

**В.В. Бурдюжа**

**Астро-космический Центр**

## **Космологический этюд**

В препринте сделана попытка решить некоторые проблемы космологии и физики элементарных частиц. Часть или вся тёмная материя Вселенной это, вероятно, фамилоны (вид аксионов), образовавшиеся в течение релятивистских фазовых переходов, если фундаментальная структура вещества - более сложная, чем кварки и лептоны (т.е. кварки и лептоны – составные). Тогда три поколения частиц стандартной модели находят в такой картине естественное объяснение, также как и фрактальность барионной и тёмной компонент (только фазовые переходы могли дать фрактальное распределение). Тёмная энергия это, вероятно, вакуумная составляющая Вселенной. Отсутствие объяснения разницы в плотности тёмной энергии в Планковский и в сегодняшней моменты времени (123 порядка), даже породило серьёзный кризис физики. Этот кризис устраняется «обычными» физическими процессами. При охлаждении, теряя высокую симметрию впервые доли секунды своей жизни, Вселенная сразу израсходовала 78 порядков вакуумной энергии (конденсаты квантовых полей вносили в её положительную плотность энергии отрицательные вклады в течение релятивистских фазовых переходов). Затем в течение последующих  $4 \times 10^{17}$  сек, вакуумная составляющая Вселенной потеряла ещё 45 порядков на создание новых квантовых состояний (уже в течение эволюции при расширении). Здесь для подсчётов были использованы идеи голографии. Разработан новый сценарий образования Вселенной, в котором она перешла в результате туннельного процесса с осциллирующего режима на Фридмановский режим. Кроме того, введён в рассмотрение гравитационный вакуумный конденсат (топологические микроструктуры самого пространства – монополи, микроструны, микромембраны, кротовые норы), образование которого, зафиксировало начало времени в нашей Вселенной.

- 1. Введение.**
- 2. Рождение Вселенной.**
- 3. Закалка времени гравитационным вакуумным конденсатом.**
- 4. Следующий фундаментальный уровень вещества. Фамилонная модель тёмной материи.**
- 5. Вакуумная составляющая Вселенной (тёмная энергия) должна эволюционировать.**
- 6. Заключение.**

## **1. Введение**

Современное состояние наших знаний о Вселенной таково, что мы «хорошо» понимаем только 4 процента её полной плотности, т.е. мы худо-бедно понимаем наблюдаемый мир звёзд и галактик. Это – барионная компонента. Остальные 96 процентов полной плотности Вселенной мы понимаем плохо и из них 23% это тёмная материя и 73 % это тёмная энергия. Кроме того, есть более сильное утверждение, по которому наш мир есть «фрактал», состоящий из множества вселенных с различными размерностями и константами связи (наша Вселенная – одна из них). Последнее утверждение наводит на грустные размышления, хотя это и мультиверс. Но попробуем хоть как-то разобраться с нашей Вселенной, оставив мультиверс в покое, хотя взаимодействие других вселенных с нашей Вселенной, вероятно, оставило следы в топологических дефектах гравитационного вакуума (мы разберём этот вопрос более подробно позже).

Правильно описать рождение и эволюцию Вселенной, от  $t=0$  до  $t=4 \times 10^{17}$  сек было бы очень смело, т.к. вопросов больше, чем ответов. Хотя ограниченную попытку хотелось бы сделать. Мы живём в  $4^x$ -мерном Римановом многообразии, одним из координат которого является время, возникновение которого довольно таки щепетильный вопрос. Простой ответ - время появилось, когда в «пространственно-временной пене» возникла, как флуктуация, наша Вселенная (сейчас эту пену называют мультиверс или расширяющийся фрактал). Но это не так, или более точно, совсем не так.

Если встать на энтропийную точку зрения, согласно которой направление времени (его стрела) определяется градиентом энтропийной функции, тогда нам необходимо иметь, хоть «какие-то» структуры в пространстве-времени, как точки отсчёта для фиксации времени. Этими микроструктурами могут быть топологические дефекты гравитационного вакуумного конденсата, имеющие различные размерности от нулевых (монополи), до  $3^x$  мерных (кротовые норы). Т.е. это Планковских размеров топологические дефекты самого пространства, из которых состоит гравитационный вакуумный конденсат. Они образовались в результате спонтанного нарушения Лоренц инвариантности впервые мгновения жизни Вселенной. Их (дефектов) образование «закалило» время в нашей Вселенной, т.е. в нашей Вселенной этот процесс определил точку  $t=0$ . С другой стороны СРТ теореме никто не отменял и это заставляет рассматривать осциллирующую модель Вселенной, статистические свойства которой таковы, что энтропия (S) возрастает как вперёд, так и назад во времени [1]. Это иллюстрирует Рис.1.

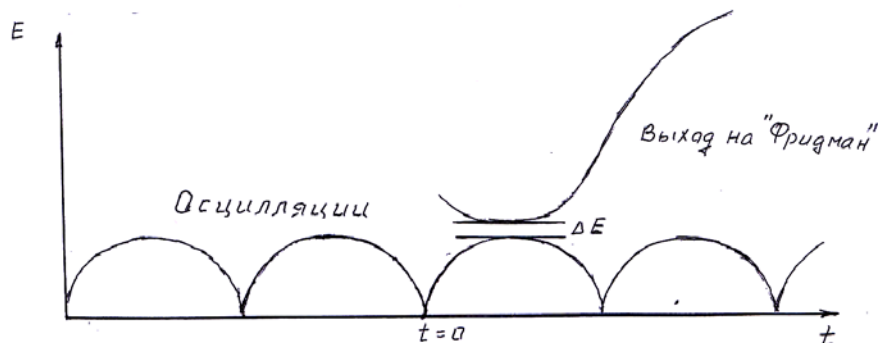


Рис.1

$$dS/dt > 0 \quad S(t) > S(0) \quad \text{если } t > 0 \quad (1)$$

$$dS/dt < 0 \quad S(t) > S(0) \quad \text{если } t < 0 \quad (2)$$

Здесь, несмотря на отсутствие динамического взаимодействия между областями Вселенной с  $t < 0$  и с  $t > 0$  предположение о повороте стрелы времени является физически обоснованным и содержательным, т.е. здесь восстанавливается симметрия двух направлений времени, присущая уравнениям движения. Отметим, что гравитационный вакуумный конденсат, который закалил время в нашей Вселенной, был введен нами впервые в работе [2], в отличие от другого подобного конденсата в звёздах (гравитон это бозон, поэтому его конденсат также возможен [3-4]). Другой интересный вопрос – почему кварки и лептоны являются фундаментальными частицами? Но они могут быть составными, т.е. состоять из более «мелких» частиц – преонов. Этот нетривиальный момент обсуждается мало, хотя красивых физических следствий – много. Прежде всего, в этом случае проясняется состав тёмной материи (фамилонны), решается вопрос о трёх поколениях частиц (зачем они нужны) и даже объясняется

фрактальность в распределении, как барионной компоненты, так и тёмной компоненты вещества во Вселенной [5]. Поэтому мысль, по которой кварки и лептоны – составные частицы, оставлять нельзя.

Ещё более интригующий момент - с тёмной энергией, т.к. кризисные 123 порядка уничтожаются в процессе эволюции вакуумной компоненты Вселенной. Плотность вакуумной энергии в Планковский момент времени была  $\rho_{DE} \sim 10^{94} \text{ g/cm}^3$ , а в современную эпоху плотность вакуумной энергии есть  $\rho_{DE} \sim 10^{-29} \text{ g/cm}^3$ . 78 порядков плотности вакуумной энергии гасятся в квантовом режиме эволюции Вселенной в результате релятивистских фазовых переходов. Конденсаты квантовых полей вносили отрицательные вклады в положительную плотность энергии вакуума. Эти процессы произошли в течении  $10^{-6}$  сек от момента образования Вселенной (от «Большого взрыва»). В классическом режиме эволюции вакуумная энергия Вселенной тратилась на организацию новых квантовых состояний (45 порядков) в течении  $4 \times 10^{17}$  сек. Таким образом, 123 кризисных порядка уходят от обычных физических процессов (термодинамика релятивистских фазовых переходов и организация новых квантовых состояний (голографический подход)). Другой «кризисный вопрос», который подняли наши Корейские коллеги [7] и который утверждает, что гравитация не есть фундаментальное взаимодействие, вероятно, правильный. Физическим моментом здесь является факт, что гравитационную силу локально можно исключить координатным преобразованием и, кроме того, непонятно почему это «фундаментальное» взаимодействие слабее других взаимодействий на 39 порядков.

## 2. Рождение Вселенной

К сожалению, многие красивые идеи физики ранней Вселенной являются элементом веры, т.к. отсутствует их экспериментальное подтверждение, кроме картинки яркости микроволнового неба, которая отпечатаала эпоху рекомбинации ( $z \sim 1100$ ). Конечно, правильная интерпретация этой информации, будучи полученной из результатов новейших космических экспериментов (WMAP, Planck) даёт, вероятно, ключи к пониманию физических процессов задолго до рекомбинации, но физику самых ранних эпох достоверно проверить будет очень трудно. Особенно это касается физических процессов на Планковских масштабах или вблизи них. Основным вопросом здесь является вопрос о возникновении макроскопической Вселенной, содержащей в современную эпоху огромное  $\sim 10^{88}$  число частиц и обладающей практически евклидовым сопутствующим 3х - мерным пространством.

Рождение Вселенной, вероятно, представляет собой квантовый геометродинамический переход из «ничего»\* [8] в состояние замкнутого 3х - мерного пространства малых, но конечных размеров, заполненного некоторым количеством частиц. Отметим сразу же, что важнейшим элементом ранней Вселенной является вакуум, обладающий конечной плотностью энергии и рядом других структурных и топологических параметров. Значение нетривиальных вакуумных величин характеризует

*\*Термин «ничего» обозначает предельно компактифицированное пустое (без частиц) пространство – аналог классической сингулярности (геометрия нулевого объёма).*

спонтанное нарушение симметрии – понижение симметрии системы по сравнению с симметрией уравнений теории. Факт существования этих величин обычно обозначается термином «вакуумный конденсат». Рождение 3х - мерной Вселенной, например, может представлять собой эффект спонтанного нарушения локальной суперсимметрии многомерного пространства-времени. Из общих соображений можно ожидать, что последующая эволюция Вселенной сопровождается дальнейшим понижением симметрии её состояния, которое происходит в процессах релятивистских фазовых переходов (РФП). Довольно давно, Д.А. Киржниц и А.Д. Линде [9] показали, что суть РФП состоит в самосогласовании параметров вакуумного конденсата с температурой и плотностью космологической плазмы. На самых ранних стадиях эволюции Вселенной в число величин, значения которых подлежат самосогласованию с параметрами вакуума и плазмы, входит, конечно, и кривизна пространства-времени.

Для решения вопроса о возникновении макроскопической Вселенной, необходимо предположить, что после рождения из «ничего» Вселенная прошла через одну или несколько стадий, на которых её эволюция происходила в существенно неравновесном, неадиабатическом режиме. Существующие сценарии рождения Вселенной можно разделить на три типа:

- 1) возникновение макроскопической Вселенной в результате квантово-гравитационной инфляции [10].

Здесь заполнение Вселенной частицами происходит при разрушении инфляционного режима вследствие процессов спонтанного рождения частиц в сильном гравитационном поле (reheating);

2) сильно неравновесное начало квазиклассической эволюции Вселенной с малым начальным числом частиц и медленно релаксирующим вакуумным конденсатом. До полной релаксации конденсата расширение Вселенной происходит в режиме «хаотической» инфляции [11];

3) квазиравновесное начало классической эволюции замкнутой Вселенной с начальным числом частиц, обеспечивающим её расширение до точки РФП на масштабе Великого объединения ( $T \sim 10^{16} \text{ GeV}$  [12]).

Идеи, сформулированные А. Старобинским, А. Линде и А. Гусом [10-12], получили дальнейшее развитие в многочисленных статьях и уже даются в монографиях и обзорах, как инфляционная парадигма. Но существование сценариев, альтернативных или взаимно дополнительных по своему физическому содержанию к инфляционным, имеют простое объяснение: в каждом из перечисленных сценариев имеются внутренние нерешённые проблемы. В силу отсутствия экспериментально проверенной физической теории, описывающей процессы в ранней Вселенной, сама классификация этих проблем неоднозначна и в определённой степени зависит от позиции исследователя.

Сформулируем наше отношение к этим проблемам. Квантово-гравитационная инфляция, по существу, является квазиклассической моделью одного из подпроцессов, составляющих такой сложный процесс как квантовый скачок из «ничего» (здесь предполагается, что квантовый скачок из «ничего» в состояние с огромным числом частиц – достаточно вероятен). Но с другой стороны здесь имеет место невысокое правдоподобие этого утверждения и кроме того режим квантово-гравитационной инфляции – динамически неустойчив [13]. Слабым местом сценария хаотической инфляции является предположение о медленной релаксации конденсата. Такое физическое явление, как



спонтанное рождение частиц в переменном конденсатном поле в этой модели полностью игнорируется [14].

Таким образом, в сценариях первых двух типов фактически утверждается, что наблюдаемая Вселенная возникла в результате маловероятного процесса, т.е. является объектом уникальным в духе антропного принципа. Оригинальный способ увеличения статистической достоверности подобных объектов был предложен А. Линде [11] в его концепции «вечно юной вселенной». Здесь предполагается, что в различных причинно-несвязанных областях пространства (или в областях того, что иногда называют «пространственно-временной пеной») непрерывно происходят процессы рождения и гибели зародышей вселенных. В достаточно большом объёме пространства за достаточно большой промежуток времени обязательно возникнет зародыш, в котором сформируются условия, обеспечивающие его превращение в макроскопическую вселенную. К сожалению, это красивая эвристическая концепция А. Линде сегодня не имеет статуса проверяемой физической теории.

В сценариях третьего типа имеются две основные проблемы. Математическая структура инфлатонного поля должна удовлетворять вполне определённым требованиям, т.е. здесь, к сожалению, имеет место модельная зависимость от конструкции инфлатона. Во-вторых, замкнутая Вселенная в режиме расширения доходит до точки РФП на масштабе Великого объединения только при условии, что начальное число частиц в ней превышает некоторое критическое значение:

$$N_0 > N_{cr} \equiv 7/2 \xi(3) (\kappa + m)^{1/2} (12g/\pi km^2)^{3/2} \approx 5 \times 10^{11} \quad (3)$$

$\xi(3)$  – функция Римана,  $\kappa \sim (10^{19} \text{ GeV})^{-2}$  – постоянная Эйнштейна,  $m$  – энергетический масштаб релятивистского фазового перехода. Проблема состоит в объяснении происхождения такого достаточно

большого числа частиц. Отметим, что характер эволюции ранней замкнутой Вселенной существенно зависит от соотношения между полным числом частиц во Вселенной и критическим числом. Здесь в сжатой форме описывается наш сценарий ранней эволюции Вселенной, опубликованный довольно давно в Phys. Rev. D [15]. Это - сценарий третьего типа.

Мы отказались от использования модельных инфлатонных потенциалов и изучили физическое содержание теории с достаточно типичным потенциалом параметра порядка с РФП 2-го рода или 1-го рода, близкого ко 2-му роду.

Мы предполагаем, что Вселенная возникла из «ничего» с относительно малым числом частиц и очень быстро прорелаксировала к равновесному состоянию при Планковских параметрах. Рассматриваемая нами модель, описывает эволюцию Вселенной из этого равновесного состояния, начиная с Планковского момента времени. Вывод о том, что фазовый переход является РФП 2-рода или 1-го рода близким ко 2-му следует из рассмотрения термодинамики равновесных состояний низкосимметричной (НС) и высокосимметричной (ВС) фаз. Специфика обсуждаемой теории состоит в том, что начало эволюции Вселенной в ВС фазе описывается моделью с большим  $\Lambda$ -членом. Его наличие в уравнениях Эйнштейна приводит к тому, что космологическое решение имеет две ветви (квазифридмановскую и квазидеситтеровскую). Поскольку в замкнутой Вселенной все возможные состояния вырождены по энергии, следовательно, в этой ситуации возможен спонтанный туннельный переход в ВС фазе из равновесного состояния в неравновесное, т. е. с квазифридмановской ветви решения на квазидеситтеровскую. Для вычисления вероятности этого классически запрещённого перехода используется уравнение

Уиллера - Де - Витта для Вселенной, способной подвергнуться РФП. Именно после туннельного перехода и последующей релаксации в НС фазу Вселенная существенно увеличивает свой размер и накапливает частицы. Здесь, квантовое туннелирование между ветвями, когда Вселенная скачком увеличивает свой размер, является аналогом классической инфляции. Но вернёмся к нашим исходным предположениям. Мы предполагаем, что:

- 1) Плазма и вакуум во Вселенной, возникшей из «ничего», после процессов релаксации вблизи Планковского времени ( $\sim 10^{-43}$  сек) находятся в квазиравновесном состоянии. По нашему мнению очень ранняя Вселенная возникла из «ничего» в анизотропное состояние (например, IX тип по Бианки) с некоторым числом частиц и с некоторым неравновесным вакуумным конденсатом. Процесс релаксации к равновесному состоянию состоит из  $3^x$  подпроцессов: а) релаксация метрики к изотропной Фридмановской (изотропизация); б) релаксация вакуумного конденсата к равновесному состоянию; с) релаксация функций распределения частиц к изотропным термодинамически равновесным функциям Бозе-Эйнштейна и Ферми-Дирака. Первые два подпроцесса вызваны, во-первых, рождением частиц в переменном гравитационном и неравновесном конденсатном полях. Третий подпроцесс релаксации вызван эффектами гравитационного обменного взаимодействия и другими взаимодействиями, типичными для супергравитации при Планковских параметрах. Мы полагаем, что в результате описанных релаксационных процессов, вакуум и метрика приходят к квазиравновесному пространственно однородному состоянию. От этих предположений невозможно отказаться, т.к. иначе будет очень сложно

понять, почему наблюдаемая Вселенная изотропна и однородна в больших масштабах.

