительно одним суткам...»

Как видим, в выражении «после этого момента τ_0 » авторы имеют ввиду не *после бесконечного мирового времени* $t > \infty$, что не имело бы физического смысла, а после конечного интервала собственного времени τ_0 , которому они неявно сопоставляют *такого же порядка конечный интервал мирового времени*, т.е. также *приблизительно сутки*. Этот же скрытый логический скачок в

разных модификациях повторяется практически во всех изложениях ПЧД. Как пример, приведём понимание соотношения времён в известной книге [5, т.3]:

«...Не может она достичь и статического равновесного состояния, поскольку для таких больших масс подобного состояния не существует. Остаётся только одна возможность: сверхкритическая масса должна, катастрофически сжимаясь, уйти под свой «гравитационный радиус» $r = 2M$, оставив после себя в пространстве гравитирующую «чёрную дыру... (с.13).

...Гравитационный радиус является областью пространства-времени с вполне нормальным поведением, не обладающей сингулярностью, и ничто не может в этой области помешать наблюдателю падать далее внутрь.

Но глубоко внутри, под гравитационным радиусом, наблюдатель встретит бесконечные приливные силы, причём это произойдёт независимо от пути, по которому он туда попал. (с.17)

...Все физические явления, происходящие на гравитационном радиусе, относятся к $t \rightarrow \pm\infty$ по причине несколько неудачного выбора шварцшильдовских координат. ...Более удачно выбранная система координат охватит и эти две «точки на бесконечности»... (с.20)

...Если её поверхность сколлапсировала под гравитационный радиус, то после этого звезда будет продолжать коллапсировать до тех пор, пока её поверхность не будет сжата в сингулярность при $r = 0$...(с.46)

...Удалённому наблюдателю кажется, что коллапс звезды замедляется... Кажется, что часы, расположенные на поверхности звезды, идут всё медленней и медленней. (с.47)

...Выражение «чёрная дыра» прекрасно описывает объект. Другие названия, такие как «застывшая звезда»... подчёркивают те аспекты явления, которые связаны с оптическим обманом...(с.81)»

Как видим, здесь считается, что для удалённого наблюдателя дыра в пространстве образуется за такое же время, что и для локального наблюдателя около звезды. Большое же время коллапса для удалённого наблюдателя трактуется как «оптический обман», вызванный растянутостью *времени распространения* света до наблюдателя и что это только ему *кажется*, тогда как реальный коллапс произошёл уже тогда, когда яркость резко упала.

Итак, *первое* предположение ПЧД состоит в том, что, как и в ньютоновской теории, *собственные времена удалённого и свободно падающих наблюдателей предполагаются протекающими синхронно.* В результате, подразумевалось, что при коллапсе частицы пересекают горизонт за короткий интервал, как по собственному времени, так и по мировому времени. Удалённый же наблюдатель просто «не видит» этого, уже состоявшегося по мировому времени, события потому, что *информация* о нём доходит до него очень долго из-за *замедления скорости* света вблизи горизонта, а также из-за удалённости. Таким образом, отличие ОТО от ньютоновской гравитации в ПЧД сводится только к затруднению с информированием удалённого наблюдателя.

Однако, как отмечалось в разделе 1.1, эксперименты, показывающие необратимое замедление собственных времён при длительном пребывании в гравитационном поле, опровергают такое предположение ПЧД, когда коллапс

предполагается протекающим в том же темпе времени, что и мировое время. Если же собственные времена падающих наблюдателей действительно замедлены по отношению к мировому времени, в чём локальные наблюдатели могут убедиться по показаниям координатных часов тут же рядом, то приближение частиц к r_g будет соответствовать действительно бесконечному интервалу мирового времени. Тогда в любой конечный момент мирового времени оказывается, что падающие наблюдатели *не успели дойти* до r_g также и по собственному времени, поскольку их собственные времена практически перестают идти при сравнении с показаниями координатных часов.

Второе неявное предположение ПЧД состоит в том, что после перехода к локальной системе отсчёта падающих наблюдателей, из их локальных интервалов собственного времени предполагается возможным составить глобальную временную ось. Затем, рисуются пространственно-временные диаграммы и траектории в плоскости этих глобальных координат. Всё это было бы вполне допустимо в ньютоновской гравитации.

Однако, в рамках ОТО интервалы физических координат, измеряемые локально стандартными масштабами и часами, не интегрируемы непосредственно. Это связано с тем, что локальные физические реперы в разных точках поля не параллельны, а подвергнуты локально-лоренцевым поворотам из-за гравитации и взаимного движения. В результате, их стандартные часы не будут идти синхронно в глобальном масштабе, а их показания одинаковы только в одно мгновение вначале. Поэтому мы должны учесть изменения длин стандартных масштабов и темпов хода стандартных часов в разных точках и в движущихся системах отсчёта. Это можно сделать выразив все масштабы и интервалы собственных времён в поле через хорошо определённые глобальные физические координаты.

А в статическом поле из таких глобально заданных систем координат физические свойства поля выражаются непосредственно только в координатах кривизны, в которых обычно и задаётся шварцшильдовская метрика. Таким образом, все прочие координаты являются либо разными параметризациями координат кривизны и не имеют самостоятельного физического значения, либо являются нефизическими из-за игнорирования неинтегрируемости локальных физических координат.

