

## РАЗМЫШЛЯ О ВСЕЛЕННОЙ\*

*М.А.Марков*

Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, Москва  
Институт ядерных исследований РАН, Москва

ВВЕДЕНИЕ	530
НАМ, К СЧАСТЬЮ, НЕ ДАНО ВИДЕТЬ БУДУЩЕГО	533
О ВОЗМОЖНЫХ МОДИФИКАЦИЯХ УРАВНЕНИЙ ЭЙНШТЕЙНА	535
МЕНЯЮЩАЯСЯ ГРАВИТАЦИОННАЯ ПОСТОЯННАЯ	542
ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ И ЭВОЛЮЦИЯ РАННЕЙ ВСЕЛЕННОЙ	548
О ПРИНЦИПЕ МАХА. КАКИЕ ВСЕЛЕННЫЕ ВОЗМОЖНЫ?	554
О ВОЗМОЖНОМ СУЩЕСТВОВАНИИ ОСОБОЙ ФИЗИКИ «УЛЬТРАМИКРОМИРА» В ОБЛАСТИ ПЛАНКОВСКИХ ДЛИН	556
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	561



*Моисей Александрович Марков*

## РАЗМЫШЛЯЯ О ВСЕЛЕННОЙ\*

*М.А.Марков*

Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, Москва  
Институт ядерных исследований РАН, Москва

В настоящей работе, которая в заметной степени является обзором и критическим осмыслением ряда предшествующих работ автора, на широком литературном фоне проведено обсуждение проблем эволюции Вселенной на ее ранних стадиях, близких к точке сингулярности. Особое внимание было уделено анализу свойств вселенных де Ситтера и Фридмана и обсуждению физических условий, которые могли бы вызвать переход от одного типа вселенных к другому типу. Перечислены различные способы модификации обычных уравнений Эйнштейна, которые могли бы служить динамической основой такого перехода. Подробно рассмотрен вариант теории гравитации, когда гравитационная постоянная заменяется некоторой функцией плотности материи (энергии), стремящейся к нулю при увеличении плотности до ее предельного значения. Обсуждена возможная нетривиальная роль черных дыр в фазе инфляционного развития Вселенной, а также (для вселенных закрытого типа) в заключительной фазе коллапса. Особо отмечена возможность существенного изменения физических закономерностей в областях пространства, близких по своим размерам к планковским длинам, и, тем самым, возможность существования специфической физики ультрамикромра.

The present paper which is mainly a review and a critical analysis of the author's previous papers treats on a wide literature background a problem of Universe evolution at its early stages, close to a singularity point. A special attention is given to the analysis of properties of the de Sitter and Friedmann universes and the discussion of the physical conditions which are able to induce the transition from one type universe to another. Various modifications of the usual Einstein equations are presented, which could be a dynamical basis of such a transition. A variant of gravitation theory in which a gravitational constant is replaced by some function of matter (energy) density approaching zero when density reaches its limiting value is considered in detail. A possible non-trivial role of black

---

\*Препринт ФИАН-ИЯИ, М., 1994. Над предлагаемой вниманию читателей рукописью М.А.Марков работал до последнего дня своей жизни (1.10.94). Практически работа над ней была завершена. Но мы уже никогда не узнаем, какие изменения или дополнения он захотел бы внести в нее перед публикацией. Поэтому рукопись предстает перед читателем в своем первоначальном варианте. Работу по подготовке рукописи к печати взяли на себя ученики М.А.Маркова из ФИАН и ИЯИ РАН, и в этом плане они несут ответственность за все погрешности и технические неточности, которые в ней могут быть обнаружены.

holes in a Universe development at the inflation stage and also at the final stage of collapse (for universes of closed types) are discussed. A possibility of an essential change of the physical laws in space regions close in their sizes to Planck lengths is specially emphasized and, thus, a possibility of a specific ultra-microworld physics existence is noted.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Под термином «Вселенная» в данном случае понимается пространство, которое нас окружает, и вся содержащаяся в нем материя: галактики, звезды, планеты и все живые существа.

Всегда человечество интересовал вопрос, как и когда возникла Вселенная. Более того, возникло ли вначале пустое пространство, а затем материя, или пространство неизбежно существует вместе с материей. Появились соображения, что материя и вообще Вселенная могла бы возникнуть в пустом пространстве. Пустое пространство описывается уравнением\*

$$R_{ik} = 0. \quad (1)$$

Но это уравнение слишком общо и имеет слишком много решений. Другими словами, пустые пространства бывают существенно различны по своей кривизне.

Например, плоское пространство, в котором пара параллельных прямых при своем продолжении нигде не пересекается, удовлетворяет более жесткому условию равенства нулю тензора кривизны

$$R^i_{klm} = 0. \quad (2)$$

Другими словами, возникает проблема, которой могло бы не быть: каковы свойства пространства, пустого пространства, в котором возникает материя?

---

\*В общей теории относительности свойства пространства-времени полностью определяются метрическим тензором  $g_{ik}(x)$ , из которого по определенным правилам строится тензор кривизны Римана  $R^i_{klm}$ , а свертка тензора кривизны дает тензор Риччи  $R_{ik} = R^l_{ikl}$  и скалярную кривизну  $R = g^{ik}R_{ik}$  (по повторяющимся индексам подразумевается суммирование). Уравнения Эйнштейна имеют вид

$$R_{ik} - \frac{1}{2}g^{ik}R = \frac{8\pi\kappa}{c^4}T_{ik},$$

где  $T_{ik}$  — тензор энергии-импульса материи,  $\kappa$  — гравитационная постоянная. В пустоте  $T_{ik} = 0$ , и мы имеем  $R = 0$ , откуда следует уравнение (1).

Альтернативное утверждение, которое может быть упомянуто в начале размышления о Вселенной, можно назвать постулатом или принципом существования Вселенной:

«Пространство существует, если только существует материя».

Эйнштейн пытался построить теорию Вселенной, которая представляла бы собой статическое замкнутое трехмерное пространство. Для этой цели Эйнштейну пришлось видоизменить первоначальные уравнения — добавить некоторую константу, которую он обозначил греческой буквой  $\Lambda$  (так называемый  $\Lambda$ -член), при этом ее величина однозначно определялась плотностью вещества во Вселенной.

Однако в 1922—1924 гг. А.А.Фридман показал, что уравнения Эйнштейна имеют решения, описывающие расширяющиеся вселенные, замкнутые или открытые, как в случае присутствия, так и в случае отсутствия  $\Lambda$ -члена. Вначале Эйнштейн считал работу Фридмана ошибочной, но, по видимому, после бесед с Крутковым признал работу Фридмана правильной. В дальнейшем экспериментальные наблюдения Хаббла показали, что мы живем в эволюционирующей расширяющейся Вселенной. Работа Хаббла подтвердила, что существует красное смещение спектральных линий света, приходящих к нам от далеких галактик. Это смещение есть следствие доплер-эффекта, связанного с тем, что эти галактики удаляются от нас.

Расширение современной Вселенной означает, что когда-то было начало Вселенной, и по современным данным время жизни нашей Вселенной оценивается величиной порядка 10 млрд. лет. В связи с этим возникло огромное количество различных проблем, которые необходимо решать в рамках расширяющейся Вселенной. Наша Вселенная не просто расширяется, меняя свои размеры, с ее расширением структура наполняющей ее материи должна была меняться со временем.

Расширение со временем Вселенной означает, что когда-то ее размеры были малыми, а плотность вещества большой. Это означает также, что когда-то не было галактик, звезд, планет, живой материи. Все это должно иметь свою историю. И лишь со временем должна была возникнуть материя в известной нам форме, в частности, в форме всех элементов таблицы Менделеева. Возникла целая область физики — физика так называемой сверхранней Вселенной, природа которой в настоящее время интенсивно теоретически изучается, чему уже посвящена обширная научная литература.

Природа сверхранней Вселенной, как оказалось, находится в тесной связи с глубокими фундаментальными проблемами природы элементарных частиц. Дело в том, что в условиях сверхранней Вселенной должен активно проявиться весь возможный спектр существующих элементарных частиц, все их взаимодействия, различные отношения между ними. Рассмотрение состояния сверхранней Вселенной оказывается как бы специальным теоретическим полигоном, существенным для изучения наиболее фундаменталь-

ных свойств материи. Однако следует подчеркнуть: то, что мы называем областью сверххраненной Вселенной, органически не включает в себя то предельное состояние бесконечно большой плотности материи, которое в этом случае содержится в решениях уравнений Эйнштейна, когда речь идет о самом первом (нулевом) моменте существования Вселенной. Точнее говоря, область сверххраненной Вселенной обычно отсчитывают от момента  $t_0$ , где величина  $t_0$  составлена из мировых констант: постоянной Планка  $h$ , гравитационной константы  $\kappa$  и постоянной скорости света  $c$ :

$$t_0 = \sqrt{h\kappa/c^5}.$$

Нами перечислено лишь очень немного из того, что скрывается за широко открытой дверью в современную космологию. Можно сказать, что в отличие от застывшей вселенной Эйнштейна вселенная после работы Фридмана наполнилась историей, она, можно сказать, ожила, вернее, стала в какой-то степени сродни живому организму: она рождается и проходит различные стадии жизни.

В сравнении вселенных Эйнштейна и Фридмана может быть уместна аналогия, взятая из легенды далекого прошлого. Царь Древнего Кипра Пигмалион пал жертвой любви к им же созданной прекрасной скульптуре Галатее. С помощью Афродиты Пигмалион вдохнул в скульптуру жизнь. Вселенная Эйнштейна — это аналог прекрасной, но безжизненной Галатеи. Вселенная Фридмана — это ожившая Галатеея.

А.А.Фридман, открывая дверь в здание современной космологии, в то время не мог усмотреть многое, что содержится в этом здании. Правда, следуя научно-общественному мнению второго десятилетия текущего столетия, в частности, мнению Дэвида Гильберта\*, он полагал, что в рамках общей теории относительности, вернее, в рамках созданного в то время ее стройного математического аппарата, физика уже приближается или даже приблизилась к тому исчерпывающему совершенству, которым обладает, например, геометрия Евклида, и что в рамках общей теории относительности найдут исчерпывающее объяснение все фундаментальные свойства материи.