- 2) Топологически Вселенная - закрыта. Это предположение основано на факте, то только такая Вселенная могла возникнуть из «ничего» (локальные свойства этой Вселенной приближаются к локальным свойствам плоской Вселенной, если космологический сценарий решает проблемы плоскостности и энтропии).
- 3) После выхода Вселенной из сингулярности исходное число частиц велико по сравнению с единицей  $N_0 \sim 10^4 - 10^6$  (здесь учтены интенсивные процессы рождения частиц в переменном гравитационном поле [16]), но мало по сравнению с наблюдаемым числом частиц ( $N_{\text{obs}} \sim 10^{88}$ ). Конечно, вероятность перехода Вселенной из «ничего» в состояние  $N_{\text{obs}}$  пренебрежимо мала.
- 4) РФП на масштабе Великого объединения, наиболее близкий к Планковскому масштабу, не является переходом 1 го рода. Это релятивистский фазовый переход 2 го рода, при котором возникновение новой фазы происходит непрерывным образом. Наша цель в работе [15], была показать существование реалистической модели рождения Вселенной, основанной на предположениях (1-4) и сделать упор на проблему образования наблюдаемого числа частиц ( $10^{88}$ ). Эту проблему в инфляционных моделях обычно «прячут под ковёр», приговаривая, что в процессе “reheating” энергия столкновения пузырей конвертирует в энергию квантов скалярного поля, которые распадаются на «нормальные частицы». Она из возможных серий РФП в ранней Вселенной имеет вид:

$$\begin{array}{l}
 G \Rightarrow D_4 \times [SU(5)]_{SUSY} \Rightarrow D_4 \times [U(1) \times SU(2) \times SU(3)]_{SUSY} \Rightarrow \\
 10^{19} \text{ GeV} \qquad 10^{16} \text{ GeV} \qquad 10^5 \sim 10^{10} \text{ GeV} \\
 \\
 \Rightarrow D_4 \times U(1) \times SU(2) \times SU(3) \Rightarrow D_4 \times U(1) \times SU(3) \Rightarrow D_4 \times U(1) \\
 10^5 \sim 10^{10} \text{ GeV} \qquad 100 \text{ GeV} \qquad 0.15 \text{ GeV}
 \end{array}$$

Здесь  $G$  – группа локального суперсимметричного объединения всех физических полей и взаимодействий;  $D_4$  – группа диффеоморфизмов, отнесенная к гравитационному взаимодействию;  $[SU(5)]_{SUSY}$  – группа Великого объединения с глобальной суперсимметрией;  $U(1) \times SU(2) \times SU(3)$  – группа симметрии стандартной модели. Реальность двух последних РФП очевидна каждому. Остальные РФП на диаграмме – обсуждаемые гипотезы. Существующая теория не позволяет детально исследовать первый из цепочки РФП. Единственным следствием этого перехода – исходная плотность энергии вакуума, связанная со взаимодействиями локальной многомерной супергравитации, выражающаяся в  $\Lambda$ -члене. Остальные РФП описываются современными теориями элементарных частиц. Во время РФП при охлаждении космологической плазмы появляется вакуумный конденсат с отрицательной плотностью энергии, асимптотическое уравнение состояния которого  $p_{vac} = -\epsilon_{vac} = const$ . Таким образом, серия РФП сопровождается генерацией отрицательных вкладов в космологический  $\Lambda$ -член, фигурирующий в уравнениях Эйнштейна. Здесь для простоты мы предположили точную компенсацию  $\Lambda$ -члена уже на масштабе Великого объединения. Это приближение физически корректно, т.к. этот масштаб много больше масштабов других фазовых переходов. Мы опускаем

термодинамику фазовых переходов (см.[15]) , отметив только, что в нестационарной Вселенной состояние полного термодинамического равновесия – невозможно, т.к. реакции безмассовых и массивных частиц на расширение Вселенной – различны. Кроме того, фактором неравновесности является непрерывная релаксация вакуумного конденсата к новой равновесной величине\*. К сожалению, эволюция Вселенной с большим начальным числом частиц  $N_0 > N_{cr} \approx 5 \times 10^{11}$  не решает известные космологические проблемы, для решения которых используется известная гипотеза об инфляции. Мы полагаем, что  $N_0 \sim 10^4 - 10^6$  - есть естественная величина для полного начального числа частиц. Космологическое решение для закрытой Вселенной в динамически стабильной ВС фазе в случае  $N_0 < N_{cr}$  имеет две ветви, разделённые зазором (Рис.2) . Ветвь I есть Фридмановское решение, искажённое  $\Lambda$ -членом, а ветвь II есть Де Ситтеровское решение, искаженное присутствием материи. Исследование температурного режима показало, что на ветви I значение минимальной температуры  $T_{I \min}$ , соответствующее максимальному радиусу  $a_{I \max}$  , существенно больше, чем значение критической температуры  $T_{c(I)}$  ,определяющей границу ВС фазы. На ветви II значение максимальной температуры, соответствующее

*\*Заметим также, что в приближении самосогласованного поля, которое мы используем и в котором учитывается только взаимодействие квантовых частиц с классическим полем параметра порядка (ПП), свободная энергия Ландау зависит от температуры ( $T$ ) и от ПП ( $\eta$ ).*

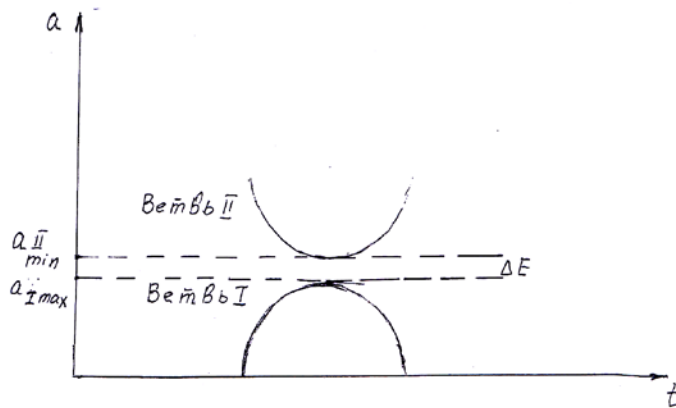


Рис.2

минимальному радиусу  $a_{II \min}$ , существенно меньше, чем значение критической температуры  $T_{c(2)}$ . Очевидно, что для Вселенной, возникшей из сингулярности, ветвь II с точки зрения классической теории является недостижимой, т.к. ветви I и II разделены конечной щелью  $a_{II \min} - a_{I \max} > 0$ , преодолеть которую, эволюционируя по классическим законам, невозможно. Имеется и вторая причина, по которой ветвь II в классической теории имеет статус математического фантома. Дело в том, что искаженное решение Де Ситтера существует постольку, поскольку в космологических уравнениях присутствует  $\Lambda$  - член. Мы, однако, знаем, что  $\Lambda$  - член есть только в уравнениях для ВС фазы, после РФП он распадается и вопрос о существовании второй ветви в НС фазе просто не возникает. Таким образом, в классической теории ветвь II как вариант устойчивой эволюции Вселенной не существует, а для НС фазы нет самой ветви. Запреты на эволюцию Вселенной по ветви II снимаются в квантовой геометродинамике закрытой Вселенной. В этой теории существует малая, но неравная

нулю вероятность туннелирования через зазор, разделяющий ветви I и II. Здесь следует отметить, что в этом случае макроскопический квантовый процесс происходит на масштабе всей Вселенной и, конечно, из-за макроскопичности вероятность такого туннелирования – мала. Мы полагаем, что Вселенная проходит через эту стадию туннелирования. Легко видеть, что в этом случае происходит спонтанное и с макроскопической точки зрения мгновенное увеличение размеров Вселенной. Параметром, описывающим спонтанное увеличение размеров Вселенной, является отношение радиусов:

$$(a_{II \min} / a_{I \max}) = 2 (N_{cr} / N_0)^{2/3}. \quad (4)$$

Если начальное число частиц  $N_0 \sim 5 \times 10^5$ , то в результате квантового туннелирования радиус Вселенной увеличивается в  $2 \times 10^4$  раз (это явление можно рассматривать, как аналог классической инфляции). Мы провели численные эксперименты с различными исходными значениями  $N_0 \sim 10^2 - 10^9$ , т.е. с различными неравновесными состояниями Вселенной, возникающей после туннелирования [15]. Принципиальный результат этих экспериментов – следующий: после окончания релаксационных процессов полное число частиц превышает  $N_{cr}$ , но имеет тот же порядок по величине, независимо от исходного неравновесного состояния. Кроме того, после туннелирования и РФП полное число частиц выражается через фундаментальные константы. Вообще то, описанный сценарий формально не решает проблему возникновения реальной Вселенной. В частности, этот сценарий с малым количеством частиц демонстрирует существование физических процессов, сильно увеличивающих степень макроскопичности Вселенной, но, к сожалению, он даёт после РФП на масштабе Великого объединения число частиц  $N = 2.6 N_{cr} = 1.3 \times 10^{12}$ , которое существенно меньше, чем



наблюдаемое ( $N_{\text{obs}} \sim 10^{88}$ ). Казалось бы, этот результат показывает неадекватность гипотезы о РФП 2 –рода, как об основном факторе формирования макроскопической Вселенной. Мы полагаем, что существуют два квантово - геометродинамических явления, важных для формирования макроскопической Вселенной. Одно из этих явлений – квантовое туннелирование, приводящее к увеличению размеров Вселенной и числа частиц, мы уже обсудили. Если принципиальная возможность процесса квантового туннелирования не вызывает вопросов, то квантовый отскок от сингулярности – гипотеза. Проблема состоит в построении квантового аналога Эйнштейновских уравнений с неравновесным ТЭИ гетерогенной системы, уравнений для эволюции диссипативной функции, параметра порядка и уравнения для энтропии, которое может быть преобразовано в уравнение для температуры плазмы. Таким квантовым аналогом является уравнение Уилера –де Витта для волновой функции Вселенной  $\Psi = \Psi(a, \eta)$ :

$$\begin{aligned} & (-\kappa/24\pi^2) \partial^2 \Psi / \partial a^2 + (g^2/4\pi^2 a^2) \partial^2 \Psi / \partial \eta^2 + \\ & + \{ (-\kappa/24\pi^2) [s(s+1)/a^2] + (6\pi^2/\kappa) a^2 - 2\pi^2 a^4 \varepsilon(a, \eta) - \\ & - (\pi^2/4g^2) (\eta^2 - m^2)^2 \} \Psi = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь  $s = \text{const} > 0$  и  $\varepsilon$  – плотность энергии подсистем частиц, математическая форма которых совпадает с термодинамическим выражением.

Уравнение (5) обладает важнейшим свойством: среди его решений существует решение, локализованное в ВС вакууме (в окрестности  $\eta=0$ ) для любого значения радиуса Вселенной. В области малых  $a$  состояния, локализованные в ВС вакууме, не нарушены квантовыми флуктуациями параметра порядка. В области больших  $a$  т.е. в области термодинамически неустойчивой

ВС фазы, квантовые флуктуации параметра порядка разрушают эти квазилокальные состояния, что демонстрирует их малую вероятность. Основная зависимость волновой функции в ВС вакууме от радиуса Вселенной факторизуется в отдельную «радиальную» функцию  $\Psi(\rho)$ . Эта функция удовлетворяет уравнению формально похожему на уравнение Шредингера для стационарных состояний некоторой условной частицы в потенциальном поле  $U(\rho)$ . Форма потенциала  $U(a)$  изображена на рис.3. Асимптотика этого потенциала при малых  $a$  определяется энергией гравитационного вакуумного конденсата. Из рис.3 видно, что гравитационный вакуумный конденсат обеспечивает квантовый отскок от сингулярности. Минимальный возможный радиус зависит от параметра гравитационного вакуумного конденсата  $s$  и от полного числа частиц. Параметр  $s$  является феноменологическим и его появление

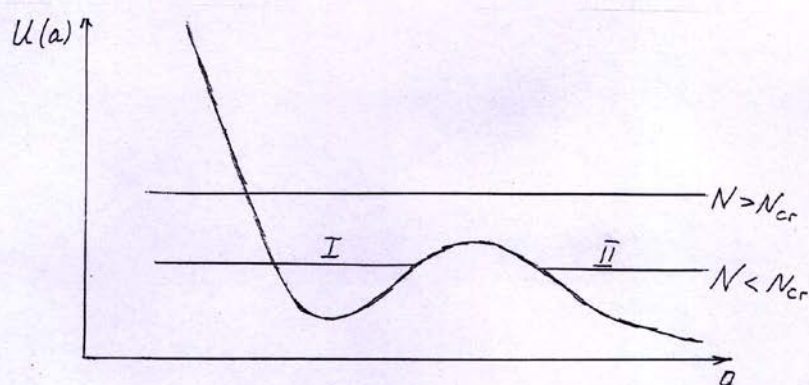


Рис. 3

связано с математической неполнотой формализма квантовой теории гравитации. Поэтому, вообще говоря, мы не можем утверждать, что нам известна природа квантового отскока от сингулярности. Тем не менее, мы можем утверждать, что формализм квантовой гравитации предполагает существование этого процесса отскока. Для численной оценки параметра  $s$  мы предположили, что квантовый отскок при Планковских величинах кривизны и плотности энергии. Это предположение приводит к численному совпадению параметра  $s$  с полной энтропией закрытой Вселенной с точностью до несущественного множителя порядка единицы. Очевидно, что значение параметра  $s$  формируется в течение релаксационных процессов, удовлетворяющих термодинамическому равновесию между гравитационным вакуумным конденсатом и другими подсистемами обсуждаемой модели. Предваряя обсуждение космологической роли квантово-геометродинамических эффектов, заметим, что мы интерпретируем рождение Вселенной из «ничего» как внепространственный и вневременной акт, описание которого (см. Рис.3) - невозможно в рамках уравнения Уилера-Де Витта (см. также [8]). Принимая гипотезу о квантовом отскоке, мы видим, что Вселенная с малым числом частиц квазиклассически осциллирует в области I потенциала  $U(a)$ . Область II потенциала  $U(a)$  соответствует ветви II космологического решения (сравните Рис.2 и Рис.3). Вероятность туннелирования через барьер, разделяющий ветви I и II, экспоненциально мала, когда мало число частиц. Используя формулу ВКБ приближения для оценки этой вероятности, получим:

$$D = \exp \left\{ -2 \int^v_a \sqrt{U(\rho) - 2E_N} d\rho \right\} \quad (6)$$

Здесь пределы интегрирования от  $a$  до  $v$  – точки пересечения барьера  $U(\rho)$  с прямой  $U=2E_N$ . Тем не менее, это не означает,

статистически мала вероятность спонтанного увеличения радиуса Вселенной в результате туннелирования. Гипотеза о квантовом отскоке от сингулярности и о квазиклассических колебаниях Вселенной после её рождения из «ничего» приводит нас к заключению, что вероятность туннелирования с ветви I на ветвь II монотонно увеличивается с ростом числа колебаний в области I. С увеличением числа циклов колебаний рано или поздно туннелирование всё равно произойдёт, несмотря на малую вероятность туннелирования в каждом отдельном осцилляционном цикле\*. Таким образом, квантовая геометродинамика: а) обеспечивает существование пространственно-временных связей между различными точками закрытой Вселенной, что решает проблему горизонта; б) обеспечивает монодоменность РФП так, что в теории не появляются топологические объекты, существование которых трудно совместить с наблюдаемыми данными; в) содержит эффект существенного увеличения степени макроскопичности Вселенной после туннелирования.