Как пример искусственной сингулярности обычно приводится сингулярность на полюсе сферической системы координат при $\theta = 0$, когда зануляется соответствующая компонента метрики: $g_{\varphi\varphi} = r^2 \sin^2 \theta = 0$. Затем делается вывод, что шварцшильдовская сингулярность при $r = r_g$ есть такой же координатный эффект [5]. В действительности этот пример как раз и доказывает физический характер радиальной и временной компонент координат кривизны. В самом деле, при приближении к полюсу Земли объекты не уменьшаются в толщине вдоль параллелей по сравнению с их размерами на экваторе и поэтому полярная сингулярность есть чисто координатный эффект,

не связанный с реальным изменением физических размеров тел. При приближении же к гравитационному радиусу радиальные размеры тел действительно сокращаются по сравнению с удалёнными масштабами, а стандартные часы действительно замедляются по сравнению с удалёнными. Поэтому швацшильдовская метрика точно выражает чистое воздействие гравитации на физические свойства тел по отношению к их свойствам на удалении. И наоборот, как раз все остальные, вводимые в ПЧД искусственные системы координат, вносят дополнительные кинематические и геометрические усложнения в дополнение к воздействию гравитации на свойства тел и событий.

Третье неявное предположение ПЧД состоит в предположении о *реальном существовании источников, радиусы которых меньше гравитационного радиуса* и вокруг которых существует реальный горизонт.

Для того, чтобы пробные частицы достигли горизонта, необходимо, чтобы этот горизонт до этого существовал в определённый момент мирового времени. А чтобы горизонт образовался, когда-то поверхность источника должна была пересечь гравитационный радиус r_g . Но тогда поверхность должна была пересечь r_g за конечный интервал мирового времени, что в рамках ОТО невозможно.

Кроме того, начиная с первых статей ПЧД, большинство попыток построить модель коллапса, даже в случае пылевого вещества, сводились к введению нестационарных, но глобально заданных систем отсчёта. Проблемы, связанные с построением таких глобальных неоднородных систем отсчёта и необходимость соблюдения осторожности, чтобы утверждения имели физический смысл, уже обсуждались. В ПЧД же в качестве глобальной временной координаты обычно используется собственное время падающих частиц, которое в рамках ОТО неинтегрируемо поскольку измеряется локальными стандартными часами, идущими в разных точках и в разные моменты по разному.

А чтобы построить глобальную временную ось, согласно ОТО, необходимо проецировать все локальные интервалы собственных времён на глобально-определённую, однородную (с одинаковыми масштабами всюду) ось мирового времени, измеряемого в любой точке поля синхронно идущими координатными часами. Но тогда опять получается, что ни одна частица коллапсирующего вещества не доходит до r_g за конечный интервал мирового времени, а значит, рассматриваемое предположение ПЧД опять не совместимо с ОТО.

И, наконец, *четвёртое* предположение ПЧД, которое осталось в наследство от эпохи до КХД, состоит в том, что холодный вырожденный нейтронный газ предполагается последним стабильным состоянием вещества и что никаких других, более плотных стабильных состояний звёзд, препятствующих дальнейшему сжатию, не существует.

Сейчас много публикаций о кварковых и бозонных звёздах и очевидна необходимость учёта всех возможных фазовых состояний вещества, допускаемых Стандартной Моделью. Тем не менее, в книгах, излагающих ПЧД, до сих пор повторяется первоначальное утверждение основателей ПЧД о нейтронной звезде как о последнем стабильном состоянии, после превышения критической

массы которой неизбежно происходит коллапс. Вопрос о том, какое состояние вещества предсказывается ОТО после нейтронных звёзд, обсудим во второй части статьи.

1.3. Теоремы об отсутствии горизонта и неоднородном гравитационном замораживании

Итак, согласно ОТО, частица, начавшая свободное падение к источнику издалека, в любой конечный момент мирового времени t будет иметь радиальную координату $r(t) > r_g$. Далее покажем, что этому значению $r(t)$ соответствует момент собственного времени падающей частицы $\tau[r(t)]$, который всегда меньше того момента $\tau[r_g(\infty)]$, когда частица могла бы пересечь r_g , т.е. $\tau[r(t)] < \tau[r_g(\infty)]$.

Рассмотрим пример *тонкого сферического пылевого облака* частиц, свободно падающих к собственному центру симметрии. Гравитационный радиус r_g определяется полной энергией сферы при большом радиусе. Метрика вне и на сфере $r \geq R$ является шварцшильдовой (1), а метрика внутри сферы $r < R$ плоская, но с однородным замедлением времени. Внутри сферы временная компонента метрики постоянна и, из соображений непрерывности, приравнивается значению метрики на поверхности:

$$g_{00}(r) = 1 - \frac{r_g}{R}, \quad r \leq R. \quad (6)$$

Согласно ОТО, интервалы собственного времени жёстко связаны с интервалами мирового времени формулой (2). Если бы частицы падали из состояния покоя при бесконечном радиусе, то при конечном r имели бы координатную скорость (далее $c = 1$):

$$v(r) = \frac{dr}{dt} = -\sqrt{\frac{r_g}{r}} \left(1 - \frac{r_g}{r} \right). \quad (7)$$

Пусть эта тонкая пылевая сфера имела необходимую скорость падения $v_1(r_1)$ при каком-то большом, но конечном радиусе r_1 в момент мирового времени $t_1 = 0$ и собственного времени $\tau_1 = 0$. Время падения пылевой сферы до радиуса $r < r_1$ тогда равно:

$$t = \frac{1}{r_g^{1/2}} \int_r^{r_1} dr \frac{r^{3/2}}{r - r_g} = C(r_1) - \frac{2r^{3/2}}{3r_g^{1/2}} - 2(r_g r)^{1/2} + r_g \ln \left| \frac{r^{1/2} + r_g^{1/2}}{r^{1/2} - r_g^{1/2}} \right|, \quad (8)$$

где $C(r_1) = const$. Это соотношение определяет точную зависимость $r(t)$ радиуса окружности пылевой сферы от момента мирового времени t . Как видим, из-за присутствия логарифмического члена, в любой конечный момент мирового

времени $0 < t < \infty$, пылевая сфера остаётся вне своего гравитационного радиуса: $r(t) > r_g$.