В книге А.А.Фридмана, написанной совместно с В.К.Фредериксом [2], комментируются слова Д.Гильберта о начавшейся аксиоматизации физики в

---

\*«Я убежден также, — писал Гильберт, — что основные уравнения (теории Эйнштейна — М.М.) дадут возможность проникнуть в самые сокровенные процессы, происходящие внутри атома, и, что особенно важно, станет существенным привести все физические постоянные к математическим константам, а это, в свою очередь, означает сделать из физики науку такого рода, как и геометрия [1]».

таким торжественно-мрачным стилем: «Нам, к счастью, не дано видеть будущего, и мы не знаем, явится ли эпоха аксиоматизации, эпоха скепсиса, предсмертными часами знания, но если бы даже это было так, то и тогда логическая красота конца заставила бы нас приветствовать появление Принципа относительности». Надо ли говорить о том, что природа оказалась намного богаче теории относительности Эйнштейна и фантастичнее фантазии Гильберта. Ведь совсем не теория относительности, а вначале нерелятивистская квантовая механика помогла раскрыть своеобразие закономерностей, господствующих внутри атома.

## 2. НАМ, К СЧАСТЬЮ, НЕ ДАНО ВИДЕТЬ БУДУЩЕГО

«К счастью» — предполагает возможность своей антитезы — «к несчастью». Знание того будущего, которое предполагалось авторами, означало бы конец знания, конец науки, который авторы вынуждены были бы приветствовать с печальным восторгом.

Но нам, к счастью, не дано видеть будущего. Эта фраза заслуживает быть окруженной драгоценной рамкой. Можно утверждать, что общность, содержащаяся в семи словах этой фразы, подтверждается (конечно, в крупном плане) как в науке, так и в истории человеческого общества.

Если наша Вселенная в ее сегодняшнем состоянии, по-видимому, достаточно хорошо описывается решениями уравнений Эйнштейна, найденными Фридманом, то так называемое сверхпространство ее состояние — это пока закрытые страницы ее истории.

Фундаментальную проблему начальных условий для решений расширяющейся вселенной Фридман оставил для потомства.

Автор считает вместе с Фридманом, что «нам, к счастью, не дано видеть будущего». Это утверждение делается не только на основе исторического опыта времени работ А.А.Фридмана, но и на некотором собственном опыте автора. Дело в том, что в 1962 г. на очередной конференции по физике элементарных частиц (точнее, на так называемой конференции по физике высоких энергий) в Женеве я просил многих ее участников записать в моем блокноте, что существенное произойдет в теоретической физике в течение будущей четверти века. Пророков не оказалось... Записи не имеют никакого отношения к теоретической физике настоящего момента. Только страничка, заполненная американским теоретиком китайского происхождения Т.Д.Ли, написанная иероглифами, свидетельствует о силе китайской мудрости. Если мне правильно перевели ее на русский язык, то иероглифы гласят:

«Есть сто необыкновенных людей, есть сто необыкновенных путей».

Трудно предсказать, в каком виде теоретическая физика будет развиваться в будущем, но в каждый данный момент обычно формулируются в конкретной форме те задачи, которые кажется необходимым решить с точки зрения именно данного момента.

В 1956 г. П.А.Дирак в своем докладе на семинаре в Дубне сформулировал ряд конкретных проблем, стоявших в тот момент перед физикой будущего. Доску с написанными им формулами и перечнем задач я перенес в свой кабинет. Семь проблем были написаны Дираком в таком порядке:

**1. Бесконечности.**

2.  $\frac{e^2}{hc}$ .

**3. Нуклоны и мезоны.**

4.  $\frac{M}{m}$ .

**5. Фундаментальная длина.**

**6. Гравитационное поле.**

**7. Нейтрино.**

Этот список имеет теперь уже практически 40-летнюю давность. Что же по этому списку проблем можно сказать сегодня?

**Проблема 1 (бесконечности).** В настоящее время здесь возникло понимание того, что в рамках теории конкретного поля, взятого в отдельности, изгнать бесконечности, по-видимому, невозможно. Видимо, природа устроена так, что только взаимодействие всех существующих полей вместе способно решить эту проблему. Говоря конкретно, появились соображения в пользу того, что во всем семействе полей бесконечности, о которых идет речь, возможно, входят в вычисления с противоположными знаками, которые способны избавить от них только полную теорию полей. С другой стороны, появились также основания полагать, что, например, при учете во всех полях роли гравитационного поля в природе реализуется фундаментальная длина, именно длина Планка  $l_p = \sqrt{\hbar c^3} \sim 10^{-33}$  см, и что именно гравитационное поле определяет автоматически предельную длину в процессе ее измерения (**проблема 5 (фундаментальная длина)**) и, соответственно, предельную энергию излучаемого кванта поля минимальных пространственных размеров. Что касается спектра масс так называемых элементарных частиц (в списке Дирака это **проблема 3 (нуклоны и мезоны)**), то возникли представления, согласно которым нуклоны и мезоны построены из нового типа своеобразных фермионов (кварков), взаимодействующих с помощью целого класса новых безмассовых полей (глюонов).



**Проблема 6 (гравитация).** С ней связан старый вопрос о принципе Маха\*. Возможно, что более широкий принцип — «принцип существования пространства» ( $g_{ik} \neq 0$ , если только  $T_{ik} \neq 0$ ) в случае ограничения решений уравнений Эйнштейна решениями Фридмана и де Ситтера (см. ниже) представляет собой и реализацию принципа Маха, и решение проблемы сингулярности космологических метрик.

**Проблема 4**  $\left(\frac{M}{m}\right)$  в настоящее время представляет собой лишь часть проблемы 3 (нуклоны и мезоны).

**Проблема 2**  $\left(\frac{e^2}{hc}\right)$  остается интригующей проблемой:

$$\sqrt{hc} = \sqrt{137} e ?$$

**Проблема 7 (нейтрино)** к настоящему времени сильно усложнилась: возникли три различных по природе нейтрино. Случайно ли их число совпадает с числом измерений нашего пространства? Книгу «Нейтрино», изданную более четверти века назад (1964), я закончил словами: «Современнику трудно гадать, какое истинное место займет нейтрино в физике будущего. Но свойства этой частицы столь элементарны и своеобразны, что естественно думать, что природа создала нейтрино с какими-то глубокими, пока для нас не всегда ясными «целями» ...». Эти слова в полной мере остаются справедливыми до настоящего момента.

Но Дираку не было дано предвидеть воскрешение космологических идей де Ситтера, появление целой области теоретических исследований, связанных с теорией струн, роль симметрий в теории элементарных частиц и многое другое из «ста необыкновенных путей», что выпало на долю некоторым из «ста необыкновенных людей».

### 3. О ВОЗМОЖНЫХ МОДИФИКАЦИЯХ УРАВНЕНИЙ ЭЙНШТЕЙНА

Известно, что уравнения Эйнштейна удачно описывают современное состояние нашей Вселенной, точнее, части ее истории, и способны предсказать ее будущее в зависимости от знания точного значения средней плотности ее материи к данному моменту времени. Но теория в ее современном виде неспособна описывать самый начальный момент истории как откры-

---

\*Принцип, согласно которому метрическое поле  $g_{ik}$  полностью определяется материей,  $T_{ik}$ .

тых, так и закрытых вариантов вселенных, а также конечные судьбы коллапсирующих звезд, точнее, черных дыр, которые возникают в отдельных участках Вселенной. Точнее, речь идет о сингулярностях классической теории гравитации в начальный момент истории Вселенной и в конечные моменты коллапсирующих объектов.

Другая, как оказалось потом, серьезная проблема, возникшая в очень острой форме, заслуживает предварительного небольшого исторического экскурса, связанного с  $\Lambda$ -членом.

Уравнение Эйнштейна писалось в виде

$$R_k^i - \frac{1}{2} R \delta_k^i - \Lambda \delta_k^i = \frac{8\pi k}{c^4} T_k^i. \quad (3)$$

$\Lambda$ -член — константа с размерностью  $l^{-2}$ , где  $l$  — величина с размерностью длины. Согласно Фридману (1922—1924 гг.), это уравнение описывает как закрытые, так и открытые изотропные расширяющиеся вселенные.

С другой стороны,  $\Lambda$ -член мог бы быть отличным от нуля, независимо от истории его возникновения в теории, тем более что оказалась возможной экспериментальная оценка его величины. Во всяком случае, если  $\Lambda$ -член существует, то его численное значение в настоящее время очень мало:  $\Lambda \leq 10^{-55} \text{ см}^{-2}$ .

Уравнение вида

$$R_k^i - \frac{1}{2} R \delta_k^i - \Lambda \delta_k^i = 0 \quad (4)$$

носит название уравнения де Ситтера.

Многими авторами полагалось, что уравнение де Ситтера описывает один из вариантов пустых вселенных.

В одной из ранних работ Эйнштейна (1918 г.) можно прочесть такое утверждение: «Решение де Ситтера ни в коей мере не соответствует миру без материи, а, скорее, соответствует миру, в котором вся материя сосредоточена на поверхности, что, вероятно, можно было бы доказать, переходя от объемного распределения материи к поверхностному».

Наши попытки проверить предложения Эйнштейна не привели к определенным результатам.

Сам Эйнштейн, как некоторые утверждают, в дальнейшем стал считать введение  $\Lambda$ -члена самой большой своей ошибкой.

Напомним, что в книге Толмена «Относительность, термодинамика и космология» (с.359) сказано, что «модель де Ситтера — это такая модель, в которой давление и плотность связаны соотношением

$$p_{00} + p_0 = 0.$$

Собственная плотность материи  $\rho_{00}$  по своей физической природе может быть только положительной или нулевой величиной. Давление, в принципе, может быть и отрицательным, однако ни одна из существующих субстанций, которую мы здесь представляем себе как идеальную жидкость, даже если мы примем во внимание внутренние силы сцепления, не может создать такое отрицательное давление, которое в принятых единицах хотя бы отдаленно приближалось по абсолютной величине к плотности  $\rho_{00}$ .

Приведенное выше физическое толкование модели вселенной де Ситтера сохранилось, в сущности, без изменения в книге Хокинга и Дж.Эллиса, изданной в 1973 г. «Эти пространства (т.е. пространства де Ситтера) можно считать решениями уравнения в пустом пространстве  $\Lambda = R/4$  с или решением для идеальной жидкости с постоянной плотностью  $R/32\pi$  и постоянным давлением  $-R/32\pi$ . Однако эта трактовка, по-видимому, неприемлема, поскольку тогда или давление, или плотность должны быть отрицательными» (цитируется по русскому изданию 1977 г.).