Итак, наша Вселенная возникла из «ничего» с малым числом частиц и экспоненциально долго осциллировала в области I эффективного потенциала  $U(a)$  (см. Рис.3). Здесь Вселенная находилась в ВС фазе. После большого числа осцилляций Вселенная испытала туннельный переход, находясь в термодинамически нестабильной ВС фазе. Размер Вселенной после этого многократно увеличился. После туннелирования Вселенная появляется возле барьера около левой границы области II. Наиболее важный результат численного исследования эволюции – оценка числа частиц, рождённых в процессе сильно неравновесного РФП 2 рода. Это число предопределено высотой барьера и

*\*Заметим, что доказательство вероятности осциллирующей модели Вселенной было дано в недавней работе [16].*

выражается через фундаментальные константы. Для РФП на масштабе Великого объединения оно слегка превышает  $N_{cr}=5 \times 10^{11}$ . Эволюция классической Вселенной заканчивается в сингулярности. Тем не менее, учёт квантово-геометродинамических явлений заменяет конец в сингулярности на квантовый отскок при Планковских параметрах. Число частиц при отскоке сохраняется до следующего цикла классической эволюции, которая начинается при  $N > N_{cr}$ . Относительное увеличение числа частиц для всего цикла эволюции меньше одного процента. **Таким образом, мы получили модель медленно раздувающейся Вселенной.**

Дальнейшая детализация сценария эволюции Вселенной требует рассмотрения РФП на других энергетических шкалах. Возможная серия РФП была уже приведена нами ранее в этом препринте. Т.е. за время эволюции Вселенная должна преодолеть некоторые барьеры, аналогичные барьеру, изображённому на Рис.3. Таким образом, наш сценарий может естественным образом обеспечить возникновение макроскопической Вселенной с числом частиц  $N \sim 10^{60}$ . Проблема состоит в том, что наблюдаемое число частиц  $N \sim 10^{88}$ . Мы можем сформулировать несколько гипотез, объясняющих, как достичь  $N \sim 10^{88}$ .

1. Наблюдаемое число частиц могло получиться после многочисленного повторения космологических циклов, содержащих всю серию РФП. Принимая этот сценарий, мы должны помнить, что почти все циклы (кроме тех, в которых происходит туннелирование в сильно неравновесное состояние) квазиadiaбатичны. Число частиц от цикла к циклу увеличивается мало. Предварительные оценки дают, что для формирования наблюдаемой Вселенной необходимо  $\sim 10^5$  циклов.

2. После туннелирования через некий барьер на некотором цикле эволюции, Вселенная может возникнуть в точке траектории, достаточно далёкой от левой границы области II (см. Рис. 3). Из решения уравнения Уилера – Де – Витта следует, что вероятность такого процесса экспоненциально уменьшается при удалении от барьера. На классическом языке этот, мало вероятный вариант туннелирования, соответствует классической эволюции Вселенной на ветви II (Рис.2) с задержкой РФП, происходящей без разрушения этой ветви в течение некоторого времени. Численные эксперименты показали [15], что число частиц, рождённых при РФП, задержанном во времени, экспоненциально увеличивается с увеличением времени задержки. В терминах квантовой эволюции это означает, что процессы с экспоненциально малыми вероятностями приводят к экспоненциально большому макроскопическим эффектам.
3. Эффекты сильного нелинейного взаимодействия различных вакуумных конденсатов в более сложной цепочке РФП приведут к временной задержке этих РФП (как пример, цепочка  $G \rightarrow E_6 \rightarrow O(10) \rightarrow SU(5)$  ... может быть рассмотрена).
4. Четвёртый вариант связан с гипотетической возможностью режима динамического хаоса в области неравновесного РФП. Мы не можем проследить рождение макроскопической Вселенной с наблюдаемыми характеристиками в результате экспоненциально маловероятных процессов с помощью численных экспериментов, т.к. для этого требуется экспоненциально большое машинное время. Несмотря на это, принципиальная возможность рождения Вселенной такого типа, несомненно, существует.

### **3. Закалка времени гравитационным вакуумным конденсатом.**

Гравитационный вакуумный конденсат в звёздах был довольно давно обсуждён в работе [17]. Это было применение Бозе-Эйнштейновской статистики к компактным объектам, внутри которых образовался Де Ситтеровский конденсат с  $(p=-\epsilon)$ , а внешняя часть этих объектов описывается Шварцшильдовской геометрией. В космологии гравитационный вакуумный конденсат был образован в момент рождения Вселенной, но здесь физика совершенно другая и кроме того этот конденсат закалил время в нашей Вселенной т.е. можно сказать, что этим процессом была поставлена точка  $t=0$ . Проблема времени тесно связана с направлением времени, т.е. с его стрелой. Стрелу времени определяют как внутреннюю (геометрическую) структуру пространства-времени [18], хотя направление времени лучше связать с градиентом энтропийной функции, как мы уже упомянули во введении. Проблема времени вообще-то не проста, она – одна из причин неудач до сих пор не построенной квантовой гравитации. Процесс изменения во времени физической системы в квантовой механике описывает уравнение Шредингера. В ОТО (в уравнениях Эйнштейна) время в явном виде отсутствует, хотя эти уравнения – динамические. В уравнении Уилера – Де Витта, которое в простейшем случае имеет вид:

$$H | \Psi \rangle = 0 \quad (6)$$

время отсутствует также. Мы же хотим поставить  $t=0$  для его течения в нашей Вселенной, которая, как уже было упомянуто, имела много осцилляций до этого. Кроме того, СРТ теорема и 2-ой закон термодинамики, вероятно, работают и в мультиверсе и в осциллирующей модели Вселенной, в которой энтропия возрастает как вперёд, так и назад во времени после отскока от сингулярности

(в осциллирующей модели Вселенной точка  $t=0$  выбирается как бы автоматически). Дадим определение времени. Время – одно из координат искажённого  $4^x$  - мерного Риманова многообразия в нашей Вселенной. Для простоты, естественно, ограничимся рассмотрением  $3^x$  - мерного пространства, хотя геометродинамический переход в состояние закрытого пространства большей размерности также возможен.

Закрытая изотропная Вселенная образовалась через туннельный процесс ( см. [15] и главу 2 этого препринта) с метрикой:

$$ds^2 = N^2 dt^2 - a^2(t) dl^2 \quad (7)$$

$$dl^2 = d\rho^2 + \sin^2\rho (d\Theta^2 + \sin^2\Theta d\Phi^2) \quad (8)$$

здесь:  $N = \sqrt{g_{00}}$  – калибровочная переменная, которую необходимо фиксировать до решения Эйнштейновских уравнений. Квантовая теория закрытой Вселенной, квантовая геометродинамика, основана на идее Уилера (Wheeler) о суперпространстве. Эта идея включает многообразие всех возможных геометрий  $3^x$  мерного пространства из материальных и полевых конфигураций, в которых определена волновая функция Вселенной. Гравитация играет центральную роль среди взаимодействий\*, определяя структуру пространства-времени и являясь ареной физической реальности. Возникает естественный вопрос – как найти внутреннюю структуру гравитационного вакуума, стартуя с квантового режима.

*\*Вероятно всё же, гравитация не является фундаментальным взаимодействием (гравитация - привнесённый феномен, как упругость, например).*



Вакуум нашей Вселенной имеет сложную структуру и состоит из нескольких подсистем, одной из которых и является гравитационный вакуум [17-18]. В квантовом режиме гравитация не имеет удовлетворительного объяснения, хотя анализ этой проблемы предпринимался и не раз [19]. Кроме того имеется некоторая аналогия между известными вакуумными структурам КХД и гипотетическими структурами гравитационного вакуума (конденсаты кварк-глюонного типа состоят из инстантонов). Общее представление о топологических структурах гравитационного вакуума (дефектах) можно представить неким набором топологических микроструктур различной размерности от  $D=3$  до  $D=0$ .  $3^x$ -мерные топологические микроструктуры ( $D=3$ ) -кратовые норы;  $2^x$ -мерные топологические микроструктуры ( $D=2$ )- мембраны;  $1$ -мерные топологические микроструктуры ( $D=1$ )- струны; точечные микроструктуры - газ топологических монополей ( $D=0$ ). Полная теория гравитационных вакуумных дефектов отсутствует, хотя мы понимаем, что присутствие дефектов нарушает симметрию. Трудный вопрос – какую симметрию квантовой теории гравитации нарушает наличие топологических дефектов? Конечно, флуктуации топологии могли иметь место на Планковской шкале и тогда же могли существовать некоторые стабильные структуры, которые могли быть постоянными во времени или медленно меняющимися. Также следует принять во внимание факт, что среди возможных параметризационно-неинвариантных потенциалов уравнения Уилера Де Витта имеются потенциалы, топологические свойства которых могут быть использованы для макроскопического описания газа топологических дефектов (кратовых нор, микромембран, микрострун и монополей). Например, дополнительный потенциал может иметь вид:

$$U_{f(a)} = (\kappa/24\pi^2) [ (1/4f) (d^2f/da^2) - (3/16f^2) (df/da)^2 ] \quad (9)$$

Этот вклад в потенциал уравнения Уилера Де Витта имеет смысл энергии гравитационного вакуумного конденсата, выпадение которого фиксирует спонтанное нарушение симметрии относительно локальных конформных преобразований времени\*:

$$dt = a f(a) dt' \quad (10)$$

здесь  $f(a)$  – произвольная функция (генератор локальных конформных преобразований). В существующей теории отсутствует метод построения функции  $f(a)$ , поэтому представление о роли гравитационного конденсата в ранней Вселенной является до сих пор гипотетическим. Мы предполагаем, что гравитационный вакуумный конденсат должен обеспечивать отскок от сингулярности, что продлевает время существования Вселенной. Этот результат имеет место, если:

$$f(a) = a^{4(s+1)} \quad U_{f(a)} = U_{s(a)} = (\kappa/24\pi^2) [s(s+1) / a^2] \quad (11)$$

где:  $s = \text{const} > 0$  – параметр гравитационного вакуумного конденсата. Это даёт нам возможность предположить, что будущая теория квантовой гравитации будет создана с учётом комбинации проблем квантовых топологических структур гравитационного вакуума и параметризационной неинвариантности уравнения Уилера - Де Витта. В рамках этой гипотезы мы предложили в работе [2] математический аппарат моделирования метрики минисуперпространства и эффективного потенциала, который позволяет нам выбрать структуры, которые интересны с космологической точки зрения. Т.е. мы хотим обсудить характеристики тензора энергии импульса гравитационного вакуума, которые

*\*В космологии используют конформное время  $\eta = \int dt/a$ , которое равно нулю в момент рождения Вселенной.*

зависят от радиуса закрытой Вселенной. Конечно, наши аргументы – эвристические:

- 1) это простейшая математическая модель;
- 2) эта модель согласуется с общим свойством уравнения Уилера-Де Витта для закрытой изотропной Вселенной. Основные уравнения квантовой геометродинамики – калибровочно – инвариантны, но параметризационно-неинвариантны (физические следствия этой неинвариантности мы и хотим прояснить здесь);
- 3) гравитационный вакуумный конденсат мог появиться и после первого релятивистского фазового перехода, но в этом разделе мы остаёмся в рамках приближения Уилера-Де Витта и полагаем, что в дальнейшем фазовые переходы отсутствуют.

Таким образом, появление времени после образования гравитационного вакуумного конденсата фиксирует несохранение вакуумной симметрии относительно пространственно-временных преобразований теории Эйнштейна. Вообще то, природа зависимости полной вакуумной энергии от времени – не известна и наше математическое описание в работе [2] носило характер дискуссии. Здесь мы только подчеркнём, что в квазиклассическом приближение квинтэссенционная модель [20] может быть промоделирована математическими структурами, возникающими естественным путём из геометродинамики Уилера – Де Витта. Под полной вакуумной энергией в современной Вселенной  $\Omega_\Lambda \sim 0.73$  мы понимаем сумму всех вакуумных конденсатов, которые были образованы после релятивистских фазовых переходов и которые намного компенсировали первоначальную полную вакуумную энергию  $\Omega_\Lambda=1$ . Но этот компенсационный период ранней эволюции Вселенной был недолгий - всего  $10^{-6}$  сек. В нестационарной Вселенной, тем более в её ранние моменты, с неинвариантной квантовой геометродинамикой по отношению к

конформному преобразованию времени симметрия между пространством и временем нарушается. Вся проблема в параметризационной неинвариантности уравнения Уилера-Де-Витта. Существование этой проблемы указывает на то, что квантовая геометродинамика Уилера-Де-Витта не может претендовать на роль полной теории квантовой гравитации. Остановимся на этой проблеме более подробно. Все параметризационно - неинвариантные эффекты собраны в функции  $\varepsilon_{GVC}(a)$ , которую мы назвали плотностью энергии гравитационного вакуума (т.е. это гравитационный вакуумный конденсат). Эта функция имеет вид:

$$\varepsilon_{GVC}(a) = (\kappa\hbar^2/192\pi^2) (1/a^4) [\mu'' - (1/4) (\mu')^2] \quad (12)$$

здесь:  $\mu(a) = \ln \gamma(a)$  – параметрическая функция и её производные;  $\gamma(a)$ - метрика суперпространства. Отметим, что параметризационные вклады (квантовый эффект) не имеют очевидного физического смысла, т.к. мы не знаем хорошо их физической природы. Эти вклады возникают по причине несохранения классической симметрии на квантовом уровне. Кроме того, общие симметричные аргументы не имеют ясной физической связи с вакуумной энергией, как это легко заметить, а все строгие математические выкладки даны в нашей работе [2]. Но вернёмся к космологии. Итак, гравитационный вакуумный конденсат мог содержать топологические микроструктуры различной размерности, которые заложены в функции  $\mu(a)$  и иметь типичный Планковский размер с  $D \geq 1$ . Их число в переменном объёме  $v=a^3(t)$  можно оценить  $N_D \sim (a/l_{Pl})^D$ , где:  $l_{Pl} = (G\hbar)^{1/2} \equiv (\kappa\hbar)^{1/2} / \sqrt{8\pi}$  (здесь  $c=1$ ). Согласно нашим оценкам [2], ожидаемая плотность энергии системы топологических дефектов должна содержать постоянную часть, соответствующую кротовым норам и члены типа  $1/a^3; 1/a^2; 1/a$ , соответствующие газу точечных дефектов,

микромембран, микрострун и кроме того функция  $\varepsilon_{GVC}(a)$  должна содержать дополнительные члены, описывающие взаимодействие дефектов между собой. Это соответствует следующему выбору функции  $\mu(a)$ :

$$\mu(a) = c_0 \ln a + c_1 a + (1/2)c_2 a^2 + (1/3)c_3 a^3 \quad c_i = \text{const} \quad (13)$$

В этом случае мы имеем:

$$\Lambda_0 + \varepsilon_{GVC} = \Lambda_0 - (\kappa \hbar^2 / 768 \pi^2) c_3^2 + (\kappa \hbar^2 / 192 \pi^2) \{ -(1/2) c_2 c_3 (1/a) - [(1/4)c_2^2 + (1/2)c_1 c_3](1/a^2) + [2c_3 - (1/2)c_1 c_2 - (1/2)c_0 c_3](1/a^3) + \dots \} \quad (14)$$

Здесь, как уже отмечено, последние три члена можно интерпретировать как энергию гравитационного взаимодействия дефектов между собой и их обсуждать практически невозможно, т.к. квазиклассическая динамика некорректна в области больших  $a$ . Кроме того, следует отметить, что  $3^x$  мерные топологические дефекты (кратовые норы) ренормализуют  $\Lambda$ -член:

$$\Lambda = \Lambda_0 - (\kappa \hbar^2 / 768 \pi^2) c_3^2, \quad (15)$$

а член  $(1/a^3)$  может быть отнесён к тёмной материи (DM). Это накладывает ограничения на функцию  $\mu(a)$ :

$$(1/3) l_{Pl}^4 \{ 2c_3 [1 - (c_0/a) - (1/2) c_1 c_2] \} = \kappa M \quad (16)$$

где  $M$ -масса в объёме  $a^3$ .

