

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ФИЗИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ
имени
П.Н.Лебедева



Ф И А Н

ПРЕПРИНТ

В.В. БУРДЮЖА

27

**ТЁМНАЯ ЭНЕРГИЯ, ТЁМНАЯ МАТЕРИЯ
И СВЕТЛОЕ БУДУЩЕЕ КОСМОЛОГИИ**

МОСКВА 2005

ТЁМНАЯ ЭНЕРГИЯ, ТЁМНАЯ МАТЕРИЯ И СВЕТЛОЕ БУДУЩЕЕ КОСМОЛОГИИ

В.В. Бурдюжа*

С единых позиций обсуждается современное состояние космологических проблем тёмной энергии и тёмной материи. Приведены последние данные о величинах некоторых космологических параметров. Основной упор сделан на понимание физики образования космологической постоянной (она же вакуумная (тёмная) энергия или Λ - член). Отмечается, что 3 основные сценария эволюции Вселенной, заполненной тёмной энергией, радикально отличаются от тех сценариев, которыми пользовались ранее (плоская, открытая и закрытая модели). Подробно обсуждаются основные частицы тёмной материи (нейтрино, нейтралино и аксион) и эксперименты по их обнаружению. Предложено объяснение, как наличию выделенных масштабов во Вселенной (галактики, скопления и сверхскопления галактик), так и её фрактальной структуры. Проясняется “необходимость” 3-х поколений частиц. Введено понятие гравитационного вакуума и обсуждается его внутренняя структура.

Содержание

- 1. Введение**
- 2. Тёмная энергия**
- 3. Тёмная материя**
- 4. Немного экзотики**
- 5. Как решить проблему Λ - члена**
- 6. Заключение**

^{*)} В.В.Бурдюжа. Астро-Космический Центр Физического Ин-та им. П.Н.Лебедева Российской Академии наук, 117997 Москва, Профсоюзная 84/32, Россия.
Тел. (095) 333-25-23; fax (095) 333-23-78; Email: burdyuzh@asc.rssi.ru

1. Введение

В космологии обсуждать вместе тёмную энергию (DE) и тёмную материю (DM) физически обоснованно, т.к. это основные компоненты сегодняшней плотности Вселенной ($\Omega_{DE} \sim 0.7$ и $\Omega_{DM} \sim 0.3$). Тёмными эти субстанции (энергия и материя) названы из-за нашего незнания их точной физической природы. Барионная компонента (а это наблюдаемый нами мир) по плотности крайне мала ($\Omega_b \sim 0.04$ или около того). Тёмная энергия, вероятно, это космологический вакуум, а тёмная материя это частицы (какие именно, мы опять-таки точно не знаем), народившиеся в первые мгновения эволюции Вселенной из этого вакуума. Вот некоторые данные об эволюции и по компонентному содержанию Вселенной, взятые мной из обстоятельных докладов А.Старобинского 22 февраля 2004 года и 30 мая 2005 года [1] на Московском астрофизическом семинаре. Более подробно о космологических параметрах можно также найти в работах [2].

К настоящему времени различают 4 последовательные фазы в эволюции Вселенной после её рождения ($dS \rightarrow RD \rightarrow MD \rightarrow dS$), т.е. де Ситтеровская стадия (инфляция) $dS \Rightarrow$ радиационно-доминированная стадия (RD) \Rightarrow материально-доминированная стадия (MD) \Rightarrow и снова де Ситтеровская стадия (фаза ускоренного расширения). Безразмерные компоненты нашей Вселенной, нормированные на критическую плотность при нулевом красном смещении - следующие:

$$\Omega_{DE} \sim 0.73 \pm 0.04; \Omega_{DM} = 0.27 \pm 0.04; \Omega_{DE} \equiv \Omega_{\Lambda}; \Omega_{DM} \equiv \Omega_m.$$
$$\Omega_b = 0.045 \pm 0.005; 10^{-3} < \Omega_v < 0.02;$$

Плотность наблюдаемой (барионной) Вселенной (Ω_b) есть всего лишь погрешность её основных компонент (мы ещё раз выпишем по компонентные безразмерные плотности Вселенной, которые даёт другой автор, в начале

пункта 3). Возраст Вселенной есть около 13.8 млрд. лет, и в современную эпоху ($z=0$) она расширяется с ускорением, хотя около 4 млрд. лет назад до красного смещения $z \sim 0.5$ она расширялась с замедлением [3] (заметим для ясности, что при $t = 0$ $z = \infty$). Причиной настоящего ускоренного расширения Вселенной как раз и является тёмная энергия, т.к. работает “отталкивательная” способность гравитации (иногда говорят антигравитация). При образовании космических барионных структур, конечно, “работало” притяжение – наше обычное понимание гравитации. Выражение для плотности энергии вакуума $\rho + 3p$ при $p < -1/3 \rho$ будет отрицательным (вспомним известное выражение Я.Б.Зельдовича- давление весит), и гравитация будет отталкивать (в этом, кстати, причина общего, а в данную эпоху ускоренного расширения Вселенной).

С открытием факта [4], по которому 70% полной сегодняшней плотности Вселенной составляет тёмная энергия, стало ясно, что мы довольно далеки от понимания, что и как в космологии (вероятно, есть и другие мнения). Является ли тёмная энергия “обычным вакуумом” с уравнением состояния $w \equiv p/\rho = -1$, или же это квинтэссенция с уравнением состояния $-1 < w < -1/3$, или же это фантомная энергия с уравнением состояния $w < -1$ ещё предстоит выяснить в космологических экспериментах.

Наша точка зрения (возможно даже уже не такая общепринятая) есть та, что тёмная энергия это не что иное как вакуумная энергия, которую со времён А.Эйнштейна называют Λ -членом или космологической постоянной (и она действительно постоянна, т.к. ее последнее изменение (уменьшение) произошло в первые доли секунды жизни нашей Вселенной). Эту же точку зрения поддерживает и А.Долгов, которая высказана в его недавнем обзоре [5]. Склоняется к точке зрения, что тёмная энергия это квинтэссенция, автор другого недавнего обзора R.Caldwell [6].

Имеются убедительные данные, подтвержденные астрономическими наблюдениями, что Λ -член (вакуумная энергия, космологическая константа) имеет не нулевое значение и утверждение об ускоренном расширении

Вселенной имеет под собой не только теоретическую, но и наблюдательную базу, при том из независимых экспериментов (прямые наблюдения космологического ускорения, измерения кривизны Вселенной, измерение плотности барионной компоненты, теория и наблюдения крупномасштабной структуры Вселенной, данные по возрасту Вселенной). Каждый из этих пунктов подробно обсуждён в обзоре [6]. Существование тёмной материи также подтверждено огромной массой наблюдений, поэтому наличие тёмной энергии и тёмной материи – безусловный факт.

2. Тёмная энергия

Но вернёмся к феноменологии А.Старобинского. Вероятно, действительно $\Omega_\Lambda=1$ при $t = 0$, т.е. рождение Вселенной из “ничего” - наиболее приемлемо*. Ещё “более вероятно”, что в энергию частиц (материю) перешла практически вся вакуумная составляющая, т.е. Ω_Λ была близка к нулю в постинфляционный период, а плотность материи была близка к единице $\Omega_m \leq 1$. Но это первые мгновения. Далее - расширение и процесс обратный. Излучение падает как $1/a^4$, а плотность вещества как $1/a^3$ (здесь a - масштабный фактор). При $z = 1200$ [7] наступает момент рекомбинации, излучение и вещество расщепляются и реализуется эра вещества (т.е. радиационно-доминированная фаза сменяется на режим материально-доминированной). Иногда это значение красного смещения для Вселенной называют сферой последнего рассеяния. Но первые две фазы (dS \Rightarrow RD) это всего 300.000 лет эволюции Вселенной и до сегодняшнего дня еще (13,8 – 0,0003) млрд. лет. Далее эра вещества, которое расширяется, т.е. его плотность падает до $\Omega_{DM} \sim 0.3$ к настоящему времени, а плотность вакуумной энергии

* Состояние “ничего” имеет геометрию нулевого объёма и обозначает предельно компактифицированное пустое (без частиц) пространство - аналог классической сингулярности.

уже $\Omega_{DE} \sim 0,7$. Конечно, современное $\Omega_{DE} \sim 0,7$ это тот остаток вакуумной энергии, который не “перешел” в частицы, и для нас эта вакуумная энергия – постоянная величина, т.к. “закалилась” она во время последнего релятивистского кварк-глюонного фазового перехода при $T \sim 150$ МэВ т.е. в первые доли секунды эволюции Вселенной. До этой температуры плотность вакуумной энергии, вероятно, изменялась (уменьшалась) скачками в течение релятивистских фазовых переходов т.к. в её плотность энергии вносили отрицательный вклад вакуумные конденсаты квантовых полей.

Если в первые мгновения Вселенная “неистово” расширялась (инфляция), то впоследствии до $z \sim 0,5$, она расширялась с замедлением, т.к. рождённые частицы, скопившись в материальные сгустки (галактики и скопления галактик), своей гравитацией тормозили расширение. Но с $z \sim 0,5$ влияние гравитации ослабло до такой степени, что расширение стало ускоренным (причина общего расширения, как и ускоренного, - вакуумная энергия).

Другой и более распространённой точкой зрения является утверждение, по которому вакуумная энергия уменьшалась со временем в течение всей эволюции Вселенной (не только, и не сколько в её первые мгновения). В этом случае, как мы уже отметили, это квинтэссенция, которую связывают с временной эволюцией скалярного поля. Работ на эту тему – “тьма”, особенно после последнего “революционного” эксперимента WMAP (Wilkinson Microwave Anisotrope Probe [8]). Уже даже существует квинтэссенционный бариогенезис [9].

В США для исследования проблемы тёмной энергии в виду её важности создали 2 новых Ин-та в Стенфорде и в Чикаго. Кроме того, будет запущен специальный космический телескоп (SNAP), и еще два в стадии обсуждения (Einstein and LSST). В России про эксперименты на эту тему говорить не приходится, но зато недавно был сделан хороший обзор о космическом вакууме [10].

Вообще-то, по-видимому, удивляться нечему т.к. если встать на точку зрения, что наша Вселенная родилась как флуктуация в пространственно-

временной пене (т.е. из “ничего”) или как Большой взрыв, как до недавнего времени называли процесс рождения Вселенной, тогда с физической точки зрения всё не так уж и плохо, если учесть, что это был квантово-геометродинамический переход из состояния “ничего”.

Другая доминирующая компонента Вселенной – тёмная материя, содержание которой около 30%. Но и здесь мы не на лихом коне. Сделано уйма предложений по составу этой компоненты. Наиболее вероятными претендентами являются нейтралино, аксионы и нейтрино. Эти претенденты могут быть «горячими» (нейтрино – HDM) или «холодными» (нейтралино и аксионы - CDM), в зависимости от того, были ли они релятивистскими в момент “закалки”. Таким образом в современную эпоху 70% полной плотности Вселенной составляет тёмная энергия, остальные 30% - тёмная материя с примесью барионов. Что же мы знаем в этой науке? Весь “светящийся” мир – звёзды, галактики, скопления и сверхскопления галактик - это барионная компонента, содержание которой есть около 4%. Космология – точная наука, не так ли? Эти вводные замечания были бы неполны, если не коснуться проблем вакуума в различных расширениях “стандартных” моделей космологии и физики элементарных частиц, в первую очередь, в мембранной парадигме, связанной с дополнительными измерениями [11].

В космологии лучше сказать “стандартная модель нашего незнания Вселенной” (хотя, вероятно, некоторые космологи надуют щеки после такого заявления). Идея дополнительных измерений стала притягательной с момента ее введения [12] хотя бы потому, что роль космологической константы в Randall-Sundrum сценарии перемещается к текстурам [13]*.

Кроме того, в качестве новой, правда экзотической, возможности для

* Кроме того идея многомерности пространства-времени стала необходимой в рамках теории суперструн, которая объединит квантовую гравитацию и теорию калибровочных полей.

тёмной энергии введена “твёрдая” (solid) тёмная энергия, т.е. некая новая субстанция первоначального предложения в [14], которая обладает сопротивлением к деформации смещения, гарантирующим ее стабильность по отношению к малым возмущениям. Возможной физической природой «твёрдой» тёмной энергии является плотный ансамбль доменных стенок с малым натяжением [15].