В известных учебниках Ландау и Лифшица нет даже упоминания имени де Ситтера.

Если в настоящее время раскрыть любой журнал, посвященный вопросам теоретической физики, то не исключено, что имя де Ситтера на страницах данного журнала встретится десятки раз. Что же произошло такого, что так резко возрос интерес к вселенной де Ситтера? Дело в том, что в результате многих работ создалась довольно твердая уверенность, что очень ранняя Вселенная должна быть Вселенной типа деситтеровской с начальной плотностью энергии-импульса, близкой к планковской. Начало было положено соображениями Даукера и Критчли [3], которые обратили внимание на то, что с учетом конформной аномалии тензора энергии-импульса мир де Ситтера с плотностью энергии, близкой к планковской, оказывается согласованным с решением уравнения Эйнштейна с квантовыми поправками.

Далее внимание научной общественности привлекла к себе статья А.А.Старобинского под интригующим заглавием «Несингулярная модель с квантово-гравитационной стадией де Ситтера» [4].

Правда, хотя заглавие этой статьи себя не оправдывает, и статья проблеме сингулярности не решает, как это часто бывает со статьями такого рода, где не учитываются возможные возмущения, она продолжает быть объектом внимания теоретиков, так как некоторые ее положения и общее направление сохраняют свой интерес.

Совсем в другом духе, после работы Старобинского, построена статья Гуса [5], которая, не касаясь проблем начальных условий возникновения Вселенной, в дальнейшем инициировала ряд работ, особенно работу Линде [6,7], где рассматриваются, также исходя из деситтеровской фазы ранней

Вселенной, такие черты, которые необходимы для стыковки очень ранней Вселенной с ее фридмановской фазой.

Вернувшись по времени назад, не только к периоду забвения вселенной де Ситтера, но, более того, враждебного отношения к ней\*, необходимо добрым словом упомянуть Э.Б.Глинера. Глинер публикует статью под названием «Вакуумообразное состояние среды и фридмановская космология» [8]. «Цель данной заметки, — пишет Глинер, — показать, что вакуумоподобное состояние физической среды (тензор энергии  $T_{ik} = \Lambda g_{ik}$ ) может быть исходным пунктом любой из трех моделей Фридмана». Если вакуумоподобное состояние среды может стать исходным пунктом для любой из трех моделей Фридмана, то речь идет о вакуумоподобном состоянии среды как некоторой формы первоматерии. Это был «глас вопиющего в пустыне».

Мы видим, что Фридман оставил для далекого будущего как проблему ранней Вселенной, так и, что важнее, проблему начальных условий.

Стало ясно, что уравнения Эйнштейна требуют серьезных модификаций.

Функция действия в теории гравитации Эйнштейна пишется в виде

$$S = \frac{c^4}{16\pi\kappa} \int R \sqrt{-g} d^4x,$$

где  $R = R(x, y, z, t)$  — скалярная кривизна.

Вариация  $S$  по  $g_{ik}$  дает уравнения Эйнштейна

$$R_k^i - \frac{1}{2} R \delta_k^i = 0. \quad (5)$$

Уравнения (5) описывают свободное гравитационное поле в отсутствие гравитирующей материи. В присутствии материи в правой части уравнения появляется тензор материи  $T_k^i$ :

$$R_k^i - \frac{1}{2} R \delta_k^i = \frac{8\pi\kappa}{c^4} T_k^i, \quad (6)$$

где  $\kappa$  — гравитационная постоянная.

Как уже упоминалось, в космологии эти уравнения неприменимы в самые ранние моменты истории Вселенной. Спрашивается, возможна ли такая модификация уравнений (6) и соответствующего им выражения

---

\*«Трудно определить степень серьезности, с которой физик должен мыслить пространство де Ситтера физически» (Синг).

действия  $S$ , усложненного присутствием материи, которая остановила бы процесс гравитационного коллапса на некоей длине  $l_0$  при некотором значении плотности материи  $\epsilon_0 = c^2 \rho_0$ .

Для модификации классической функции действия и соответствующих уравнений (6) имеются три возможности.

**Возможность А.** Замена  $R$  в полном выражении функции действия, содержащего как гравитационное поле, так и материю, некоторой функцией от  $R$ ,  $R \rightarrow F(R)$ . В общем случае  $F$  может быть функцией всех кривизн. Проблема сингулярности решается, если такая модифицированная функция  $S$  приведет автоматически к конечным значениям всех кривизн в процессе гравитационного коллапса.

Например, если максимальное значение тензора Римана в этой теории дается выражением

$$R_{ijkl} R^{ijkl} = l_0^{-4},$$

где  $l_0$  — константа с размерностью длины.

Возможность А ведет к серьезному изменению левой части уравнения (6), но правая часть остается без изменения.

**Возможность В.** Вторая возможность — это модификация только правой части уравнения (6), где гравитационная константа  $\kappa$  заменяется на некоторую функцию от плотности энергии  $\epsilon$ , именно такую, чтобы  $\kappa \rightarrow \kappa_0 \psi(\epsilon/\epsilon_0)$  с  $\psi \rightarrow 0$  при  $\epsilon \rightarrow \epsilon_0$ .

В этом случае речь идет о существовании в природе асимптотической свободы гравитационных взаимодействий, которая действительно обеспечивает конечную максимальную плотность материи в процессе коллапса. Очевидно, что вариант В непосредственно не касается модификации левой части уравнений (6). Этот вариант может решать полностью проблему сингулярности в уравнении (6), содержащем материю.

Но он не имеет отношения к уравнению типа (5), описывающему поля типа казнеровских и т.п., если свободное гравитационное поле не превращается в процессе коллапса в гравитирующую материю, т.е. в материю, обладающую асимптотической свободой гравитационных взаимодействий. Сюда относится и гравитационное поле реликтовых гравитонов, видимо, существующих в нашей Вселенной. Это поле удовлетворяет свободному уравнению (5), и его «энергия» не учитывается членом  $T_k^i$ , стоящим в уравнении (6).

В нашем дальнейшем рассмотрении случаев А и В возникают основания полагать, что физическое содержание этих, казалось бы, столь различных формализмов на самом деле эквивалентно. Именно, как в случае А,

так и в случае В обязаны существовать предельные конечные плотности материи, а в случае А, что совсем неочевидно, материя должна обладать асимптотической свободой гравитационных взаимодействий.

**Возможность С.** Но, может быть, нет необходимости менять классические уравнения гравитации? Может быть, квантованная форма этих уравнений автоматически решит космологические трудности классических уравнений? Такие соображения законны, и они часто высказываются. Прежде всего целесообразно напомнить судьбу этих высказываний применительно к известным трудностям теорий других, негравитационных полей.

Как известно, все другие классические поля, взятые в отдельности, содержат в каждом случае трудность бесконечного значения энергии их точечных источников.

С появлением уравнений Дирака возник вопрос: сохраняются ли эти трудности в электродинамике Дирака? Проведенные исследования дали общий ответ: квантовая теория любого из известных полей не решает обсуждаемой нами трудности. Часто можно услышать утверждение, что, в отличие от других полей, у нас нет квантовой теории гравитационного поля. Строго говоря, у нас есть квантовая теория всех полей в отдельности, в том числе и гравитационного поля, но только в случае слабых полей. Это утверждение имеет тот смысл, что вблизи точечного источника, например, электромагнитного поля, когда оно становится сильным, необходимо учитывать взаимодействие электромагнитного поля электрона со всеми видами частиц, существующих в природе. Эти виртуальные процессы вносят свой вклад в собственную энергию электрона. Изложенную ситуацию можно сформулировать фразой: «Все, т.е. любая так называемая элементарная частица, в указанном смысле «состоит из всего» [8], т.е. из всего многообразия частиц».

Как известно, расходящиеся выражения, возникающие в теориях классических полей, во многих случаях пытались исключить различными модификациями классических уравнений полей, сохраняя их релятивистскую форму. Например, с помощью введения в соответствующие волновые функции релятивистски-инвариантных обрывающих факторов, которые соответственно уменьшали бы вклад высоких частот в собственную энергию источника поля.

Были и другие релятивистски-инвариантные рецепты избавления от обсуждаемых трудностей, начиная от так называемого «лямбда-лимитинг»-процесса до использования индефинитной метрики.

Все эти попытки решения проблемы расходимости в теории полей оказались неудачными. Они приводили к распространению сигнала в области сингулярности со сверхсветовыми скоростями. В области сингулярности как бы возникало бесконечно твердое ядро.

«Коварство» этих неудач вызвало недоумение - возникало противоречие с релятивизмом при, например, введении явно релятивистских выражений для формфакторов. Но, как выяснилось впоследствии, все недоразумения были связаны с использованием одного времени  $t$ , тогда как поле представляет собой систему, составленную из бесконечного числа частиц.

Как известно, последовательная релятивистски-инвариантная теория многих частиц требует введения многих времен. Такой многовременной формализм впервые был изложен в известной работе Дирака — Фока — Подольского для квантовой электродинамики конечного числа частиц. В классической (неквантовой) электродинамике многих тел этот формализм был изложен мной в [9,10].

Я пытался найти многовременной формализм для описания бесконечного числа фотонов (газ фотонов) для самого электромагнитного поля.

Такая проблема была решена Томонагой в 1947 г. [11]. В формализме Томонаги, а затем Швингера [12], каждой точке  $(x, y, z)$  пространственно-подобной поверхности приписывалось свое время  $t(x, y, z)$ . Я же безуспешно искал обобщение формализма Дирака — Фока — Подольского на спектр фотонов (газ фотонов), который должен был иметь непрерывную структуру. Не исключено, что такой формализм, эквивалентный формализму Томонаги, существует.

Появление уравнения Томонаги — Швингера сделало понятным законную неудачу всех прежних попыток ликвидировать расходимости в теории полей в рамках одного времени для всех пространственноподобных точек.

В этом смысле историческое значение появления уравнения Томонаги — Швингера заключается в том, что все тем или иным образом модифицированные решения уравнений поля не являлись решениями уравнения Томонаги — Швингера — они не удовлетворяли условию интегрируемости уравнения Томонаги — Швингера, именно условию коммутативности соответствующих функций на пространственноподобной поверхности, иначе говоря, требованию конечного значения скорости распространения сигнала.

