

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**ФИЗИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ**



*имени
П.Н. Лебедева*

Ф И А Н

ПРЕПРИНТ

В.В. БУРДЮЖА

15

**НОВОЕ В ИССЛЕДОВАНИИ ПРОБЛЕМЫ
ТЁМНОЙ ЭНЕРГИИ ВСЕЛЕННОЙ**

МОСКВА 2006

НОВОЕ В ИССЛЕДОВАНИИ ПРОБЛЕМЫ ТЁМНОЙ ЭНЕРГИИ ВСЕЛЕННОЙ

В. В. Бурдюжа¹

Несколько новых идей, стремящихся прояснить природу тёмной энергии Вселенной, кратко обсуждаются. Эти идеи связаны с комплексными скалярными полями, со звёздами из тёмной энергии, с голографическим принципом и т.д. Все возможные варианты определения тёмной энергии (космологическая константа, квинтэссенция, фантомная энергия и квинтом) в зависимости от её уравнения состояния приводятся. Наблюдательные ограничения на уравнение состояния также даны.

Some new ideas that can explain the nature of dark energy of the Universe are shortly discussed. These ideas are connected with complex scalar fields, with stars of dark energy, with the holographic principle and so on. All possible variants of dark energy (cosmological constant, quintessence, fantom energy and quintom) in dependence on its equation of state and observable limitations for equation of state are also discussed.

¹В.В. Бурдюжа, Астро-Космический Центр Физического Института им. П.Н.Лебедева Российской Академии Наук, 117997 Москва, Профсоюзная 84/32. Тел.: 333-25-23; Fax: 333-23-78; E-mail: burdyuzh@asc.rssi.ru.

Введение

Интенсивное исследование «тёмных» компонент полной плотности Вселенной активно продолжается (речь идёт о тёмной энергии (Ω_Λ) (вакуумной составляющей) и тёмной материи (Ω_{DM}). Тёмные компоненты это основные составляющие Вселенной $\Omega_\Lambda \sim 0.72$, $\Omega_{DM} \sim 0.24$. Тёмными они называются потому, что мы не знаем их точной физической природы. В США только для исследования проблемы тёмной энергии, созданы два новых института в Стэнфорде и в Чикаго. Кроме того, в американской программе исследования тёмной энергии фигурирует запуск специальных космических телескопов (SNAP и другие). Здесь я хотел бы обсудить несколько новых предложений по исследованию тёмной энергии, некоторые из которых восходят к работам Российских учёных.

В первую очередь это модель тёмной жидкости (dark fluid), разработанная в статье [1], чтобы объединить тёмную энергию и тёмную материю. Об этом в своё время писал А. Каменщик с соавторами в работе [2]. Звёзды из тёмной энергии обсуждаются в работах [3-4], но то что космологический член может быть источником массы обратила внимание ещё несколько лет назад И. Дымникова в работе [5]. Недавний бум по исследованию γ всплесков на высоких красных смещениях ($z > 1.7$) показал, что в ранние эпохи эволюции Вселенной замедление в скорости расширения Вселенной было больше, чем предполагалось. Отсюда автор этого бума V.Schaefer [6] сделал сильный вывод на основании построения диаграммы Хаббла: вакуумная энергия Вселенной изменяется со временем. В работе [16] для объяснения малости вакуумной энергии ставится вопрос о голографичности Вселенной, а в работах [7-8] обсуждается наличие в вакуумной компоненте Вселенной микроскопических структур гравитационного вакуумного конденсата (вакуум Вселенной – вероятно многокомпонентная система (идея А.Д. Сахарова)). Но обсудим всё по порядку.