Интересной моделью, но ещё более экзотической, является модель с тахионными полями [16], в которой дается чёткое понимание факта, что Фридмановские уравнения:

$$H^2 = 8 \pi \rho_{\text{tot}} / m_{\text{pl}}^2 + k^2 / a^2 \quad \ddot{a}/a = -4 \pi G_N (\rho_{\text{tot}} + 3p)/3, \quad (1)$$

в которых $\rho_{\text{tot}} = \rho_{\text{vac}} + \rho_{\text{m}} + \rho_{\text{rad}} + \rho_{\text{v}}$; k - определяет кривизну Вселенной-параметр кривизны; H -Хаббловский параметр $H = \dot{a}/a$; $G_N = 1/m_{\text{pl}}^2$ - гравитационная постоянная Ньютона, будут соответствовать ускоренному расширению Вселенной только в среде с отрицательным давлением. Здесь для полноты выпишем и знаменитые уравнения ОТО Эйнштейна:

$$R_{\mu\nu} - (1/2) g_{\mu\nu} R = 8 \pi G_N T_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} \equiv 8 \pi G_N (T_{\mu\nu} + g_{\mu\nu} \rho_{\text{vac}}). \quad (2)$$

Но вернёмся снова к тахионным полям.* Здесь источником отрицательного давления может явиться динамическое скалярное поле с Лагранжианом вида (опять квинтэссенционный сценарий):

$$\begin{aligned} L_{\text{quint}} &= (1/2) \partial_a \phi \partial^a \phi - V(\phi) \\ L_{\text{tach}} &= -V(\phi) [1 - \partial_a \phi \partial^a \phi]^{1/2} \end{aligned} \quad (3)$$

где: L_{quint} - обобщённый Лагранжиан для нерелятивистских частиц; L_{tach} -

* Тахион – отрицательная мода возбуждения вакуума.

обобщённый Лагранжиан для релятивистских частиц. Сравнение результатов работы [16] с данными по сверхновым типа Ia, показывает, что для обоих видов Лагранжиана (3) наша Вселенная могла подвергнуться ускоренному расширению на малых красных смещениях (заметим, что существует даже модель тахионной инфляции в мембранном сценарии [17]). Термин “наша Вселенная” не случаен, т.к. некоторые считают, что есть параллельные Вселенные [18]. Здесь стоит отвлечься ещё раз и пояснить, почему на малых красных смещениях ($z \sim 1 \div 5$) тёмная энергия стала важна. Будем под тёмной энергией с этой части статьи понимать вакуумную энергию (космологическую постоянную) или всё ту же вакуумную энергию, но слабо зависящую от времени, т.е. квинтэссенцию. На высоких красных смещениях $z \gg 1200$ (т.е. в ранней Вселенной) тёмная энергия не была основным компонентом плотности (это была радиационно-доминированная эра), и поэтому она не “отпечаталась” в момент рекомбинации, т.е. ничем себя не проявила (см. также [19-20]), что, конечно, вызывает дополнительные трудности. Сейчас тёмная энергия – основная компонента плотности Вселенной, т.к. из-за расширения плотность материи сильно упала, а вакуумная энергия была практически постоянной (она “закалилась” после последнего фазового перехода в первые доли секунды жизни Вселенной (здесь повтор из-за важности этого факта.))

Для объяснения тёмной энергии в ход пошла даже модель несжимаемой жидкости [21], подчиняющаяся уравнению состояния Чаплыгина $p = -A/\rho$, где: A - положительная величина. Здесь в рассмотрение введена третья производная по масштабному фактору $r = \ddot{a}/aH^3$ и величина $s \equiv (r - 1)/3 (q - 1/2)$ (q - параметр замедления). Два параметра r и s называют “statefinders”. Эту модель уже можно рассматривать как альтернативу к моделям, использующим скалярные поля. Суперинтересное предложение сделано в работе [22], в которой “протекание” гравитонов в объём (в пространство более высоких измерений) заперто в нашей 4-х мерной Вселенной. Результатом такого “конфайнмента” гравитонов авторы работы [22] реализуют другую

альтернативу к принятой интерпретации тёмной энергии, т.е. они получают как бы поправки к Эйнштейновской гравитации, что созвучно с ранней работой по мембранам [23], в которой имел место уже метастабильный 4-х мерный гравитон. Следствием этих поправок к ОТО является универсальная аномальная прецессия всех тел, вращающихся на орбитах (Луна, Марс, двойные пульсары и т.д.). В этой же работе [23] развита идея глобальной космологии (бесконечного пространства более высокой размерности), в котором по локальным гравитационным измерениям в Солнечной системе можно судить о глобальных явлениях в том числе и о тёмной энергии.

Более сложный класс – дилатонные модели тёмной энергии [24]. Ускорительная фаза эволюции Вселенной в этой модели может стартовать уже с $z \sim 0.5$ (более точно, вероятно, с $z \sim 0.67$ [1]). Авторы работы [24] ставят 3 вопроса к существованию доминантности тёмной энергии:

1. Какова физическая природа «новой» компоненты (она была всегда?)
2. Почему плотность тёмной энергии сравнима с плотностью тёмной материи ($\Omega_{DE} \sim 0.7$, $\Omega_{DM} \sim 0,3$)?
3. Как давно наша Вселенная стала расширяться с ускорением?

Здесь же авторы [24] дают некоторые ответы. На первый вопрос ответ, конечно, на феноменологическом уровне, т.к. вероятно это данность, и Вселенная родилась с некоторым «уровнем» скалярного поля, и в ходе эволюции изменение его плотности обязано быть.* Другие два вопроса, по мнению авторов [24], связаны с проблемой совпадений (и это правильно!). Плотность тёмной энергии и тёмной материи сравнимы только в настоящую эпоху (ур-ния состояния, конечно, разные). Кроме того, рост барионных структур уменьшается, когда Вселенная вошла в режим ускорения (при $z < 1$), хотя запрета для их роста, естественно, не было (гравитация работает в любых режимах!). Ускоренное расширение Вселенной, как уже отмечалось, есть недавний феномен (см. также работы [30-31] по исследованию

* Заметим, что в работах [25-29] предложены поля тёмной энергии.

сверхновой SN 1999 ff , которые также подтверждают это). В работе [32] обратились к антропному принципу. Они считают, что уравнение состояния для тёмной энергии $p = -\rho$ выполняется с высокой точностью, и что плотность тёмной энергии выше, чем общепринятое значение $\Omega_{DE} \sim 0.7$. В этом сценарии наша часть Вселенной может, в конце концов, сколлапсировать через несколько триллионов лет.

В работе [33] “обычный” вакуум заменён вырожденным вакуумом, точнее, суперпозицией современного вакуума с θ -вакуумом на масштабе 4×10^{16} GeV (это “изобретение” предложено для объяснения наличия космических лучей сверхвысоких энергий $E > 5 \times 10^{19}$ eV [34]). Здесь центральным элементом является X-частица с массой $m_x \sim 10^{11} \div 10^{15}$ GeV, как холодная конституента тёмной материи, распад которой и даёт космические лучи сверхвысоких энергий (вообще-то это интересный факт, т.к. эффекта Кузьмина-Зацепина как бы и не существует в этой ситуации).

Нельзя обойти молчанием и компактификацию в струнном секторе теории, которая в первой “суперструнной революции” 1984 года ещё использовала Калуцы-Клейна компактификацию в четырёхмерии. В работе [35] эта картина расширена до:

- 1) искажённой компактификации;
- 2) мембранного сценария, в котором браны свёрнуты.

В этой же работе сделано не совсем понятное заявление (лучше сказать непонятное), по которому уроки из физики и космологии предлагают более притягательное решение проблемы тёмной энергии в качестве ее динамической непрерывной эволюции. Т.е. предполагается эволюция вакуума, который в процессе расширения Вселенной может становиться все более разреженным. А какие это уроки? Авторы работы [35] идут дальше, и пытаются всё же выяснить природу “поздней квинтэссенции” $\Omega_q \leq 0,05$. Здесь может быть следует остановиться более подробно, т.к. у поборников и исследователей квинтэссенционной гипотезы есть, вне всякого сомнения, веские аргументы в виде модели скалярного поля с глобальным аттрактором

[36-39]. По их аргументации на каком-то этапе эволюции Вселенной плотность энергии материи и квинтэссенции сравнялись, а т.к. темп разреженности разный у материи и у такого вакуума (если он (темп разреженности) вообще есть у вакуума), то на определённом этапе квинтэссенция стала превалировать и Вселенная стала ускоряться, а материя (в данном случае тёмная компонента) “как всегда” разрежается по закону $1/a^3$ (этот закон для сферической геометрии, конечно). Обсуждение топологии Вселенной уведёт нас слишком далеко в сторону от главной темы. Авторы [35] считают также, что квинтэссенция (эволюционирующий вакуум) влияла на флуктуации тёмной материи и барион-фотонного поля. Конечно, это так. В этой же работе авторы пытаются найти эти следы в ряде данных эксперимента WMAP.

Последний из обозреваемых вариантов тёмной энергии есть фантомная энергия. Это когда $w < -1$ [40] (напомним, чтобы Вселенная могла расширяться ускоренно, необходимо чтобы $w < -1/3$). Эта фантомная энергия имеет странные свойства. В частности, её плотность энергии увеличивается со временем, что нарушает условие энергодоминантности [41-42], которое запрещает машину времени и кротовые норы. Фантомная энергия введена также для струн и мембран [43-44]. Но самым фантастическим моментом в сценариях с фантомной энергией является необычность судьбы Вселенной, если $w < -1$ (и ещё раз напомним, что в случае $-1 < w < -1/3$ расширение будет продолжаться вечно, но в этом случае масштабный фактор растёт быстрее, чем горизонт). С фантомной энергией Фридмановское уравнение, управляемое зависимым от времени масштабным фактором $a(t)$ имеет вид:

$$H^2 \equiv (a'/a)^2 = H_0^2 [\Omega_{DM} a^{-3} + (1 - \Omega_{DM}) a^{-3(1+w)}] \quad (4)$$

При $\Omega_{DM} \sim 0.3$ $\Omega_{DE} \sim 0.7$. Вселенная уже тёмно-энергодоминирована, и если $w < -1$, то в будущем она станет еще более тёмно-энергодоминированной

(какой высокий стиль!). Простейшая оценка даёт, что при $w = -3/2$ и $H_0 = 70$ (км/с)/Мpc, и время, которое осталось до большого разрыва (big rip) есть около 22 млрд. лет. Все гравитационно-связанные объекты (Солнечная система, Млечный путь, Локальная группа галактик) разорвутся со временем также, как атомы и молекулы [40].

Вероятно, отдельно надо коснуться работ R.Kallosh и A.Linde [45-47] по тёмной энергии, которые тесно связаны с судьбой Вселенной (возможно это самые серьёзные из обзораемых работ по тёмной энергии). Сколько физиков печётся о судьбе Вселенной? В работе [46] в части аргументации антропного принципа сделано утверждение, что инфляционирующая Вселенная, состоящая из многих доменов с отличными значениями фундаментальных констант, может быть рождена и с различными значениями констант связи и в различные квантовые состояния. Здесь уместно вспомнить идею о самоорганизации вакуума и мысль Р.Пенроуза, что квантовая эволюция необратима. Но вернёмся к работам А.Линде. Их основным выводом является утверждение, что некоторые расширения теории супергравитации с де Ситтеровскими решениями (dS), позволяют усилить антропные ограничения на космологическую константу. Кроме того, А.Линде предлагает рассмотреть теории с нестабильными вакуумными состояниями. “Плохой” новостью в работе [46] является вывод, что наша часть Вселенной сколлапсирует через ближайшие $10 \div 20$ млрд. лет, т.к. тёмная энергия в конце концов станет отрицательной (заметим, что отрицательной тёмная энергия может стать только в моделях супергравитации, описывающих настоящую стадию ускоренного расширения Вселенной). В работе [47] выписаны 3 основные сценария эволюции Вселенной, заполненной тёмной энергией (здесь опять неизбежен некий повтор):

1. С чисто феноменологической точки зрения тёмная энергия ρ_{DE} представляется положительной вакуумной энергией (космологической константой) $\rho_{DE} \sim 0.7 \rho_0$. Если это так (а это так!), то Вселенная достигнет

де Ситтеровского режима (dS) и будет экспоненциально расширяться неопределённо долго [$a \sim \exp(Ht)$]. Эта возможность наиболее вероятная.

2. Тёмная энергия есть энергия медленно изменяющегося скалярного поля Φ с уравнением состояния $p = w \rho_{DE}$ с $w \sim -1$, которое в конце концов исчезнет, когда поле “скатится” к $\Phi = \infty$. В этом случае после транзитной де Ситтеровской стадии скорость расширения Вселенной уменьшится и Вселенная достигнет режима Минковского.

3. Также вероятно, что $V(\Phi)$ имеет минимум на $V(\Phi) < 0$ или не имеет минимума вовсе, когда поле свободно падает к $\Phi = -\infty$. В этом случае Вселенная в конце концов сколлапсирует (это легко увидеть из простейшей версии Фридмановского уравнения в единицах, в которых $m_{pl}=1$, $(\dot{a}/a)^2 = \rho/3$, т.к. настанет когда-то момент, при котором полная плотность энергии упадёт до нуля и расширение остановится.