Другими словами, эти направления поисков решения проблемы бесконечностей в теории полей полностью закрываются требованиями последовательной релятивистской инвариантности много(бесконечно)временного формализма уравнений Томонаги — Швингера.

Как известно, в настоящее время широко развит и с большой практической пользой употребляется так называемый «метод перенормировок», с помощью которого из бесконечных выражений в теории полей выделяются конечные значения, которые с успехом используются в дальнейших вычислениях. К сожалению, этот способ выделения конечных величин из бесконечных их значений осуществляется лишь в рамках одного поля, т.е. пренебрегается вкладом всех других существующих полей. Но главное — эта процедура является процедурой, навязанной со стороны естественному фор-

мализму теории поля. Моя неприязнь к процедуре перенормировок поддерживается известным замечанием Дирака в предисловии к русскому изданию его книги, в котором он писал, что воздержался от изложения методов перенормировок, так как, по его мнению, они исчезнут в будущей последовательной теории поля. Более того, возникает подозрение в том, что, может быть, в законности метода перенормировок еще не до конца разобрались. Например, возникает вопрос, сохраняет ли формализм перенормировок локальность теории в областях, близких к области классической гравитационной сингулярности.

Выше содержалось замечание о том, что в собственную массу (энергию) источника любого поля вносят свой вклад все другие поля, не исключая и гравитацию. Но учет вклада гравитационного поля требует знания физических законов в области длины Планка  $l_{pl} \sim 10^{-33}$  см. Во всяком случае, возможно, что существование в природе асимптотической свободы гравитационных взаимодействий в сильных гравитационных полях, о которой речь пойдет в дальнейшем, кардинальным образом меняет всю ситуацию с проблемой перенормировок.

Для модификации функции действия  $S$  Эйнштейна были указаны три возможности А, В, С, каждая из которых имела и имеет многих сторонников и, вероятно, будет иметь их в будущем, развитие которого непредсказуемо.

Можно указать многих авторов, работавших и работающих над модификацией левой части уравнения Эйнштейна, также и многих авторов, в той или иной мере работавших над проблемами, обозначенными буквой С, но в дальнейшем мы ограничимся проблемами, обозначенными буквой В, т.е. попытками рассмотреть варианты уравнений Эйнштейна, в правой части которых гравитационная постоянная  $k$  заменена на некую функцию от плотности энергии.

#### 4. МЕНЯЮЩАЯСЯ ГРАВИТАЦИОННАЯ ПОСТОЯННАЯ

Впервые на изменение гравитационной постоянной решился Дирак (1938), потом Иордан (1948—1955), потом Бранс, Дикке (1961, 1962—1968). В некоторых из этих работ гравитационная постоянная  $k$  заменена функцией  $\text{const}/\varphi(x)$ , где  $\varphi$  — функция точки. Эти работы имеют и современное продолжение.

Вначале речь пойдет о некоторых «игрушечных» моделях в рамках классической (не квантовой) космологии. Потом речь пойдет о более отдаленном будущем, притом о таком будущем, характер которого автор предпочел бы обвести золотой рамкой: «Нам, к счастью, не дано видеть будущее». Но, видимо, есть глубокое и, возможно, естественное противоречие в



самой науке и, может быть, не надо себя ограничивать золотой рамкой. Видимо, научный риск просто необходим, как азарт спортивного стрелка, стремящегося из лука непременно попасть в десятку.

Выбор направления В в модификации уравнения Эйнштейна не случаен: возникли интуитивные соображения о возможном существовании в природе двух, скажем, законов, которые должны выполняться в уравнениях, адекватно ее описывающих. Возможно, что в природе существует

1) *асимптотическая свобода гравитационных взаимодействий* (гравитационная постоянная  $\kappa_0$  заменяется функцией  $\kappa = \kappa_0 \psi(\epsilon)$ , где  $\epsilon$  — плотность энергии в сопутствующей системе координат, а  $\psi$  стремится к нулю с ростом плотности энергии);

2) *предельно большое значение плотности энергии, а именно  $\epsilon_0$* . В дальнейшем обсуждаются свойства воображаемых вселенных, в которых выполняются эти интуитивные допущения автора. Вначале эти воображаемые (игрушечные) вселенные обсуждаются в рамках классической (не квантовой) космологии, т.е. их параметры берутся в пределах возможных классических измерений в нашей Вселенной.

В процессе размышлений над несовершенством современной теории Вселенной возник вопрос: нельзя ли найти макроскопическую модель, лишенную некоторых фундаментальных трудностей фридмановской вселенной, а именно:

1. Вселенная Фридмана при расширении в прошлом должна возникать из вселенной де Ситтера.

2.  $\Lambda$ -член в настоящий момент во вселенной Фридмана должен быть мал.

3. Вселенная де Ситтера не должна иметь особенность при любых возмущениях.

Если такая модель возможна, возникает вопрос, какие проблемы в ней не решаются и какие необходимо решать. Для простоты рассматривается вариант пылевидной изотропной вселенной. Естественно полагать, что в этих случаях предельная плотность массы  $\rho_0$  должна останавливать коллапс для пылевидной изотропной вселенной, а вместо гравитационной постоянной должна быть функция от безразмерной величины  $\rho/\rho_0$ .

Рука написала *ad hoc* следующее уравнение:

$$\left(\frac{\dot{a}}{ca}\right)^2 + \frac{1}{a^2} = \frac{8\pi\kappa_0}{3c^2} \left[ \rho \left(1 - \frac{\rho^2}{\rho_0^2}\right) + \Lambda' \frac{\rho^2}{\rho_0^2} \right], \quad (7)$$

где  $\rho$  — плотность массы пыли. Здесь  $a$  — масштабный фактор,  $\Lambda' = (3c^2/8\pi\kappa_0)\Lambda$ ,  $\Lambda$ -член =  $1/l_0^2$ , где  $l_0$  — какая-то постоянная длина.

Уравнение (7) обсуждается автором в ряде статей.

Присоединив к скобке  $(1 - \rho^2/\rho_0^2)$  гравитационную постоянную  $\kappa_0$ , можно сказать, что гравитационная константа в (7) заменена некоторой функцией  $\kappa = \kappa_0(1 - \rho^2/\rho_0^2)$ .

Физически это означает, что гравитационная постоянная заменяется некоторой функцией, численные значения которой падают с ростом плотности и которая при  $\rho = \rho_0$  обращается в нуль.

В современной теоретической физике рассматриваются возможности асимптотических взаимодействий, величины констант которых уменьшаются с ростом передаваемого импульса, в пределе стремясь к нулю.

Из (7) следует, что минимальное значение  $a$ , при котором останавливается коллапс (т.е. когда  $\dot{a} = 0$ ), равно

$$a_{\min} \sim 1/\sqrt{\Lambda} = l_0,$$

а  $l_0$  — константа с размерностью длины, которая пока не определена в нашей модели.

В этой игрушечной модели предельную плотность мы запишем в виде

$$\rho_0 \approx 10^{20} \text{ г/см}^3, \quad \Lambda_0 \approx 10^{-6} \text{ см}^{-2}, \quad l_0 \approx 10^3 \text{ см},$$

а полную массу вселенной примем равной  $M_0 \approx 10^{55}$  г.

Величина  $\rho_{\max}$ , при которой останавливается коллапс вселенной, т.е. при  $\dot{a} = 0$ , дается выражением  $\rho_{\max} = \rho_0(1 - m_0/M_0) \approx \rho_0(1 - 10^{29}/10^{55})$ , где  $m_0 = V_{\min} \rho_{\max} \sim 10^9 \cdot 10^{20} = 10^{29}$  г.

Величина  $a_{\min}$ , на которой останавливается коллапс,  $\sim l_0$ , вернее,

$$a_{\min} \sim l_0(1 + m_0/M_0).$$

Согласно (7) плотность массы, которая возникает в конце коллапса, равна почти предельной:

$$\rho_{\max} = \rho_0(1 - m_0/M_0).$$

В уравнении (7)  $\rho/\rho_0$  характеризует эффективный  $\Lambda$ -член.

Вследствие малого значения плотности масс в современную эпоху

$$\left(\frac{\dot{a}}{ca}\right)^2 + \frac{1}{a^2} = \frac{8\pi\kappa_0}{3c^2} \rho, \quad (8)$$

т.е. при  $\rho \ll \rho_0$  уравнение (7) принимает вид уравнения Фридмана. При  $\rho \approx \rho_0$  возникает уравнение де Ситтера:

$$\left(\frac{\dot{a}}{ca}\right)^2 + \frac{1}{a^2} - \Lambda = 0. \quad (9)$$

Но предложенное нами уравнение не получено из какой-либо функции действия  $S$ .

Последовательное изложение теории гравитации начинается с варьирования по  $g_{ik}$  функции действия

$$S = \frac{c^4}{16\pi\kappa} \int (R + 2\kappa\varepsilon) \sqrt{-g} d^4x.$$

Здесь  $\varepsilon = \rho c^2$  — плотность энергии.

Мы предположили, что  $\kappa$  — не константа и зависит от плотности энергии:

$$\kappa = \kappa_0 \Psi \left( \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \right). \quad (10)$$

В этой статье не приведены какие-либо конкретные соображения о характере функции  $\Psi$ , кроме замечания о том, что численное значение ее убывает с ростом плотности энергии. Вычисления ведутся в случае давления  $p \neq 0$ . Существенно заметить, что функция  $\Psi$  должна иметь аргументом безразмерную величину. Это значит, что она должна зависеть от  $\varepsilon/\varepsilon_0$ , где  $\varepsilon_0$  — пока неизвестная постоянная.

Для случая пылевидной материи

$$\kappa = \kappa_0 \Psi \left( \frac{\rho}{\rho_0} \right), \quad (11)$$

где  $\rho$  — плотность массы.

Если писать уравнение для пылевидной изотропной вселенной, то после варьирования по метрике левая часть уравнения Эйнштейна останется без изменения, но в правой части его, к нашему удивлению и, скажем просто, радости, возникнет, добавочный  $\Lambda$ -образный член вида  $-\rho^2(\partial\kappa/\partial\rho)\delta_k^i$ . В случае  $p \neq 0$  он переходит в  $\varepsilon^2(\partial\kappa/\partial\varepsilon)\delta_k^i$ .