Рассмотрим теперь соответствующий интервал собственного времени $\tau[r(t)]$ частиц падающей сферы при том же самом радиусе $r(t)$:

$$\tau[r(t)] = \frac{2}{3r_g^{1/2}} [r_1^{3/2} - r^{3/2}(t)]. \quad (9)$$

Момент собственного времени τ_g , когда сфера достигла бы r_g при $t \rightarrow \infty$, формально равен:

$$\tau_g = \frac{2}{3r_g^{1/2}} (r_1^{3/2} - r_g^{3/2}). \quad (10)$$

Поэтому в любой конечный момент мирового времени $t < \infty$, когда поверхность сферы находится на радиусе $r(t) > r_g$, интервал собственного времени $(\tau_g - \tau)$, который остаётся до достижения гравитационного радиуса, всегда будет больше нуля:

$$\tau_g - \tau(t) = \frac{2}{3r_g^{1/2}} (r^{3/2}(t) - r_g^{3/2}) > 0, \quad r(t) > r_g. \quad (11)$$

Итак, в любой конечный момент мирового времени $0 < t < \infty$ и в соответствующий момент собственного времени $0 < \tau(t) < \tau_g$ пылевая сфера не достигает своего гравитационного радиуса. Момент же собственного времени τ_g никогда не наступит, так как бесконечный интервал мирового времени $t \rightarrow \infty$ никогда не истечёт. События же, которые могут произойти только после бесконечного мирового времени Вселенной, очевидно, есть события, которые никогда не произойдут.

Таким образом, если поверхность сферы не достигает r_g , то за любое конечное мировое время внутри сферического облака горизонт событий также не возникает. При этом временная и радиальная компоненты метрики остаются регулярными и отличными от нуля как вне, так и внутри сферы, а пространство в целом является связным.

Этот же вывод распространяется и на любые сферические слои пылевого шара конечной массы, частицы которого падают радиально. Каждый слой не образует горизонта ни вне, ни внутри этого слоя, тогда как остальные слои изменяют коэффициент замедления времени $g_{00}^{-1}(R_n)$ других слоёв на конечную величину.

Внутренние слои изменяют $g_{00}^{-1}(R_0)$ на поверхности звезды меньше, чем в центре. Действительно, здесь постоянный вклад в значение коэффициента замедления дадут все слои звезды, тогда как на поверхности вклады внутренних слоёв будут несколько ослаблены из-за расстояния.

Итак, как видим на примере точно решаемой модели пылевой сферы, а также пылевого шара, качественно новые свойства сверхплотных массивных объектов в ОТО подчиняются ряду общих ограничений, основные из которых сформулируем в виде следующих теорем:

Теорема 1 (о недостижимости поверхностью r_g):

Если в гравитационном поле компактного источника пробные частицы начали падать извне или на поверхности в нулевые моменты мирового и собственного времени $t_0 = \tau_0 = 0$, то в дальнейшем любому конечному моменту мирового времени $0 < t < \infty$ соответствует такой конечный интервал собственного времени $\tau[r(t)]$, который меньше интервала собственного времени τ_g , необходимого для достижения частицей гравитационного радиуса: $0 < \tau[r(t)] < \tau_g$.

Теорема 2 (об отсутствии горизонта и сингулярности):

Так как в любой конечный момент собственного времени локальных наблюдателей $\tau[r(t)]$, соответствующему конечному моменту мирового времени $t < \infty$, радиус поверхности компактного объекта остаётся больше его гравитационного радиуса: $R(t) > r_g$, то во всех точках интервал для частиц вещества (ненулевой массы) времени подобен: $ds^2 > 0$, $r \geq 0$, метрика всюду регулярна: $g_{00}(r) > 0$, $0 < |g_{11}(r)| < \infty$ и поэтому горизонт событий и центральная сингулярность не возникают.

Теорема 3 (о неоднородном гравитационном замораживании):

Внутри компактного объекта в каждый момент мирового времени коэффициент гравитационного замедления собственных времён частиц вещества максимален, но конечен в центре и минимален на поверхности объекта R : $g_{00}^{-1}(R) \leq g_{00}^{-1}(0) < \infty$.

Доказательства этих теорем, кроме примера с пылевым сферическим облаком, в рамках ОТО возможны и для других случаев при учёте правильного соотношения времён. Формальные доказательства в общем случае будут рассмотрены в последующих публикациях.

В случае *вращающихся* объектов роль гравитационного радиуса будет играть внешний радиус замораживания, определяемый точкой зануления временной компоненты метрики. Для *заряженных* источников гравитационный радиус будет определяться чистой массой объекта без вклада электрического поля, а также вкладом энергии электрического поля.