Эти 3 основных сценария эволюции Вселенной радикально отличаются от тех, с которыми мы имели дело раньше (плоская, открытая и закрытая модели). В работе [47] описывается также “стандартное” предложение, что наше пространство-время есть 11 или 10-мерное, а 7 или 6 измерений скомпактифицировались. Для компактификации требуется конечный объём, чтобы связать с $D=11$ или $D=10$ теории с $D=4$ теорией. Трудный момент есть вопрос стабилизации компактифицированного пространства, также как и вопрос об ускоряющейся Вселенной (т.е. выход на dS режим) с плотностью энергии медленно приближающейся к нулю.

В работе [48] вырисовывается новая роль Λ -члена. Объявляется, что плотность энергии вакуума может быть фундаментальным параметром, который характеризует различные суперсимметричные теории квантовой гравитации (их ещё называют “moduli space theories”). Если космологическая константа положительна, то суперсимметрия должна быть нарушена и, кроме того, малость космологической константы предсказывает наличие для частиц суперпартнёров в TeV области.

Итак, космологическая константа это «чистый вакуум» (а мы полагаем, что это так), и этот вакуум закалился, как уже отмечалось, после последнего релятивистского фазового перехода, когда образовался кварк-глюонный вакуумный конденсат [49]. Хотя, конечно, этот вакуум содержит все вакуумные подсистемы, и в виду нелинейности самой вакуумной системы, больше как о феноменологическом понимании его малости, сказать пока нечего. И ещё раз представим наше понимание: произошла частичная компенсация “остатка” *) положительной вакуумной энергии отрицательными вакуумными конденсатами, которые образовались при охлаждении Вселенной в течение релятивистских фазовых переходов, когда Вселенная теряла симметрию. Простейшая цепочка (релятивистских фазовых переходов), которую мы неоднократно обсуждаем, начиная с работы [50], может быть:

$$\begin{aligned}
 P &\Rightarrow D_4 \times [SU(5)]_{\text{SUSY}} \Rightarrow D_4 \times [SU(3) \times SU(2) \times U(1)]_{\text{SUSY}} \Rightarrow \\
 &10^{19} \text{ GeV} \qquad \qquad 10^{16} \text{ GeV} \qquad \qquad \qquad 10^5\text{-}10^6 \text{ GeV} \\
 &\Rightarrow D_4 \times SU(3) \times SU(2) \times U(1) \Rightarrow D_4 \times SU(3) \times U(1) \Rightarrow D_4 \times U(1), \\
 &\qquad \qquad \qquad 10^2 \text{ GeV} \qquad \qquad \qquad 150 \text{ MeV} \\
 &\qquad \qquad (5)
 \end{aligned}$$

в которой вакуумные подсистемы влияли друг на друга. Этот процесс компенсации мы назвали процессом самоорганизации вакуума [49]. Но продолжим обсуждение различных квантовых режимов, которые должна характеризовать космологическая константа. При отрицательных значениях Λ она (космологическая константа) может определять плотность высокоэнергетических состояний в AdS/CFT системах. При положительных значениях Λ квантовая теория пространства dS отсутствует (в противоположность к AdS), и здесь любые утверждения проблематичны. Новая роль Λ – как фундаментального параметра предполагает, что мы отказываемся объяснять её значение ($\Omega_{\text{DE}} \sim 0.7 \sim 10^{-29} \text{ г/см}^3$) другим, чем

*) Основная часть вакуумной энергии пошла на образование частиц.

антропным способом [46]. Вероятно, связать вакуум струнной теории с проблемой тёмной энергии в прямую очень сложно. Но как всегда имеются некоторые возможности, например, в мембранной парадигме. В сценариях с большим (но конечным) числом измерений аргументы стандартной полевой теории неизбежно приводят к большой величине космологической постоянной. В теориях с бесконечными размерностями возникают сингулярности, и дела также плохи. В конце концов загадка действительного значения Λ должна быть разрешена только антропными резонами вероятно. Это может быть Мета-теория, которая образует некоторое вероятностное распределение размеров Гильбертова пространства, описывающего конкретную Вселенную.

Заметим другой раз, что идея компенсации космологической константы высказывалась ранее неоднократно (см. [5]), и здесь мы не были оригинальны. Сделаем ещё несколько “глубоких” замечаний с точки зрения геометризации физики без привлечения великих имён. Вакуум это не пустота, и это уже концептуальное положение современной физики, особенно если геометризовать физику все больше и больше. Тогда вакуум это состояние, в котором геометрия пространства-времени не деформирована. Как известно, в теории гравитации Эйнштейна гравитационное поле есть мера искривления пространства-времени, а все физические поля участвуют в этом процессе искривления или в реакции на это искривление.

Но электромагнитное, слабое и сильное взаимодействия связаны не с искривлением 4-х мерного пространства-времени, а с искажением другой геометрии, т.е. с расслоением пространства-времени. Для компенсации кривизны физического пространства вводятся символы Кристоффеля, а для компенсации кривизны слоёв зарядовых пространств, в которых действуют операторы той или иной группы взаимодействия, вводятся калибровочные поля, компенсирующие изменение локальной системы координат в каждой пространственно-временной точке. Причем трём типам взаимодействий

соответствуют различные типы расслоений. Конечно, есть и альтернативный подход к интерпретации расслоений 4-х мерного пространства-времени, который основан опять-таки на представлении о дополнительных пространственных измерениях. Не исключено, что наш мир многомерен, но для выхода в дополнительные измерения у нас недостаточно энергетических ресурсов (само существование дополнительных измерений, т.е. их проекция на наш 4-х мерный мир, проявляется векторными силовыми полями). Возвращаясь к расслоениям, еще раз подчеркнём, что в целом слоистая структура представляет собой квантовую суперпозицию совершенно различных субструктур, соответствующих принципиально разным состояниям квантовых силовых полей и непрерывно переходящих друг в друга. Другими словами, эти структуры задают состояние физического вакуума и их называют вакуумными конденсатами. Заметим, что вопросы геометризации физики (конкретно – расслоения) хорошо описаны в работе [51].

Отдельным пунктом также следует отметить работу японских коллег [52]. Авторы работы [52] предлагают унифицированную модель DE и DM в контексте космического фазового перехода. Они понимают, что ключевой структурой тёмной энергии должно быть объёмно (пространственно) независимое отрицательное давление, которое гарантирует ускоренное расширение. И таким единственным классическим объектом с отрицательным давлением могут быть только скалярные поля, т.е. рассматривается Бозе-Эйнштейновский конденсат бозонного поля с притягивающим потенциалом как DE, а возбуждения этого конденсата как DM. Любопытным моментом в этой модели является то, что наибольший масштаб Вселенной (DE- как Бозе конденсат) и наименьший (режим квантовой гравитации) описываются методами квантовой механики. Кроме того, этот Бозе-Эйнштейновский конденсат медленно эволюционирует (дробясь), и когда плотность энергии его “кусков” превысит некоторое критическое значение, он быстро коллапсирует в бозонные звёзды и чёрные

дыры, которые “работают” как стандартные CDM- компоненты. Процесс дробления повторяется много раз, и здесь налицо Λ CDM модель, в которой реализуется саморегулируемая критическая Вселенная (здесь чёрные дыры являются зародышами первых галактик). Мы ещё вернёмся к проблеме тёмной энергии в пункте 5.

3. Тёмная материя

Но перейдём более подробно к обсуждению тёмной материи, т.к. скорое экспериментальное обнаружение её компонент (или компоненты) неизбежно (см. [53-55]). Представим последние данные на плотность тёмной материи и её компонент, взятые из недавнего обзора P. Framton [55].

$$\Omega_{DM} = 0,27 \pm 0,016; \Omega_b = 0,048 \pm 0,0018$$

$$\Omega_{HDM} < 0,0152 \text{ (95\%CL)}; \Omega_{CDM} = 0,223 \pm 0,016$$

$$\Omega_\Lambda = 0,72 \pm 0,08$$

Заметим, что значения плотностей материи и энергии в настоящее время определяются по температурным флуктуациям реликтового излучения (CMB); по далёким сверхновым типа IA; по распределению галактик в крупномасштабной структуре Вселенной (LSS); по обилию лёгких элементов (BBN). Два вида тёмной материи существует: барионная (чёрные дыры, “коричневые” карлики, преонные звезды) и небарионная (массивные нейтрино, нейтралино, аксион или экзотические частицы). Небарионная компонента должна состоять из стабильных частиц, либо эти частицы должны иметь время жизни больше, чем возраст Вселенной (13.8 млрд. лет). Астрономический аспект проблемы тёмной материи хорошо описан в работе [53]. Так как $\Omega_b \sim 0,048$, $\Omega_{DM} \sim 0.27$, $\Omega_{stars} \sim 0.005$, то из элементарного анализа (вероятно поверхностного) следует, что небарионная компонента тёмной материи должна превалировать. Кроме того, имеет место и не прямая поддержка точки зрения, что тёмная материя возможно небарионная. Эта точка зрения связывается с ростом возмущений плотности, которые в барионной модели тёмной материи не дают “нужной” скорости роста этих

возмущений [53] до момента рекомбинации ($z \sim 1200$). После рекомбинации барионы “падают” в потенциальные ямы, которые создала для них небарионная компонента тёмной материи. Заметим, что рост структур из-за гравитационной неустойчивости зависит как от природы начальных возмущений (адиабатических или энтропийных), так и от типа частиц тёмной материи («холодных» или «горячих»), т.е. это CDM и HDM частицы (напомним, что если в момент “заковки” эти частицы имели релятивистские скорости, тогда это HDM частицы, если они имели в момент “заковки” нерелятивистские скорости, тогда это CDM – частицы). Но в обоих случаях «окончательный» спектр возмущений плотности отличается от своего первоначального вида. Примером HDM частицы является лёгкое нейтрино ^{*)}. Наблюдательное ограничение на массу лёгких нейтрино $\sum m_\nu < 0.7 \text{ eV}$, а на плотность реликтовых нейтрино $10^{-3} \leq \Omega_\nu h^2 < 10^{-1}$ [54] (здесь h – нормированная на сто, постоянная Хаббла). К настоящему времени оперируют с SCDM (стандартной холодной тёмной материи) и ее вариантом Λ CDM, в которой в дополнении к CDM во Вселенной имеет место космологическая константа (что, конечно, более правильно).

Но обсудим более аккуратно все компоненты. Начнём с барионной компоненты. Проведён эксперимент EROS2 [56] (практически все эксперименты – большие международные коллаборации) по поиску MACHO (массивные компактные гало объекты). Этот эксперимент основан на эффекте, который предсказал А.Эйнштейн, т.е. на отклонении лучей света полем тяготения (гравитационное линзирование). Данные по микролинзированию 25 млн. звёзд от Большого и Малого Магелланового облака дали следующие ограничения на массу MACHO объектов, которые имеют массу от 10^{-2} до $10^{-6} M_\odot$ при процентном содержании: $< 10\%$ коричневых карликов; $< 15\%$ объектов с массой $0,5 M_\odot$; $< 15\%$ старых белых карликов ($M_\odot \sim 2 \times 10^{33} \text{ г}$). Но общий вывод, хоть и даны только одни

^{*)} Массивные нейтрино с массой GeV или выше это уже CDM – частицы.

ограничения на массы, есть, что в тёмной материи барионная компонента наличествует обязательно. Кроме того, во Вселенной могут существовать неизлучающие остатки чёрных дыр планковских масс ($\sim 10^{-5}$ г) и преонные звёзды с массой $\sim 10^2 M_{\oplus}$ ($M_{\oplus} \equiv M_{\text{земли}} \sim 6 \times 10^{27}$ г) [57] (всё это входит, конечно, в состав барионной компоненты). Но вернёмся опять к нейтрино, как основному представителю HDM компоненты тёмной материи.

Вероятно наступил период прецизионной нейтринной физики. В работах [58] отмечается, что открытие осцилляций является поворотным пунктом нашего понимания природы нейтрино и это открытие [59] поставило нейтринную физику в центр внимания физического сообщества. Существование малых масс нейтрино вероятно подтвердило теоретические ожидания начала 80 годов, в которых “seesaw” механизм индуцирует как лёгкое, так и сверхтяжёлое нейтрино, но некоторые “нейтринные вызовы” на будущее, конечно, остались. Среди них: величина нарушения CP в нейтринных осцилляциях, существование безнейтринного двойного β -распада (тогда нейтрино – частица Майорана) и абсолютная шкала нейтринных масс.

Если открытие осцилляций сняло вопрос о массивности нейтрино, то вопрос об абсолютной величине масс нейтрино всё ещё открыт. Существует 3 основные пути определения масс и ограничений на массы. Это, во-первых, ограничения из космологии, во-вторых, это прямой кинематический поиск массы нейтрино в распаде трития и, в-третьих, это безнейтринный двойной β -распад.