Первый же член правой части уравнения получил множителем при  $\rho$  скобку

$$\left( \rho \frac{\partial\kappa}{\partial\rho} + \kappa \right). \quad (12)$$

Попытка привести уравнение к виду, близкому к (7), привела к необходимости взять  $\kappa$  в виде

$$\kappa = \kappa_0 \left( 1 - \frac{\rho^2}{3\rho_0^2} \right), \quad (13)$$

и тогда получаем

$$\left( \frac{\dot{a}}{c} \right)^2 + 1 = \frac{8\pi\kappa a^2}{3c^2} \left[ \rho \left( 1 - \frac{\rho^2}{\rho_0^2} \right) + \Lambda' \frac{\rho^3}{\rho_0^3} \right]. \quad (14)$$

Добавочные  $\Lambda$ -образные члены сильно повысили интерес к нашей пока «игрушечной» модели.

В журнале «Успехи физических наук» [13], по существу, изложены идеи, связанные с предложением моей модификации уравнения Эйнштейна.

Но текст статьи подан под скромным названием «О возможности существования в природе асимптотической свободы гравитационных взаимодействий».

Текст статьи овеян некоей грустью, в частности, по поводу того, что асимптотическая свобода в предложенных примерах решает проблему гравитационной сингулярности только в изотропных моделях.

Существует много примеров, когда неизотропные возмущения, в частности, казнеровские, делают эти модели сингулярными.

Но конкретные выражения для реализации асимптотической свободы, т.е. функции  $\psi$ , писались мною *ad hoc*. Может быть, можно найти функции, которые еще до достижения значения предельной плотности  $\rho_0$  могли бы менять знак  $\kappa$  на обратный и создавать на каком-то участке коллапса замену сил притяжения на отталкивание, имитируя в правой части уравнения Эйнштейна появление отрицательной энергии, нарушающей энергодоминантность, что исключает сингулярность.

Оказывается, такие возможности, которые нарушают энергодоминантность, по существу, неограничены.

Например,

$$\kappa = \kappa_0 \left( 1 - \alpha_1 \frac{\rho}{\rho_0} \right), \quad (15)$$

где  $\alpha_1$  — константа, большая единицы ( $\alpha_1 > 1$ ).

Теперь видоизмененное уравнение Эйнштейна принимает вид

$$\left(\frac{\dot{a}}{ca}\right)^2 + \frac{1}{a^2} = \frac{8\pi\kappa_0}{3c^2} \left[ \rho \left( 1 - \alpha_1 \frac{2\rho}{\rho_0} \right) + \frac{\rho^2}{\rho_0^2} \alpha_1 \rho_0 \right]. \quad (16)$$

Если теперь набраться храбрости и составить  $\rho_0$  из мировых констант, т.е. если положить  $\rho_0 = c^5/h\kappa_0^2$ , то, перенося второй член из правой части уравнения в левую, мы получим при  $\rho \approx \rho_0$ :

$$\left(\frac{\dot{a}}{ca}\right)^2 + \frac{1}{a^2} - \frac{8\pi}{3} \left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)^2 \frac{\alpha_1}{l_{pl}^2} = \frac{8\pi\kappa_0}{3c^2} \rho(1 - 2\alpha_1), \quad (17)$$

т.е.  $\Lambda_0 = \frac{8\pi\alpha_1}{l_{pl}^2}$ , где  $l_{pl}$  — длина Планка\*.

Собирая в правой части уравнения (16) два члена в один, мы получаем уравнение

$$\left(\frac{\dot{a}}{ca}\right)^2 + \frac{1}{a^2} = \frac{8\pi\kappa_0}{3c^2} \rho \left( 1 - \alpha_1 \frac{\rho}{\rho_0} \right). \quad (17')$$

Если  $\alpha_1 > 1$ , то правая часть уравнения при  $\rho > \rho_0/\alpha_1$ , меняя знак, становится отрицательной. При  $\rho = \rho_0/\alpha_1$  она обращается в нуль.

Другими словами, в какой-то момент коллапса гравитационное притяжение сменяется на отталкивание. Иначе говоря, энергия правой части становится отрицательной, причем, что существенно, еще при плотности  $\rho < \rho_0$ . Старое же уравнение (14) меняет знак правой части только при  $\rho > \rho_0$ , что запрещено предельным значением  $\rho_0$ .

Возмущения типа казнеровских в случае перемены знака энергии в правой части уравнения Эйнштейна по общему объему обращаются в нуль.

---

\*Правда, в классической физике, в которой присутствуют две константы взаимодействия: гравитационная константа  $\kappa$  и константа электрического заряда  $e$ , предельная плотность могла бы быть взята в виде  $c^6/e^2\kappa^2 \sim 10^{97}$  г/см<sup>3</sup>, а предельная длина в виде  $\frac{e\sqrt{\kappa}}{c^2} \sim 10^{-34}$  см.

Несколько парадоксально выглядит следующая формулировка полученного нами результата. Если бы во время Фридмана (1922—1924) кому-либо пришла в голову идея непостоянной гравитационной константы, то, варьируя соответствующее действие по метрике, он мог бы решить проблему сингулярности и обнаружить, что ранняя Вселенная имеет деситтерообразную метрику. Мы будем находиться в таком же положении, если не осмелимся взять константу  $\rho_0$  из квантовой теории.

## 5. ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ И ЭВОЛЮЦИЯ РАННЕЙ ВСЕЛЕННОЙ

После того как программа статьи [13] выполнена, было бы целесообразно рассмотреть, как модифицируется вселенная Фридмана в условиях существования асимптотической свободы гравитационных взаимодействий. Уравнение, рассмотренное нами в случаях возмущения изотропных вселенных, не приводит к коллапсу до точечных размеров. Но имеется еще один вопрос, который почему-то обычно не считается существенным. В статьях, описывающих очень ранние вселенные, речь идет о вселенных, история которых начинается с  $t > 10^{-43}$  с.

В этом присутствует элемент разумности, так как физика сверхранней Вселенной требует научной осторожности, которая, в какой-то мере, нарушается и в так называемой очень ранней Вселенной. Правда, пишут, что вначале ранняя Вселенная характеризуется, например, каким-то первоначальным энергетическим сверхвозбуждением, которое и ответственно затем за первоначальный толчок разлетающейся материи.

В существующей литературе нельзя получить какого-либо вразумительного описания начального состояния инфляционного периода, кроме пояснения основной идеи: «Основное положение, на котором базируются все существующие варианты раздувающейся Вселенной, состоит в том, что на самых ранних стадиях эволюции Вселенная могла бы находиться в неустойчивом вакуумообразном состоянии, обладающем большой плотностью энергии».

Не знаю, насколько описанная нами модель антигравитирующего вещества приемлема для возникновения расширения Вселенной после остановки ее коллапса.

Задача теории ранней Вселенной состоит в том, чтобы заполнить всеми существующими в природе частицами Вселенную в ее фридмановской фазе. Мы не можем выполнить эту задачу, т.к. полный спектр частиц пока нам неизвестен. Мы могли бы следовать другим авторам, ограничиваясь нуклонами и лептонами, используя судьбу симметрии. Мы бы решились на это, если бы к настоящему времени был экспериментально открыт бозон Хиггса.

В нашей модели Вселенная возникает, в сущности, из пустого пространства де Ситтера. Мы критиковали не саму идею возникновения Вселенной из пустого пространства, а способы выбора этого пространства. В моделях, которые мы описываем, материя возникает практически из пустого пространства де Ситтера, порождаясь  $\Lambda$ -образным членом модели в виде

$$\alpha_1 \frac{\rho}{\rho_0} \Lambda_0.$$

При этом  $\alpha_1 \frac{\rho}{\rho_0}$  есть величина, в начальный момент развития Вселенной настолько близкая к единице, что, в сущности, представляет собой призрачный символ, так как гравитирующая, т.е. наблюдаемая плотность массы

$$\rho \left( 1 - \alpha_1 \frac{\rho}{\rho_0} \right)$$

близка к нулю.

На современном этапе именно этот член правой части уравнения Эйнштейна дает гравитирующую (измеримую) плотность массы за счет уменьшения грандиозной величины константы  $\Lambda$ -члена. В каком-то смысле  $\Lambda$ -член можно рассматривать как некий вид первоматерии, трансформация которого порождает все разнообразие частиц мира Фридмана.

Не лишено исторического интереса представление, что подобная среда де Ситтера очень близка к понятию первичного мира по Анаксагору [14].

По Анаксагору первичная материя представляет собой какую-то измельченную смесь всех веществ, которые потом образуют все в этом мире. Эта форма материи лишена какой-либо способности движения. До начала космообразования бесконечно малые частицы этой среды первоначально покоились каждая на своем месте, ибо не было ничего, что вынуждало бы их изменяться и перемещаться.

В современных вариантах сверххранней Вселенной от первичной материи требуется, чтобы она имела свойства скаляра. Природа этого скаляра может быть, в принципе, различного происхождения. Нельзя, например, исключить, что этот скаляр является газом черных дыр. Холодный газ черных дыр в процессе хокинговского распада мог бы естественным образом создать горячую фазу фридмановского мира, для которой уравнение  $p = 0$  уже непригодно.

При реализации обсуждаемой черной дырной гипотезы существенно более подробное знание свойств черной дыры, а именно: исчезает ли черная дыра полностью в процессе хокинговского излучения? В частности, возможно ли существование черных дыр как угодно малых масс? Есть основания полагать, что предельно малая масса черной дыры определяется

мировыми константами  $h$ ,  $c$ ,  $\kappa_0$ , а именно  $m_0 = \sqrt{hc/\kappa}$  и радиусом  $l_0 = \sqrt{h\kappa/c^3} \sim 10^{-33}$  см. В статье [15] (1965) приведены соображения о возможном существовании верхней границы в спектре масс элементарных частиц. Если в природе существует фундаментальная длина  $l_0 = \sqrt{h\kappa/c^3}$ , то предельная энергия частицы с длиной волны  $l_0$  равна

$$E = \frac{hc}{l_0} = \sqrt{\frac{hc^5}{\kappa}} = m_{\max} c^2.$$

Таким образом, возникла гипотеза о существовании в природе максимально тяжелой элементарной частицы с массой  $m_0 = 10^{-5}$  г, которая была названа «максимоном». Появление этой гипотезы не имело никакого отношения к возникшей позднее теории черных дыр. Впоследствии ряд авторов обсуждал возможности существования в природе такой частицы и предлагал для нее различные названия. Появление теории хокинговского излучения черных дыр (препринт 1973 г. и более поздняя статья 1975 г. [16]) привело к пониманию того обстоятельства, что в процессе этого излучения неизбежно появится черная дыра с параметрами, характерными для максимона. Этот объект может быть назван и элементарной черной дырой. Он должен либо мгновенно исчезнуть, высвечивая в одном акте всю свою энергию, или оставаться стабильным. Существует ряд статей, обосновывающих стабильность элементарной черной дыры [17,20].