2. Гравитационно-замороженные объекты в астрофизике

Итак, ОТО исключает образование чёрных дыр с реальным горизонтом и физической сингулярностью в центре. Этот ясный и однозначный вывод ОТО очень важен для астрофизики и космологии поскольку теперь снимаются необоснованные запреты со стороны фундаментальной физики и открываются новые возможности моделирования реальной структуры сверхплотных и сверхмассивных объектов.

Вопросы о том, в каких фазовых состояниях будет находиться вещество в этих объектах, условия их образования и трансформации, что при этом излучается и др. теперь становятся физическими задачами с реалистическими решениями и наблюдаемыми предсказаниями без прежних сугубо математических и фантастических сценариев ПЧД.

2.1. Сверхплотные и сверхмассивные звёзды в фазовых состояниях Стандартной Модели

Состояние вещества в сверхплотных и сверхмассивных объектах в первую очередь, при относительно малых значениях гравитационного замедления времени, необходимо рассматривать как вещество в различных фазовых состояниях, допускаемых Стандартной Моделью. Релятивистские эффекты будут играть существенную роль, но в относительно слабых гравитационных полях принципиальных изменений по сравнению с нейтронными звёздами, по видимому, не произойдёт, хотя и свойства звёзд могут различаться в очень широких пределах.

Реальные звёзды имеют достаточно сложную структуру и нет даже чистой нейтронной звезды. Поэтому, даже при превышении критической массы нейтронных звёзд, будут структуры из смеси различных фермионов, включая кварковое вещество. Нейтральные барионы и смеси кварков могут образовывать квазиустойчивые и устойчивые конфигурации в различных смесях с частицами других видов и исследования в этом направлении будут представлять большой интерес.

Кроме моделей относительно холодных звёзд, также имеет смысл изучение моделей *горячих кварк-адронных и кварковых звёзд*, так как асимптотическая свобода и практическая точечность кварков разной массы допускают сильно сжатые горячие состояния с большими давлениями.

Актуальными становятся также изучение бозонных звёзд (обычной массы или сверхмассивных). Также приобретают смысл возможные компактные состояния из обнаруженных пока гипотетических частиц, например, субкварков, особенно, в ранние периоды расширения Вселенной.

В отличие от обычных звёзд, в релятивистских звёздах существенную роль видимо будет играть ненулевой электрический заряд звезды, появляющийся из-за выметания части электронов в верхние слои и в атмосферу мощными потоками излучения. Быстрое вращение такой заряженной звезды до замораживания создаст такие токи на поверхности, в атмосфере и на диске, а также настолько мощные магнитные поля, что необычные свойства таких объектов можно связывать и с этими причинами.

2.2. Основные свойства сверхплотных и сверхмассивных звёзд

Рассмотрим теперь общие свойства состояний вещества в сильных гравитационных полях с большим коэффициентом замедления времени, основываясь на трёх теоремах, сформулированных в разделе 1.3.

Главное изменение в моделях релятивистских звёзд (включая квазаров и ядер галактик) по сравнению с прежней гипотезой, кроме отсутствия горизонта, состоит в том, что теперь мы имеем дело с *новым фазовым состоянием вещества*, а именно, с *релятивистски-замороженным по мировому времени веществом*, которое, с другой стороны, *сильно нагрето по собственному времени*. В каждый момент мирового времени локальные наблюдатели внутри компактного релятивистского объекта фиксируют большие локальные ускорения, а в относительно равновесных состояниях также и большие локальные давления и температуры.

Поэтому, такие сверхплотные объекты скорее будут представлять собой не «холодные», а «горячие» звёзды в смысле локальных температур. Поскольку локальные температуры и давления будут сопоставимы с энергиями покоя, то уравнения состояния и все условия равновесия и устойчивости такого ультрарелятивистского газа будут существенно отличаться от простых моделей холодного фермионного газа.

Будучи подобными замороженной ультрарелятивистской плазме, такие объекты представляют собой мощные источники непрерывного излучения, особенно, в радио диапазоне (из-за красного смещения всех диапазонов), являются частично заряженными из-за выметания с поверхности части электронов потоками излучения и могут иметь сильные магнитные поля при большом угловом моменте.

При попытках обнаружить горизонт у кандидатов в чёрные дыры было найдено, что некоторые из них являются более тихими чем нейтронные звёзды и что у них не наблюдаются термоядерные вспышки от падения на поверхность крупных объектов. Относительно тихими являются и компактные сверхмассивные объекты в центрах многих галактик.

Эти факты не только не противоречат картине гравитационно-замороженных объектов, но, возможно, как раз и подтверждают эту картину. В самом деле, в отличие от поверхности нейтронной звезды, где красное смещение незначительно, непосредственно на поверхности гравитационно-замороженных объектов замедление времени большое. Поэтому, понятия «взрыв» и «вспышка» по локальному времени имеют другой смысл по мировому времени и такие локально-быстрые явления будут наблюдаться удалёнными наблюдателями как медленные изменения характеристик в течение длительного времени. А такого рода изменения характеристик в виде «очень замедленных вспышек», длящихся часы, сутки и месяцы, действительно наблюдаются время от времени практически у всех таких объектов. Хотя природа этих изменений может быть сложной, но несомненно, что вспышки, которые будут наблюдаться в замедленном темпе, также должны дать свой вклад. Более того, это

растяжение вспышек может позволить определить степень замедления времени вблизи поверхности таких компактных застывших звёзд.