Но ввиду важности обсудим всё по порядку. Итак, часть нейтрино имеет малую массу вероятно симметричного происхождения. Это утверждение основано на теоретических и осцилляционных аргументах. Осцилляционные эксперименты связаны с атмосферными, реакторными и солнечными нейтрино. Коллаборация Super-Kamiokande (Super-K) без сомнения установила наблюдаемый дефицит в атмосферных μ -нейтрино (этот дефицит связан с осцилляциями и этот эксперимент был повторен КЕК-

Kamioka (K2K), а также MACRO и SOUDAN коллаборациями (все основные ссылки на осцилляторные эксперименты даны в работах [59]).

$$\delta m^2_{\text{atm}} = 0.002 \text{eV}^2 \quad \delta m^2_{\text{sol}} = 8.0_{-0.6}^{+0.7} \times 10^{-5} \text{eV}^2 \quad (6)$$

“Глобальный” анализ данных по нейтринным осцилляциям, выполненный Gonzalez-Garcia и Maltoni в работе [58] по обработке реакторных и солнечных экспериментов в KamLAND и в SNO*, даёт подобный результат- $\Delta m^2 = 7.1 \times 10^{-5} \text{eV}^2$, хотя после “чистки” они получили результат $\Delta m^2 = 2.2 \times 10^{-3} \text{eV}^2$, совпадающий с результатом Super – K (интересный вопрос – длина, на которых нейтринные осцилляции возникают). Авторы этой работы даже находят связь $\Delta m^2_{\text{sol}} = \Delta m^2_{\text{atm}}$, хотя имеет место малый параметр $\alpha \equiv \Delta m^2_{\text{sol}} / \Delta m^2_{\text{atm}}$, который характеризует силу CP нарушения в нейтринных осцилляциях, т.е. как раз нарушение вышеупомянутой связи.

В работе Maltoni и др [59] суммируются данные по нейтринным осцилляциям на уровне 3σ :

$$\Delta m^2_{2,3} = (1.4 \div 3.3) \times 10^{-3} \text{eV}^2 \quad \Delta m^2_{1,2} = (7.2 \div 9.1) \times 10^{-5} \text{eV}^2 \quad (7)$$

Следует сказать о новых осцилляционных экспериментах, которые будут выполнены в экспериментах с длинной базой, таких как: MINOS, CNGS, ICARUS и OPERA (в этих экспериментах будут охотиться за $\nu_{\mu} \Rightarrow \nu_e$ осцилляциями (см. работу Balantekin и др. в [59])).

Ограничения из космологии чувствительны ко всем трём массовым состояниям нейтрино (т.е. к полной массе нейтрино), но космология не даёт значения углов смешивания или возможных CP нарушениях фаз:

* Солнечные нейтрино наблюдаются в экспериментах коллабораций GALLEX, SAGE, SNO, Super – K

$$\Sigma_i m_i \sim 0.42 \div 1.7 \text{ eV} \quad (95\% \text{ CL}). \quad (8)$$

Эти границы идут от обработки данных с WMAP (СМВ эксперимент) и от LSS (крупно-масштабной структуры), от распределения галактик из SDSS (Слоан цифровой обзор неба), из данных от HST (телескопа Хаббла) и SNIA данных. Ключевые ссылки даны в работах [60]. Заметим, что сейчас плотность каждого сорта нейтрино около 112 см^{-3} и в (8) – это верхняя граница на сумму нейтринных масс.

В.Лобашёв по β - распаду трития в эксперименте в Троицке [61] даёт следующее ограничение на массу электронного антинейтрино:

$$m_{\nu} < 2.05 \text{ eV} \quad (95\% \text{ CL}) \quad (9)$$

Коллаборация KATRIN (Карлсруэ тритиум нейтринный эксперимент) обещает в 2008 году иметь нейтрино-масс чувствительность $\sim 0.35 \text{ eV}$ [61]. Интересные перспективы и в безнейтринном двойном β -распаде ($\beta\beta_{0\nu}$), в котором текущая эффективная Майоранова масса нейтрино [62] есть:

$$m_{ee} \leq 0.3 \div 1 \text{ eV} \quad (10)$$

(уже обсуждаются эксперименты с чувствительностью $m_{ee} \sim 0.05 \text{ eV}$ [62]).

Klapdor-Kleingrothaus [62] даёт ограничения на верхнюю границу нейтринных масс $m_{\nu} < 0.3 \div 1.62 \text{ eV}$, также по двойному безнейтринному β - распаду (отметим, что безнейтринный двойной β -распад идёт с несохранением лептонного числа и если он будет доказан, то это будет явное указание на суперсимметрию, т.к. несохранение лептонного числа (как и барионного) – есть одно из ярких предсказаний SUSY-теорий).

Но, вообще-то, природа нейтринных масс до сих пор хорошо не понята.

Здесь я уделил столь большое внимание определению массы нейтрино, чтобы показать, что, говорить больше о нулевой массе нейтрино не имеет смысла т. к. имеется прямая очевидность нейтринным осцилляциям. Потоки нейтрино наблюдаются и измеряются различными путями в глубоких шахтах (SNO в Канаде, Баксан в России, Boulby в Англии, Gran-Sasso в Италии, Kamioka в Японии), в реакторных экспериментах (см. также Mikaelyan [59]), в каскадах вторичных космических лучей, от Солнца и от сверхновых. Общий вывод должен быть: основная компонента HDM составляющей тёмной материи – нейтрино, вносит определённый и исчезающе малый вклад в плотность тёмной материи.

Но перейдём к основным CDM компонентам тёмной материи, представителями которой есть нейтралино и аксион (эти частицы появляются из расширения стандартной модели). Вероятно, это более экзотические частицы, чем нейтрино, но в таком определении эти частицы не будут очень долго. Другие возможности для частиц тёмной материи, которые мы не обсуждаем, включают wimpzillas, Калуцы-Клейна тёмная материя, не топологические солитоны (Q-balls) [63] и т.д. Но наиболее предпочтительные кандидаты, как уже отмечалось, для небарионной компоненты тёмной материи являются нейтралино и аксион.

Нейтралино - χ , слабо-взаимодействующая массивная частица (WIMP) могла возникнуть в ранней Вселенной, если суперсимметрия имела место. Суперсимметрия естественным образом может решить проблему тёмной материи, т.к. в большинстве минимальных SUSY-моделей легчайший суперпартнёр является абсолютно стабильным, что связано с сохранением R-чётности. Вероятно на ранних стадиях эволюции Вселенной суперчастицы, попарно рождаясь, быстро распадаются, образуя наряду с обычными частицами легчайшие суперсимметричные частицы. Они должны быть незаряженными и не обладать сильным взаимодействием, чтобы не нарушать BBN (см. обзор Высоцкого и Невзорова в [64]). Этим требованиям удовлетворяет нейтралино, описываемое майорановским спинором.

Волновая функция нейтралино состоит из суперпозиции волновых функций четырёх суперсимметричных частиц: двух *gaugino* и двух *higgsino*. Если нейтралино составляют гало нашей Галактики, тогда их плотность $n_{\chi} \sim 0,3 / m_{\chi} [\text{GeV}] \text{cm}^{-3}$. Коснёмся астрономического аспекта более подробно. Тёмная материя, до некоторого времени, проявляла себя лишь в больших масштабах в наблюдении динамики и гравитационного линзирования крупномасштабных структур. Новым моментом явились эксперименты по микролинзированию, которые выявили в гало нашей Галактики наличие значительного количества невидимых объектов с $M \sim (0,05 \div 0,8) M_{\odot}$ (см. Alcock et al, в [64]). Гуревич и Зыбин в [64] высказали гипотезу, что при микролинзировании могут наблюдаться не планеты типа Юпитера или холодные звёзды, а объекты мелкомасштабной иерархической структуры тёмной материи, состоящие из небарионного вещества*. Эти объекты мелкомасштабной ($R \sim 10^{14} \div 10^{15}$ см) иерархической структуры охватывают область масс $M \sim (0,01 \div 1) M_{\odot}$. Речь идёт о существенно неоднородном распределении плотности нейтралино в гало или даже о существовании нейтралинозвёзд. Мелкомасштабные объекты из нейтралино в гало также изучались Berezhinsky et al, в [64]. В этих работах предлагается наблюдать продукты аннигиляции нейтралино из галактического гало – фотоны, позитроны, антипротоны или нейтрино. На поиски продуктов аннигиляции χ и $\bar{\chi}$ направлены усилия 7! подземных лабораторий [64]. Сигнал от аннигиляции нейтралино должен быть в районе $100 \div 200 \text{ GeV}$. Их вклад в полную плотность Вселенной лежит в пределах $0,1 < \Omega_{\chi} h^2 < 0,3$ и сечение:

$$5 \times 10^{-8} \text{ pb} < \sigma_{\chi} < 5 \times 10^{-10} \text{ pb} \quad (1 \text{ pb} \equiv 10^{-36} \text{ cm}^2) \quad (11)$$

* Бездиссипативное тёмное вещество играет определяющую роль в образовании крупномасштабной структуры Вселенной – галактик, скопления галактик и сверхскоплений (см. обзор Гуревич, Зыбин, Сирота в [64]).

Так как нейтралино взаимодействует с веществом только за счёт слабых взаимодействий, то они не регистрируются детекторами в ускорительных экспериментах, унося значительную часть энергии и импульса сталкивающихся частиц. Здесь сигналом рождения суперчастиц является несохранение полной энергии и импульса. На поиск нейтралино нацелены эксперименты таких нейтринных групп как: SUPERKAMIOKANDE, BAIKAL, ANANDA, BAKSAN, а также эксперимент ANTARES, который планируют провести в Средиземном море. Этот эксперимент предполагает регистрацию вторичных продуктов распада нейтралино, т.е. регистрацию нейтрино. Главный институт этого проекта – Центр Физики частиц в Марселе (в эту коллаборацию, кроме французских учёных, входят их коллеги из Англии, Италии, Испании, Нидерландов и России). Таким образом, прямых доказательств существования суперчастиц до сих пор не получено (2005 год), но их поиски остаются одной из главных задач, как на действующих, так и на проектируемых ускорителях.

Аксион был постулирован более 2-х десятилетий назад для объяснения сохранения в сильном взаимодействии P и CP симметрии, несмотря на то, что в стандартной модели (в электрослабом секторе) эти симметрии нарушаются. Печи и Куин [65] предложили решить “сильную CP проблему” введением новой глобальной симметрии $U_{PQ}(1)$, и аксионы, как Nambu-Goldstone бозоны, в этом случае ассоциируются со спонтанным нарушением этой симметрии. Аксион имеет нулевой спин, нулевой электрический заряд и отрицательную внутреннюю чётность. Масса аксиона равна:

$$m_a \sim 6 \times 10^{-6} \text{ eV} (10^{12}/f_a) \quad (12)$$

и если свободная константа связи $f_a \leq 10^{12} \text{ GeV}$ (её ещё называют распадной константой), тогда плотность аксионов не будет превышать критическую плотность Вселенной. В этой ситуации $m_a \sim 10^{-5} \text{ eV}$. Эта частица, как представитель CDM компоненты тёмной материи, могла быть образована в

QCD фазовом переходе в ранний период эволюции Вселенной. Аксионы могут быть обнаружены в лаборатории, стимулируя их конверсию в два микроволновых фотона сильным магнитном поле (см. Sikivie [65]). Лагранжиан этого процесса есть:

$$L_{a\gamma\gamma} = g_\gamma (\alpha/\pi f_a) a(x) \mathbf{E} \cdot \mathbf{B}, \quad (13)$$

в котором $a(x)$, \mathbf{E} , \mathbf{B} – аксионовое, электрическое и магнитное поля, α – постоянная тонкой структуры, g_γ – модельно зависимый фактор порядка единицы (в модели KSVZ [65] $g_\gamma = -0,97$, а в модели DFSZ [65] $g_\gamma = 0,36$). Гало аксионы вероятно также могут быть обнаружены. Duff et al, [65] искали дискретные потоки гало аксионов на определённых скоростях без положительного результата. Следствием существования дискретных потоков есть образование каустик (см. Sikivie [65] за 1999 год). Т.е. искали пички в спектре микроволнового излучения, которые возникали при цифровой симуляции образования галактического гало. В эксперименте Duff et al магнитное поле было $7,8 \times 10^4$ Гс. Предполагалось, что гало аксионы имеют скорость 3×10^7 см/сек и дисперсию скоростей $\delta V_a \sim 10^{-6} (10^{-5} / m_a)^{5/6}$ см/сек. Аксионовая массовая частота здесь $\nu_a \equiv m_a c^2 / h = 500$ МГц. В ЦЕРНЕ идёт эксперимент CAST (CERN Axion Solar Telescope), в котором используется ЛНС тестовый магнит с полем $B \sim 10^5$ Гс и который установлен на движущейся платформе длиной в 10 метров. Планируемая чувствительность для аксион-фотонной связи $\sim 5 \times 10^{-11} \text{ GeV}^{-1}$, если $m_a < 10^{-2} \text{ eV}$. Следует также отметить, что пилотные эксперименты по поиску солнечных аксионов (проект Майорана), использующие Брэгг-Примаков конверсию аксионов в рентгеновское излучение, были выполнены в Аргентине и Испании. Кроме того, в США готовится также эксперимент ADMX по регистрации реликтовых аксионов (аксион DM эксперимент см. [65]). Существует ещё

один интересный факт, на который обратил моё внимание Ю.Н. Гнедин и который связан с аксионами. Суть его в том, что фотоны, распространяясь в межгалактической среде с магнитным полем $\sim 10^{-9}$ гс, могут осциллировать в очень лёгкие аксионы $m_a \sim 10^{-16}$ eV. Т.е. эти осцилляции приводят к исчезновению фотонов, которые идут от далёких сверхновых, делая их (сверхновые) ещё более удалёнными (Csaki et al [65])* . Но ведь на наблюдениях далёких сверхновых ($z \sim 1$) основаны все выводы о настоящем ускоренном расширении Вселенной. Правда в недавней публикации (Raffelt et al, [65]) указывается на ослабления этого эффекта, если учесть СМВ и QSO ограничения.