Напомним, что отказ от идеи, по которой вакуум есть пустота, является концептуальным положением современной физики, т.е. вакуум есть стабильное наинизшее состояние квантовых полей без возбуждения волновых мод (не волновые моды это конденсаты). В геометрической физике, определение вакуума – ещё более ёмкое. Вакуум есть состояние, в котором геометрия пространства-времени не деформирована. Сейчас (весна 2006 года) к определению вакуума Вселенной, который может быть космологической

константой (Λ -членом), квинтэссенцией или фантомной энергией, добавилось ещё одно новое определение называемое квинтом (quintom). Это когда его уравнение состояния $w \equiv p/\rho$ пересекает -1 , т.е. это динамическая модель тёмной энергии. Эта квинтом модель отличается от «чистой» квинтэссенции или фантомной модели конечной судьбой Вселенной [9]. Но уточним для ясности все определения, т.к. они связаны с уравнением состояния вакуума. Если вакуум имеет уравнение состояния равное $w = -1$ (т.е. $p_v = -\rho_v$) и этот вакуум пространственно однороден и не зависит от времени, то это Λ -член, который ввёл в свое время А. Эйнштейн, и который называют космологической константой. Это классическая точка зрения, которая вероятно, подтверждена наблюдениями [10]. Команда астрономов Supernova Legacy Survey (SNLS), утверждает, что по наблюдениям 340-мегапиксельной камерой (MegaCam) они получили следующий результат [10]:

$$w(z) = w_0 + w'(z) \quad w_0 = -1.02 \pm 0.11 \quad \text{при } w' = 0 \quad (1)$$

К апологетам этого определения можно отнести А. Долгова и автора данного препринта. Если уравнение состояния вакуума $w \neq -1$, но $w > -1$ и оно зависит от времени (т.е. w зависит от красного смещения z) и этот вакуум пространственно неоднороден, то тогда такой вакуум называют квинтэссенцией. Если $w < -1$, то это фантомная энергия. И как уже отмечено, если вакуум «эволюционирует» и если его уравнение состояния пересекает -1 , то это квинтом. Здесь, вероятно, мембранные идеи должны быть пущены в ход, т.к. можно говорить об ослаблении натяжения мембраны при расширении Вселенной. Вероятно, к динамическим моделям следует также отнести модель «k-essence», в которой имеет место неканонический кинетический член [11].

1. Комплексное скалярное поле и его роль во Вселенной

Как отмечает автор работы [1], модель, которую он предлагает для тёмной энергии, может объяснить как наличие дополнительных гравитационных эффектов в галактиках и в скоплениях галактик, так и отталкивающий эффект на космологической шкале. Т.е. эта модель может объяснить наличие как тёмной материи (DM), так и тёмной энергии (DE). Автор работы [1] называет свою модель тёмной жидкостью, которая может быть в двух фазах. Фаза Бозе-конденсата скалярного поля на масштабе галактик и их скоплений и фаза

собственно скалярного поля в масштабе Вселенной с $w = -1$. Эта красивая физика предлагалась многими авторами, но А. Каменщик был, вероятно, первым [2] (см. также работу [12]). В работе [1] автор рассматривает комплексное скалярное поле и даже предлагает форму его потенциала для объяснения кривых вращения галактик, тогда это поле в фазе Бозе-конденсата («вне» этой фазы, как уже отмечено, оно обеспечивает отталкивание), Лагранжиан такого поля имеет вид:

$$L = g^{\mu\nu} \partial_\mu \Phi^* \partial_\nu \Phi - V(\Phi), \quad (2)$$

а его потенциал $V(\Phi)$ обладает глобальной симметрией:

$$\Phi \rightarrow \Phi' = e^{i\theta} \Phi \quad (3)$$

И, конечно, проблема в выборе такого потенциала. Автор [1] прекрасно понимает, что в момент нуклеосинтеза Вселенной (BBN) плотность такого поля должна была быть пренебрежимо мала, если оно обеспечивает «поведение» материи в момент рекомбинации и в момент образования структур, а в настоящую эпоху оно обеспечивает отталкивание на космологической шкале и притяжение на более мелких масштабах из-за Бозе конденсации. Он даже предлагает вид такого потенциала:

$$V(\Phi) = m^2 \Phi^* \Phi + \alpha \exp(-\beta \Phi^* \Phi) \quad (4)$$

и, вероятно, подбором α и β можно получить нужное поведение, хотя это сделать довольно трудно. В этой модели «тёмной жидкости» комплексное скалярное поле ассоциировано с сохранением заряда и как отмечает сам автор этой работы, его модель есть некая альтернатива к другим DE и DM моделям. Как такой «вычурный» потенциал мог реализоваться в природе – это, конечно, основной вопрос к этой изящной идее. Здесь красивая физика просматривается и в результатах: там, где барионы собираются в области с достаточной плотностью, скалярное поле возбуждается и конденсируется, образуя гало (Бозе-конденсат), т.е. оно (скалярное поле), в этих областях имеет притягивающий потенциал, как любая материя. Где барионная плотность низкая (космологическая шкала), данное скалярное поле не возбуждается а имеет отталкивающий потенциал, который ускоряет Вселенную.

2. Стабильные звёзды из тёмной энергии

Само название звезды из вакуума заставляет усомниться в «нормальности» авторов работ [3-4]. Но если к новым компактным объектам, которые уже обсуждались, «привыкнуть» было не очень просто, то идея о звёздах из тёмной энергии – просто сумасшедшая. К компактным объектам относят: фермионные звёзды – белые карлики, нейтронные (или кварковые звезды), чёрные дыры и преонные звезды, бозонные звёзды – аксионные, дилатонные и геонные звезды. И вот теперь «всплыли» звёзды из вакуума (или как их называют авторы – звёзды из тёмной энергии). Вероятно, здесь надо обратиться к истокам за разъяснением. Разъяснения обсуждены И. Дымниковой в работе «Космологический член как источник массы» и опубликованы в [5]. А. Эйнштейн – ввёл Λ -член, чтобы «работал» принцип Маха (материя имеет инерциальные свойства только тогда, когда существует другая материя во Вселенной), хотя по общепринятой версии он ввёл Λ -член, чтобы Вселенная была стационарной. К уравнению, которое описывает гравитацию, как геометрию пространства-времени, генерируемую материей:

$$G_{\mu\nu} = -8\pi G T_{\mu\nu} \quad (5)$$

он добавил Λ -член:

$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = -8\pi G T_{\mu\nu} \quad (6)$$

При $T_{\mu\nu} = 0$ введение Λ -члена исключало инерцию. После того как В. де Ситтер нашёл решение Эйнштейновских уравнений с $\Lambda g_{\mu\nu}$ без $T_{\mu\nu}$ (де Ситтеровское решение) дальнейшая «драма» с отказом от Λ -члена хорошо известна. Но суть осталась. Λ -член имеет что-то общее с инерцией, а значит и с материей. Это пояснение дано затем, чтобы уменьшить «уровень сумасшествия» от идеи звёзд из тёмной энергии. Отметим здесь же, что Λ -член, космологическая постоянная, вакуумная энергия и тёмная энергия – одно и то же понятие.

В работе [4] замечено, что классическая общая теория относительности не может быть корректной в картине гравитационного коллапса, т.к. она конфликтует с обычной квантовой механикой из-за невозможности синхронизации атомных часов на горизонте событий (речь идёт о чёрной дыре).