Одним из характерных черт звёзд в Галактике с гравитационно-замороженной поверхностью будет *гравитационное красное смещение* спектральных линий, не имеющее, в отличие от внегалактических квазаров, космологической природы. Часть объектов, отнесённых к квазарам могут оказаться такими звёздами в Галактике. Их можно будет отличить, во-первых, традиционными методами, также как нейтронных звёзд, т.е. ростом их плотности в галактическом экваторе и по параллаксу. Во-вторых, часть из них может обладать слишком большой яркостью во всех диапазонах при данном красном смещении, а также их параметры могут слишком быстро меняться, и т.д. В любом случае ОТО предсказывает два отмеченных выше принципиально разных типа объектов с красными смещениями и в дальнейшем их дифференциации должно быть уделено особое внимание.

ОТО открывает также новые возможности в создании сценариев взрыва сверхновых звёзд и синтеза тяжёлых элементов. Синтез элементов тяжелее железа не обязательно должен происходить в очень короткие мгновения сжатия и взрыва «не замороженной» сверхновой звезды. Тяжёлые элементы могут образовываться за достаточно долгое время в недрах гравитационно-замороженных сверхплотных звёзд и выплёскиваться при достижении точки неустойчивости звезды относительно быстрого размораживания и расширения, т.е. взрыва сверхновой особого типа.

Отметим, что теории аккреции вещества, а также образования дисков и пучков вокруг компактных релятивистских объектов не претерпевают особых изменений, за исключением тех их положений, которые опирались на гипотезу о существовании горизонта. Более того, они получают дальнейшее развитие, поскольку теперь нет нужды все свойства компактных объектов пытаться объяснять дисками и пучками и часть их можно будет приписать поверхностным эффектам, что позволит создать реалистичные картины процессов вокруг различных источников.

2.3. Квазары и АЯГ как неоднородно-замороженные объекты

Релятивистские объекты звёздных масс в принципе могут изучаться в рамках существующих моделей, хотя и с существенными модификациями предположений о структуре, взаимодействиях и фазовых состояниях. В случае же сверхмассивных релятивистских объектов, таких как квазары и ядра галактик, появятся принципиально новые свойства.

Во-первых, красные смещения линий внегалактических объектов, кроме космологической компоненты, могут содержать и вклад гравитационного смещения и должны быть найдены способы его отделения.

Во-вторых, гравитационно-замороженное вещество будет сверхплотным только в компактных центральных областях квазаров и ядер галактик. В слоях ближе к поверхности плотность вещества не обязательно будет высокой, хотя и сильно замороженной по мировому времени. Поэтому, такие объекты будут иметь сложную внутреннюю структуру с веществом в различных фазах.

В-третьих, теперь появляется возможность в принципе понять в рамках ОТО и Стандартной Модели механизмы сверхмощного излучения квазаров и АЯГ без дополнительных гипотез. Кроме известных механизмов, основанных на аккреции и существовании дисков и пучков, появляется ещё и испарение самого объекта за счёт излучения с поверхности. Любое квазистационарное состояние сверхмассивных объектов будет сопровождаться достаточно мощными потоками излучения.

В-четвёртых, могут произойти изменения в оценке светимостей и удалённости квазаров. Поскольку часть красного смещения может быть гравитационного происхождения, то после отделения этого вклада, чисто космологическое красное смещение может оказаться меньше.

И поэтому, в-пятых, теория происхождения квазаров и галактик, объясняющая также их возможную генетическую связь с компактными объектами в их центрах, теперь может развиваться на новой основе с вполне разумными модельными предположениями. В частности, если ранее ПЧД не допускала взрыва сверхмассивной чёрной дыры, то теперь взрыв сверхмассивного замороженного объекта вполне возможен когда происходит фазовый переход с синтезом новых частиц и ядер с высвобождением достаточной энергии для взрыва.

3. Гравитационное замораживание в космологии и физике частиц

3.1. Большой Взрыв как размораживание сверхмассивной Вселенной

В простейших космологических моделях, основанных на ОТО и космологическом принципе, в качестве временной координаты обычно используется собственное время τ сопутствующих веществу часов. При этом возникает космологическая сингулярность в виде бесконечно плотного состояния в начальный момент $\tau = 0$. Здесь, также как и в статическом поле, фактически проблема была создана искусственно.

Во-первых, в ОТО при описании протяжённых по времени процессов непосредственно в терминах собственных времён необходима осторожность, если темп хода собственных времён меняется по ходу эволюции. Локальные интервалы собственных времён в разные моменты и в разных точках А и В, т.е. «А-время» и «В-время», можно сравнивать только тогда, когда установлено общее для них «время». Для этого интервалы собственных времён можно проецировать на однородную временную ось «глобального космологического времени», в качестве которого можно выбрать темп хода стандартных часов t , когда Вселенная расширится до очень больших размеров и не будет гравитационного и кинематического замедления собственных времён.

Это космологическое мировое время идёт в неизменном темпе за всё время эволюции Вселенной, а собственные времена сначала будут сильно замедлены по отношению к нему, а затем, по мере расширения, будут приближаться к его темпу. Тогда интервалы собственного времени в каждой фиксированной точке (с точностью до кинематических поправок) выразятся как:

$$d\tau = g_{00}^{1/2}(R)dt, \quad (12)$$

где R - радиус кривизны. Однородная временная координата (мировое время) t в каждой точке и во все моменты собственного времени измеряется координатными часами, идущими быстрее стандартных согласно (12).