Массивные частицы (нейтрино, нейтралино, аксион) могут скапливаться в гало галактик и в их плоскостях, т.к. они подвержены влиянию гравитации (хотя, и это главное, частицы тёмной материи обнаруживают себя по их гравитационному влиянию, более точно, кривые вращения галактик «простираются» в области, где нет светящейся материи). Но, вероятно, тёмная материя может быть и не скопленная [66]. Остановимся на этом феномене более подробно, т.к. это имеет прямое отношение и к тёмной энергии. Как известно, удовлетворительного решения проблемы квантовой гравитации пока нет, хотя много интересных приближений сделано, в то время как гравитация среди фундаментальных взаимодействий играет центральную роль, как возможный определитель самого пространства-времени. Интересный вопрос найти внутреннюю структуру гравитационного вакуума, стартуя с квантового режима, точнее, найти те топологические дефекты, которые могли появиться любой геометрической конфигурации и размерности, либо после первого релятивистского фазового перехода (см. цепочку фазовых переходов (5)), либо в результате “дефектного” рождения Вселенной из “ничего”. Рождение Вселенной в этом контексте

* Отметим другой раз, что имеется огромная разница между массой хромодинамического аксиона и массой аксиона в этом эффекте.

представляет собой квантово-геометродинамический переход из состояния “ничего” ($a=0$) в состояние замкнутого 3-х мерного пространства малых, но конечных размеров, заполненного некоторым количеством частиц и полей (заметим, что гипотеза Виленкина, Грищука и Зельдовича о рождении Вселенной из “ничего” в настоящее время, вероятно, есть установившийся факт). Конечно, геометродинамический переход из “ничего” в состояние замкнутого пространства более высокой размерности, чем $D=3$, в принципе, возможен (возможно даже, что наша Вселенная 3-х мерная мембрана в пространстве более высокой размерности [67], и всё дело в вероятности этого геометродинамического перехода). Общие представления о топологических структурах (дефектах) гравитационного вакуума в 3-х мерном пространстве следующие:

$D=3$ (3-х мерные топологические структуры – кротовые норы);

$D=2$ (2-х мерные топологические структуры – микромембраны);

$D=1$ (1 мерные топологические структуры – микроструны);

$D=0$ (точечные дефекты (газ массивных частиц – монополей)).

И, конечно, гравитационный вакуум содержит и коллективные возбуждения – квантовые волны фононного типа. Еще несколько лет назад всё вышесказанное относительно гравитационного вакуума должно было бы рассматриваться не иначе как ересь и антинаука. Для изменения позиции, во-первых, понадобились данные наблюдательной космологии, вероятно свидетельствующие не только о существовании тёмной материи и Λ -члена, но и особой вакуумной подсистемы – квинтэссенции, которая одновременно и нестационарна и неструктурирована. Если отсутствие структуризации – принципиальное свойство нестационарного объекта, лежащее в основе его природы, то такой объект обязан быть лоренц-неинвариантным. Во-вторых, (по крайней мере у нас) возникло понимание того, что лоренц-неинвариантные эффекты тесно связаны с параметризационной неинвариантностью квантовой геометродинамики, которая является внутренним неустранимым свойством теории. Эти два факта – один

наблюдательный, а другой теоретический удалось связать в предложенной феноменологической модели гравитационного вакуума. Кроме того, мы использовали и интуицию, связывая возникновение квинтэссенции с эволюцией квантовых топологических дефектов различной размерности. Здесь нам на помощь приходят и некоторые аналогии с квантовой хромодинамикой (КХД), в которой изучены квантовые топологические дефекты в расслоениях пространства-времени т.е. псевдочастицы-инстантоны, не способные к макроскопическим перемещениям. По аналогии с КХД можно предположить, что квантовые топологические дефекты различной размерности в искривлениях пространства времени также не способны к макроскопическим перемещениям, и именно это свойство обеспечивает неспособность вакуумной квинтэссенции к структуризации. Здесь понятна и квантово-топологическая природа эффекта нарушения лоренц-инвариантности. Действительно, свойство лоренц-инвариантности относится к 4-многообразию, объединяющему 1-мерное время и 3-х мерное пространство. Если учитывать квантовые топологические дефекты с пространственной размерностью $D=3$, которые естественны для лоренц-инвариантного многообразия, то вклад этих дефектов (кротовых нор) в вакуумный ТЭИ сводится к лоренц-инвариантному Λ -члену. Но как только мы начинаем рассматривать квантовые топологические дефекты с “неестественными” размерностями $D=2, 1, 0$, то сразу получаются лоренц-неинвариантные вклады в вакуумный ТЭИ.

Вероятно мы должны постулировать “дефектное” рождение Вселенной, если она была рождена из “ничего”, хотя дефекты могли родиться в процессе первого релятивистского фазового перехода. Но принимая во внимание 2-ое начало термодинамики, Вселенная должна была родиться в симметричную конфигурацию высокого порядка, а дефекты появились позже (после первого релятивистского фазового перехода). И только после рождения дефектов Вселенная подверглась стадии быстрого расширения (инфляции). В конце концов, дефекты сгладились, растянулись и раздробились. Некоторые

дефекты выжили, и сейчас они воспринимаются как Λ -член и квинтэссенция (члены – аналоги тёмной материи $1|a^3$ и излучения $1|a^4$ в μ (а) возникают также). Таким образом, гравитационная вакуумная энергия имеет несколько компонент, которые можно отождествить с Λ -членом (квинтэссенцией) и с тёмной материей (в отличие от общепринятой точки зрения, по которой квинтэссенция есть скалярное поле с отрицательным давлением [68], а космологическая константа (Λ -член) – регулируемая величина [69-70], которая ассоциируется с вакуумной энергией с уравнением состояния, в котором $w = -1$). Заметим, что здесь речь шла о топологических дефектах планковских размеров.

В заключении этого пункта отметим, что в работе [71] обсуждается Λ CDM (т.е. стандартная бесстолкновительная холодная тёмная материя) для объяснения эволюции космических структур на больших масштабах (см. также работу Гуревич, Зыбин [64]). В этой же работе предлагается наблюдательная очевидность для трёх дополнительных измерений, идущая от исследования частиц тёмной материи и предсказанная суперструнной теорией [12] для решения проблемы иерархии. Тогда частица тёмной материи будет иметь массу около 3×10^{-16} массы протона, которая грубо совпадает с массой аксиона. Следует также отметить, что масса нейтралино напрямую связана с полями Хиггса и возможно LHC (большой адронный коллайдер в ЦЕРНе) уже в 2007 году даст первые результаты по количеству предсказанных бозонов Хиггса.

4. Немного экзотики

Экзотикой я называю ситуацию, когда фундаментальные частицы (кварки, лептоны и калибровочные бозоны) имеют структуру, т.е. преонную модель элементарных частиц (другое название “техницвет”). Как легко можно заметить ранее в этой статье экзотики не было. Мы рассмотрели космологические следствия преонной модели в работе [72]. Т.к. преоны это, действительно пока что экзотика, то я ограничусь только «выжимкой» из

двух работ [57] и [72] на эту тему. В работе [57] упоминается о преонных звёздах как о новом классе компактных космических объектов (белые карлики, нейтронные (кварковые и гибридные) звезды, чёрные дыры и преонные звезды). Но вернёмся к космологическим следствиям. Итак, если преонная структура кварков, лептонов и калибровочных бозонов будет доказана, тогда во Вселенной при охлаждении первичной плазмы в результате релятивистского фазового перехода образование непертурбативных преонных конденсатов должно было иметь место, коллективные возбуждения которых воспринимаются как псевдо-Голдстоуновские бозоны. Эти коллективные возбуждения преонного конденсата (фамилоны) должны быть компонентами тёмной материи. Тёмная материя, в которую входят псевдо-Голдстоуновские бозоны фамилонного типа, состоит из горячей компоненты (безмассовые частицы) и холодной компоненты (массивные частицы). Такая тёмная материя могла быть подвергнута нескольким релятивистским фазовым переходам, температуры которых были различны (а значит это происходило на разных z). Флуктуации, создаваемые такими фазовыми переходами в тёмной материи, имеют фрактальный характер, т.е. это фрактальные флуктуации плотности в среде из фамилонов. Барионная компонента “повторила” их распределение, хотя дальнейшая эволюция фрактальное распределение могла “замыть”. Здесь же “выделенные” масштабы во Вселенной (галактики, скопления и сверхскопления галактик) и их возникновение, вероятно, находят естественное объяснение (хотя массы фамилонов точно не известны). Т.е. в результате фазовых переходов в тёмной материи из фамилонов, происходящих при разных температурах, зафиксировался масштаб, куда стали “сваливаться” барионы. Кроме того, и это самое главное, проясняется роль поколений частиц во Вселенной. Первое поколение частиц даёт наблюдаемый мир, а второе и третье поколение частиц – всю тёмную материю. Структурирование тёмной материи, а вслед за ней и барионной подсистемы, дают частицы, возникающие только при рассмотрении

симметрии между поколениями. То есть для самой возможности структурирования нужны, как минимум, три поколения частиц. Но вернёмся к преонным звёздам, которые могут иметь массы $\sim 6 \times 10^{29}$ г (100 масс Земли) и радиус ~ 1 метра [57]. В преонных звёздах, как отмечают авторы [57], плотности могут достичь значений $\sim 10^{23}$ г/см³, что на 8 порядков выше максимальной плотности в нейтронных звездах. В преонных звёздах вакуума. Кроме того, такие звезды будут иметь радиальные осцилляции с частотой 1 GHz. По мнению авторов [57], преонные звёзды, образованные в первичных флуктуациях плотности, могут объяснять тёмную материю в галактиках. Кроме того, при наличии в этих “звездах” электрического поля $|E| \sim 10^{34}$ В/м, открывается возможность для ускорения частиц с энергиями $E > 10^{17}$ eV, что также немаловажно. Но следует отметить, что работа [57] написана на оценочном уровне.

4. Как решить проблему Λ -члена?