Итак, кратко суммируем эту главу, в которой обсуждалась квантовая модификация уравнения Уилера-Де-Витта в “minisuperspace” и из-за неопределённости в процедуре упорядочения операторов (это подробно прописано в [2]) мы предложили интерпретировать полученный результат, как топологические дефекты пространства, в образованном вакуумном конденсате. Т.е. в результате такого «дефектного» рождения

Вселенной возникла необходимость во времени (точнее в его течении) т.к. Вселенная эволюционирует. Другими словами можно сказать, что среди параметризационно - инвариантных потенциалов уравнения Уилера-Де-Витта имеются потенциалы по свойствам похожие на макроскопическое описание газа топологических дефектов. Параметризационно инвариантные члены, возникающие из теории Уилера-Де-Витта, не имеют аналогов в локальной квантовой теории. Их природа связана с глобальным квантованием. Некоторые квазиклассические поправки (пропорциональные  $\hbar^2$ ) полностью определяются метрикой “superspace”  $\gamma(a)$ , что означает, что эти поправки не полностью определяются физикой  $4^x$  мерного пространства-времени. Вообще-то, в рамках квантовой геометродинамики, часть поправок, имеющих влияние на эволюцию Вселенной, определяются физикой “superspace”. Это означает, что они идут от другого уровня теории. И если мы интерпретируем эти поправки как дефекты пространства, тогда это означает, что дефекты появились в результате взаимодействия вселенных в “superspace” (мультиверс). Но развитие этих идей может быть реализовано только в рамках третичного квантования. Кроме того, т.к. Лоренц-инвариантность - присуща нашему  $4^x$  мерному многообразию, поэтому только  $3^x$ -мерные дефекты (кротовые норы) дают вклад в Лоренц-инвариантный  $\Lambda$ -член. Квантово-топологические дефекты с размерностями  $D=0,1,2$  дают Лоренц-неинвариантные вклады в тензор энергии-импульса вакуума. Общее замечание вытекает немедленно – **Лоренц – инвариантность на Планковской шкале должна быть модифицирована.**

Таким образом, топологические структуры гравитационного вакуума (микроструктуры пространства) должны входить как в  $\Lambda$ -член, так и в структуру тёмной материи как носители энергии (ещё раз подчеркнём, что  $\Lambda$ -член это вакуум).

Образование гравитационного вакуумного конденсата (GVC) происходит немедленно после туннелирования, т.е. после рождения Вселенной и этот процесс жестко фиксирует время, ставя точку  $t=0$  в нашей Вселенной.

#### **4. Следующий фундаментальный уровень вещества. Фамилонная модель тёмной материи.**

а) Астрономическая точка зрения.

Наблюдательные данные говорят о том, что, по крайней мере, барионная крупно-масштабная структура образовалась на  $z \sim 6 - 8$  [21]. Для стандартной  $\Lambda$ CDM модели наличие структур на таких красных смещениях является трудностью, т.к. мало время для развития первичных возмущений до наблюдаемых структур на фоне расширяющейся Вселенной (даже для наиболее «успешной»  $\Lambda$ CDM модели образовать барионные структуры на  $z > 5$  не просто). Если же барионные структуры образовались на  $z > 10$ , тогда с необходимостью ключевую роль в этом процессе должны играть частицы темной материи, которые составляют более 80% массы всей материи. В стандартной космологической модели одной из компонент тёмной материи являются лёгкие частицы идеального газа  $m \approx 0$ , практически не взаимодействующие с частицами обычной материи. Их называют аксионы. Из-за сверхслабого взаимодействия с барионами и лептонами они до сих пор не обнаружены (существует и другая вероятная компонента «холодной» тёмной материи – нейтралино). Нейтрино являются «горячей» компонентой тёмной материи. Частицы тёмной материи, в нашем случае фамилоны, (фамилоны-тип аксионов) на определённом этапе эволюции Вселенной в результате релятивистских фазовых переходов потеряли свою остаточную

U(1) симметрию и образовали крупно-масштабную структуру тёмной материи, т.е. подготовили среду для конденсации барионов. Благодаря гравитации барионы «повторили» крупно-масштабную структуру частиц тёмной материи, создав свою барионную крупно-масштабную структуру. Другими словами, частицы тёмной материи из «равномерно» заполненного частицами пространства образовали некую структуру, которую в случае барионов мы называем крупно-масштабной структурой Вселенной. В области сосуществования фаз во время релятивистского фазового перехода в тёмной материи образуются возмущения плотности, носящие фрактальный характер, т.к. только критический феномен (фазовый переход) может дать фрактальный характер распределения флуктуаций плотности. И если фрактальное распределение барионной крупно-масштабной структуры будет доказано, то тогда наша модель может стать основной моделью, объясняющая этот феномен. Кроме того, мы покажем, что тёмная материя могла подвергнуться как минимум двум фазовым переходам в разное время, а значит и при разных температурах, выделив тем самым как минимум две характеристические шкалы: галактики с размером  $R \sim 100 - 500$  крс и скопление галактик с размером  $R \sim 20 - 100$  Мрс. Вообще-то, общепринятой точкой зрения на образование крупно-масштабной (барионной) структуры Вселенной является предположение о развитии в после инфляционный период однородных и изотропных гауссовых скалярных возмущений плотности. Пострекомбинационный спектр этих возмущений связан с первоначальными возмущениями переходной функцией, которая сильно зависит от природы тёмной материи. В стандартной космологической модели массивные космологические объекты образовались на  $z \sim 1-2$ . Введение в полную плотность  $\Omega_0$  вакуумной энергии  $\Omega_\Lambda$  ( $\Lambda$ -члена) «позволяет» структурам образовываться на красных смещениях  $z \sim 6-8$ . В нашей гипотезе



тёмная материя создаёт первичный рисунок, который барионная компонента повторяет, гравитационно скучиваясь на различных масштабах.

Дополнительно к интересным следствиям в астрономической картине мы предлагаем и важное физическое следствие: структуризация барионной и тёмной материи возможна только, если имеют место три поколения элементарных частиц. Это может быть также и решением проблемы поколений. Кратко проиллюстрируем это.

б) Физическая точка зрения.

На вопрос имеют ли фундаментальные частицы (лептоны, кварки и калибровочные бозоны) внутреннюю структуру пока надёжного ответа нет (хотя мы знаем «великое» утверждение, что электрон также неисчерпаем как и атом). В стандартной модели физики элементарных частиц калибровочные бозоны есть бесструктурные точечные объекты ( $r \leq 10^{-16}$  см), являющиеся квантами полей и осуществляющие взаимодействие между лептонами и кварками. Следовательно, вариант составных фундаментальных частиц есть расширение стандартной модели, вносимой в неё дополнительной симметрией. Симметрия же современной физики понятие основополагающее (калибровочная симметрия, как пример).

Практика указывает, что всё многообразие частиц в природе связано не только и не сколько с симметрией, а с некоторым её нарушением. Нарушение же симметрии возникает при понижении температуры (релятивистские фазовые переходы в течение эволюции Вселенной). Вероятно, весь сонм частиц, имеющийся в современную эпоху ( $z=0$ ,  $T \sim 2.7$  К) во Вселенной, есть результат потери «первичной» симметрии (суперсимметрии) при охлаждении от Планковской энергии  $10^{19}$  GeV до  $2.7 \times 10^{-13}$  GeV. Такое

«охлаждение» на 32 порядка, как легко заметить не осталось без последствий, после квантового туннелирования из «ничего». К фундаментальным частицам в настоящее время относят шесть типов кварков (u,d,c,s,t,b), шесть лептонов ( $\nu_e$  e,  $\nu_\mu$   $\mu$ ,  $\nu_\tau$   $\tau$ ) и пять калибровочных бозонов ( $\gamma$ ,  $W^\pm$ ,  $Z^0$ , g). Фундаментальные фермионы образуют три группы поколений частиц:

$$\begin{array}{ccc}
 \nu_e & \nu_\mu & \nu_\tau \\
 e & \mu & \tau \\
 u & c & t \\
 d & s & b
 \end{array} \quad (17)$$

Уже на этом уровне материи можно заметить некоторую симметрию между лептонами и кварками. Самые лёгкие частицы ( $\nu_e$ , e, u, d) образуют первое поколение частиц и в каждом последующем поколении частицы тяжелее, чем в предыдущем. Фермионы первого поколения вместе с фотонами являются теми элементами, из которых состоит наблюдаемая нами Вселенная. Роль фермионов второго и третьего поколения кажется ничтожной, хотя они участвовали в определяющих процессах, характерных для ранней Вселенной и как мы покажем в дальнейшем, структуризация барионной составляющей (образование галактик и скоплений галактик) была бы невозможна и именно для этого необходимо как минимум три поколения частиц. Симметрия между поколениями экспериментально наблюдается: различные поколения кварков и лептонов (17) совершенно одинаково участвуют в присущих этим частицам калибровочных взаимодействиях. «Нарушение» этой симметрии проявляется только в значениях масс частиц, принадлежащих разным поколениям. Любые причины отсутствуют (кроме выхода из рамок стандартной модели физики элементарных частиц) к запрету

«опуститься» на следующий уровень фундаментальности, объявив, что кварки, лептоны и калибровочные бозоны не фундаментальные частицы, а состоят из преонов, руководствуясь опять же принципами симметрии. И, конечно же, на этот путь становились многие [22-23]. Кроме того, наш интерес к преонной модели элементарных частиц связан с исключительно важными космологическими следствиями и недавним экспериментом HERA [24-25], результат которого был интерпретирован как лепто-кварковый резонанс (хотя имеется и другая интерпретация этого эксперимента). Итак, наша концепция преонной структуры материи позволяет решить, пока что на феноменологическом уровне, некоторые проблемы.

### *1. Поведение флуктуаций*

Нет необходимости флуктуациям скалярного поля «выживать и расти» на фоне расширяющейся Вселенной. Мы предполагаем, что среда для гравитационной конденсации барионов подготовлена релятивистским фазовым переходом в тёмной материи, состоящей из аксионов фамилонного типа. Если образование барионных структур на высоких  $z$  ( $>10$ ) является практически непреодолимой трудностью для стандартной  $\Lambda$ CDM модели, то в преонной модели релятивистские фазовые переходы могли произойти в любое время, которое зависит от массы фамилонов, после которых среда готова для конденсации барионов. В этой модели, как уже было отмечено, во Вселенной выделяются «автоматически» как минимум два масштаба, которые в стандартной модели не имеют внятного объяснения. В данной главе мы попытаемся как можно подробнее обосновать нашу концепцию, как с физической, так и с астрофизической точек зрения. Отметим, что аксионная парадигма тёмной материи для решения проблем барионной

крупно-масштабной структуры была введена впервые J. Frieman and D. Schramm [26-27]. В этом препринте мы реанимируем их идею, обсуждая космологические следствия следующего фундаментального уровня материи - преонную модель кварков и лептонов.

## *2. Структура преонного непертурбативного вакуума.*

Здесь будет исследовано более детально структура преонного непертурбативного вакуума, возникающего в результате корреляции неабелевых полей на двух шкалах ( $\Lambda_{mc} \gg 1$  ТэВ – шкала конфаймента метацивета и  $\Lambda_c \sim 150$  МэВ – КХД шкала). Мы обнаружили, что в спектре возбуждения непертурбативного преонного вакуума присутствуют псевдо-Голдстоуновские моды. В результате спонтанного нарушения симметрии кварк-лептонных поколений образуются фамилонны. Мы рассматриваем эти частицы, как основную компоненту тёмной материи. Отличительной особенностью этих частиц есть наличие остаточной  $U(1)$  симметрии и возможность её спонтанного нарушения при  $\Lambda_c^2/\Lambda_{mc} \sim 10^{-3}$  эВ в результате релятивистского фазового перехода. В рамках феноменологии можно предположить, что значение первичных флуктуаций в тёмной материи не связаны с флуктуациями реликтового излучения. В этом случае в принципе выбор начальных значений флуктуаций в тёмной материи может обеспечить любой момент образования структур. Авторы работ [26-27] рассматривали тёмную материю как газ псевдо-Голдстоуновских бозонов, в котором возможен фазовый переход при сверхнизких температурах, по сравнению с коллайдерными температурами. Предполагалась также сильная нелинейность, т.е. частицы тёмной материи должны сильно взаимодействовать друг с другом. Псевдо-Голдстоуновские бозоны как частицы возникают в результате нарушения непрерывных симметрий вакуума.

Различают 4 вида псевдо-Голдстоуновских бозонов: аксионы, арионы, фамилонны и майороны. Малая масса псевдо-Голдстоуновских бозонов возникает в результате сверхслабого взаимодействия Голдстоуновских полей с непертурбативными вакуумными конденсатами. Значения этих масс ограничивается астрофизическими и лабораторными данными [28-29]:

$$\begin{aligned} m_{\text{astr}} &\sim 10^{-3} - 10^{-5} \text{ эВ} \\ m_{\text{lab}} &\leq 10 \text{ эВ} \end{aligned} \quad (18)$$

Астрофизическая оценка получена из предположения, что псевдо-Голдстоуновские бозоны влияют на динамику расширения Вселенной. Появление массивных членов в лагранжиане Голдстоуновских полей соответствует формально математически образованию масс у псевдо-Голдстоуновских бозонов. В зависимости от типа псевдо-Голдстоуновских бозонов и от структуры непертурбативного вакуума, массивный член может возникнуть как с «правильным», так и с «неправильным» знаком. Этот знак предопределяет судьбу остаточной симметрии псевдо-Голдстоуновских полей. В случае «неправильного знака» при низких температурах ( $T < T_c$ ) образуется с необходимостью Голдстоуновский конденсат и тогда симметрия вакуумного состояния нарушается спонтанно. Возникновение конденсата при  $T=T_c$  или при более низких температурах есть релятивистский фазовый переход из высокосимметричной фазы в низкосимметричную фазу газа из псевдо-Голдстоуновских бозонов. Заметим, что общая теория космологических фазовых переходов была сформулирована Д.А. Киржницем и А.Д. Линде ещё в восьмидесятых годах.

Нарушение фамилонной симметрии проявляется в различных значениях масс частиц 3-х поколений. Предложено несколько

моделей (см. например [29]), в которых фамилонная симметрия есть горизонтальная симметрия, нарушаемая Хиггсовским конденсатом. Эта гипотеза естественна, т.к. основана на общей идее об унификации всех частиц и взаимодействий. Для нас важным моментом является факт наличия у фамилонов остаточной  $U(1)$  симметрии, которая имеет место, если некоторые Голдстоуновские степени свободы не переносятся к векторным состояниям. Свойства любых псевдо-Голдстоуновских бозонов (как и псевдо-Голдстоуновских бозонов фамилонного типа) зависят от функции реализации Голдстоуновских мод. Эти моды могут возникнуть из фундаментальных Хиггсовских полей, как это уже сделано в работе [29], или от коллективных возбуждений гетерогенного непертурбативного вакуумного конденсата, который в нашем случае более сложен, чем кварк-глюонный конденсат. Вторая возможность реализуется в теориях, в которых лептоны, кварки и калибровочные бозоны - составные объекты, т.е. в преонной модели элементарных частиц.

Фазовый переход в космологическом фамилонном газе есть фазовый переход 1-го рода с широкой температурной областью сосуществования фаз. Цифровое моделирование такого релятивистского фазового перехода (РФП) показало, что пространственное чередование высокосимметричной и низкосимметричной фаз имело место во Вселенной с контрастом плотности  $\delta\rho/\rho \sim 0.1$ . В период сосуществования фаз [5] характеристическая шкала такой блочно фазовой структуры определяется горизонтом на момент РФП, т.е. другими словами образуется крупно-масштабная структура тёмной материи. Чтобы «объяснить» иерархию барионных структур наша модель реализует как минимум два РФП. Для количественного согласования нашей модели с наблюдательными данными необходимо предположить,

что РФП в тёмной материи происходит в после рекомбинационную эпоху при  $T_c \ll 10^{-1}$  эВ.

### *3. Фамилоны, как возбуждения непертурбативного вакуума.*

Мы уже упоминали, что нарушение фамилонной симметрии проявляется только в расщеплении масс кварков и лептонов, т.е. дискуссия о возникновении фамилонов должна свестись к дискуссии возникновения масс элементарных частиц. Имеется два механизма возникновения масс: Хиггсовский (здесь массы возникают за счёт взаимодействия киральных фермионных полей с с-числовым Хиггсовским конденсатом, линейным по скалярному полю) и существенно непертурбативный, в котором генерация масс есть результат взаимодействия фермионных полей с вакуумными конденсатами кварк-глюонного типа (в простейшем случае они квадратичны по полям). В КХД второй механизм связан с возникновением масс  $u$  и  $d$  кварков.