Во-вторых, прежние космологические модели основывались на дополнительном предположении о том, что трёхмерное пространство постоянной кривизны может существовать самостоятельно, без погружения в пространства более высокого измерения. Если не рассматривать случай вселенной с бесконечной энергией, т.е. с конечной плотностью и бесконечным объёмом, а ограничиться более реалистичным случаем замкнутой вселенной конечной энергии и не вводить гипотетической антигравитации, то предположение о трёхмерности оказывается необоснованным.

В самом деле, в геометрии есть очевидные факты, что одномерная сфера – круг – существует только при погружении хотя бы в двумерную поверхность, двумерная сфера – только при погружении в трёхмерное пространство. В обоих случаях D -мерная сфера делит погружаемое $(D+1)$ -мерное пространство на две части – на внутреннюю и внешнюю. При этом, D -мерная «площадь» сферы S пропорциональна $(D+1)$ -мерному «объёму» внутренней области V :

$$S_{(D)} = b_{(D)} V_{(D+1)}^q, \quad q = \frac{D-1}{D+1}, \quad (13)$$

где $b_{(D)}$ - константа.

Например, длина круга $S_{(1)} = 2\pi r$ на плоскости пропорциональна квадратному корню от площади $V_{(2)} = \pi r^2$ этого круга: $S_{(1)} = b_{(1)} V_{(2)}^{1/2}$, где $b_{(1)} = 2\pi^{1/2}$. Площадь же 2-сферы $S_{(2)} = 4\pi r^2$ в 3-пространстве пропорциональна объёму шара $V_{(3)} = 4\pi r^3 / 3$ в степени $2/3$: $S_{(2)} = b_{(2)} V_{(3)}^{2/3}$, где $b_{(2)} = 3^{2/3} (4\pi)^{1/3}$.

Далее, продолжая по индукции, получаем, что трёхмерная сфера «площадью» $S_{(3)} = 2\pi^2 r^3$ обязательно окружает четырёхмерный «объём» $V_{(4)} = \pi^2 r^4 / 2$ и мы имеем $S_{(3)} = b_{(3)} V_{(4)}^{3/4}$, где $b_{(3)} = 2^{7/4} \pi^{3/2}$. Поэтому, если занулить внутренний «объём» $V_{(4)} = 0$, то занулится и объемлющая «площадь» сферы, т.е. *трёхмерная сфера существует только погружённой в четырёхмерное пространство.*

Итак, далее будем считать, что Вселенная есть трёхмерная сфера, погруженная в четырёхмерное пространство, а её эволюция описывается в космологическом мировом времени t . В последующих публикациях будут обсуждаться данные наблюдений, которые, по-видимому, подтверждают эти модельные предположения.

Решения уравнений Эйнштейна для метрики тонкого 3-сферического облака пыли в 4-пространстве известны и дают линейный элемент:

$$ds^2 = \left(1 - a^2 / R^2\right) c^2 dt^2 - \frac{dR^2}{1 - a^2 / R^2} - R^2 d^3\Omega_3, \quad (14)$$

где a - гравитационный радиус Вселенной, зависящий от её массы. Расширение Вселенной есть процесс обратный к свободному падению этой 3-сферы. Отсюда находим связь собственных времён с t (с точностью до кинематических поправок):

$$d\tau = dt \sqrt{1 - a^2 / R^2}. \quad (15)$$

Рассмотрим наиболее простой случай Вселенной с критической энергией $M_0 c^2$, когда расширение может остановиться только на бесконечном радиусе. Тогда, сохранение энергии даёт:

$$M_0 c^2 = M_0 c^2 \frac{\sqrt{1 - a^2 / R^2}}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}}, \quad (16)$$

и далее:

$$v = \frac{dR}{d\tau} \frac{1}{\sqrt{1 - a^2 / R^2}} = \frac{dR}{dt} \frac{1}{1 - a^2 / R^2} = \frac{a}{R}. \quad (17)$$

Отсюда находим зависимости собственного и координатного времён от радиуса кривизны:

$$\tau = \frac{1}{2a} R \sqrt{R^2 - a^2} + \frac{a}{2} \ln \left| R + \sqrt{R^2 - a^2} \right| + const, \quad (18)$$

$$t = \frac{1}{2a} R^2 + \frac{a}{2} \ln \left| R^2 - a^2 \right| + const. \quad (19)$$

Если τ_0 есть настоящий момент, а τ_a - момент собственного времени, соответствовавший сжатому состоянию около гравитационного радиуса $R_a = a$, то тогда конечному собственному времени выхода из состояния сжатия может соответствовать большое координатное время:

$$\tau_a - \tau_0 = -\frac{R_0}{2a} \sqrt{R_0^2 - a^2} + \frac{a}{2} \ln \left(\frac{a / R_0}{1 + \sqrt{1 - a^2 / R_0^2}} \right), \quad (20)$$

$$t_{a+\varepsilon} - t_0 = \frac{1}{2a} \left(a^2 - R_0^2 + a^2 \ln |0 + \varepsilon| \right) \rightarrow -\infty. \quad (21)$$

Если бы Вселенная была слишком близка к гравитационному радиусу, то малость мирового времени, истекшего от Большого Взрыва, была бы необъяснима.