Для «спасения» классических идей предложена альтернатива, что при коллапсе вакуумное состояние имеет «недиагональный порядок» и в области горизонта событий пространство-время подвергается непрерывному фазовому переходу. Тогда, если коллапсирует объект с массой больше, чем несколько масс солнца, то у него образуется поверхность, соответствующая квантовой критической поверхности для пространства-времени, внутренность которого имеет больше вакуумной энергии, чем обычное пространство-время. Это и есть «dark energy star». Автор работы [4] ввёл сверхтекучесть как наилучшую модель для вакуума пространства-времени. Следует подчеркнуть для ясности, что пространство-время внутри «dark energy star» подобно обычному пространству-времени, в то время как вакуумная энергия здесь много больше, чем космологическая вакуумная энергия. Кроме того, внутри такой звезды отсутствует сингулярность и временной фактор для внутренней метрики – положительный в резком противоречии с предсказаниями ОТО, в которой имеет место отрицательный временной фактор - течение времени замедляется, как все уже привыкли. Продолжая «спекуляцию» на эту тему заметим, что внутри «dark energy star» имеет место де Ситтеровский вакуум [5] (более точно де Ситтеровский конденсат), т.е. «внутреннее» решение управляется уравнением $w < -1/3$, а «внешнее» управляется Шварцшильдовским вакуумным решением с $w = 1$. Конечно, такая релятивистская звезда напоминает чёрную дыру и вероятно в будущем, в наблюдательном отношении, звёзды из тёмной энергии будет трудно отличить от чёрных дыр [3]. Вне всякого сомнения, представляет физический интерес и сама картина гравитационного коллапса такой звезды, для которого введено анизотропное уравнение состояния. Такие звёзды также называют – звёзды из гравитационного вакуума (см. подробности в работах [13-14]). Самое интересное здесь в том что, как и чёрные дыры, эти звёзды, имея стабильные конфигурации, могут существовать довольно долго [3] и возможно это будет даже отдельная популяция звёзд. Более спекулятивные обобщения (на наши сегодняшние знания) относятся к ситуации, когда «dark energy stars» начинают коллапсировать с эволюционирующим (переменным) параметром w , имея до коллапса $-1 < w < -1/3$ и в течение коллапса пересекают фантомную границу $w = -1$. Тогда может даже реализоваться ситуация, когда огромное давление в центре такой звезды приводит к изменению её топологии, т.е. конвертируя «dark energy star» в кротовую нору (в работе [3], такую кротовую нору автор называет фантомной звездой).

3. «Наилучшие» данные для тёмной энергии

Brad Schaefer (www.phys.lsu.edu/SRBHR/details) из университета штата Луизиана на встрече Американского Астрономического Общества 11 января 2006 года доложил результаты анализа 52 γ -всплесков из спутниковых наблюдений SWIFT и HETE до красных смещений $z \sim 6.3$ (12.8 млрд. лет назад произошёл γ -всплеск, если его $z = 6.3$). Он построил GRB диаграмму Хаббла в координатах модуль расстояния - красное смещение и получил, что 12 γ -всплесков с наибольшими красными смещениями лежат ниже «constant case». Это действительно является явным указанием на то, что тёмная энергия изменялась со временем. Здесь же вывод: в ранние эпохи замедление в скорости расширения Вселенной было больше, чем ранее предполагалось (только с $z \sim 0.5$ Вселенная расширяется с ускорением). Считается и не без основания, что часть γ -всплесков идёт от объектов, которые находятся на экстремально далеких расстояниях, поэтому-то они и служат «пробой» эволюции ранней Вселенной. Сам γ -всплеск вероятнее всего – освобождение энергии звездой во время ее коллапса (при перестройке её ядерной части). Результаты В. Schaefer встряхнули ситуацию. Построенная В. Schaefer Хаббловская диаграмма содержит 52 γ -всплеска, из которых 21 всплеск имеет красное смещение большее, чем наиболее удалённые сверхновые типа Ia, т.е. они имеют красное смещение $z > 1.7$. Заметим, что именно по исследованию сверхновых Ia был сделан вывод в 90 годы об ускоренном расширении Вселенной. Повторим ещё раз смелый вывод автора сенсации: исходя из анализа Хаббловской диаграммы – тёмная энергия (вакуумная составляющая Вселенной) эволюционирует со временем. Кроме того, утверждается, что этот вывод сделан на 97% уровне достоверности. Как отметил руководитель программы SWIET N.Gehrels в ближайшие 2 года спутник SWIET откроет ещё 50 γ -всплесков, которые естественно будут также помещены на Хаббловскую диаграмму. И эти новые данные протестируют сенсационные результаты В. Schaefer. Возвращаясь к совместным наилучшим результатам (Best joint cosmology (from GRBs to SNe)) имеем для $w_0 = -1.3 \pm 0.2$ и $w' = 1.55 \pm 0.2$. Эти данные опубликованы на выше приведённом сайте.