Обзор будет неполным, если не упомянуть мысли А.Д.Сахарова и Я.Б.Зельдовича на эти темы, точнее на тему космологической постоянной и не прокомментировать недавние работы других авторов. В 50-80 годы прошлого века о тёмной материи ничего не знали, хотя ещё в 30 годах Фриц Цвики недоумевал, почему кривые вращения галактик тянутся в область, где нет светящейся материи (звёзд). Идея Я.Б. заключалась в том, что космологическая постоянная может представлять собой энергию нулевых колебаний квантовых полей, что конечно правильно с точки зрения определения вакуума, хотя любые частицы и были порождены этим (космологическим) вакуумом, что тоже правильно. Далее Я.Б. пошёл дальше и получил из соображения размерностей формулу, по которой можно вычислить значение Λ -члена [73]. И как мы сейчас увидим, действительно, существует мистическое согласие формулы Зельдовича с наблюдаемым значением космологической постоянной, если подставить в неё массу π

мезона. Я.Б. подставлял в свою формулу массу электрона или протона и хорошего согласия, конечно, не было. Для вывода своей формулы Я.Б. использовал идеи А.Эдингтона и П.Дирака о больших числах. Он пытался оценить плотность нулевой вакуумной энергии во Вселенной, подсчитывая гравитационную энергию между частицами в вакуумных флуктуациях, как эффект высшего порядка. Слегка модифицированная Н.С. Кардашёвым *[74] формула Я.Б. Зельдовича выглядит следующим образом:

$$\Lambda = 8\pi G m_{\pi}^6 \hbar^{-4} \quad \text{см}^2$$

$$\rho_{\Lambda} = G m_{\pi}^6 c^2 \hbar^{-4} \quad \text{г см}^{-3}$$

в которой m_{π} есть средняя масса π -мезона. У Зельдовича в его оригинальной работе [73] стояла постоянная Планка \hbar и m масса элементарной частицы (мы вернёмся к этой формуле ещё раз чуть позже). А.Д.Сахаров сделал не менее важные замечания [75], учтя нулевые колебания в искривлённом пространстве и называя свою теорию “теорией нулевого лагранжиана”. Не зависящая от кривизны часть лагранжевой функции (или тензора энергии-импульса) вакуума соответствует космологической постоянной, хотя там и имелась расходимость по четвёртой степени импульса (на эту расходимость указал сам А.Д.). Эти глубокие мысли Я.Б. Зельдович и А.Д. Сахаров высказали ещё в 1967 году. Но вернёмся в 2005 год. Мне же кажется, что мы стали больше понимать, что есть на самом деле космологический вакуум. И дело вот в чём. Конечно, наша Вселенная родилась как вакуумная флуктуация (из “ничего”). Кто спорит? И, вероятно, вакуумная энергия при этом была положительной, а симметрия очень высокой. При охлаждении (а в этом никто не сомневается,

* Н.С. Кардашёв заметил также, что масса π мезонов и s кварков наилучшим образом подходят к вычислению плотности вакуумной энергии.

т.к. Вселенная расширяется) имели место фазовые переходы внося отрицательные вклады своими конденсатами в первоначальную энергию вакуума. Сейчас мы живём в вакууме, который последний раз изменился (закалился) в результате кварк-глюонного фазового перехода т.е. когда во Вселенной образовался конфайнмент кварков и глюонов. И тогда современный вакуум есть вакуумный конденсат последнего релятивистского фазового перехода ($T \sim 150$ МэВ). Заметим, что сейчас температура Вселенной ($T \sim 3 \times 10^{-10}$ МэВ). И, конечно, для нас при $z=0$ современный вакуум в некотором роде это космологическая константа т.к. возраст Вселенной 13.8×10^9 лет и последнее изменение вакуума (его закалка) произошло в первую долю секунды жизни Вселенной.

Вакуумные конденсаты в новейшей квантовой теории поля есть макроскопические среды с квазиклассическими свойствами. Периодические коллективные движения в такой среде воспринимаются как псевдо-голдстоуновские бозоны т.е. частица Голдстоуна отвечает колебаниям того параметра, по которому вырождена система [76]. Как известно киральная симметрия в КХД есть не точная и псевдоголдстоуновские бозоны есть физическая реализация нарушения этой симметрии. Спонтанное нарушение киральной симметрии приводит к появлению в спектре частиц октета псевдоскалярных Голдстоуновских состояний (π , η , κ мезонов). При температуре нарушения киральной симметрии ($T \approx 150$ МэВ) главный вклад в периодические коллективные движения кварк-глюонного конденсата вносят, конечно π - мезоны, как легчайшие частицы. Подставляя массу π - мезона в формулу Зельдовича * можно получить $\Omega_\Lambda = (\Lambda c^2) / 3 H_0^2 \sim 0.7$. Мы в работе [49] “упражнялись” в этих подсчетах (там была даже таблица). При $\Omega_\Lambda = 0.7 H_0$ “должна быть” $72.5 \text{ км с}^{-1} / \text{Мpc}$, что неплохо согласуется с современным значением [2]. Этому мистическому согласию, вероятно интерпретация может быть -однозначной. Мы живем во Вселенной, в

* А.Д. Сахаров считал, что Я.Б.Зельдович поставил проблему Λ - члена.

которой вакуум “закалился” после кварк-глюонного фазового перехода и для нас это космологически постоянная, т.к. все основные события во Вселенной произошли существенно позже (момент рекомбинации, образование галактик, вторичная ионизация и т.д.). Подставляя в формулу Зельдовича массу Планка будем иметь разницу в 120 порядков между текущим значением вакуумной энергии и ее значением в планковское время ($\sim 10^{-43}$ сек). И если мы понимаем, что есть современное значение Λ -члена и даже можем вычислить его, то вычисление эволюционирующего вакуума до кварк-глюонного фазового перехода всё ещё проблематично.

Вероятно, это всё же решение проблемы Λ -члена на феноменологическом уровне или как первое приближение.

Вселенные рождались, конечно, в суперпространстве с различными Λ , (сейчас это суперпространство называют “мультиверс”), но так долго прожить (13.8 млрд лет) может Вселенная с “вопиюще малым” Λ -членом для реализации всей иерархии космологических структур. Вселенная с большим отрицательным Λ -членом никогда не станет макроскопической, с большим положительным она не может образовать сложных ядерных, химических и биологических структур. И вероятно шёл процесс “самоорганизации” вакуума в нашей Вселенной. Но как же подобраться к решению этой сложной проблемы? Первоначально два приближения были сделаны. Первое приближение было сделано С.Хоукингом, который предложил ввести в теорию (кроме обычных полей, описывающих вакуум и частицы), некоторые специальные поля, которые относились бы только к вакууму [78], что созвучно с работами [25-29]. Такие специальные поля были названы 3 form, 4 form и т.д. В работе Хоукинга [78] было показано, что наиболее вероятно состояние Вселенной есть состояние, в котором $\Lambda_{\text{eff}} = 0$

$$P(\Lambda_{\text{eff}}) \sim \exp(3\pi/k^2 \Lambda_{\text{eff}}), \quad (14)$$

где: Λ_{eff} есть сумма “обычно” обсуждаемого Λ - члена и вклада от 3 forms; κ - гравитационная константа в единицах, в которых $\hbar=1$, $c=1$. Здесь тут же возникает вопрос, как эти формы можно наблюдать в локальном эксперименте.

Второе приближение было сделано С.Колеманом [79], который принял во внимание реалистический эффект квантовых флуктуаций топологии пространства-времени при планковских энергиях (кротовые норы). В этом приближении наиболее вероятное состояние Вселенной имеет более резкий пик, чем хоукинговское распределение

$$P(\Lambda_{\text{eff}}) \sim \exp[\exp(3\pi/\kappa^2 \Lambda_{\text{eff}})], \quad (15)$$

где: $\Lambda_{\text{eff}} = \Lambda_{\text{QF}} + \Lambda_{\text{WH}}$, где Λ_{WH} есть вклад от кротовых нор. Уже это приближение даёт унифицированную картину вакуума (здесь вспомним, что КХД вакуум есть также система квантовых топологических флуктуаций). Итак мы имеем 2 ограничительные точки на энергетической шкале Вселенной: первая точка есть $\Lambda_{\text{QCD}} = 150$ МэВ, которая подтверждена экспериментально тестируемой теорией: вторая точка есть флуктуации топологии на планковском масштабе (10^{19} ГэВ), которая есть прямое следствие квантовой гравитации. Оба типа флуктуации могут существовать на промежуточных масштабах ($150 \text{ МэВ} \div 10^{19} \text{ ГэВ}$), т.к. они имеют геометрическую природу. Эта идея реализуется в преонной модели элементарных частиц [80], в которой вместо хигсовских конденсатов иерархия непертурбативных конденсатов имеет место. Представляется, что это приближение наиболее физически приемлемо, т.к. оно более полно реализует унифицированную картину вакуума.

Конечно ни Хоукинговское, ни Колемановское приближение не решает проблему Λ -члена, т.к. их результаты были получены в терминах геометродинамики Уилера-Де Витта, которая не описывает квантовую

эволюцию Вселенной. В нашей Вселенной, в её первые доли секунды жизни, энергия вакуума изменилась во времени в процессах релятивистских фазовых переходов и, вероятно, сомневаться в этом не приходится. Но чтобы решить всё же проблему Λ -члена новая версия квантовой геометродинамики должна быть сформулирована. Динамические процессы в вакууме и в плазме элементарных частиц, которые влияют на эволюцию волновой функции Вселенной, должны быть приняты во внимание. Вероятно, необходимо сделать 3 “смелых” шага.

Первый шаг есть необходимость изменить статус Λ -члена – от космологической постоянной к динамической переменной. В классической теории это уже сделал С.Вайнберг. Он переписал уравнения Эйнштейна в специальной калибровке в виде, не содержащем Λ -члена (в его теории Λ -член есть интеграл движения).

Второй шаг это сделать тоже самое в квантовой теории, хотя здесь в отличие от классической теории интеграл движения не может иметь произвольное значение. Спектр разрешённых значений фиксируется собственными значениями супергамильтониана. Этот супергамильтониан будет описывать взаимодействия между топологическими флуктуациями на различных энергетических шкалах. Любые изменения на одной шкале приводят к перестройке вакуумных конденсатов на других шкалах (этот процесс и называется самоорганизацией вакуума). Здесь, правда, есть но! Обычная квантовая теория есть “обратимая теория”. Поэтому третий шаг есть вспомнить предложение Р.Пенроуза [81] о том, что квантовая эволюция – необратима. Это может быть реализовано в подавлении квантовых переходов с увеличением Λ . Тогда можно получить “последнюю формулу” для современного значения Λ -члена:

$$\Lambda = \Lambda_{\text{QF}} + \Lambda_{\text{WH}} + \Lambda_{\text{g}} \quad (16)$$

в которой Λ_{QF} образовано нулевыми колебаниями квантовых полей и непертурбативными конденсатами; Λ_{WH} образовано кротовыми норами (флуктуации пространства-времени на масштабе 10^{19} ГэВ), а эволюция гравитационного вакуумного конденсата образует $\Lambda_g = (9\pi^2/2k^2) \lambda_n$ (здесь λ_n - определяет спектр возможных состояний этого конденсата). Таким образом в течение первоначальной эволюции Вселенной серия квантовых переходов в вакууме под влиянием релятивистских фазовых переходов привела Вселенную к сегодняшнему состоянию (обратные переходы, согласно Р. Пенроузу, были запрещены, т.е. был процесс вакуумной самоорганизации). Стратегия получения бесконечно малой космологической постоянной при наличии нарушения масштабной инвариантности была предложена в [82], а введение квинтэссенции [83] является и есть трансформация космологической постоянной в динамическую переменную. Сейчас эта идея активно разрабатывается с привлечением скалярного поля и более высокой размерности пространства, начиная с работы [84].

Хотелось бы также дать несколько ссылок на последние по времени работы и указать на развитие новых (старых) идей. В [85] авторы обсуждают возможность модели DE, которая апеллирует к эффекту Казимира в суперсимметричном мембранном мире. Здесь суперсимметрия сохраняется в объёме, но она нарушена на нашей 3x – мерной бране. Из-за граничных условий, налагаемые на компактифицированные дополнительные измерения, энергия Казимира индуцируется на бране. Малость космологической константы - результат огромного контраста объёма дополнительных измерений с объёмом нашей браны. Более радикальное предложение делают авторы работы [86], сомневаясь в природе гравитации, считая ее наиболее “enigmatic” из всех фундаментальных взаимодействий. Традиционное объяснение ускорения Вселенной и кривых вращения галактик не “удовлетворяет” этих авторов, если встать на точку зрения, что гравитация искажена в ИК диапазоне (в коротковолновом пределе), т.е. ОТО не работает на планковской шкале. Конденсация “духов” по их мнению есть аналог

хиггсовского механизма. Конденсат “духов” (новый сорт поля, который может заполнить Вселенную) имеет тоже уравнение состояния, что и космологическая константа, т.е. $p = -\rho$ (это возможность антигравитации) и к тому же “конденсат духов” осцилляторным образом модулирует ньютоновский потенциал на больших дистанциях и поздних временах. Авторы [86] подчеркивают другой раз, что конденсат духов не есть космологическая константа, а это есть физическое поле с физическим скалярным возбуждением. Кроме того, “духовый конденсат” - источник гравитации подобно нерелятивистской материи, т.е. “духовый конденсат” вносит вклад и в тёмную материю.* Рядом лежит другая возможность, но уже с конденсатом скалярного поля, развитая в работе [87]. Здесь скалярное поле есть инвариант при отражении $\phi \Rightarrow -\phi$ (дискретная симметрия Z_2). При $z=0.5$ во Вселенной был фазовый переход, который зафиксировал ϕ - конденсат. Т.е. до $z=0,5$ это поле вело себя как космологическая константа, после $z=0,5$ конденсат уже зависит от времени. Следует подчеркнуть, что в этой модели скалярное поле связано с материей, как с тёмной, так и с барионной. Кроме того, в нарушенной фазе (т.е. в фазе в которой мы живём) плотности DE и DM имеют фиксированное значение ($\approx 2 : 1$).