Численные значения глюонных и кварковых конденсатов известны из экспериментальных данных [28]:

$$\begin{aligned} \langle 0 | (\alpha_s/\pi) G_{\mu\nu}^a G^{\mu\nu}_a | 0 \rangle &= (360 \pm 20 \text{ МэВ})^4 \\ \langle 0 | \bar{u}u | 0 \rangle &= \langle 0 | \bar{d}d | 0 \rangle = - (225 \pm 25 \text{ МэВ})^3 \end{aligned} \tag{19}$$

Основной характеристикой КХД вакуума является глюонный конденсат, представляющий собой непертурбативные флуктуации глюонных полей, возникающие в процессах туннелирования глюонного вакуума между состояниями, вырожденными по энергии, но обладающими различными квантовыми числами. Флуктуации исходно безмассовых кварковых полей являются

индуцированными, они возникают как реакции вакуумных кварковых полей на флуктуации глюонных полей. Массы тяжёлых  $s$ ,  $c$ ,  $t$ ,  $b$  кварков аналогичной интерпретации в рамках КХД не имеют. По этой причине для объяснения спектра масс тяжёлых кварков необходимо привлекать дополнительные физические соображения. Феноменологически эти массы можно ввести, используя Хиггсовский механизм генерации масс. С чисто теоретической точки зрения к такой операции предъявляются претензии, связанные с введением большого количества констант непонятной природы. С экспериментальной -Хиггсовский механизм подвергается сомнению также, потому что Хиггсовские бозоны до сих пор не обнаружены, а вместо их были сигналы новой физики. Группы H1 и ZEUS, работающие на коллайдере HERA, независимо друг от друга сообщили об открытии лептокварка с массой  $m_{LQ} \approx 200$  ГэВ [24-25].

Одно из возможных объяснений существования лептокварков даёт теория преонов. Рассмотрим простейшую бозон – фермион преонную модель левокиральных кварков и лептонов. Основные элементы этой модели – киральные фермионные преоны  $U_L^\alpha D_L^\alpha$  и скалярные преоны кваркового  $\Phi_a^{i\alpha}$  и лептонного  $\chi_l^\alpha$  типов. В этой модели внутренняя структура элементарных частиц есть:

$$\begin{aligned}
 u_{La}^i &= U_L^\alpha \Phi_a^{+i\alpha} & u_{La}^i &= (u_L^i, c_L^i, t_L^i) \\
 d_{La}^i &= D_L^\alpha \Phi_a^{+i\alpha} & d_{La}^i &= (d_L^i, s_L^i, b_L^i) \\
 \nu_{Ll}^i &= U_L^\alpha \chi_l^\alpha & \nu_{Ll}^i &= \nu_{Le}, \nu_{L\mu}, \nu_{L\tau} \\
 l_{Ll}^i &= D_L^\alpha \chi_l^\alpha & l_{Ll}^i &= (e_L, \mu_L, \tau_L)
 \end{aligned}
 \tag{20}$$



В случае лептокварка наша модель даёт:

$$(LQ)_{al} = \Phi_a^{i\alpha} \chi_l^\alpha \quad (21)$$

Здесь и в дальнейшем  $i$  - цветовой индекс КХД;  $a,b,c=1,2,3$ ;  $l,m,r = 1,2,3$  – число кварковых и лептонных поколений;  $\alpha$  – метациетовой индекс, соответствующему новому метакромодинамическому взаимодействию, которое связывает преоны в кварки и лептоны. Внутри кварков и лептонов метаглюонные поля  $G_{\mu\nu}^\omega$  и скалярные преонные поля находятся в состоянии конфайнмента. Этот эффект по своей физической природе аналогичен конфайнменту кварков и глюонов внутри адронов, обеспечивая существование непертурбативных метаглюонных и преонных конденсатов.

$$\langle 0 | \frac{\alpha_{mc}}{\pi} G_{\mu\nu}^\omega G_{\omega}^{\mu\nu} | 0 \rangle \sim \Lambda_{mc}^4 \quad (22)$$

$$\langle 0 | \Phi_a^{+i\alpha} \Phi_b^{i\alpha} | 0 \rangle = V_{ab} \sim -\Lambda_{mc}^2 \quad (23)$$

$$\langle 0 | \chi_l^{+\alpha} \chi_m^\alpha | 0 \rangle = V_{lm} \sim -\Lambda_{mc}^2$$

Здесь:  $\Lambda_{mc}$  - энергетическая шкала преонного конфайнмента,  $V_{ab}$  и  $V_{lm}$  – конденсатные матрицы. Конденсаты (22) и (23) вместе с глюонными  $\langle 0 | (\alpha_s/\pi) G_{\mu\nu}^a G_{\mu\nu}^a | 0 \rangle$  и кварковыми конденсатами  $\langle 0 | \bar{q}_L q_R + \bar{q}_R q_L | 0 \rangle$  обеспечивают механизм генерации масс кварков всех 3-х поколений частиц. Из рис. 4, в котором  $G_{\mu\nu}^{ik} = \lambda_{nk}^{ik} G_{\mu\nu}^{in}$ ,  $\lambda_{nk}^{ik}$  – матрицы Гелл-Манна, а  $G_{\mu\nu}^{\alpha\beta} = \lambda_{\omega}^{\alpha\beta} G_{\mu\nu}^\omega$ , где  $\lambda_{\omega}^{\alpha\beta}$  – аналог матриц Гелл-Манна для метациета, можно увидеть, что основной

вклад в эффект нарушения фамилонной симметрии вакуума вносят преонные конденсаты (23).

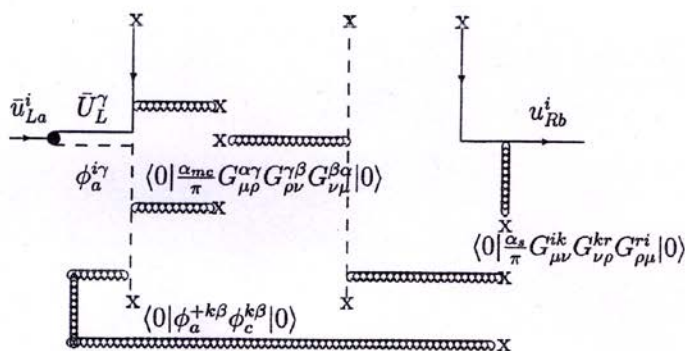


Рис.4

Важнейшее предсказание (Рис.4) состоит в следующем: для полного описания эффекта генерации масс необходимо рассматривать взаимодействие кварковых возбуждений со сложными конденсатами, содержащими как преонную, так и кварк-преонную составляющие:

$$M_{ab}^{(u)} = \langle 0 | \Phi_a^{\alpha k} \Phi_c^{\alpha k} \bar{U}_L^\beta \Phi_c^{\beta i} q_{Rb}^i | 0 \rangle \quad (25)$$

$$M_{ab}^{(d)} = \langle 0 | \Phi_a^{\alpha k} \Phi_c^{\alpha k} \bar{D}_L^\beta \Phi_c^{\beta i} q_{Rb}^i | 0 \rangle \quad (26)$$

$$M_{lm}^{(l)} = \langle 0 | \chi_l^\alpha \chi_r^\alpha \bar{D}_L^\beta \chi_r^{\beta l} l_{Rm} | 0 \rangle \quad (27)$$

В формулах (25) и (26) для простоты не указаны глюонные и метаклюонные конденсаты, выступающие в качестве источников непертурбативных преонных флуктуаций. В процессе генерации масс верхних кварков 2-го и 3-го поколений принимает участие элемент (25) этой структуры.

В процессе генерации масс нижних кварков 2-го и 3-го поколений принимает участие элемент (26), а для генерации масс заряженных лептонов 2-го и 3-го поколений необходим элемент структуры (27). Мы исходим из предположения, что генерация масс кварков первого поколения происходит чисто КХД механизмом. Формально математически, матрицы (25-27) есть комплексные  $2 \times 2$  матрицы общего вида, т.е. в каждой из них присутствует по 8 чисел. Мы рассматриваем в данном случае те вакуумные состояния, в которых эти матрицы параметризуются только двумя числами, будучи при этом действительными и диагональными. Не трудно подсчитать, что число параметров, содержащихся в действительных и диагональных матрицах (25-27) в точности равно числу масс частиц, находящихся во 2-м и 3-м кварковых и лептонных поколениях.

Фамилоны, как физические объекты, представляют собой коллективные возбуждения гетерогенных непертурбативных конденсатов (25-27). Трём типам непертурбативных конденсатов соответствует три семейства фамилонных полей. Очевидно, что число фамилонов в семействе равно восьми, т.е. совпадает с максимальным числом параметров конденсатных матриц. Очень малую (по сравнению с  $\Lambda_{mc}$ ) массу покоя Голдстоуновские моды набирают за счёт взаимодействий с чисто кварковыми конденсатами, приобретая при этом статус псевдо-Голдстоуновских бозонов. В рамках этой теории тёмная материя интерпретируется как система фамилонных коллективных возбуждений гетерогенного непертурбативного вакуума. Эта

система состоит из 3-х подсистем: фамилонны верхнекваркового типа, фамилонны нижнекваркового типа и фамилонны лептонного типа. На стадиях космологической эволюции, далеко отстоящих от момента кварконизации и лептогенеза преонной пазмы ( $T \ll \Lambda_{mc}$ ), тяжёлые нестабильные фамилонны, очевидно, уже отсутствуют. На этих стадиях каждая фамилонная подсистема описывается пятью полевыми степенями свободы. Судьба каждой подсистемы низкоэнергетического фамилонного газа радикальным образом зависит от знаков квадратов масс покоя, генерирующихся взаимодействиями фамилоннов с кварковыми конденсатами.

#### 4. *Нарушение остаточной симметрии фамилонных полей.*

Представление о физической природе фамилоннов однозначно формализуется в теоретико-полевой модели. Для простоты рассмотрим модель одной фамилонной подсистемы, соответствующей верхним кваркам второго и третьего поколения ( $Q=c,t$ ) т.к. киральная природа кварков – факт известный из эксперимента и группой симметрии эксперимента может быть только кирально – фамилонная группа  $SU(2)_L \times SU(2)_R$ . Фамилонные возбуждения должны описываться восьмимерным (по числу компонент матрицы (25)) приводимым представлением этой группы, разложенные на два неприводимых представления ( $F, f_a$ ) и ( $\Psi, \varphi_a$ ), отличающихся друг от друга знаком пространственной чётности. Лагранжиан модели имеет вид:

$$L=1/2 (\partial_\mu \Psi \partial^\mu \Psi + \partial_\mu \varphi_a \partial^\mu \varphi_a + \partial_\mu F \partial^\mu F + \partial_\mu f_a \partial^\mu f_a) + (1/2) \mu_1^2 (\Psi^2 + \varphi_a \varphi_a) + (1/2) \mu_2^2 (F^2 + f_a f_a) - (1/4) \lambda_1 (\Psi^2 + \varphi_a \varphi_a)^2 - (1/4) \lambda_2 (F^2 + f_a f_a)^2 - 1/2 \lambda_{12} (\Psi^2 + \varphi_a \varphi_a)(F^2 + f_a f_a) - 1/2 \lambda_0 (\Psi F + \varphi_a f_a)^2 - g_1 \bar{Q} (\Psi + i \gamma_5 \tau_a \varphi_a) Q + g_2 \bar{Q} (\tau_a f_a - i \gamma_5 F) Q \quad (28)$$

Члены с массовыми параметрами  $\mu_1^2, \mu_2^2 \sim \Lambda_{mc}^2$  введены в формулу (28) с «неправильными» знаками с целью обеспечить спонтанное нарушение фамилонной симметрии на масштабе конфайнмента метацвета. В конденсат выпадают средние значения скалярных полей (но не псевдо-скалярных)

$$\langle \Psi \rangle = v \quad \langle f_3 \rangle = u, \quad (29)$$

что обеспечивает сохранение чётности в сильных взаимодействиях. Подробное исследование Лагранжиана (28) показало, что эти вакуумные средние нарушают исходную кирально-фамилонную симметрию до остаточной U(1) симметрии, т.е.  $SU(2)_L \times SU(2)_R \rightarrow U(1)$ . Конденсаты скалярных полей (29) генерируют, согласно структуре двух последних членов в (28), расщеплённый спектр кварковых масс:

$$\begin{aligned} m_{ab} Q_a Q_b &= m_c \bar{c} c + m_t \bar{t} t \\ m_c &= g_1 v - g_2 u & m_t &= g_1 v + g_2 u \end{aligned} \quad (30)$$

Как видно из формул (30) для  $v, u \sim \Lambda_{mc} \gg 1$  ТэВ, экспериментально наблюдаемое значение масс для кварков  $m_c \approx 1.3$  ГэВ и  $m_t \approx 175$  ГэВ реализуется только при малых значениях констант  $g_1, g_2$  кварк фамилонных взаимодействий. Малость этих констант обеспечивает сверхслабое взаимодействие фамилонов с обычной материей. Преонная модель позволяет понять причину этой малости. Как видно из формул (25-26), сложный гетерогенный конденсат, ответственный за генерацию кварковых масс, возникает в результате корреляции флуктуирующих полей, относящихся к различным уровням. Хромодинамические флуктуации на масштабе  $\Lambda_c \sim 100$  МэВ должны быть скоррелированы с метахромодинамическими флуктуациями на масштабе  $\Lambda_{mc} \gg 1$  ТэВ.

Очевидно, что феноменологические константы  $g_1$  и  $g_2$  - пропорциональны вероятности этих корреляций, а их малость отражает малую вероятность корреляций на различных масштабах флуктуаций. Уравнения для вакуумных средних, фиксирующие спонтанное нарушение фамилонной симметрии, содержат кварковые вакуумные конденсаты:

$$\begin{aligned} \mu_1^2 v - \lambda_1 v^3 - \lambda_{12} u^2 v - g_1(\langle \bar{c}c \rangle + \langle \bar{t}t \rangle) &= 0 \\ \mu_2^2 u - \lambda_2 u^3 - \lambda_{12} v^2 u + g_2(\langle \bar{c}c \rangle - \langle \bar{t}t \rangle) &= 0 \end{aligned} \quad (31)$$

Эти уравнения используются при выделении из лагранжиана (28) квантовых составляющих фамилонных полей. Но нас прежде всего интересует спектр фамилонных масс. Спонтанное нарушение симметрии  $SU(2)_L \times SU(2)_R$  превращает шестипараметрическую группу в однопараметрическую. Согласно теореме Голдстоуна 5 степеней должны быть практически безмассовыми на масштабе  $\Lambda_{mc}$ , следовательно в полной модели должны фигурировать 3 тяжёлых фамилонна. Два из них представляют собой возмущения плотностей энергий конденсатов (29) и описываются ортогональными суперпозициями квантовых составляющих скалярных полей  $\Psi$  и  $f_3$ . Третий тяжёлый фамилон отождествляется с одной из двух ортогональных суперпозиций псевдоскалярных полей  $F$  и  $\phi_3$ .

Перейдём к описанию псевдоголдстоуновских мод. Их можно представить в виде:

1) действительного псевдоскалярного поля с массой

$$m_{\phi'}^2 = [(1/6)(u^2 + v^2)] \langle (\alpha_s/\pi) G_{\mu\nu}^m G^{\mu\nu}_n \rangle \quad (32)$$

2) комплексного псевдоскалярного поля с массой

$$m_{\phi}^2 = (1/24v^2) \langle (\alpha_s/\pi) G_{\mu\nu}^m G^{\mu\nu}_n \rangle [(m_t + m_c)^2/m_c m_t] \quad (33)$$

3) комплексного скалярного поля, квадрат масс которого  
- отрицателен

$$m_{f(u)}^2 = - (1/24u^2) \langle (\alpha_s/\pi) G_{\mu\nu}^m G^{\mu\nu}_n \rangle [(m_t - m_c)^2 / m_c m_t] . \quad (34)$$

По порядку величины эти массы оцениваются следующим образом:

$$m_{\phi'} \sim \Lambda_c^2 / \Lambda_{mc} \quad (35)$$

$$m_{\phi} |m_f| \sim (\Lambda_c^2 / \Lambda_{mc}) \sqrt{m_t / m_c} \quad (36)$$

и, естественно, эти лёгкие псевдоголдстоуновские частицы должны входить в состав тёмной материи. Отрицательный же квадрат массы комплексного скалярного поля означает, что при низких температурах

$$T < T_{c(u)} \sim |m_f| \sim (\Lambda_c^2 / \Lambda_{mc}) \sqrt{m_t / m_c} \quad (37)$$

вакуум псевдоголдстоуновских частиц неустойчив и в нём при температуре  $T = T_{c(u)}$  обязан произойти релятивистский фазовый переход в состояние со спонтанно нарушенной остаточной  $U(1)$  симметрией. Аналогичным методом изучаются и две другие фамилонные подсистемы. Для ниже-кварковой фамилонной подсистемы мы имеем:

$$m_{f(d)}^2 = - (1/24u_d^2) \langle (\alpha_s/\pi) G_{\mu\nu}^m G^{\mu\nu}_n \rangle [(m_b - m_s)^2 / m_b m_s] , \quad (38)$$

что означает, что и эта фамилонная подсистема при низких температурах также неустойчива и должна при  $T = T_{c(d)} \sim |m_{f(d)}|$  испытать релятивистский фазовый переход в состояние со спонтанно нарушенной  $U(1)$  симметрией. Подсистема лептонных фамилонов при низких температурах - также неустойчива и испытывает релятивистский фазовый переход при  $T = T_{c(lep)} \sim |m_{f(lep)}|$ , хотя здесь мы сталкиваемся с экспериментально неизученными лептонными конденсатами.