4. Нейтринная тёмная энергия

Более экзотической работой по тёмной энергии является работа авторов статьи [15], в которой они рассматривают эффекты двумерной полевой теории, как альтернативу к обычным полевым теориям. Основная идея в том, что при плотности фермионной материи большей, чем плотность тёмной энергии, гравитационное взаимодействие редуцируется к общей относительности. В случае, когда эти плотности сравнимы (под тёмной энергией здесь понимается скалярное поле) нерелятивистские фермионы могут участвовать в космологическом расширении в очень странной манере. Во-первых, их масса увеличивается с расширением $m \sim a^{3/2}$, во-вторых, их уравнение состояния $w = -1$, т.е. получается, что нейтрино есть некий сорт тёмной энергии, при этом общее уравнение состояния (скалярное поле + нейтрино) тоже имеет $w = -1$. Также в этой модели возможна доменная структура тёмной энергии. Здесь впервые предложена для рассмотрения двумерная полевая теория.

5. Вакуумная энергия в голографических теориях

Менее экзотическое предложение сделано в работе [16], в которой малость космологической вакуумной энергии в голографических теориях авторы называют естественной. Эта работа глубока по своему физическому содержанию, т.к. содержит голографические идеи в масштабе Вселенной. Её авторы, критическую плотность Вселенной, выраженную в Планковских единицах (которая близка к плотности тёмной энергии), сравнивают с обратной энтропией Вселенной, выраженной также в Планковских единицах. Эти величины практически совпадают. Конечно, встает вопрос о возможности применения голографического принципа ко всей Вселенной, т.к. это четырехмерная система, у которой есть объём и она “простирается” во времени. Голографична ли Вселенная? Примером действия голографического принципа стали анти-де Ситтеровские пространства-время, которые имеют границу, находящуюся на бесконечном удалении. Идея в том, что голография ограничивает число степеней свободы, которые могут существовать внутри граничной поверхности, конечным значением этих степеней свободы. А если вспомнить, что современная теория поля с ее бесконечностями, вероятно, не является последним словом в физической науке, то голографический подход, конечно, оправдан. Бесконечное число степеней свободы допускает не только теория электромагнитного поля, но и теория суперструн, поэтому уход от бесконечностей – правильный путь. Квантовые полевые теории, в их настоящем

виде, не есть голографичны. В этом причина, по мнению авторов работы [16], огромной переоценки вакуумной энергии, т.е. вероятно голографические представления – ключ к будущей фундаментальной теории. В работе [16] утверждается также, что голография есть первичная причина малости полной плотности Вселенной и, следовательно, малости ее вакуумной составляющей. В голографических теориях энтропийная граница кладёт верхний предел на среднюю плотность энергии [17-18]. Проблема с вакуумной энергией была (и пока есть) в том, что на Планковской шкале плотность вакуумной энергии - огромная величина $\rho \sim M_p^4$ ($M_p \sim 10^{19}$ Gev). В реальности это величина контрастирует с наблюдаемой плотностью на 123 порядка. Авторы [16] утверждают, что малость наблюдаемой космологической вакуумной энергии, есть естественное следствие 2^x известных факторов:

1. Вселенная – голографическая система, т.е. ее энтропия ограничивается голографической энтропийной границей (пределом);
2. Вселенная – большая по сравнению с Планковской длиной.

Они получили голографический предел на плотность энергии во Вселенной:

$$\rho \leq \frac{3T}{4R} M_p^2 \quad \text{или} \quad \rho \leq \frac{3}{2A} M_p^2 \quad (7)$$

в котором: T – температура, R – размер горизонта Вселенной, $A = 4\pi R^2$, $T = 1/2\pi R$. Хотя 123 порядка «натянуть» не удаётся, но 90 порядков, которые даёт голографический подход, это уже что-то².