В работе [88] авторы пытаются найти и находят симметрию, при которой малость космологической константы – естественна. Они исследуют дискретную симметрию $E \Rightarrow -E$ для подавления космологической константы, которая приводит к неустойчивости плоского пространства времени через гравитационные процессы. Адекватное подавление требует существенного нарушения ОТО на коротких расстояниях, что мы уже видели в [86]) . Здесь также участвует духовой сектор для подавления видимого (т.е. для зануления вакуумной энергии), хотя духовой сектор и добавляет ненужные неустойчивости. Следует также обратить внимание на исследование

* Здесь Лоренц инвариантность нарушается (как и во многих других моделях), поэтому этот момент не отслеживается.

термодинамики тёмной энергии при наличии горизонта события, которое приведено в [89]. Как фантомная $w < -1$, так и не фантомная $w > -1$ тёмная энергия удовлетворяет обобщённому 2 закону термодинамики. С другой стороны Вселенная с фантомной энергией не подчиняется голографическому принципу. Вообще-то, исследования фантомной энергии должны быть продолжены, т.к. наблюдения говорят, что $w \approx -1.5$ [90] (в работе [91] даны границы на w ($-1,48 < w_{\text{eff}} < -0.72$). Кроме того, попрежнему актуальны идеи, высказанные в [92], что мы живём в пространстве высокой размерности, а вакуумная энергия искривляет его (как видно, здесь новое есть хорошо забытое старое). Нельзя не упомянуть обстоятельный обзор V.Sahni [93] по мембранным моделям тёмной энергии, которые допускают несколько интересных возможностей и которые автор называет космологическими сюрпризами. Среди них: 1) эффективное уравнение состояния может быть как $w \leq -1$ так и $w \geq -1$ т.е. здесь в действительности два скалярных поля – реальное и фантомное. Такую модель называют *quantom dark energy* или “*hessence*” [94] (см. также [95]); 2) для некоторых классов мембранных моделей ускорение Вселенной может быть преходящим явлением. И таких сюрпризов в работе [93] шесть штук. Обзор по космологическим мембранам и дополнительным измерениям с упоминанием Λ - члена выполнен в работах [96]. В работе [97] даны пределы на динамическую модель тёмной энергии т.е. на квинтэссенцию. Замечено, что в зависимости от темпа скатывания скалярного поля к нулю ускоренная фаза расширения может быть как временной, так и постоянной. Как альтернативу к эйнштейновской гравитации следует рассматривать работу [98]. В этой работе даётся понимание факта, что кроме очевидной модификации, в которой гравитация распространяется в дополнительные измерения, существует модификация, связанная с дополнительными членами в Лагранжиане, которые зависят от квадратичных комбинаций тензора Римана, дающих уравнения более высокого порядка, чем

квадратичные. Т.е. речь идёт об ограничении, которое накладывает Gauss-Bonnet гравитация на скалярное поле. Это также квинтэссенционный сценарий, который может давать поправки на уровне 10^{-2} к флуктуациям плотности и может быть обнаружен СМВ наблюдениями. Следует обратить внимание также на работы [99-100], в которых рассматриваются некоторые модели фантомной космологии. В работе [101] сделаны антропные предсказания для Ω_Λ и для первоначальных флуктуаций плотности в контексте “струнного ландшафта” (см. также [102]). Здесь допускается наличие различных вакуумов с разными низкоэнергетическими константами, т.е. эксплуатируется картина множества Вселенных (мультиверс), в которой необходима “вечная инфляция” [103]. В этом мультиверсе (см. также книгу M.Rees [104]) много любопытного. Например, чтобы космологическая константа была мала, амплитуда флуктуаций плотности не должна варьироваться, т.е. в действительности космологическая константа и флуктуации плотности как бы “завязаны”. Упомянем также и об антропных предсказаниях, которые восходят к работе С.Вайнберга [105] и которые эксплуатировались в работах [106-109]. В недавней работе [109] были предложены “пророческие ландшафты”, также основанные на идее множества вакуумов при остальной идентичной физике подобной стандартной модели. Эта гипотеза имеет сильную теоретическую сторону т.к. только в струнной теории имеется множество вакуумов. Кроме того, эта гипотеза, решая проблему иерархии, предсказывает новую физику на TeV шкале и даже DM кандидата. Здесь же отмечается, что отношение $\Lambda^{1/4} / m_H \sim m_H / M_{Pl} \sim 10^{-16}$ (m_H – масса Хиггса) есть по сути дела проблемы космологической константы и иерархии. “Естественность” здесь в том, что эти отношения могут быть поняты динамически, без тонкой подстройки т.е. динамический механизм должен редуцировать 120 порядков для космологической константы (мы это уже предложили в работе [49]). Укажем ещё и на “старый” обзор С.Вайнберга [110] по

космологической константе, который актуален и сейчас. R. Kellosh в работе [111] ставит вопрос как получить компактификацию от 10-мерной фундаментальной струнной теории (или 11-мерной M-теории) к 4-мерной эйнштейновской ОТО т.е. обеспечить возможную связь космологической константы с некоммутативным параметром внутреннего пространства компактифицированной струнной теории. В этом она видит главную проблему космологии. Интересным моментом является предложение, сделанное в работе [112], о возможности стабильных DE звезд, которое восходит к работе И. Дымниковой [113]. Автор [112] замечает, что вероятно будет очень трудно различить DE звезду от чёрной дыры (интересный вопрос здесь – конверсия DE звезды в кротовую нору или даже в фантомные звёзды). Более свежие обзоры по тёмной энергии можно найти в [55,114-115] (описание экспериментов по тестированию DE есть в обзорах [115 -116]).

6. Заключение

И если это не счастливые дни космологии, то что? Полный фейерверк идей и мнений предлагается и, конечно, ответ дадут только эксперименты. И как можно видеть, эта прекрасная наука находится в своем расцвете. Конечно, здесь рассказана, как легко видеть, малая толика всех идей и мнений и, естественно, эта малая толика определялась вкусом (или безвкусицей) автора, хотя и было старание «быть объективным». Отмечу только, что если следующий фундаментальный уровень материи будет обнаружен, тогда проясняется роль поколений частиц. Первое поколение частиц даёт наблюдаемый нами мир, учёт симметрии между поколениями (как следствие их наличия) даёт всю тёмную материю. Т.е. структурирование тёмной материи, а вслед за ней и барионной компоненты, могут дать частицы (фамилоны), возникающие только при рассмотрении симметрии между поколениями. Т.к. в среде из фамилонов мог иметь место фазовый переход, который “закалил” фрактальность (фрактальность это прерогатива

только фазовых переходов), то барионы повторили распределение тёмной материи. Здесь фрактальность барионной крупно-масштабной структуры находит своё естественное объяснение. Кроме того, интересным результатом является наличие в гравитационном компоненте вакуума топологических дефектов планковских размеров, которые могли образоваться либо при «дефектном» рождении Вселенной из «ничего»*, либо в результате первого релятивистского фазового перехода. Эти топологические дефекты могут быть «частью» нескопленной тёмной материи также как и тёмной энергией. Здесь как-то квинтэссенционная гипотеза находит свое подтверждение, т.к. топологические микроструктуры (дефекты) эволюционируют (разжижаются!). Но, вероятнее всего, это переменная компонента вакуумной составляющей Вселенной довольно мала и её малость трудно, если не невозможно, оценить. Другая возможность малости квинтэссенционного поля может быть обусловлена CP нарушенной фазой нейтринной массовой матрицы, которая ассоциируется с псевдо Голдстоуновским полем [118].

В конце (который раз) повторим нашу позицию. Вероятно, $\Omega_\Lambda = 1$ при рождении Вселенной из «ничего». И еще более вероятно, что в энергию частиц перешла вся вакуумная составляющая, т.е. Ω_Λ была близка к нулю в пост инфляционный период, а плотность материи была близка к единице $\Omega_m \leq 1$. Но это первые мгновения. Далее расширение и процесс обратный. Излучение падает как $1/a^4$, а плотность вещества как $1/a^3$. При $z \sim 1200$ наступает момент рекомбинации, излучение и вещество расщепляются и реализуется эра вещества. Но первые две фазы эволюции Вселенной (dS=>RD) это всего лишь 300.000 лет эволюции Вселенной из 13.8 млрд.лет. В течение эры вещества, плотность падает до $\Omega_m \sim 0.3$, а $\Omega_\Lambda \sim 0.7$.

* Здесь также следует упомянуть о спонтанном возникновении нашей браны в многомерном пространстве, которое изначально не имело ни бран, ни других возбуждений [117], т.е. это механизм рождения Вселенной в мембранном сценарии.

Т.е. современное значение $\Omega_\Lambda \sim 0.7$ это тот «остаток» вакуумной энергии, который не перешёл в частицы, и для нас эта вакуумная энергия – постоянная величина, т.к. «закалилась» она во время последнего релятивистского кварк-глюонного фазового перехода при $T \sim 150 \text{ MeV}$, т. е. в первые доли секунды жизни Вселенной. Заметим, что спустя несколько миллиардов лет (при $z < 1$ $T \leq 5 \times 10^{-4} \text{ eV}$) мог быть “внезапный гравитационный” фазовый переход, в некотором роде это вакуумный метаморфозис, как его называют в [119].

После этого фазового перехода Вселенная стала расширяться с ускорением (параметром порядка в этом фазовом переходе выступает скалярная кривизна), а до этого она расширялась с замедлением. Ещё раз подчеркнём, что вакуум во Вселенной – многокомпонентная система, динамику и состав которой в прошлом, настоящем и в будущем мы изучаем. Будущая судьба тёмной энергии изучается и даже классифицируется в работах [120-121].

Отметим наконец, что частица тёмной материи (или одна из частиц последней) вероятно уже обнаружена коллаборацией PVLAS [122]. И эта частица может быть аксион! И последнее. Скорее всего только теория суперструн (www.superstringtheory.com) приблизит нас к пониманию многих вызовов, как в физике так и в космологии, начиная от идей Калуцы-Клейна, по которым физические законы зависят от геометрии скрытых дополнительных измерений, до идей, связанных с существованием семейств частиц и проблем многокомпонентного вакуума. Сложная геометрия скрытых измерений может быть обусловлена существованием целого спектра энергий вакуума, на что в своё время обратил внимание А.Д. Сахаров [123].

Я благодарен Г.М. Верешкову за обсуждение самой идеи обзора (нечего обзирать, если всё тёмное) и В.А. Рубакову за прочтение рукописи.

Литература

1. Старобинский А Доклады на Московском Астрофизическом семинаре 22 февраля 2004 и 30 мая 2005
2. Lahav O, Liddle A, astro-ph/0406681; Phys. Lett. **592** 1 (2004);

- MacTavish C J et al, astro-ph/0507503
3. Riess A G et al, astro-ph/0402512; *Astrophys. J.* **607** 665 (2004)
 4. Riess A G et al, *Astron. J.* **116** 1009 (1998); Perlmutter S et al, *Astrophys. J.* **517** 565 (1999); Tonry J L et al, *Astrophys. J.* **594** 1 (2003)
 5. Долгов А hep-ph/0405089
 6. Caldwell R *Physical World* **17** 36 (2004); astro-ph/0505494
 7. Бурдюжа В, Чекмезов А *Астрон. Ж.* **71** 341 (1995)
 8. Nolta M et al, astro-ph/0305097
 9. de Felice A, Nasti S, Trodden M *Phys. Rev. D* **67** 043509 (2003)
 10. Чернин А *УФН* **171** 1153 (2001)
 11. Randal L, Sundrum R *Phys. Rev. Lett.* **83** 3370 (1999)
 12. Arkani-Hamed N, Dimopoulos S, Dvali G *Phys. Lett. B* **429** 263 (1998)
 13. Cho I *Phys. Rev. D* **67** 065014 (2003)
 14. Bucker M, Spergel D *Phys. Rev. D* **60** 043505 (1999)
 15. Friedland A, Murayama H, Perelstein H *Phys. Rev. D* **67** 043519 (2003)
 16. Badla Z S et al, *Phys. Rev. D* **67** 063504 (2003)
 17. Bento M C et al, *Phys. Rev. D* **67** 063511 (2003)
 18. Tegmark M astro-ph/0302131; astro-ph/0508429
 19. Corasaniti P S, Copeland E J *Phys. Rev. D* **67** 063521 (2003)
 20. Sahni V et al, astro-ph/0201498
 21. Gorini V, Kamenshchik A, Moschella V *Phys. Rev. D* **67** 063509 (2003)
 22. Lue A, Starkman G *Phys. Rev. D* **67** 064002 (2003)
 23. Dvali G, Gabadadze G, Porrati M *Phys. Lett. B* **485** 208 (2000)
 24. Amendola L et al, *Phys. Rev. D* **67** 043512 (2003)
 25. Friman Z et al, *Phys. Rev. Lett.* **75** 2077 (1995)
 26. Witterich C *Astron. Astrophys.* **301** 321 (1995)
 27. Albrecht A et al, *Phys. Rev. D* **65** 023508 (2002)
 28. Gasperini M *Phys. Rev. D* **64** 043510 (2001)
 29. Gasperini M et al, *Phys. Rev. D* **65** 023508 (2002)
 30. Riess A et al, *Astrophys. J.* **560** 49 (2001)