*Из массовых формул (32-34, 38) следует, что тёмная материя, состоящая из псевдоголдстоуновских бозонов фамилонного типа, является многокомпонентной гетерогенной системой, эволюционирующей по сложному термодинамическому пути. В состав тёмной материи входят частицы с 9 различными массами покоя. В ходе эволюции эта система испытывает три релятивистских фазовых перехода, которые происходили при разных температурах. Отметим здесь важные факты: после релятивистского фазового перехода каждое из комплексных скалярных полей распадается на два действительных, одно из которых – безмассовое, а другое имеет массу порядка  $|m_{f(u)(d)(lep)}|$ ; каждое комплексное псевдоскалярное поле распадается на два действительных с различными массами, отличными от нуля. Таким образом, в тёмной материи, состоящей из псевдоголдстоуновских бозонов, может присутствовать как «горячая» (релятивистская) компонента из безмассовых частиц трёх типов, так и двенадцать «холодных» (нерелятивистских) компонент из массивных частиц.*

##### *5. Термодинамика фазового перехода и блочно-фазовая структура фамилонного газа.*

Здесь уместно напомнить, что тёмная материя, состоящая из псевдоголдстоуновских бозонов фамилонного типа, обладает специфическими свойствами: сверхслабым взаимодействием с обычным веществом и достаточно сильным взаимодействием с фамилонов друг с другом. Причина ясна из качественных соображений: преонный вакуум – сильно нелинейная среда, сформированная сильными хромодинамическими и метакромодинамическими взаимодействиями. Поэтому сильная собственная нелинейность возмущений этой среды представляется очевидной, что обеспечивает релятивистский фазовый переход со



спонтанным нарушением остаточной симметрии фамилонных полей и позволяет описывать релятивистские фазовые переходы термодинамическим методом. Действительно, если константы связи  $\lambda_{0,1,2,12}$  в лагранжиане (28) не являются аномально малыми, то фамилонный газ, возникающий в ходе эволюции Вселенной в момент образования метакромодинамических и преонных конденсатов, должен быстро отрелаксировать к термодинамически равновесному состоянию. Конечно, к сожалению, нет никакой уверенности в том, что в космологической плазме, состоящей из фамилонных с одной стороны и «обычных» элементарных частиц (кварков, лептонов, фотонов, глюонов и т.д.) с другой, устанавливается полное термодинамическое равновесие. Поэтому, термодинамическая температура фамилонного газа не обязательно совпадает с термодинамической температурой всех остальных подсистем Вселенной. В современную эпоху этот факт может проявиться в том, что температура фамилонного газа, входящего в состав тёмной материи, может не совпадать с температурой реликтового излучения. Таким образом, задача состоит в построении термодинамики релятивистского фазового перехода полевой системы с лагранжианом (28) методом температурной квантовой теории поля. Мы сформулировали термодинамику лагранжевой системы (28) в приближении самосогласованного поля в нашей работе [30]. Основная задача состоит в построении неравновесного функционала Ландау – плотности свободной энергии. Для сильно нелинейных систем, подобных обсуждаемой, функционал Ландау в явном виде записать не удаётся. В неявном виде в приближении самосогласованного поля он задаётся функционалом, зависящим от собственных и несобственных значений параметров порядка [30]. К счастью, вычисление всех наблюдаемых величин и нахождение условий устойчивости фаз можно провести в технике более простого функционала, не

содержащего несобственных параметров порядка (несобственные параметры порядка, представляют собой дополнительные вакуумные сдвиги тяжелых фамилонных полей, индуцированные собственными параметрами порядка  $\eta$ ). Этот функционал имеет вид:

$$F(T, \eta, m_{11}, m_{12}, m_3, m_{21}, m_{22}) = - (1/3) \sum J_2(T, m_A) + U(\eta, m_A) \quad (39)$$

Здесь  $m_{11}$  и  $m_{12}$  – эффективные массы действительных псевдоскалярных полей, возникающих в низко-симметричной фазе при распаде комплексного поля  $\phi$  (в высоко-симметричной фазе  $m_{11} = m_{12} = m_1$ );  $m_{21}$  и  $m_{22}$  – аналогичные массы действительных скалярных полей, возникающих в низко-симметричной фазе при распаде комплексного поля  $f$  (в высоко-симметричной фазе  $m_{21} = m_{22} = m_2$ );  $m_3$  – эффективная масса действительного псевдоскалярного поля  $\phi'$ ;

$$J_n(T, m_A) = (1/2\pi^2) \int_p (p^{2n} / \sqrt{p^2 + m_A^2}) \{ dp / [\exp(p^2 + m_A^2) / T - 1] \} \quad (40)$$

$$n=1,2,3; \quad A=11,12,3,21,22$$

характеристические интегралы, через которые выражаются наблюдаемые величины. Все ветви решений уравнений (39) тестируются на устойчивость достаточным условиям максимума:

$$d^2F/d\eta^2 = \partial^2F/\partial\eta^2 + \sum_A \partial^2F/\partial\eta\partial m_A (\partial m_A/\partial\eta) > 0. \quad (41)$$

Оказалось, что решение для низко-симметричной фазы существует в области температур  $0 < T < 2.5 |m_f|$ , т.е.  $T_{c(1)} = 2.5 |m_f|$  - верхняя термодинамическая граница устойчивости низко-симметричной фазы. Независимо эта же система уравнений интегрировалась для высоко-симметричной фазы при  $\eta=0$ . Нами установлено, что высоко-симметричная фаза существует при  $T > 0.5 |m_f|$ , т.е.  $T_{c(2)} = 0.5 |m_f|$  - нижняя граница устойчивости высоко-симметричной фазы. Таким образом, область сосуществования высоко-

симметричной и низко-симметричной фаз реализуется в широком температурном интервале  $0.5 |m_f| < T < 2.5 |m_f|$  . На Рис.5

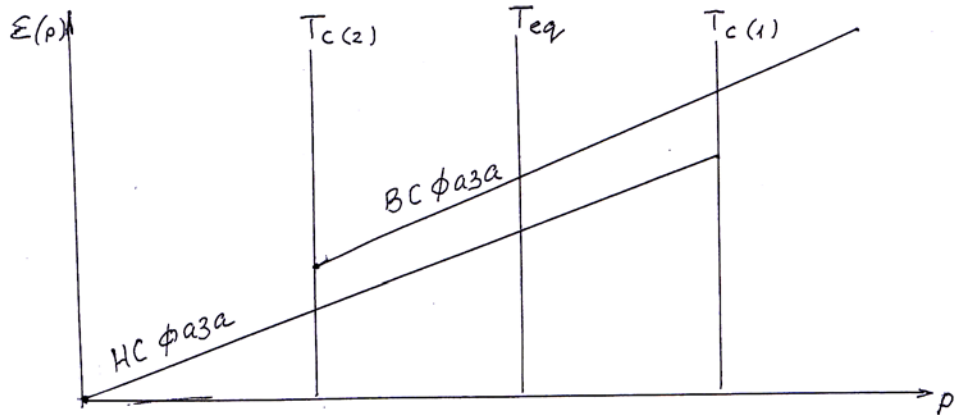


Рис.5

показаны зависимости плотностей энергии в области сосуществования фаз, из которого видно, что равновесие фаз в области их сосуществования возможно только при резком контрасте плотности. Космологический фамилонный газ эволюционирует из области устойчивости высоко-симметричной фазы в область устойчивости низко-симметричной фазы. При температурах  $T < T_{c(2)}$  в фамилонном газе, находящемся в основном в высоко-симметричной фазе, начинают появляться зародыши низко-симметричной фазы. Однако, эти зародыши нестабильны вплоть до температуры равновесия фаз  $T_{eq}$ . Отметим здесь же, что спонтанное рождение и гибель зародышей в этой температурной области представляет собой процесс генерации неоднородности плотностей (некоторую фрактальность), развитие

которых должно привести к развитию гравитационной неустойчивости темной материи. Гораздо сильнее фамилонный газ структурируется в температурной области  $T_{c(2)} < T < T_{eq}$ . Здесь зародыши низко-симметричной фазы стабильны и сосуществуют с остатками высоко-симметричной фазы в режиме сильного контраста плотности.

Таким образом, в области релятивистского фазового перехода в фамилонном газе происходят катастрофические явления, одним из следствий которых является временное сосуществование блочно – фазовой структуры – пространственного чередования областей высоко-симметричной и низко-симметричной фаз. Из общих соображений, очевидно, что характерный масштаб такой структуры определяется расстоянием до горизонта событий на момент релятивистского фазового перехода. Именно этот масштаб и определяет характерный размер структуры барионной подсистемы, гравитационно реагирующей на структурирование тёмной материи. С учётом гетерогенности фамилонного газа (существование 3-х подсистем фамилонов) можно предположить, что описанное выше явление во Вселенной повторяется по меньшей мере 3 раза при различных температурах фамилонного газа, т.е. при различных размерах горизонта событий. Тем самым можно ожидать, что предлагаемый механизм структурирования тёмной материи позволит понять происхождение иерархии масштабов барионной компоненты.

*Итак, предлагаемая модель однозначно связана с преонной моделью элементарных частиц, имеющей хорошие перспективы экспериментальной проверки на коллайдерах. Несомненно, этой модели можно придать экспериментальный статус только после открытия фамилонов.*

**После получения экспериментального статуса принятие этой модели в космологии будет неизбежно. Её достоинства с точки зрения космологии уже ясны сейчас: проясняется роль поколений частиц во Вселенной. Первое поколение частиц даёт весь наблюдаемый мир. Второе и третье поколение даёт всю тёмную материю. Структурирование тёмной материи, а вслед за ней и барионной подсистемы, дают частицы, возникающие только при рассмотрении симметрии между поколениями. Т.е. для самой возможности структурирования нужны, как минимум три поколения частиц.**

Вероятно, интерес представит работа J. Feng и др. [31], в которой даются три модели, объясняющие существование 3-х поколений частиц, (здесь безмассовые фамилонны имеют своё название – майоронны, в честь Итальянского физика Э.Майораны). O.Evnin в работе [32] ушёл на ещё более глубокий уровень – субпреонный, а в работе [33] обсуждалась возможность поиска составных кварков, лептонов и калибровочных бозонов на основе изучения димюонной моды в pp столкновениях на LHC (детектор CMS). Цитированные мной работы [5,15] по второй и четвёртой главам были выполнены довольно давно нашей командой из 4-х человек: Ольга Лалакулич, Григорий Верешков, Юрий Пономарёв и Владимир Бурдюжа. В этих главах я пытался адаптировать эти работы к сегодняшнему дню.

### **5.Вакуумная составляющая Вселенной (тёмная энергия) должна эволюционировать.**

Здесь вплоть до заключения, вакуумная энергия,  $\Lambda$ -член, космологическая константа и тёмная энергия есть одинаковые понятия. В космологии исследование эволюции вакуумной энергии

представляло всегда большой интерес. А.Эйнштейн ввёл в свои полевые уравнения  $\Lambda$ -член как свойства пространства-времени [34]:

$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = - 8\pi G_N T_{\mu\nu} \quad (42)$$

Если мы поставим  $\Lambda$ -член в правую часть уравнения (42), тогда это будет уже форма энергии, которую называли тёмной энергией из-за отсутствия хорошего объяснения её природы.

$$G_{\mu\nu} = - 8\pi G_N T_{\mu\nu} - \Lambda g_{\mu\nu}. \quad (43)$$

В настоящую эпоху эта форма энергии имеет плотность:

$$\rho_{DE} = \rho_{\Lambda} \sim 10^{-47} (\text{GeV})^4 \sim 0.7 \times 10^{-29} \text{g/cm}^3 \text{ при } H_0 = 70.5 (\text{kmsec}^{-1}/\text{Mpc}) \quad (44)$$

Кроме того в настоящее время эта форма энергии обеспечивает ускоренное расширение Вселенной (наша Вселенная - одна из многих вселенных в мультиверсе). В Планковскую эпоху эволюции Вселенной эта форма энергии имела плотность (УФ обрезание):

$$\rho_{\Lambda} \sim 2 \times 10^{76} (\text{GeV})^4 \sim 0.5 \times 10^{94} \text{g/cm}^3, \text{ при } M_{\text{Pl}} = 1.2 \times 10^{19} \text{GeV}. \quad (45)$$

Из соотношений (44) и (45) возникает естественный вопрос: почему такая огромная разница в плотности тёмной энергии имеет место (123 порядка). Эта необъяснимая разница породила кризис в теоретической астрофизике [17-18,35-42], хотя много интересных идей было предложено, чтобы преодолеть этот кризис [43-57]. Последние наблюдения [58] показали, что параметр  $w = p/\rho$ , характеризующий тёмную энергию, близок к  $w = -1$  ( $-0.14 < 1+w < 0.12$ ), что указывает, что мы с большой вероятностью имеем дело с вакуумной энергией. Наиболее физически обоснованное предложение было сделано В. Рубаковым в работе [50], в которой требуется, чтобы большая часть вакуумной энергии должна быть редуцирована уже к эпохе нуклеосинтеза. Следовательно,

релаксация вакуумной энергии обязательно должна быть на очень ранней стадии космологической эволюции. Кроме того, теория образования крупно - масштабных барионных структур требует длительной стадии эпохи вещества (материально доминированной эпохи), что также действует в том же направлении. Здесь, правда, нужна одна оговорка, т.к. в первые мгновения эволюции Вселенной  $\Lambda$ -член не был космологической константой. Он стал практически космологической константой только после последнего (кварк-адронного) фазового перехода, когда температура Вселенной упала с  $10^{19}$  GeV до 150 MeV. До этого мгновения ( $10^{-6}$  sec) в течение фазовых переходов в положительную плотность вакуумной энергии конденсаты квантовых полей вносили отрицательные вклады (погашено 78 порядков) , что привело к резкой релаксации плотности вакуумной энергии (для существования крупномасштабной барионной структуры малое положительное значение вакуумной энергии только и есть возможно [59]). А. Долгов [60] был первый, кто предложил компенсационную гипотезу для вакуумной составляющей Вселенной, хотя проблема не была решена им до конца. Вероятно, прежде всего, необходимо дать определение вакуума. Вакуум определяется как стабильное состояние квантовых полей без возбуждения волновых мод. В геометрической физике вакуум есть состояние, в котором геометрия пространства – времени не деформирована. В квантовой космологии вакуум это конденсаты квантовых полей, появившиеся в результате релятивистских фазовых переходов. В классической физике вакуум есть мир без частиц и этот мир плоский. Уравнение состояния вакуума  $p = -\rho$ . В первой части мы рассмотрим квантовый режим вакуумной эволюции Вселенной, а потом классический режим. Новым моментом является положение, по которому Вселенная при своей эволюции (расширении) теряет вакуумную энергию на

организацию новых квантовых состояний (45 порядков в течение  $13.76 \times 10^9$  лет). Утилизация голографического принципа помогает понять это, учитывая, что при этом Вселенная имеет горизонт событий и кажущийся горизонт. 78 порядков компенсации плотности вакуумной энергии в квантовом режиме и 45 порядков компенсации плотности вакуумной энергии в классическом режиме уменьшили плотность вакуумной энергии на 123 порядка. Это может быть решением проблемы космологической константы в первом приближении, т.к. эволюции тёмной энергии до сих пор не наблюдалось, но это другой интересный вопрос.