Для нашего краткого обзора новостей представляет интерес результаты работы [19], в котором, используя метод Монте-Карло, выполнен анализ ограничений на динамику тёмной энергии с учетом её возмущений, которыми вероятно зря пренебрегали. Работа [19] – наиболее полный анализ результатов от WMAP-3 (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe), SNIa и SDSS (Sloan Digital Sky Survey), использующий следующую параметризацию уравнения состояния:

$$w(z) = w_0 + w' z/(z+1) \quad (8)$$

Общий вывод: динамическая модель, в которой уравнение состояния тёмной энергии пересекает -1 , есть подходящая модель, но и стандартная Λ CDM

²По мнению авторов работы [16] голографическая термодинамика кладёт верхний предел на плотность энергии во Вселенной, посредством её энтропийного предела.

модель всё ещё хорошо коррелирует с текущими данными. Результаты WMAP-3, как наиболее полные, опубликованы в работе [20].

6. Другие “забытые” исследования вакуумной энергии

Также хотелось бы сказать несколько слов о микроструктурах гравитационного вакуума, который является, вероятно, компонентой вакуумной составляющей Вселенной. Еще несколько лет назад обсуждение гравитационного вакуума на космологической шкале могло бы трактоваться как ересь или как антинаука. Но вероятно, это не так, если встать на точку зрения, что вакуум эволюционирует, а гравитационный вакуум имеет свою внутреннюю топологическую микроструктуру и при расширении он «разжижается». Речь идет об образовании топологических дефектов Планковских размеров в гравитационном вакууме, которые могли появиться любой геометрической конфигурации и размерности, либо после первого релятивистского фазового перехода, либо после «дефектного» рождения Вселенной из «ничего» [8]. Здесь речь идет о «выпадении» гравитационного вакуумного конденсата. Рождение Вселенной в этом контексте представляет собой квантово-геометрический переход из состояния «ничего» ($a = 0$) в состояние замкнутого 3^x -мерного пространства малых, но конечных размеров (этот туннельный переход (геометродинамический) мог быть и в состоянии с большей размерностью). Гравитационный вакуум, кроме топологических дефектов, содержит и коллективные возбуждения – квантовые волны фононного типа. Кроме того, квантовые топологические дефекты с «неестественными» размерностями $D = 2, 1, 0$ (микромембраны, микроструны и монополи) вносят Лоренц – инвариантный вклад в вакуумный тензор энергии-импульса, в то время как 3^x -мерные топологические микроструктуры-кратовые норы вносят Лоренц инвариантный вклад в вакуумный тензор энергии-импульса. Т.е. 3^x -мерные топологические дефекты (кратовые норы) ренормируют Λ -член [7], но надёжной оценки для этого эффекта мы пока не имеем.

В заключении отметим, что точку зрения на то, что вакуумная составляющая Вселенной есть постоянная величина, подтверждает, кроме эксперимента команды SNLS с камерой “MegaCam”, также ещё один красивый физический факт. Я.Б. Зельдович [21] в своё время пытался оценить плотность вакуумной энергии во Вселенной, подсчитывая гравитационную энергию между частицами в вакуумных флуктуациях, как эффект высшего порядка. Он получил

формулу для вычисления Λ -члена, которую слегка модернизировал Н.С.Кардашёв [22]:

$$\rho_\Lambda = G m^6 c^2 h^{-4} \quad (9)$$

Подставляя в эту формулу массу π -мезона получаем замечательное согласие плотности вакуумной энергии с наблюдаемым значением $\Omega_\Lambda = \rho_\Lambda/\rho_{\text{ст}} \sim 0.7$ при $H_0 = 72.5 \text{ км с}^{-1}/\text{Мpc}$. Вероятно, современный вакуум во Вселенной есть вакуумный конденсат последнего релятивистского фазового перехода в кварк-глюонной плазме, закалившийся при $T \sim 150 \text{ МэВ}$ [23]. Как известно, вакуумные конденсаты в новейшей квантовой теории есть макроскопические среды с квазиклассическими свойствами. Периодические коллективные движения в такой среде воспринимаются как псевдо-Голдстоуновские бозоны. Киральная симметрия в $SU(3)_L \times SU(3)_R$ в КХД не есть точная и псевдо-Голдстоуновские бозоны есть физическая реализация нарушения этой симметрии. Спонтанное нарушение киральной симметрии во Вселенной привело к появлению в спектре частиц октета псевдоскалярных состояний. При температуре нарушения киральной симметрии ($T \sim 150 \text{ МэВ}$) главный вклад в периодические коллективные движения непертурбативного кварк-глюонного конденсата внесли, конечно, π -мезоны, как легчайшие частицы октета (это был момент конфайнмента кварков и глюонов во Вселенной).