В действительности энергия Вселенной, скорее всего, меньше предельной энергии $M_0 c^2$ и расширение остановится на каком-то значении радиуса R_m . После этого должно начаться новое сжатие, которое ведёт к новому замораживанию, так как в каждый момент глобального времени $t(R) < \infty$ имеем

$R > a$ и $\tau < \tau_a$, где τ_a есть момент собственного времени в будущем, соответствующий достижению гравитационного радиуса.

Таким образом, в начале расширения Вселенная, по-видимому, была в частично замороженном состоянии с точки зрения мирового времени, хотя, конечно, в локальном времени была горячей. Тогда само расширение представляет собой постепенное размораживание Вселенной с учётом сложного взаимодействия частиц и полей в этом состоянии.

Итак, также как и в обычном статическом поле, здесь *нет горизонта и сингулярности*. Гравитационный радиус же определяет размер области, при максимальном приближении к которой замедление времени во Вселенной достигает максимально допустимого уравнениями состояния значения («горячее» состояние), после чего начинается расширение в виде отскока.

Важным следствием этого является то, что оценка времени, истекшего с момента Большого Взрыва, особенно, в ранний период, требует уточнения, так как гравитационное замедление времени приводит к сильному отличию собственных времён от глобального времени. В целом *возраст Вселенной в единицах времени нашей эпохи существенно увеличится* при том же собственном возрасте вещества, если учесть сильное замедление времени в плотном состоянии.

Итак, в простейших моделях релятивистской космологии исчезает сингулярность в начале Большого Взрыва без дополнительных гипотез, а сам Большой Взрыв можно теперь рассматривать как постепенный выход Вселенной из гравитационно-замороженного состояния из-за внутренних фазовых переходов.

3.2. Гравитационное замораживание квантовых флуктуаций и конечность квантовой гравитации

Гравитация является единственным из известных фундаментальных взаимодействий, теория которой неперенормируема. Это значит, что если в квантовой гравитации вычислять петлевые гравитонные диаграммы на фоне плоского пространства-времени, то расходимости не удаётся полностью исключить конечным числом контрчленов.

Далее покажем, что в прежних подходах проблема с бесконечностями была создана искусственно и исчезает при более аккуратном учёте требований исходных принципов основных теорий. В частности, предположение о *плоском фоне* было неверным поскольку следовало учесть внешнее гравитационное поле, порождаемое в каждый момент времени полной энергией частиц в петлевой

диаграмме: $E = E_p + E_p + \dots$, где $E_p = \sqrt{\mathbf{p}^2 + m^2}$.

Также как кулоновское поле, это внешнее гравитационное поле системы частиц в петле не квантуется и должно учитываться (без учёта угловых моментов) через шварцшильдовскую метрику (в «системе покоя», где суммарный 3-импульс петли равен нулю). Тогда временная часть метрики ведёт к гравитационному замедлению собственных времён частиц петли. Поэтому, если длины волн частиц в петле сопоставимы с гравитационным радиусом,

соответствующем полной мгновенной энергии петли, то частоты частиц в петле подвергаются сильному красному смещению и становятся эффективно обрезанными.

Рассмотрим теперь высокочастотные части петлевых диаграмм вблизи планковских энергий $E_{pl} = \sqrt{hc^5 / G}$, когда размеры области локализации частиц также порядка планковской длины l_{pl} (здесь вернёмся к единицам $c \neq 1$). Но, частицы с энергией порядка E_{pl} имеют гравитационный радиус, также практически равный l_{pl} . Действительно, если квантово-механическая длина волны частицы равна гравитационному радиусу, то получаем:

$$\frac{2GE_{pl}}{c^4} = \frac{hc}{E_{pl}}, \quad (22)$$

откуда видим, что гравитационный радиус также порядка l_{pl} :

$$r_g = \frac{2GE_{pl}}{c^4} = \sqrt{\frac{2Gh}{c^3}} = \sqrt{2} l_{pl}. \quad (23)$$

Таким образом, система частиц в петле в каждый момент должна рассматриваться как источник внешнего гравитационного поля и вокруг центра инерции этой системы (в системе покоя этого центра инерции) в каждый момент времени имеется (в сферическом приближении) шварцшильдовская метрика. При этом, чем меньше область локализации, тем больше флуктуация энергии системы частиц, тем сильнее её гравитационное поле и тем больше красное смещение частот этих же самых частиц.

Действительно, длины волн виртуальных квантов порядка области локализации системы частиц: $\lambda = c / \nu \sim r$. Гравитационный радиус же пропорционален энергии системы частиц, которая не меньше энергии одного кванта, пропорциональной координатной частоте ν . В результате, имеем:

$$\nu = \nu_0 \sqrt{1 - \frac{r_g}{r}} \approx \nu_0 \sqrt{1 - \frac{2Gh\nu}{c^4} \frac{\nu}{c}} = \nu_0 \sqrt{1 - \frac{2\nu^2}{\nu_{pl}^2}}, \quad (24)$$

где $\nu_{pl} = \sqrt{c^5 / Gh}$ - планковская частота. Отсюда находим связь собственной частоты квантов ν_0 с их координатной частотой:

$$\nu \approx \frac{\nu_0}{\sqrt{1 + 2\nu_0^2 / \nu_{pl}^2}}, \quad (25)$$

Как видим, при сколь угодно больших значениях собственной частоты $\nu_0 \gg \nu_{pl}$, наблюдаемые частоты не превысят планковскую частоту $\nu < \nu_{pl}$.