### **Фазовые переходы (квантовый режим)**

Прежде всего отметим, что в полную энергию вакуума вкладывают микроскопические дефекты гравитационного вакуума, которые были образованы в квантовом режиме эволюции Вселенной [59]:

$$\Lambda = \Lambda_{QF} + \Lambda_{GVC} \quad (46)$$

здесь нижний индекс QF обозначает квантовые поля, а индекс GVC обозначает гравитационный вакуумный конденсат. Эти микроскопические структуры гравитационного вакуума – топологические дефекты различной размерности (кротовые норы, микромембраны, микроструны и монополи) могли вносить вклад в тёмную энергию в очень ранние эпохи. Кроме того, и это важно, гравитационный вакуумный конденсат зафиксировал начало времени в нашей Вселенной [61]. К сожалению, мы не знаем точно, как наша Вселенная потеряла свою высокую симметрию. Элементарная цепочка фазовых переходов, из которой только два последних фазовых перехода в рамках стандартной модели ( $\Lambda_{SM}$ ) могут быть подсчитаны точно и которая уже выписывалась нами во второй главе, выглядит следующим образом:



$$\begin{array}{l}
 P \Rightarrow D_4 \times [SU(5)]_{SUSY} \Rightarrow D_4 \times [U(1) \times SU(2) \times SU(3)]_{SUSY} \Rightarrow \dots \\
 10^{19} \text{ GeV} \qquad 10^{16} \text{ GeV} \qquad 10^5 \sim 10^{10} \text{ GeV} \\
 \dots \Rightarrow D_4 \times U(1) \times SU(2) \times SU(3) \Rightarrow D_4 \times U(1) \times SU(3) \Rightarrow D_4 \times U(1) \\
 10^5 \sim 10^{10} \text{ GeV} \qquad 100 \text{ GeV} \qquad 0.15 \text{ GeV}
 \end{array}$$

Эти конденсаты квантовых полей имеют асимптотическое уравнение состояния  $p = -\rho$  и называются : Хигсов конденсат в теории электро-слабого взаимодействия  $\rho_{EW}$  и кварк-глюонный конденсат в квантовой хромодинамике  $\rho_{QCD}$ . Следовательно:

$$\Lambda_{QF} = \Lambda_{EW} + \Lambda_{QCD}; \quad \rho_{QF} = -\rho_{EW} - \rho_{QCD} \quad (47)$$

В статье [59] мы уже выписывали значение  $\rho_{EW}$  как  $\Lambda_{SM}$  т.е.

$$\rho_{EW} = -m_H^2 m_W^2 / 2g^2 - (1/128\pi^2)(m_H^4 + 3m_Z^4 + 6m_W^4 - 12m_t^4) \quad (48)$$

Если масса Хиггса  $m_H \sim 160 \text{ GeV}$ , тогда мы имеем:

$$\rho_{EW} \sim - (120 \text{ GeV})^4 \quad (49)$$

Эта оценка была получена в работе [42]. Но для нас наиболее интересным является кварк-глюонный конденсат т.к. в этот момент эволюции Вселенной вакуумная энергия «закалилась». В работе [42] оценка плотности кварк- глюонного конденсата была получена также:

$$\rho_{QCD} \sim - (265 \text{ MeV})^4 \quad (50)$$

Отметим , что только кварк-адронный фазовый переход гасит более 10 порядков плотности энергии вакуума из 78:

$$(120/0.265)^4 \sim 4 \times 10^{10} (M_{Pl}/M_{QCD})^4 = (1.2 \times 10^{19}/0.265)^4 \sim 4.5 \times 10^{78} \quad (51)$$

К сожалению, отрицательные вклады конденсатов в начале и в середине цепочки релятивистских фазовых переходов точно подсчитать невозможно и кроме того начальная стадия этой цепочки может быть более сложной:  $P \rightarrow E_6 \rightarrow O(10) \rightarrow SU(5)$ . В тоже время последний (хромодинамический) фазовый переход был подробно исследован в обзоре [62]. В этом фазовом переходе наша Вселенная потеряла киральную симметрию  $SU(3)_L \times SU(3)_R$ . Физической реализацией нарушения этой симметрии является появление октета псевдо-скалярных Голдстоуновских состояний в спектре родившихся частиц. При температуре нарушения киральной симметрии ( $T_C \sim 150 \text{ MeV}$ ) главный вклад в периодические коллективные движения непертурбативного вакуумного конденсата вносят  $\pi$ -мезоны, как легчайшие частицы октета. В этом процессе  $\pi$ -мезоны – возбуждения основного состояния и они определённо характеризуют КХД вакуум. Плотность вакуумной энергии в тот момент, можно подсчитать, используя формулу Я. Зельдовича [63]. Он пытался посчитать ненулевую вакуумную энергию Вселенной, как вакуумную флуктуация квантовых полей, вставляя в найденную им формулу массу протона и электрона. Но результат был отрицательный. Ситуация меняется, если в формулу Я.Зельдовича, слегка модифицированную Н. Кардашевым [64], вставить среднюю массу  $\pi$ - мезонов ( $m_\pi = 138.04 \text{ MeV}$ ).

$$\Lambda = 8 \pi G_N^2 m_\pi^6 h^{-4} \text{ cm}^{-2}, \quad (52)$$

$$\rho_\Lambda = G_N m_\pi^6 c^2 h^{-4} \text{ g cm}^{-3} \quad (53)$$

и тогда

$$\Omega_\Lambda = \rho_\Lambda / \rho_{\text{cr}} = \Lambda c^2 / 3 H_0^2; \quad \rho_{\text{cr}} = 3 H_0^2 / 8 \pi G_N \quad (54)$$

здесь  $G_N$  и  $h$  – гравитационная и Планковская константы. Если постоянная Хаббла  $H_0 = 70.5 \text{ (kmsec}^{-1}\text{/Mpc)}$ , тогда  $\Omega_\Lambda \sim 0.73$ . Экспериментальное значение для  $\Omega_\Lambda = 0.726 \pm 0.015$  [58]. Мы

сделали подобные подсчёты для  $H_0$  в работе [65] 12 лет назад. При энергии  $E=150$  MeV вакуумная энергия Вселенной остановила резкое падение (последний релятивистский фазовый переход) и впоследствии она падала не так быстро. Однако, даже в этот момент ( $t \sim 10^{-6}$  sec) всё ещё сохранялась огромная разница между текущим значением плотности вакуумной энергии и плотностью вакуумной энергии в тот момент.

$$(0.15/1.8 \times 10^{-12})^4 \sim 5 \times 10^{43} \text{ сейчас } \rho_{DE} \sim (1.8 \times 10^{-12} \text{ GeV})^4.$$

Эта разница в 43 порядка – очень большая, но она существенно меньше, чем 123 порядка. Следовательно, необходимо искать другой путь релаксации вакуумной энергии к её современному значению. Вероятно, это может быть путь голографии. Отметим здесь же, что в момент потери киральной симметрии (кварк-адронный фазовый переход) отношение компонент Вселенной друг к другу закалилось.

### **Голографическая Вселенная (классический режим)**

Голографические идеи в космологии не новы. К.Балаш и И. Сзапиди в работе [66] получили следующую оценочную формулу для плотности вакуумной энергии Вселенной в голографическом пределе:

$$\rho \leq 3 M_{Pl}^2 / 8\pi R^2 \quad (55)$$

здесь  $R$  – текущая Хаббловская длина (кажущийся горизонт Вселенной). Т.е. плотность вакуумной энергии Вселенной ограничивается обратной площадью её горизонта. Важным следствием голографической Вселенной являются факты: энергия уменьшается линейно с увеличением размера, плотность энергии уменьшается квадратично с увеличением размера Вселенной. Кроме того, существует голографическая связь, полученная в работе [67]. Энтропия Вселенной ограничивается площадью поверхности, измеряемой в Планковских единицах:

$$S \leq \pi R^2 M_{\text{Pl}}^2 . \quad (56)$$

В этом случае возникает связь между числом квантовых состояний Вселенной и плотностью вакуумной энергии, следующая из уравнений (55) и (56):

$$\rho = 3 M_{\text{Pl}}^4 / 8 S . \quad (57)$$

Подставляя размер наблюдаемой Вселенной  $R \sim 10^{28}$  см в формулу (57), можно получить современную плотность вакуумной энергии в голографическом пределе, если  $M_{\text{Pl}}=1$ :

$$\rho \sim 4 \times 10^{-57} (\text{GeV})^4 . \quad (58)$$

Физический смысл здесь есть в том, что при расширении Вселенной её вакуумная энергия тратится на образование новых квантовых состояний. Полученное значение плотности вакуумной энергии в (58) значительно (10 порядков) отличается от наблюдаемого (современного) значения плотности вакуумной энергии  $\rho \sim 10^{-47} (\text{GeV})^4$ , но это другая сторона вопроса. Здесь необходимы некоторые разъяснения. Общая теория относительности является ярким примером голографической теории [68], но квантовые полевые теории не являются голографическими теориями (см. также [68]). Следовательно, в квантовом режиме эволюции Вселенной голографическая концепция не работает. Вселенная пришла в классический (Фридмановский) режим, вероятно, когда её возраст был всего лишь  $\sim 10^{-6}$  сек, что соответствует энергии  $E \sim 150$  MeV.  $R_{\text{QCD}}$  был тогда её причинный горизонт.

$$\text{Если } R_{\text{QCD}} \sim 3 \times 10^4 \text{ см, тогда } (R / R_{\text{QCD}})^2 \sim 10^{47} \quad (59)$$

Отметим, что голографические идеи впервые были высказаны в работах [69-70] и Я. Бекенштейн обсудил эти идеи применительно к чёрным дырам. Он показал, что энтропия чёрной дыры (одна четвёртая часть от числа микросостояний её поверхности) есть

мера информации, спрятанная в чёрной дыре [71]. Существование горизонта во Вселенной даёт «сильный аргумент» в пользу применения голографического приближения в космологии для решения проблемы космологической константы. Здесь увеличение энтропии Вселенной (числа микросостояний) при расширении - очевидна. Существование голографического предела [67] кладёт ограничения на число степеней свободы (число микросостояний), которые могут существовать в ограниченном объёме. Оба размера ( $R_{\text{QCD}} = 3 \times 10^4 \text{ cm}$   $R = 10^{28} \text{ cm}$ ) есть причинные горизонты в голографической термодинамике Вселенной. Эйнштейновские уравнения получаются из пропорциональности энтропии и площади горизонта вместе с фундаментальной связью Клаузиуса  $dS = dQ/T$ , в которой  $dS$  есть  $1/4$  площади горизонта,  $dQ$  и  $T$  есть энергия через горизонт и  $U_{\text{нру}}$  температура, видимая ускоренным наблюдателем внутри горизонта [68]. Вероятно, здесь можно говорить о неравновесной термодинамике пространства-времени и о термодинамическом происхождении Эйнштейновских уравнений. Кроме того, можно говорить также, что гравитация на макроскопической шкале есть проявление термодинамики вакуума. Это была нетривиальная идея Т. Якобсона [68], хотя С. Хоукинг много лет назад подчёркивал, что термодинамические свойства Вселенной де Ситтера подобны чёрной дыре, выписанной в статических координатах [70]. В пространстве де Ситтера горизонт событий совпадает с кажущимся горизонтом. В некоторых космологических моделях горизонт событий может не существовать, но кажущийся горизонт существует всегда. Здесь тонкий момент имеет место: в голографических моделях тёмной энергии, которые не исключены современными данными, роль  $R$  может играть будущий горизонт событий.

В нижеприведённой таблице подсчитана плотность вакуумной энергии нашей Вселенной в классическом режиме от её современного значения ( $z=0$ ) до красного смещения  $z = 10^{11}$ , используя космологические параметры 7 летних данных эксперимента WMAP [72] и «космологический калькулятор» [73].

**Таблица**

t=	13.76	13.62	13.36	13.09	12.47	11.88	11.34	10.35	9.48	8.71	5.98	3.36	2.21
z =	000	0.01	0.03	0.05	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	1	2	3
$10^{47}\rho=$	<b>0.24</b>	<b>0.25</b>	<b>0.26</b>	<b>0.27</b>	<b>0.3</b>	<b>0.33</b>	<b>0.36</b>	<b>0.43</b>	<b>0.51</b>	<b>0.61</b>	<b>1.29</b>	<b>4.12</b>	<b>9.62</b>
t=	1.58	1.2	0.49	0.18	0.1	47.9	16.8	1.37	0.44	0.22	0.13		
z=	4	5	10	20	30	50	100	500	1000	1500	2000		
$10^{47}\rho=$	<b>19.13</b>	<b>31</b>	<b>197</b>	<b>1465</b>	<b>4687</b>	<b>21307</b>	<b>166666</b>	$10^{40}\rho=$ <b>2.5</b>	<b>24.3</b>	<b>95.6</b>	<b>262</b>		
t=	25.4	6.9	1.8	0.3	75	0.76	$239 \times 10^3$	2396	25				
z=	5000	10000	20000	50000	$10^5$	$10^6$	$10^7$	$10^8$	$10^9$				
$10^{40}\rho=$	<b>7212</b>	<b>97402</b>	<b>1431298</b>	$10^{32}\rho=$ <b>0.51</b>	<b>8.22</b>	<b>80128</b>	$10^{24}\rho=$ <b>7.29</b>	$10^{20}\rho=$ <b>7.26</b>	$10^{16}\rho=$ <b>6.67</b>				
t=	0.27	0.003											
z=	$10^{10}$	$10^{11}$											
$10^{12}\rho=$	<b>5.71</b>	$10^8\rho=$ <b>4.62</b>											

Здесь время - в миллиардах лет от рождения Вселенной вплоть до  $z=30$ ; от  $z=50$  до  $z=2000$  время - в миллионах лет; от  $z=5000$  до  $z=50\ 000$  время - в тысячах лет; от  $z=10^5$  до  $z=10^6$  время есть в годах; от  $z=10^7$  до  $z=10^{11}$  время - в секундах. Для подсчёта плотности вакуумной энергии использовалась аппроксимационная формула при  $M_{Pl}=1$ ; 1 year =  $3 \times 10^7$  sec;  $c = 3 \times 10^{10}$  cm/sec:

$$\rho(z) = (3/8)[R_{QCD}/R(z)]^2 = (3/8)[(10^9/10^{56})/r^2(z)] = 0.375 \times 10^{-47}/r^2(z) \text{ (GeV)}^4 \quad (60)$$

Как получить плотность вакуумной энергии при  $z = 0.5$ ? Используя космологический калькулятор [73] при  $\Omega_\Lambda = 0.73$   $\Omega_m = 0.27$ ;  $H_0 =$

70.5 (kmsec<sup>-1</sup>/Mpc) ;  $z=0.5$  и плоскую модель Вселенной, получаем, что при красном смещении  $z = 0.5$  возраст Вселенной был  $8.71 \times 10^9$  лет или  $2.61 \times 10^{17}$  сек. Причинный горизонт был на радиусе  $R=0.78 \times 10^{28}$  см и  $r^2(z)=0.61$ . Тогда мы имеем  $\rho = 0.375 \times 10^{-47} / 0.61 = 0.61 \times 10^{-47}$ . Здесь следует отметить, что если в течение первой секунды жизни Вселенной плотность вакуумная энергия уменьшилась в 78 раз, тогда как в последующие  $4 \times 10^{17}$  сек плотность вакуумной энергии уменьшилась только в 45 раз. Вероятно, эти идеи могут быть проверены в ближайшее время [74].

## Дискуссия

В результате нашего рассмотрения выстраивается эволюционная картина, некоторые позиции которой для нашей Вселенной должны иметь место с необходимостью. Перечислим их:

1) Вселенная возникла в результате туннельного процесса с осциллирующего режима (после очередного отскока) на Фридмановский режим [15] (см. рис.1.)

2) Немедленно после рождения образовался гравитационный вакуумный конденсат (микроструктуры пространства), который «закалил» время в нашей Вселенной (поставив  $t=0$ ).

3) В первые мгновения жизни Вселенной т.е. в течении квантового режима вакуумная энергия потеряла 78 порядков (конденсаты полей вносили отрицательные вклады в её плотность энергии в течении релятивистских фазовых переходов в период интенсивной потери симметрии).

4) Отношение компонент Вселенной  $\Omega_\Lambda$ ,  $\Omega_{DM}$  и  $\Omega_b$ , также закалилось в первые мгновения жизни Вселенной. Последующая эволюция привела только к уменьшению абсолютных значений компонент.

5) Космологическая константа (вакуумная энергия) связывает свойства микроскопической физики Вселенной со свойствами макроскопической физики Вселенной.

6) Суперсимметрия нарушается, если и только если, космологическая константа - положительная (важный момент).

7) В первые доли секунды жизни нашей Вселенной был квантовый период эволюции неравновесного вакуума (фазовые переходы).

8) Явных следов фазовых переходов не наблюдают сегодня, хотя фрактальность в распределении тёмной материи и барионной компоненты могли создать только релятивистские фазовые переходы [5].

9) Вакуумная энергия Вселенной «закалилась» при  $T \sim 150 \text{ MeV}$  (кварк – адронный фазовый переход стартовал при температуре  $T \sim 265 \text{ MeV}$ ).

10) В классическом режиме эволюции Вселенной вакуумная энергия в течении  $4 \times 10^{17}$  сек потеряла 45 порядков на создание новых квантовых состояний, при этом скорость потери энергии уменьшилась в  $10^{55}$  раз по сравнению с квантовым режимом.

11) Проблема космологической константы (разница в 123 порядка) решается применением идей голографии.

12) Голографические идеи, рассмотренные для Вселенной от  $z = 0$  до  $z = \infty$  обсуждались в работе [66], что неверно, т.к. в квантовом режиме идеи голографии не работают.

13) AdS / CFT соответствие, которое утверждает, что вся информация о гравитационной системе закодирована на её границе, обеспечивает сильную поддержку голографическому принципу. Х. Малдасена [75] отметил это 13 лет назад.