Имеется и, казалось бы, серьезное возражение против стабильности элементарных черных дыр, выдвинутое Хокингом. Согласно Хокингу [21], если в каком-либо замкнутом объеме возникает какое-либо число черных дыр, то при времени  $t \rightarrow \infty$  они все должны исчезнуть.

Не входя в детали термодинамических аргументов Хокинга, следует заметить, что в замкнутом объеме, наполненном как угодно большим числом стабильных элементарных черных дыр, они должны исчезать путем слияния двух или нескольких из них в большую черную дыру, которая должна высвечиваться затем до элементарной стабильной черной дыры. Таким образом, из как угодно большого начального числа элементарных стабильных черных дыр остается лишь одна элементарная черная дыра. Таким образом, в качестве первичной скалярной материи сверхранней Вселенной можно использовать и газ стабильных элементарных черных дыр (максимонов), так как имеется реальная возможность превращения газа стабильных элементарных черных дыр в процессе инфляции в горячую материю фридмановской вселенной. Газ черных дыр, как первичная скалярная материя, представляет собой наибольший интерес в случае закрытой Вселенной, для которой после фазы инфляции и конечного максимального расширения



предстоит фаза коллапса, которую можно назвать фазой очень поздней Вселенной. Естественно предполагать, что очень поздняя Вселенная должна вернуться в свою исходную, деситтерообразную фазу. Другими словами, все разнообразие полей и частиц во фридмановской фазе Вселенной снова должно вернуться к своей первичной скалярной форме. В условиях большой плотности всех форм материи в конечной фазе коллапса кажется возможной идея превращения всей материи снова в скалярный газ черных дыр. Асимптотическая свобода гравитационных взаимодействий дает формализм деситтеровской симметрии очень ранней и очень поздней закрытых вселенных. Первичная материя в форме черных дыр дает пример физики такой симметрии.

Выражения  $\sqrt{hc/k}$  и  $\sqrt{hk/c^3}$ , которые определяют свойства максимумов, могут, в принципе, содержать какие-то коэффициенты. При этом может оказаться, что материя максимона может не находиться под сферой Шварцшильда, и частицы максимальной массы не будут иметь основания называться черными дырами, а некоторые и стабильными частицами.

Две частицы, каждая с массой  $m_{\max}$ , могут образовывать заведомо нестабильную черную дыру, по массе большую, чем элементарная черная дыра, которая затем может излучить свои излишки энергии.

К сожалению, непосредственные данные о состоянии Вселенной в далекие в прошлом исторические эпохи могут быть только косвенными.

Может случиться, что наша Вселенная не является закрытой, тогда отсутствует проблема сингулярности поздней Вселенной.

Но массивная звезда, существующая как в открытой, так и в закрытой Вселенной, охлаждается в процессе излучения и со временем превращается в нейтронную звезду. При достаточно большой массе нейтронная звезда продолжает сжиматься гравитационными силами, и может наступить такой момент, когда вся ее масса окажется под сферой Шварцшильда. Таким образом, возникает черная дыра и вместе с тем проблема коллапса и сингулярности. Коллапс черной дыры существенно отличается от коллапса закрытой Вселенной. Если для закрытой Вселенной, хотя бы в принципе, мыслима вечно осциллирующая модель, в которой коллапс сменяется расширением, то такая возможность для черной дыры исключена. Дело в том, что полное описание пространства-времени Шварцшильда дается диаграммой Крускала [22]. В полной диаграмме пространства-времени Крускала траектория свободной частицы должна исходить из сингулярности или бесконечности и оканчиваться в бесконечности или сингулярности.

Диаграмма Крускала содержит под сферой Шварцшильда две области, одна из которых  $T_-$ -область, куда частица попадает, пересекая извне поверхность Шварцшильда. В этой области частица обязана закончить свое движение, двигаясь к сингулярности. Для частицы, возникшей в сингулярности,

имеется область  $T_+$ , в которой траектория частицы, рожденной в сингулярности, обязана двигаться в  $T_+$ -области от сингулярности изнутри к поверхности Шварцшильда и, пересекая ее, двигаться в пространстве вне сферы Шварцшильда.

Это так называемое второе пространство  $R''$ , отличное от пространства  $R'$ , в котором частица попадает под сферу Шварцшильда и движется к сингулярности в  $R'$ -области. Если бы каким-либо образом частица, пришедшая из  $T_-$ -пространства, могла бы появиться вблизи сингулярности в  $T_+$ -области, то, пересекая поверхность Шварцшильда, она оказывалась бы во втором пространстве, где время снова отсчитывается от нуля. Другими словами, второе пространство в таком случае находилось бы в абсолютном будущем по отношению к первому пространству.

Напомним, что более двадцати лет тому назад (точнее, в 1966 г.) в «Астрономическом журнале» появилась статья И.Д.Новикова под названием «Смена сжатия расширением и физические особенности при сжатии» [23]. В этой статье в рамках классической физики рассматривается судьба (т.е. «траектория») коллапсирующей электрически заряженной звезды. Именно электрическое поле материи останавливает ее коллапс. В этом случае автор пришел к выводу, что черная дыра после «остановки» коллапса в  $T_-$ -области диаграммы Крускала начнет расширяться в  $T_+$ -область и выйдет в другое  $R''$ -пространство, лежащее в абсолютном будущем к исходному шварцшильдовскому  $R'$ -пространству.

Но данный конкретный случай электрически заряженной звезды оказался неудачным, потому что в случае учета рождения частиц электромагнитным полем звезды остановка коллапса звезды просто не происходит.

Но если какая-нибудь модификация уравнений Эйнштейна сохраняет конечное значение всех кривизн в процессе коллапса, то черная дыра не продвигается в своем движении до сингулярности, и можно, воспользовавшись соображениями статьи [23], утверждать, что в этом случае материя черной дыры может оказаться в  $T_+$ -области и, двигаясь под сферой Шварцшильда в направлении от сингулярности, должна пересечь поверхность Шварцшильда и оказаться во втором  $R''$ -пространстве, образуя в нем новую Вселенную.

На конференции, посвященной столетию со дня рождения А.А.Фридмана (1988 г.), мой доклад на эту тему был озаглавлен «Коллапс звезд как возможный источник закрытых и полужакрытых Вселенных» [24].

В 1990 г. в журнале «Phys. Rev.» [25] появилась статья трех авторов с моим участием на ту же тему под заглавием «Black Holes as Possible Sources of Closed and Semiclosed Worlds». Следует иметь в виду, что развитие новых вселенных происходит в  $R''$ -пространствах во временах, абсолютно бу-

дущих по отношению к временам вселенных, где происходит образование черных дыр. Например, в статье [24] в этой связи сказано, что наша Вселенная, может быть, возникла из черной дыры, которая образовалась в некоей вселенной, существовавшей в абсолютно прошлом времени, т.е. которое было исчерпано в процессе существования черной дыры, и отсчет его в новой вселенной начинается снова с нуля. Так как в процессе существования вселенной в случае ее коллапса черных дыр образуется много, то мы несколько конкретизируем процесс распада очень поздней вселенной на множество вселенных, о котором шла речь в вечно осциллирующей модели Вселенной.

Если предыдущие соображения о возникновении вселенных справедливы, то много новых явлений может реализоваться в космологии. Можно напомнить, что еще в 1928 г. Джинс [26] высказал предположение, что в «центрах туманностей материя втекает в наш мир из иного постороннего пространства». Новиков [27] и Нееман [28] высказывали соображения, что галактики — это особые участки нашей Вселенной, которые по каким-то причинам отстали во времени в своем развитии от целой Вселенной. Это отставание во времени было бы объяснимо, если бы галактики вливались в нашу Вселенную из других вселенных в тех процессах, о которых речь шла выше.

В настоящее время, когда как будто успешно развивается теория галактик как результат возмущений в истории Вселенной, я бы опустил последние замечания о галактиках, если бы не возникло большое искушение напомнить о Джинсе.

Лет двадцать тому назад (1973), воодушевленный статьей О.Клейна [29] о возможности полузакрытых миров, я опубликовал статью под названием «Микроакросимметрическая Вселенная» [30], которой предпослал первые две строфы из стихотворения Брюсова «Мир электрона» (1922):

Быть может, эти электроны —  
Миры, где пять материков,  
Искусства, знания, войны, троны  
И память сорока веков.

Еще, быть может, каждый атом —  
Вселенная, где сто планет:  
Там — все, что здесь, в объеме сжатом,  
Но также то, чего здесь нет.

В основе статьи, о которой идет речь, лежит внутренне непротиворечивая возможность, напоминающая известное высказывание Дирака, которым заканчивается одна из его работ: «Было бы странным, если бы природа не использовала эту возможность». И вот такая возможность возникла.

Здесь речь идет о вселенной с как угодно большими горловинами, которая содержит внешнюю массу данной вселенной. Возможно, что эта масса могла бы излучаться объектом, как и в случае обычной черной дыры. В статье [30] этот объект был даже назван черной дырой второго рода. Если масса горловины может излучаться полностью, то возникла бы закрытая вселенная. Если при этом остается предельно малая масса горловины, то данная вселенная будет вести себя во внешнем пространстве, как есть основания предполагать, в виде максимона. Таким образом, не исключено, что наша вселенная наполнена огромным количеством частиц, часть из которых на самом деле является вселенными.

Подводя итог, можно сказать, что Вселенная в целом может оказаться своеобразной структурой, состоящей из множества вселенных, развивающихся в своих пространственных и временных координатах. Эту Вселенную нельзя изобразить на бумажном листе как множество вселенных [31]. Она скорее напоминает русскую куклу матрешку. Только внутри каждой из матрешек содержится множество других матрешек и т.д. Такой образ Вселенной в целом обсуждается в статье [32]. Естественно, такая Вселенная в целом не имеет ни начала, ни конца.