31. Benitez M et al, *Astrophys. J.* **577** L1 (2002); *Astrophys. J.* **607** 665 (2004)
32. Garriga J, Vilenkin A *Phys. Rev. D* **67** 043503 (2003); Garriga J, Vilenkin Linde A *Phys. Rev.D* **69** 063521 (2004)
33. Yokoyama Y *Phys. Rev. Lett.* **88** 151302 (2002)
34. Jakumar P, Mazundar A *Phys. Rev. Lett.* **90** 191301 (2003)
35. Caldwell R R et al, astro-ph/0302505; *Astrophys. J.* **591** L75 (2003)
36. Wetterich C *Nucl. Phys. B* **302** 668 (1988)
37. Batra B, Peebles P *Phys. Rev. D* **37** 3406 (1988)
38. Zlatev I, Wang L, Steinhard P, *Phys. Rev. Lett.* **82** 896 (1999)
39. Steinhard P, Wang L, Zlatev I *Phys. Rev. D* **59** 123504 (1999)
40. Caldwell R, Kamionkowski M, Weinberg N astro-ph/0302506; *Phys. Rev. Lett* **91** 071301 (2003)
41. Hawking S W, Ellis G F R “The Large Scale Structure of Spacetime”, (Cambridge, Cambridge University Press, 1973)
42. Carrol S M, Guica M M hep-th/0302067
Carrol S M, de Felice A, Trodden M *Phys. Rev. D* **71** 023525 (2005)
43. Frampton P astro-ph/0209037; *Phys. Lett. B* **555** 139 (2003)
44. Sahni V, Shtanov Y astro-ph/0202346; *JCAP* **0311** 014 (2003)
Sahni V astro-ph/0502032
45. Kallosh R et al, hep-th/0208156; *Phys. Rev. D* **66** 123503 (2002)
46. Kallosh R, Linde A hep-th/0208157; *Phys. Rev. D* **67** 023510 (2003)
47. Kallosh R, Linde A astro-ph/0301087; *JCAP* **0302** 002 (2003)
48. Banks T, hep-th/0305206; *Gen.Rel.Grav.* **35** 2075 (2003)
Brustein R, Steinhardt P *J Phys. Lett. B* **173**, 263 (2002)
49. Бурдюжа В, Верешков Г. Препринт ФИАН № 6 (2002)
50. Burdyuzha V et al, *Phys. Rev. D* **55** 7340R (1997)
51. Латыпов Н Н, Бейлин В А, Верешков Г М «Вакуум, элементарные частицы и Вселенная» (М.: Изд-во МГУ, 2001)
52. Nishiyama M, Morita M, Morikawa M astro-ph/0403571
53. Srednicki M, Spooner N *Phys. Rev. D* **66** 010001 (2002)

54. Sahni V astro-ph/0403324
55. Krauss L astro-ph/0406673; Frampton P H astro-ph/0506676
56. Renault C et al, astro-ph/9612102; Astron. Astrophys. **324** L69 (1997)
57. Hansson J, Sandin F astro-ph/0410417
58. Gonzalez- Garcia M C, Maltoni M hep-ph/0406056; Valle J E E hep-ph/0508067; hep-ph/0509262; Hirsch M et al, hep-ph/0507148
59. Fukuda Y et al, Phys. Rev. Lett. **85** 3999 (2000); Ahmad Q R et al, Phys. Rev. Lett. **80** 011301 (2002); Ambrosio M et al, MACRO coll. Phys. Lett.B **517** 59 (2001); Eguchi K et al, KamLAND coll. hep-ex/0212021; Phys. Rev. Lett. **90** 021802 (2003); Petyt D A et al, SOUDAN coll. Nucl. Phys. Proc. Suppl. **110** 349 (2002); Gonzalez-Garcia M C, Nir Y Rev. Mod. Phys. **75** 345 (2003); Kobayashi T in Proceedings of the Eleventh Lomonosov Conf. Ed. A I Studenikin (World Scientific, 2001) c.10; Balantekin A B et al, hep-ph/0405019; Maltoni M et al, New. J. Phys. **6** 122 (2004); <http://neutrinooscillation.org>; Mikaelyan L A hep-ph/0210047; Ядерная Физика **65** 1206 (2002)
60. Pastor S hep-ph/0505148; Dolgov A.D. Phys.Rep. **370** 333 (2002); Tegmark M et al, Phys. Rev. D **69** 103501 (2004); Spergel D N et al, Astrophys. J. Suppl. **148** 175 (2003); Fogli G L et al, Phys. Rev. D **70** 113003 (2004); Seljak U astro-ph/0407372
61. Lobashev V M Nucl. Phys. A **719** 153 (2003)
<http://www-ik.fzk.de/katrin>
62. Ardito R et al, hep-ex/0501010; Gaitskell R et al, Majorana coll. nucl-ex/0311013; <http://nemo.in2p3.fr/supernemo>
63. Kuzenko A, Loveridge L, Shaposhnikov M hep-ph/0405041; astro-ph/ 0507225; Phys. Rev. D **72** 025015 (2005)
64. Alcock C et al, Phys. Rev. Lett. **74** 2867 (1995); Berezinsky V S et al, in Proceedings of the Eleventh Lomonosov Conf. Ed. A I Studenikin, 2005) c 92; Gurevich A V Zybin K P Phys. Lett **208** 276 (1995);

- Гуревич А В, Зыбин К П, Сирота В А УФН **167** 913 (1997);
 Высоцкий М И, Невзоров Р Б УФН **171** 939 (2001);
 Irastorza I G et al, IGEX coll. astro-ph/0211535;
 Cerdeno D G, Munoz C hep-ph/0405057; JHEP **410** 14 (2004);
 Ellis J et al, hep-ph/0502001; Phys. Rev. D **71** 095007 (2005)
65. Peccei R D, Quinn H R Phys. Rev. Lett **38** 1440 (1997);
 Kim J E Phys. Rev. Lett. **43** 103 (1977); Shifman M A, Vainstein A I,
 Zakharov V I Nucl Phys B **166** 493 (1980); Dine M, Fischler W,
 Srednicki M Phys. Lett B **104** 199 (1981), Zhitnitskii A P Sov. J Nucl.
 Phys. 31 260 (1980); Sikivie P Phys. Rev D 60 063501 (1999);
 Sikivie P hep-ph/0211254; Duffy L et al, astro-ph/0505237;
 Csaki C, Kaloper N, Terning J Phys.Rev. Lett. **88** 161302 (2002);
 Mirizzi A, Raffelt G, Serpico P astro-ph/0506078;
 Gnedin Yu N Astrophys. Sp. Sci. **249** 125 (1997);
www.phys.ufl.edu/~axion/welcome.html
66. Бурдюжа В, Верешков Г, Pacheco J Препринт ФИАН № 9, 2003
67. Shtanov Yu, Sahni V gr-gc/0208047
68. Perlmutter S, Turner M, White M Phys. Rev. Lett. **83** 670 (1999)
69. Долгов А Phys. Rev. D **55** 5881 (1997)
70. Rubakov V Phys. Rev. D **61** 061501 (2000)
71. Qin Bo, Pen Ue-Li, Silk J astro-ph/0508572
72. Бурдюжа В, Верешков Г, Лалакулич О, Новосядлый Б, Омон А и
 Пономарев Ю Препринт ФИАН № 5, 2002
73. Зельдович Я Б Письма в ЖЭТФ **6** 883 (1967)
74. Кардашёв Н С Астроном. Ж. **74** 83 (1998)
75. Сахаров А Д ДАН СССР **177** 70 (1967)
76. Киржниц Д А УФН **125** 169 (1970)
77. Lavrelashvili D, Rubakov V, Tinyakov P in Proceedings of 5 th seminar
 “Quantum Gravity” (World Scientific, 1990) p.27
78. Hawking S Phys. Lett **134** 403 (1984)

79. Coleman S Nucl. Phys. **310** 643 (1988)
80. Burdyuzha V, Lalakulich O, Ponomarev Yu, Vereshkov G Astron. Astrophys. Transactions **23** 453 (2004)
81. Penrose R The poster talk at XII Texas Symposium on Relativistic Astrophysics, Munchen, 1994
82. Adler S L Gen. Relativity and Gravitation **29** 1357 (1997)
83. Wang, L, Caldwell R, Ostriker P, Steinhardt P astro-ph/ 9901388
84. Arkani-Hamed N, Dimopoulos S, Sundrum R, Kaloper N Phys. Lett **48** 193 (2000)
85. Chen P, Gu J A astro-ph/0409238
86. Arkani-Hamed N, Cheng H-Ch, Luty M, Mukohyama S hep-th/0312099
87. Pietroni M astro-ph/ 0505615
88. Kaplan D, Sundrum R hep-th/0505265
89. Izquiero G, Pavon D astro-ph/0505601
90. Knop R A et.al, Astrophys. J. **598** 102 (2003);
Melchiorri A, astro-ph/0406652
91. Carroll S M, de Felice A, Trodden M astro-ph/0408081
92. Rubakov V A, Shaposhnikov M E Phys. Lett B **125** 136 (1983)
93. Sahni V astro-ph/0502032
94. Wei H, Cai R-G, Zeng D-F Class. Quantum Grav. **22** 3189 (2005)
95. Caldwell R, Doran M astro-ph/0501104
96. Рубаков В А УФН **171** 913 (2001);
Барвинский А О УФН **175** 569 (2005)
97. Caldwell R, Linder E astro-ph/0505496
98. Amendola L, Charmousis C, Davis S hep-th/ 0506137
99. Amendola L, Tsujikawa S, Sami M astro-ph/0506222
100. Faraoni V Class.Quantum Grav. **22** 3235 (2005)
101. Garriga J, Vilenkin A hep-th/0508005
102. Susskind L hep-th/0302119
103. Vilenkin A Phys. Rev. D **27** 2848 (1983);

- Linde A Phys. Lett **175** 395 (1986)
104. Rees M “Our Cosmic Habitat” (Ed. Princeton University Press, 2001) c.148
105. Weinberg S Phys. Rev. Lett. **59** 2607 (1987)
106. Vilenkin A Phys. Rev. Lett. **74** 846 (1995)
107. Hogan C J Rev. Mod. Phys. **72** 1149 (2000)
108. Rees M astro-ph/ 9909295
109. Arkani-Hamed N, Dimopoulos S, Kachru S hep-th/0501082
110. Weinberg S Rev. Mod. Phys. **61** 1 (1989)
111. Kallosh R hep-th/0405246
112. Lobe F S N gr-qc/0508115
113. Dymnikova I gr-qc/0112052; Class.Quantum Grav. **19** 725 (2002)
114. Padmanabhan T Phys.Rep. **380** 235 (2003)
115. Peebles P J E, Ratra B Rev. Mod. Phys. **75** 559 (2003)
116. Bassett B, Parkinson R, Nichol R Astrophys. J **626** L1 (2005)
117. Gorsky A, Selivanov K hep-th/0009207; Phys. Lett B **485** 271 (2000)
118. Barbieri R et al, hep-ph/ 0505124
119. Caldwell R, Komp W, Parker L, Vanzella D astro-ph/ 0507622
120. Frampton P H Takashi T astro-ph/0211544
121. Chuiba T, Takahashi R, Sugiyama N Class.Quantum Grav. **22** 3745
(2005)
122. Zavattini E et al, hep-ex/0507107; Phys. World **9** 2 (2005)
123. Сахаров А Д ЖЭТФ **87** 375 (1984)

DARK ENERGY, DARK MATTER AND THE BRIGHT FUTURE OF THE COSMOLOGY

V.V. Burdyuzha

The modern status of cosmological problems of dark energy and dark matter is discussed. The new data of cosmological parameters are brought. The main attention pays to understanding of production of cosmological constant. The scenarios of evolution of the Universe in which dark energy takes place differ radically from which were used before (flat, open and closed models). The basic particles of dark matter (axion, neutralino and neutrino) and experiments for their detection are discussed in detail. The scales of cosmological objects and fractal structure of the Universe are also discussed. The necessity of three families of particles suggests. The conception of gravitational vacuum is involved.

Astro-Space Center of Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences,
117997 Moscow, Profsoyuznaya 84/32, Russia; phone: (095) 333-25-23;
fax: (095) 333-23-78; Email: burdyuzh@asc.rssi.ru