14) Вероятно, Бекенштейновская термодинамика чёрных дыр [71] может быть следом тепловой природы вакуума Минковского.

15) Введенная Э.Верлинде в работе [76] энтропийная сила, как специфическая микроскопическая сила, является естественной физической точкой зрения. Здесь гравитация возникает из термодинамического приближения и **тогда гравитация не есть фундаментальная сила - она есть привходящий феномен, как уже было отмечено.**

**Выскажем здесь же некоторые ограничения.** Наш результат решает проблему  $\Lambda$ -члена только в первом приближении, т.к. эволюция тёмной энергии до сих пор не обнаружена, хотя



сомнений в эволюции вакуумной компоненты нет. Здесь могут быть два варианта: либо тёмная энергия вовсе не вакуумная энергия, а какая – то смесь другого поля с вакуумной энергией, либо иной процесс (распад частиц тёмной материи, например) маскирует эволюцию вакуумной компоненты. Кроме того, давно высказанная Х.Эвереттом идея, что наш мир квантован на всех масштабах, может оказаться правильной. Тогда пространство-время –наиболее фундаментальная категория классической физики, может оказаться в рамках квантовой механики вторичной, а первичным будет перепутывание квантовых состояний (entanglement). Здесь устанавливается связь между квантовыми системами вне пространственно-временных рамок. И тем не менее классическое пространство-время возникает из квантового перепутывания через процесс декогерентности. Следует учесть также, что голографические идеи совместимы не со всей общей теорией относительности, а только с некоторыми её частными решениями и остаётся некоторый произвол даже в выборе оценочной формулы (60). Но почти точная компенсация 123 порядков вакуумной энергии, от Планка до современного значения, заставляет верить таким оценкам.

Конечно, нерешённые проблемы остались. Мы не знаем хорошо даже уравнение состояния тёмной энергии, которая теряет свой статус тёмной в пользу вакуумной энергии (сейчас  $1+w = 0.013 \pm 0.068^{+0.066}$  (0.11 syst)) [77]. Существование ускоренного расширения Вселенной доказано с очень высокой точностью (более  $50 \sigma$  [78]), но нет доказательств для эволюции тёмной энергии из глобального анализа космологических данных [79]. Вероятно, необходимо ввести скалярное поле для лучшего совпадения с наблюдениями, хотя это будет более сложная физическая ситуация. Если скалярное поле – динамическое поле, тогда с необходимостью оно будет взаимодействовать с другими материальными полями Вселенной [80]. Другой важный пассаж также имеет место: т.к. с недалекого прошлого ( $z \sim 0.6$ )  $\rho_\Lambda$  есть доминирующая компонента, поэтому во многих моделях тёмной энергии обеспечивается сходимость к  $w \sim -1$  и, кроме того, уравнение состояния экстремально чувствительно к значению  $\rho_{DM}$  [81]. Другая возможность понять отсутствие

эволюции в тёмной энергии есть нахождение эффектов, которые маскируют временную зависимость, как это было уже упомянуто. С.Дутта и Р.Шеррер в работе [81] также говорят об этом. Кроме того, наличие нескольких проектов по исследованию тёмной энергии позволят не только их оценивать, но и сравнивать их по гамбургскому счёту [82-83]. Практически всё о тёмной энергии и об её будущих проектах можно найти в детальном обзоре [41] и в работе [74].

Отметим, что другие приближения к моделированию тёмной энергии, которые предсказывают  $w \neq -1$  и  $f(R)$  и  $f(T)$  гравитация, также как и предложения для контрольных экспериментов интенсивно исследуются (см. работы [84-92]). Упомянем здесь же недавние статьи о голографическом принципе в космологии [93-97] и интересную мысль Г. Верешкова, по которой космологическая константа это Сахаровская индуцированная гравитация [98]. Дж. Смут в работе [97] отметил, что объёмный интеграл для энтропии может быть конвертирован к поверхностному интегралу согласно теореме Остроградского-Гаусса, тем самым обеспечивая математическое обоснование голографической Вселенной. В заключении этой главы также следует отметить, что Г. Двали в работе [99] показал, что вакуум в котором мы живём (вакуум Минковского) – довольно стабилен и туннелирование в более низкое состояние практически невозможно. В работе [100] мы также отмечали о стабильности вакуума, в котором мы живём и даже вывели условие его стабильности. Это условие даёт интервал допустимых масс всё ещё не обнаруженного бозона Хиггса  $36 \text{ GeV} < m_H < 2480 \text{ GeV}$ . В этой же работе мы отмечали, что имеет место необратимая эволюция вакуумных конденсатов во времени и, кроме того, должна быть трансформация космологической константы в динамическую переменную. Это и показано в данной главе.

Мне приятно поблагодарить Мубашера Джамила, который активно помогал мне при подготовке данной главы (в виде статьи) к печати [101], т.к. финальная часть данной главы была выполнена во время моего визита в Центр для передовой математики и физики

Национального Университета наук и технологии Исламабада (Пакистан).

## **6. Заключение**

В данном препринте рассмотрены физические процессы при образовании и эволюции нашей Вселенной. **Вселенная могла образоваться, протуннелировав из осциллирующего режима на Фридмановский режим, в результате довольно редкого события, будучи в квантовом состоянии. После её рождения сразу же образовался гравитационный вакуумный конденсат, зафиксировавший точку  $t=0$  в жизни нашей Вселенной. Если «спуститься» на следующий уровень материи - преонный, тогда естественное объяснение находит наличие 3-х поколений частиц. Первое поколение – наблюдаемый барионный мир, второе и третье поколение (их наличие) образовало в эпоху бариогенеза и лептогенеза – тёмную материю, состоящую из фамилонов и из других частиц (сверхслабое взаимодействие фамилонов с адронами не позволяет до сих пор их обнаружить). Как минимум два фазовых перехода (а вероятнее всего три) в фамилонной тёмной материи образовали фрактальное распределение частиц тёмной материи на разных масштабах (т.к. они происходили при разных температурах), тем самым подготовив среду для сгущивания барионов. Барионная подсистема «повторила» фрактальное распределение тёмной материи из-за гравитационного взаимодействия с ней, которое сейчас в результате длительной эволюции Вселенной практически замкнуто. Кроме того, структуризация крупно-масштабной барионной составляющей (образование галактик и скопления галактик) была бы невозможна без наличия трёх поколений частиц.**

Также удалось решить, хотя и не сразу, проблему  $\Lambda$ -члена, ассоциировав её с вакуумной энергией, которая многие десятки лет была камнем преткновения. **123 кризисных порядка вакуумной энергии гасятся простыми физическими процессами. Фазовыми переходами в квантовом режиме и организацией новых квантовых состояний в классическом режиме эволюции Вселенной при её расширении.**

## Литература

1. А. Д. Сахаров ЖЭТФ 79 (1980) 689.
2. V. Burdyuzha, J.F. Pacheco, G. Vereshkov arXiv: 0801.004.
3. P. Mazur, E. Mattola Publ. Nat. Acad. of Sci. 101 (2004) 9545.
4. I. Dymnikova arXiv: 0112052 (gr-qc).
5. V. Burdyuzha, O. Lalakulich, Yu. Ponomarev, G. Vereshkov  
Astron. Astrophys. Transact. 23 (2004) 453.
6. V. Burdyuzha arXiv: 1003.1025.
7. J. Lee, H.S. Yang J. Korean Phys. Soc. 57 (2010) 578.
8. L. P. Grischuk, Ya. B. Zel'dovich "Quantum Structure of  
Space and Time". Eds. M.Duff and C. Isham. Cambridge  
University Press, 1982.
9. Д. А. Киржниц и А.Д. Линде ЖЭТФ 67 (1974) 1263.
10. А. А. Старобинский Письма ЖЭТФ 30 (1979) 719.
11. А. Д. Линде ЖЭТФ 78 (1983) 149.
12. А. Н. Guth Phys. Rev. D 23 (1981) 347.
13. G. M. Vereshkov et al. JETP 73 (1977) 1985.
14. V.N. Lukash, A.A. Starobinskiy JETP 66 (1974) 1515.
15. V. Burdyuzha, O. Lalakulich, Yu. Ponomarev, G.Vereshkov  
Phys. Rev. D 55 (1997) R 7340.
16. V. Gurzadyan, R. Penrose arXiv: 1011.3706.
17. В.В. Бурдюжа Астроном. Ж. 86 (2009) 419.
18. В. В. Бурдюжа УФН 180 (2010) 439.
19. S. Carlip Rep. Progr. Phys. 64 (2001) 885.
20. R. Caldwell, E. Linder Phys. Rev. Lett 95 (2005) 141301.
21. A. Omont A.et al. Nature 382 (1996) 428.

22. J.C. Pati, A. Salam Phys. Rev. D 10 (1974) 275.
23. H.Terezava Phys. Rev. D 22 (1980) 184.
24. C. Adloff Z. Phys.C 74 (1997) 191.
25. J. Breitweg Z. Phys. C 74 (1997) 207.
26. J.Frieman, C.Hill, R.Watkins Phys.Rev.D46 (1992) 1226.
27. C. Hill, D. Schramm, J. Fry Comments of Nuclear and Particle Phys. 19 (1989) 25.
28. D. E. Groom et al., Europ. Phys. J. C 15 (2000) 1.
29. З.Г. Бережани, А.С. Сахаров, Хлопов М.Ю. Ядерная физика 55 (1992) 1918.
30. G. Vereshkov, V. Burdyuzha Intern.J. Mod. Phys. A 10 (1995) 1343.
31. J. Feng et al., Phys. Rev D 57 (1998) 5875.
32. O. Evnin hep-ph/9711433 v.4, 17 Febr. 1998.
33. G. L. Bayatian et al., J.Phys. G 34 (2007) 995.
34. A. Einstein, Sitzungs. Ber.Berl. Akad. Wiss. 142 (1917).
35. S. Weinberg, Rev. Mod. Phys. 61 (1989) 1.
36. S. Carroll, astro-ph/0004075 ; Living Rev. Rel 4 (2004) 1.
37. V. Sahni and A. Starobinsky Int. J. Mod. Phys.D 9 (2000)371.
38. P. Peebles and B. Ratra, Rev. Mod. Phys.75 (2003) 559.
39. T. Padmanabhan, Phys. Rep. 380 (2003) 235.
40. R. Bousso, arXiv: 0708.4231; Gen. Rel. Grav. 40 (2008) 607.
41. J.A. Frieman, M.S. Turner, D. Huterer, Ann. Rev. Astron. Astropys.46 (2008) 385.
42. L. Marochnik, D. Usikov, G. Vereshkov, arXiv: 0811.4484.
43. R. Peccei, J. Sola, C. Wetterich, Phys.Lett B 195 (1987) 183.
44. D. Arnaudon et al., Phys. Lett. B 195 (1987) 167.
45. L. Abbott, Phys. Lett. B 150 (1985) 427.

46. S. Hawking, *Phys. Lett. B* 134 (1984) 403.
47. R.R. Caldwell, R. Dave, P.J. Steinhard, *Phys. Rev. Lett.* 80 (1998) 1582.
48. T. Banks, *Nucl. Phys.B* 249 (1985) 332; hep-th/0305206.
49. S. Weinberg, *Phys. Rev. Lett.* 59 (1987) 2607.
50. V. Rubakov, *Phys. Rev.D.*61 (2000) 061501.
51. P.Steinhard, N.Turok, astro-ph/0605173 ; *Science* 312 (2006) 1180
52. A. Vilenkin, astro-ph/0407586 and in “Universe or Multiverse” Ed. B.J..Carr, Cambridge University Press, 2007.
53. J. Garriga , A. Vilenkin, *Prog. Theor. Phys. Suppl.* 163 (2006)245, hep-th/ 0508005.
54. J. Polchinski, hep-th/0603249 ; Rapporteur talk at 23 Solvay Conference in Physics, Dec. 2005
55. A. Linde, hep-th/0611043 ; *JCAP* 0701(2007) 022.
56. Bousso et al.,hep-th/ 0702115 *Phys.Rev. D* 76 (2007) 043513.
57. B. Feldstein, L.Hall, T. Watari, hep-th/ 0506235; *Phys.Rev D.*72 (2005) 123506.
58. E. Komatsu et al.arXiv: 0803.0547; M. Hicken et al., *Astrophys. J.* 700 (2009) 1097.
59. V. Burdyuzha, G. Vereshkov, *Astrophys. Space Sci.* 305 (2006) 235.
60. A. Dolgov, hep-ph/0405089 ; Talk presented at the Rencontre de Physique (2004).
61. V. Burdyuzha, G. Vereshkov, arXiv: 0801.0044.
62. E. Shuryak, *Phys. Rep.* 264 (1996) 357.
63. Ya. Zel’dovich, *Pis’ma JETP* 6 (1967) 883.
64. N. Kardashev, *Astronom. Zh.* 74 (1997) 803.
65. V. Burdyuzha, In P.Nath (Ed). *Proceedings of Symposium “PASCOS-98”* World Scientific, 1999, pp.101-105.
66. C. Balazs, I.Szapidi, hep-th/0603133.
67. W. Fischler, L. Susskind, hep-ph/9806039.
68. T. Jacobson, *Phys. Rev.Lett.* 75 (1995) 260; and Ch. Eling, R. Guedens, T. Jacobson, gr-qc/ 0602001; *Phys.Rev.Lett.*96 (2006)121301.

69. G. 'tHooft, gr-qc/9310026.
70. S. Hawking, Commun. Math. Phys. 43 (1975) 199.
71. J. D. Bekenstein, Phys. Rev. D7 (1973) 2333.
72. E. Komatsu et al., arXiv: 1001.4538; Astrophys.J. Suppl. 192 (2011) 18.
73. N. Wright, PASP 118 (2006) 1711.
74. D.A. Howell et al., arXiv: 0903.1086.
75. J. M. Maldacena, Adv. Theor. Math. Phys. 2 (1998) 231.
76. E. Verlinde, arXiv: 1001.0785; JHEP 1104 (2011) 029.
77. G. Wolschin, CERN Courier, March (2009).
78. R. Caldwell, M. Kamionkowski, Ann. Rev. Nucl. Part. Sci. 59 (2009) 397.
79. P. Serra, arXiv: 1005.2415; Proceeding of the 45<sup>th</sup> Rencontres de Moriond, La Thuile, Italy, 2010.
80. M. Jamil, arXiv: 1010.0385; Phys.Lett.B 694 (2011) 284.
81. S. Dutta, R.J. Scherrer, arXiv: 1004.3295; Phys.Rev.D 82 (2010) 043526.
82. M. C. March, R. Trotta, L. Amendola, D. Huterer, arXiv: 1101.1521; MNRAS (in press).
83. Miao Li, Xiao-Dong Li, X. Zhang, arXiv: 0912. 3988; Sci. China Phys. Mech. Astron. 53 (2010) 1631.
84. A. Starobinskiy JETP Lett 86 (2007) 157.
85. E. Greewood, E. Halstead, R. Poltis, D. Stojkovic, arXiv: 0810.5343; Phys.Rev.D 79 (2009) 103003.
86. W. Zhao, arXiv: 0810.5506; Int.J. Mod.Phys. 18 (2009) 1331.
87. A. Cooney, S. DeDeo, D. Psaltis, arXiv: 0811.3635.
88. F. Klinkhamer, G. Volovik, arXiv: 0811.4347; Phys.Rev.D 79 (2009) 063527.
89. D. Hooper, S. Dodelson, astro-ph/0512232.
90. P. Zang, R. Bean, M. Liguori, S. Dodelson, arXiv: 0809.2836; Astropart. Phys. 27 (2007) 113. .
91. A. Kempf, arXiv:0908.3061; Phys.Rev.Lett. 103 (2009) 231301.
92. R. Banerjee, B. R. Majhi, arXiv: 1002.0985; Phys.Lett. B 690 (2010) 83.

93. J. Makela, arXiv: 1001.3808.
94. R..G. Cai, L.M. Cao, N. Ohta, arXiv: 1001.3470; Phys. Rev. D 81 (2010) 06501.
95. F.W. Shu, Y. Gong, arXiv: 1001.3237; Int. J. Mod. Phys. D 20 (2011) 553.
96. T. Padmanabhan, arXiv: 1001.3380; Gen.Rel. Grav. 42 (2010)2743.
97. G.F. Smoot, Int. J. Mod. Phys. D 19 (2010) 2247.
98. A. D. Sakharov, Doklady of Academy of Sciences of the USSR 177 (1967) 70.
99. G. Dvali, arXiv: 1107.0956 [hep-th] 5 July, 2011.
100. V. Burdyuzha, O. Lalakulich, G. Vereshkov, Yu.Ponomarev arXiv: gr-qc/9907101.
101. В. В. Бурдюжа, Астроном. Ж. (2011) (в печати).