## 6. О ПРИНЦИПЕ МАХА. КАКИЕ ВСЕЛЕННЫЕ ВОЗМОЖНЫ?

*Что меня действительно интересует,  
это имел ли Бог выбор, когда он создавал мир.*  
А.Эйнштейн.

В цикле рассматриваемых нами работ по космологии в этом десятилетии стоит упомянуть обсуждение проблем, связанных с принципом Маха [33-36].

Как известно, уравнения Эйнштейна содержат большое количество разнообразных космологических решений. Современное состояние Вселенной довольно хорошо описывается решениями уравнений Эйнштейна, найденными А.А.Фридманом. Но эти решения непригодны для описания очень ранней Вселенной. Более того, для очень ранней Вселенной оказываются естественными решения типа де Ситтера. Спрашивается, нельзя ли ограничить божественные возможности этими двумя типами решений? Для исследования поставленной проблемы оказывается удобной запись уравнений Эйнштейна в виде, аналогичном интегральному уравнению Янга — Фельдмана в теории поля:

$$g_{ik} = \frac{8\pi\kappa}{c^4} \int G_{ik}^{jl} T_{jl} \sqrt{-g} d^4y + \Lambda_{ik}, \quad (18)$$

где  $G_{ik}^{jl}$  — аналог функции Грина,  $\Lambda_{ik}$  — свободное гравитационное поле. Если в этом уравнении положить  $\Lambda_{ik} = 0$ , то  $g_{ik}$  отлично от нуля, только если  $T_{ik} \neq 0$ .

Другими словами, в этой теории пространство существует лишь в том случае, когда  $T_{ik} \neq 0$ , т.е. само существование пространства связано с наличием материи. Этим принципом существования пространства сразу лишается смысла рождение Вселенной «из ничего», существование «пустых пространств», начиная с пространства Минковского, и даже асимптотически плоских метрик типа Шварцшильда. Много лет существовало мнение, что пространство де Ситтера представляет собой также пустое пространство. Это мнение основывалось на том, что соответствующая этому случаю материя должна обладать состоянием  $\epsilon + p = 0$ , где  $\epsilon$  — плотность энергии,  $p$  — давление. А такая материя не встречается в природе. Но постепенно пришли к пониманию, что речь идет об очень ранней Вселенной. Такое состояние материи возможно. Условие  $\Lambda_{ik} = 0$  не означает также отсутствие возникновения гравитационных волн. Но в данном четырехмерном мире они всегда должны иметь материальный источник своего возникновения.

Уравнение с  $\Lambda_{ik} = 0$  рассматривалось рядом авторов с точки зрения наличия или отсутствия в теории Эйнштейна принципа Маха. Вследствие математической сложности исследования уравнения (18), работы в этом направлении не дали определенных результатов. Мной было предложено В.К.Мальцеву ограничиться исследованием конформно-плоских пространств  $g_{ik} = \varphi^2(x) \eta_{ik}$ , где

$$\eta_{ik} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}.$$

В отличие от работ других авторов здесь вместо десяти величин  $g_{ik}$  требуется найти одну функцию  $\varphi(x)$ .

Для определения одной функции  $\varphi(x)$  нами использовалось уравнение Эйнштейна в виде [37]:

$$R = -\frac{8\pi k}{c^4} T, \quad T = T_{ik} g^{ik}.$$

В этих случаях удалось показать, что в числе допустимых метрик этого формализма существуют решения как фридмановского, так и деситтеровского типа [38]. Не исключено, что божественные возможности, о которых писал Эйнштейн, ограничиваются такой цепочкой вселенных Фридмана и де Ситтера.

Однако, наиболее интересным результатом этого упрощения (скалярного) формализма гравитации является то, что в случае  $\Lambda_{ik} = 0$  при наличии массивного центрального тела пробное тело не взаимодействует по закону Ньютона с массивным центральным телом  $M$ , т.е. движение пробного тела в этом случае не регистрирует существование как угодно большой массы  $M$  центрального тела. Значение массы просто выпадает из обычного уравнения движения пробного тела. Но если массу пробного тела  $\mu$  учесть наравне с массой центрального тела  $M$ , то тогда возникает между ними ньютоновское взаимодействие. Возможно, это одно из характерных свойств физики, в которой справедлив принцип Маха, правда, в очень обедненной «скалярной» теории гравитации. Но этот результат вселяет некоторую веру в то, что более основательное исследование интегрального уравнения (18) может привести к доказательству существования принципа Маха.

Реализация принципа Маха в интегральном формализме теории гравитации привлекательна тем, что свободное гравитационное поле возникает в этой теории только за счет материи.

Если в интегральном формализме ввести условие асимптотической свободы гравитационного поля, то возникновение свободных гравитационных волн за счет тензора материи может оказаться под влиянием фактора, характеризующего асимптотическую свободу.

А то обстоятельство, что возникающий псевдотензор энергии гравитационного поля в этом формализме автоматически интегрируется по всему четырехмерному пространству, оставляет надежду [39] на то, что появляющаяся таким образом энергия (масса) гравитационного поля действительно характеризуется асимптотической свободой. Другими словами, проблема сингулярности, которая нас занимала на предыдущих страницах и которую мы пытались решить, в частности, в рамках физических квантовых эффектов, при реализации принципа Маха может быть решена в общем виде еще в классической физике. Но эти интуитивные соображения пока не подтверждены математически и, скорее всего, не соответствуют действительности, если в этом случае не происходит «полная изааксонизация» гравитационного излучения, т.е. если псевдотензор излученного поля в каждом акте излучения не приобретает свойство тензора (во всяком случае, в уравнении типа (18), в котором  $k$  было бы задано функцией типа (15)).

## **7. О ВОЗМОЖНОМ СУЩЕСТВОВАНИИ ОСОБОЙ ФИЗИКИ «УЛЬТРАМИКРОМИРА» В ОБЛАСТИ ПЛАНКОВСКИХ ДЛИН**

На предыдущих страницах мы рассматривали проблему, предполагая, что в области, близкой к сингулярности, классические свойства пространст-

ва-времени полностью сохраняются для длин, меньших планковских, и времен, меньших  $10^{-43}$  с.

Еще полвека тому назад (1940 г.) для преодоления трудности с сингулярностью в теории полей была предложена идея нелокальности в форме некоммутативности полей  $\phi(x)$  и координаты  $x$ , другими словами, идея некоммутативности координат [40], что вело также к распространению сигнала со скоростью, большей скорости света. Может быть, целесообразно изменить точку зрения о недопустимости мгновенных сигналов в космологии на обсуждаемых планковских длинах. Эта возможность рассматривается в статье [25].

В случае бесконечной скорости сигнала на пути  $l_{\min}$  теряет свой смысл время как расстояние  $l$ , деленное на скорость  $v$ , т.е.  $t = l_{\min}/v = 0$ .

Если области  $T_+$  и  $T_-$  на диаграмме Крускала разделены абсолютно твердым ядром с радиусом, равным длине Планка, то материя черной дыры в процессе коллапса, достигая расстояния  $l_{\min}$  от сингулярности в  $T_+$ -области, оказывается мгновенно на расстоянии  $l_{\min}$  от сингулярности в  $T_-$ -области. Другими словами, обладая таким свойством, критическая длина  $l_{\min}$  как бы не существует в пространстве. И, вероятно, в этом случае нарушается закон сохранения энергии.

Необязательно пространство представлять в виде какой-то решетки. Например, классические свойства пространство могло бы терять только в области предельной плотности материи. Кстати, для измерения предельно малой длины наблюдатель неизбежно должен использовать соответствующую малую длину волны, т.е. квант энергии, отвечающей предельной плотности материи. Такое толкование физики предельной длины, по-видимому, не ведет к наблюдаемым нарушениям причинности в микромире, нарушения макроскопической связи между настоящим и будущим:  $\Delta t = 0$ .

На предыдущих страницах высказано, скорее, скептическое отношение к решению обсуждаемых проблем гравитационного коллапса в рамках будущей квантовой теории сильного гравитационного поля. Но естественное присутствие длины Планка  $l_{pl} = \sqrt{\hbar c^3}$  в конечном выражении тензора кривизны Римана

$$R_{ijkl} R^{ijkl} = \frac{1}{l_{pl}^4},$$

вернее, присутствие постоянной Планка в данном формализме, кажется, сильно свидетельствует не в пользу упоминаемого скепсиса. В [40] рассматривается возможность появления фундаментальной длины, связанной

с нарушением классических характеристик самого пространства, которые в квантовой теории не имеют места (можно допустить, например, некоммутативность координат, выражение для которых могло бы содержать  $\hbar$ ). Согласно предыдущему не исключено, что очень ранняя и очень поздняя вселенные описываются гидродинамической материей в форме холодного газа черных дыр.

Конечно, очень соблазнительно образ этой развиваемой нами теории классической вселенной, ее истории, расширить до предельно малых размеров, приняв в качестве предельной плотности выражение, состоящее из мировых констант:

$$\rho_0 = \frac{c^5}{\hbar \kappa^2}.$$

Тогда предельно малые размеры в истории вселенной действительно определяются длиной Планка:

$$l_{\min} = \sqrt{\frac{\hbar \kappa}{c^3}}.$$

Очевидно, и это следует подчеркнуть, что в этом случае мы вступаем в область гипотез, которые пока не подтверждены каким-либо формализмом. Конечно, повторяем, не исключено, что квантование сильного нелинейного гравитационного поля в будущей теории автоматически приведет к существованию в природе такой предельной длины, но также возможно, что эти надежды не оправдаются. Конечно, появление в выражении  $l_{\min}$  постоянной Планка делает естественной идею связать появление  $l_{pl}$  с формализмом квантовой механики. Но здесь нужна и некоторая осторожность: квантовая теория всех других полей не содержит такого рода предельную длину. Формализм квантовой механики формируется в рамках классических представлений о пространстве и справедлив при как угодно малых длинах.