Совпадение теоретических оценок и наблюдаемой величины вакуумной составляющей Вселенной позволяет “утверждать”, что вакуум во Вселенной “закалился” после цепочки фазовых переходов при $T \sim 150 \text{ МэВ}$, хотя до этой температуры в его плотность энергии вносили вклады другие конденсаты, которые образовывались при потере Вселенной своей первоначальной симметрии:

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

(мы эксплуатируем эту простейшую цепочку фазовых переходов во Вселенной, начиная с работы [24], а в работе [25], в связи с преонной моделью элементарных частиц, нами были обсуждены и непертурбативные вакуумные

конденсаты). Таким образом, с точки зрения автора, физически более приемлемой является ситуация, по которой Λ -член это постоянная для нас величина, хотя она и изменялась в первые доли секунды жизни Вселенной. Но все сомнения относительно её постоянства рассеют, конечно, новые независимые эксперименты.

Литература

1. Arbey A. astro-ph/0601274, 12January, 2006.
2. Kamenshchik A., Moschella U., Pasquier V. 2001, Phys. Lett. B 511, 265.
3. Lobo F.S. gr-qc/0508115, 31August, 2005.
4. Chapline G. Texas Conf. on Relativistic Astrophysics, Stanford, Ca 12-17December, 2004.
5. Dymnikova I. gr-qc/ 0112052, 20December, 2001.
6. Schaefer B. www.phys.lsu.edu/GRBHR/details.
7. Бурдюжа В., Верешков Г., Pacheco J. 2003. Препринт ФИАН № 9.
8. Бурдюжа В. 2005. Препринт ФИАН № 27.
9. Hu W. 2005, Phys. Rev. D, 71, 047301.
10. Jun-Qing Xia et al, astro-ph/0511625; Huterer D., Cooray A. 2005, Phys. Rev. D 71, 023506.
11. Armendariz-Picon C., Mukhanov V., Steinhard P. 2000, Phys. Rev. Lett 85, 4438.
12. Padmanabhan T., Choedhury T.R. 2002, Phys. Rev. D 66, 081301.
13. Mazur P.O., Mottola E. gr-qc/0109035; gr-qc/0407075.
14. Visser M., Witshire D.L. 2004, Class. Quant. Grav. 21, 1135.
15. Guendelman E., Kaganovich A. gr-qc/0603070, 17March, 2006; Int.J. Mod. Phys. A (will be published).
16. Balazs C., Szapudi I. hep-th/0603133, 17March, 2006.
17. 't Hooft G. gr-qc/9310026.
18. Fischer W., Susskind L. hep-th/9806039.
19. Zhao Gong-Bo et al. astro-ph/0603621, 23March, 2006.
20. Spergel D.N. et al. astro-ph/0603449, 19 March, 2006.
21. Зельдович Я.Б. 1967, Письма в ЖЭТФ 6, 883.
22. Кардашёв Н.С. 1998, Астроном. Ж. 74,803.
23. Бурдюжа В.В. 2002, Препринт ФИАН N 6.
24. Бурдюжа В.В., Верешков Г.М., Лалакулич О.Д., Пономарёв Ю.Н. 1997, Phys. Rev. D 55, R7340.
25. Burdyuzha V., Lalakulich O., Ponomarev Yu., Vereshkov G. Preprint of Yukawa Institute for Theoretical Physics (YITP-98-52) and hep-ph/9907537