Таким образом, в петлевых диаграммах собственное статическое гравитационное поле системы частиц играет роль обрезавшего фактора для высокочастотных квантов любых полей, ограничивая их частоту для внешнего

наблюдателя планковскими частотами. Все высокочастотные кванты фактически замораживаются так как их частоты испытывают тем большее красное смещение, чем больше сама частота и происходит эффективное обрезание на расстояниях l_{pl} .

Отсюда заключаем, что *петлевые поправки в квантовой гравитации также конечны* из-за замораживания высокочастотных гравитонов на планковских расстояниях, где происходит естественное обрезание из-за гравитационного красного смещения. Поэтому, при перенормировке квантовой гравитации достаточно разделить физические наблюдаемые на затравочные значения и конечные квантовые поправки так, чтобы соответствовать экспериментально измеряемым значениям. В квантовой гравитации малы не только логарифмические, но и степенные поправки, которые малы вплоть до планковских расстояний из-за слабости эффективной константы связи, а затем также замораживаются. Поэтому квантовая гравитация не только конечна, но и в ней применима теория возмущений. При разложении по эффективной константе связи ряд теории возмущений сходится.

В реалистичных расчётах результаты вышеприведённых модельных оценок в целом сохранятся, поскольку эффект замедления времени является фундаментальным свойством гравитации, имеющем место уже в приближении внешнего поля и в принципе неизбежен при любом точном расчёте квантовополевых эффектов гравитации, которые только усиливают красные смещения частот и замедление собственных времён квантов.

Заключение

Итак, при исправлении ошибочных предположений ПЧД, несовместимых с ОТО, исключается образование горизонта и сингулярностей, а концепции коллапса и чёрных дыр заменяются предсказаниями нового фазового состояния вещества – гравитационного замораживания сверхплотных и сверхмассивных объектов.

Радиус поверхности гравитационно-замороженных объектов всегда больше гравитационного радиуса точечного источника той же массы и центр всегда более заморожен, чем поверхность. Гравитационно-замороженное вещество является практически застывшим в мировом времени и обладает практически нулевой координатной температурой, но его собственная температура и давление очень высоки.

В результате, в астрофизике ОТО в действительности предсказывает иерархию сверхплотных звёзд различного состава (барионы, кварки, бозоны), а также сверхмассивных объектов с неоднородным замораживанием – квазаров и АЯГ, у которых центральные части сверхплотные и сильно заморожены, а поверхностные слои могут иметь обычные плотности, хотя тоже с большим коэффициентом замедления времени.

В космологии имеются веские основания считать Вселенную замкнутой трёхмерной сферой, погруженной в 4-мерное пространство, расширение которой идёт вдоль четвёртого пространственного измерения. Тогда в ОТО также нет космологической сингулярности в начальный момент, Большой Взрыв есть

размораживание Вселенной и возраст Вселенной в масштабах времени нашей эпохи в действительности должен быть гораздо больше, чем собственный возраст вещества.

В физике частиц и полей ОТО ведёт к весьма удовлетворительному результату, что на планковских расстояниях происходит замораживание квантовых флуктуаций и частоты квантов в петлях не превосходят планковскую частоту. Поэтому, теории квантованных полей, включая и квантовую гравитацию, являются ультрафиолетово-конечными.

Литература

1. Einstein A. (1916) *Ann. d. Phys.*, **49**, 769.
2. Einstein A. (1939) *Ann. Math.*, **40**, p. 922.
3. Schwarzschild K. (1916) *Sitz. Preuss. Akad. Wiss.*, p. 189.
4. Oppenheimer J.R., Snyder H. (1939) *Phys. Rev.* **56**, p. 455.
5. Мизнер Ч., Торн К., Уиллер Дж. (1977) *Гравитация*. тт. 1-3, Мир. М.
6. Penrose R. (1968) *Structure of Space-Time*. Batt.Ren., Benjamin, N. Y.
7. Hawking S.W., Ellis G. (1973) *Large Scale Struct. Space-Time*. C.U.P.
8. Thorne K.S. et al (1986) *Black Holes: The Membrane Paradigm*. Y.U.P.
9. Frolov V.P., Novikov I.D. (1998) *Black Hole Physics*. Kluwer.
10. Narayan R. (2005) *New Journal of Phys.*, **7**, p.199.
11. Feynman R., et al (1995) *Feynman Lect. on Grav., Add.-Wes.P.C.*
12. Mitra A. (2005) arXiv: astro-ph/0608178.
13. Zakir Z. (2000) arXiv, physics/000709.
14. Will C.M. (2006) *Living Rev. Rel.* **9**, 3.
15. Haefele J., Keating R. (1972) *Science*, **117**, pp.168, 170.
16. Alley C et al. (1976) *Exp. Grav., Proc. Conf. at Pavia, N.Y., Acad. Press.*
17. Окунь Л.Б. и др. (1999) *УФН*, **169**, 10, с.1110; arXiv, physics/9907017.
18. Закир З. (2006) *Теор. физ., астрофиз. и космол.* **1**, 1, 12; doi:[10.9751/TFAK.2091-002](https://doi.org/10.9751/TFAK.2091-002); **1**, 2, 30; doi:[10.9751/TFAK.2098-003](https://doi.org/10.9751/TFAK.2098-003)