С другой стороны, нужна известная смелость утверждать, что наше представление о пространстве справедливо до любых малых размеров. Нельзя исключить *a priori* такую ситуацию, когда физика квантовой механики существенно модифицируется при наличии в природе предельной длины. Обычно существование предельной длины связывается с представлением о пространстве, как о некоторой решетке. Здесь, скорее, идет речь о своеобразном отсутствии длин, меньших планковских, и лишь в областях, где возникает предельная плотность материи. Еще раз подчеркнем, что в классической интерпретации отсутствие длин, меньших планковских, могло бы иллюстрироваться малой областью типа бесконечно твердого шарика, в



которой сигнал распространяется с бесконечной скоростью, так что понятие длительности сигнала (времени его распространения) отсутствует [41]. В случае появления вселенных в результате эволюции черных дыр, в принципе, не исключается нарушение всех законов сохранения. Если угодно, в этом образе пространство вблизи классической сингулярности интерпретируется в духе черного ящика, о котором идет речь в известной статье [42] Уилера. Не исключено, что в «ультрамикромире» при возникновении предельной плотности царит «беззаконие», а сама постоянная Планка появляется как комбинация мировых констант:

$$h = \frac{c^5}{\kappa_0^2 \rho_0}.$$

Предлагаемая модель Вселенной в целом — совокупность вселенных, рождающихся и развивающихся в своих пространствах и временах. Если она в каком-то смысле соответствует действительности, то возникает вопрос о том, что представляют собой эти отдельные вселенные. Например, мы не знаем, является ли наша Вселенная открытой или закрытой. Не исключен также вопрос: возможно ли существование вселенной полностью закрытой, если, в принципе, возможно появление в ней материи черных дыр из вселенных, существовавших в абсолютно прошлом времени по отношению к временам данной вселенной, или просто потому, что существование предельной длины не позволяет вселенной полностью закрыться?

В статьях, посвященных развиваемой нами модели Вселенной в целом, часто используется в качестве первоматерии в инфляционной фазе очень ранней Вселенной газ черных дыр вместо обычно обсуждаемого скалярного поля. Такая первоматерия содержит ряд привлекательных черт, но эта гипотеза органически не связана с обсуждаемой нами моделью Вселенной в целом. Но, кажется, она имеет право на обсуждение. Также имеет право на обсуждение и «темная» (не светящаяся) материя в виде стабильных элементарных черных дыр или частиц, масса которых выражается в виде

$$m = \alpha \sqrt{\left(\frac{hc}{\kappa_0}\right)}.$$

Но  $\alpha$  такова, что материя этих частиц не находится, например, под сферой Шварцшильда. Любопытно, что такие частицы, в том числе и стабильные элементарные черные дыры, практически не взаимодействуют с обычной материей, но довольно сильно взаимодействуют друг с другом:

$$E = \frac{\kappa_0 m^2}{r} = \alpha^2 \frac{hc}{r}.$$

При  $\alpha = 1$  две такие частицы взаимодействуют друг с другом на два порядка сильнее, чем кулоновски взаимодействуют два электрона... Но наиболее интересное научное событие, которое привлекло внимание автора, — это появление препринта (В.П.Фролов и др. [43]), озаглавленного «Wormholes as Devices of Study of Black Hole Interior». Как известно, существуют возражения против применимости боровской интерпретации квантовой теории, например, для таких объектов, как закрытые вселенные, как физика материи под сферой Шварцшильда. Существование кротовых нор вписывается в общую картину той мыслимой модели, о которой речь шла выше, в том смысле, что множественные вселенные представляют собой некий связанный организм.

Следует также упомянуть, что если асимптотическая свобода гравитационных взаимодействий действительно ведет к конечному значению предельной кривизны, то на основании результатов статьи [25], в принципе, возможно создание новых вселенных в лаборатории, если в лаборатории можно получать черные дыры, сжимая какое-то количество материи за ее гравитационный радиус. Но также надо подчеркнуть, что эта возможность может реализоваться и в любой другой космологической теории, в которой существует предельное значение кривизны. Существование асимптотической свободы гравитационных взаимодействий может существенно изменить теорию элементарных частиц. Это, например, касается электродинамики, если сохранится современный характер этой теории с ее логарифмической расходимостью. Существование в природе предельной плотности энергии, естественно, меняет формализм электродинамики. И фундаментальная значимость роли гравитационного поля в этом плане была подчеркнута еще в статьях Маркова (1947 г.) [44], Ландау и Померанчука (1955 г.) [45].

Появление свободного гравитационного поля во Вселенной, заполненной материей, доставляло бы, как следует из статьи автора, много забот. При попытках решения этой проблемы возник ряд гипотез, которые пока имеют право на существование.

Как неполноту данного обзора, следует отметить отсутствие в нем даже упоминания о новых теориях — попытках искать новые возможности в теории гравитации на основе своеобразных свойств, в частности, теории струн.

Здесь мы имеем в виду, например, статью [41], в которой утверждается, что вблизи классической сингулярности возникает область не лоренцевой, а евклидовой метрики\*, и вся Вселенная представляет собой совокупность вселенных, связанных кротовыми норами. Не исключено, что при всем раз-

---

\*Этот результат, казалось бы, близок или даже аналогичен обсуждаемым нами возможностям существования своеобразной «субмикрופизики» при планковских или субпланковских длинах

личии «струнного» подхода и обсуждаемого нами формализма последующая полная картина Вселенной может иметь много общих черт.

Может быть, когда-нибудь окажется возможным и экспериментально обнаружить уменьшение гравитационной постоянной в условиях большой плотности материи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Hilbert D.** — Die Grundlage der Physik, Gett. Nacht. Nov., 1915.
2. **Фредерикс В.К., Фридман А.А.** — Основы теории относительности. Л., 1924.
3. **Douker S., Critchley R.** — Phys. Rev., 1976, v.D13, p.3224.
4. **Старобинский А.А.** — В сб.: Квантовая гравитация, М., 1982 (доклад на 2-м Межд. семинаре «Квантовая теория гравитации», Москва, 1981). Первые работы на эту тему: см. **Starobinskii A.A.** — JETP Lett., 1979, v.30, p.682; Phys. Lett., 1980, v.91B, p.99.
5. **Guth A.H.** — Phys. Rev., 1981, v.D23, p.347.
6. **Linde A.D.** — Phys. Lett., 1982, v.108B, p.389.
7. **Линде А.Д.** — Физика элементарных частиц и инфляционная космология, М.: Наука, 1990.
8. **Глинер Э.Б.** — ДАН СССР, 1970, т.192, с.771.
9. **Markov M.A.** — Phys. Zs. Sowjetunion, 1943, v.7, p.42.
10. **Марков М.А.** — О природе материи. М.: Наука, 1976.
11. **Tomonaga S.** — Progr. Theor. Phys., 1946, v.1, p.27.
12. **Schwinger J.** — Phys. Rev., 1948, v.74, p.1439.
13. **Марков М.А.** — УФН, 1994, т.164, №1, с.63.
14. **Рожанский И.Д.** — Анаксагор. М.: Мысль, 1983, с.29.
15. **Markov M.A.** — Progr. Theor. Phys. Suppl. 1: Commemoration Issue for 30th Anniversary of the Meson Theory by Dr.H.Yukawa. 1965.
16. **Hawking S.W.** — Comm. Math. Phys., 1975, v.43, p.199.
17. **Мальцев В.К., Марков М.А.** — Quantum Miniobjects in General Relativity. Preprint P-160, Inst. Nucl. Res., Moscow, 1980.
18. **Bauch T.S.** — J.Phys. A: Math. Gen., 1981, v.14, p.L39.
19. **Муханов В.Ф.** — Письма в ЖЭТФ, 1985, т.33, с.549.
20. **MacGibbon J.H.** — Nature (London), 1987, v.329, p.308.
21. **Hawking S.W.** — Phys. Rev., 1976, v.D14, p.2460.
22. **Kruskal M.D.** — Phys. Rev., 1960, v.119, p.1743.
23. **Новиков И.Д.** — Астрон. ж., 1966, т.43, с.911.
24. **Markov M.A.** — In: A.A.Friedmann: Centenary volume. Eds. M.A.Markov, V.A.Berezin, V.F.Mukhanov. World Scientific, Singapore, 1988.
25. **Frolov V.P., Markov M.A., Mukhanov V.F.** — Phys. Rev., 1990, v.D41, p.383.
26. **Jeans J.** — Astronomy and Cosmology. Cambridge Univ. Press, 1928.
27. **Новиков И.Д.** — Астрон. ж., 1964, т.41, с.1075.
28. **Ne'eman Y.N.** — A.S.J., 1969, v.141, p.1303.
29. **Klein O.** — In: W.Heisenberg und die Physik unserer Zeit, Brunswick, p.345.
30. **Марков М.А.** — В кн.: Будущее науки. М.: Знание, 1973.

31. См. [7], с.57.
32. **Markov M.A.** — Phys. Lett., 1990, v.A151, p.15; также см. [13].
33. **Sciama D.W.** — Mon. Not. Roy. Astron. Soc., 1954, v.113, p.34.
34. **Альтшулер Б.** — ЖЭТФ, 1966, т.51, с.1143.
35. **Linden-Bell D.** — Mon. Not. Roy. Astron. Soc., 1967, v.135, p.413.
36. **Gilman R.C.** — Phys. Rev., 1970, v.D2, p.1400.
37. **Mal'tsev V.K., Markov M.A.** — On Integral Formulation of Mach Principle in Conformally Flat Space. Preprint JINR, E-2977, Dubna, 1976. **Мальцев В.К., Марков М.А.** — Труды ФИАН, 1977, т.97, с.11.
38. **Мальцев В.К.** — Теор. и мат. физика, 1990, т.83, с.476.
39. **Isacson R.A.** — Phys. Rev., 1968, v.A166, p.1263.
40. **Марков М.А.** — ЖЭТФ, 1940, т.10, с.1311.
41. **Perry M.J., Teo E.** — Nonsingularity of the Exact Two-Dimensional String Black Hole. Preprint DAMTP R93/L.
42. **Wheeler J.A.** — In: Gravitation and Relativity. Eds. N.Y. Chin, W.F.Hoffman. Benjamin, N.Y. 1964.
43. **Frolov V.P. et al.** — Wormholes as Devices for Study of Black Holes Interior, NORDITA Preprint 93/8A, 1993.
44. **Марков М.А.** — ЖЭТФ, 1947, т.17(9), с.848.
45. **Ландау Л.Д., Померанчук И.Я.** — ДАН СССР, 1955, т.103, с.489.