

IV. Двухзнаковая гравитация. Космология

А. В. Клименко, В. А. Клименко

Аннотация

Современной космологической моделью Вселенной является стандартная модель, часто обозначаемая как Λ CDM- модель. Её описание осуществляется в рамках общей теории относительности (ОТО). Эта модель содержит пять независимых параметров, четыре из которых не определяются из наблюдений и являются подгоночными.

Показано, что наблюдаемую динамику Вселенной проще и убедительнее, чем в рамках Λ CDM-модели, можно интерпретировать в рамках S -модели (S-Simple), описываемой в рамках двухзнаковой гравитации (ДГ) и содержащей лишь один достаточно точно измеряемый параметр — постоянную Хаббла. Согласно двухзнаковой гравитации общая теория относительности неправильно описывает гравитационное взаимодействие частиц и античастиц, а также гравитационные свойства вакуума и вследствие этого непригодна для описания динамики космической среды на галактических и больших масштабах.

Ключевые слова: двухзнаковая гравитация, частицы и античастицы, вакуум, гравитация, Λ CDM-модель, S -модель.

1 Введение. Λ CDM-модель и её проблемы

1.1 Предположения, лежащие в основе модели

В основе современной космологической модели Вселенной, называемой стандартной или Λ CDM-моделью, лежат следующие предположения [1–3].

- Вселенная однородна, изотропна и нестационарна.
- Динамика Вселенной определяется влиянием гравитационного поля. Оно описывается уравнениями Эйнштейна с Λ -членом.
- Пространство Вселенной является однородной трёхмерной гиперповерхностью. В сопутствующей космологической системе координат метрика четырёхмерного пространства-времени определяется формулой

$$ds^2 = c^2 dt^2 - a^2(t) [d\chi^2 + f(\chi) (d\theta^2 + \sin^2(\theta)d\phi^2)], \quad (1)$$

где функция

$$f(\chi) = (\sin^2 \chi, k = +1); (sh^2 \chi, k = -1); (\chi^2, k = 0). \quad (2)$$

Она различна для трёх теоретически возможных геометрий трёхмерного пространства Вселенной. При $k = +1$, Вселенная замкнутая, её трёхмерное пространство сферическое и имеет конечный объём. Если $k = -1$, то Вселенная является открытой, её трёхмерное пространство псевдосферическое. При $k = 0$, Вселенная плоская и безграничная. Изменение масштаба Вселенной описывается скалярной функцией $a(t)$.

- Справедлив закон Хаббла:

$$\frac{da}{dt} = H(t) \cdot a(t), \quad (3)$$

где $H(t)$ — параметр Хаббла. Современное значение этого параметра H_0 называется постоянной Хаббла. Все расстояния $R(t)$, между любыми достаточно далёкими объектами во Вселенной, изменяются во времени подобно её масштабу $a(t)$.

- Космическая среда состоит из трёх компонент: нерелятивистской, релятивистской и тёмной энергии. Обычно параметры этих компонент обозначают значками M, rad и Λ , соответственно [1, Гл.4]. Считается, что уравнения состояния этих компонент имеют вид

$$P_M = 0, P_{rad} = \frac{1}{3}\varepsilon_{rad}, P_\Lambda = -\varepsilon_\Lambda = -\frac{c^4\Lambda}{8\pi G}, \quad (4)$$

где c — скорость света, G и Λ — гравитационная и космологическая постоянные, соответственно. Значками P, ρ, ε здесь и далее обозначаются давление, плотности массы и энергии, соответственно. Нерелятивистская компонента содержит в себе барионную компоненту и тёмную материю. Вклады всех компонент космической среды в её полное давление и плотность энергии суммируются.

Современные плотности компонент космической среды в Λ CDM-модели определяются безразмерными параметрами:

$$\Omega_M = \rho_{M,0}/\rho_c, \Omega_{rad} = \rho_{rad,0}/\rho_c, \Omega_\Lambda = \rho_\Lambda/\rho_c, \quad (5)$$

где $\rho_{M,0}, \rho_{rad,0}$ — современные плотности нерелятивистской и релятивистской компонент, соответственно. Величина

$$\rho_c = 3H_0^2/8\pi G \quad (6)$$

называется критической плотностью. $H_0 = h \cdot 100 \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{Мпк})$ — постоянная Хаббла. Считается, что плотность тёмной энергии ε_Λ в процессе расширения Вселенной остаётся постоянной.

1.2 Исходные уравнения

Уравнения Эйнштейна для однородной изотропной Вселенной могут быть преобразованы в космологические уравнения А.А. Фридмана. Они определяют взаимосвязь масштаба Вселенной $a(t)$ и величин характеризующих термодинамические свойства космической среды, см. [1, Гл.4].

С учётом сделанных в пункте 1.1 предположений эти уравнения могут быть записаны в виде:

$$\left(\frac{1}{a} \frac{d\bar{a}}{d\tau}\right)^2 = -k \frac{\Omega_{curv}}{\bar{a}^2} + \frac{\Omega_M}{\bar{a}^3} + \frac{\Omega_{rad}}{\bar{a}^4} + \Omega_\Lambda, \quad (7)$$

$$\frac{d^2\bar{a}}{d\tau^2} = -\frac{\Omega_M}{2\bar{a}^2} - \frac{\Omega_{rad}}{\bar{a}^3} + \Omega_\Lambda\bar{a}, \quad (8)$$

где $\bar{a} = a/a_0$, $\tau = t/H_0^{-1}$, a_0 — масштаб современной Вселенной, H_0^{-1} — удобная в космологии единица измерения времени. Она, по порядку величины, определяет возраст современной Вселенной, см. [1–4]. Значок «0», здесь и далее, относится к величинам, характеризующих состояние современной Вселенной.

В Λ CDM-модели параметр

$$\Omega_{curv} = c^2/a_0^2 H_0^2 \quad (9)$$

определяет отношение квадратов длин cH_0^{-1} и a_0 . В разделе 2 статьи показано, что этот параметр определяет современную плотность гравитационно-нейтрального вакуума в единицах ρ_c .

Уравнения (7), (8) решаются с граничными условиями

$$\bar{a}(\tau_0) = 1, \quad (d\bar{a}/d\tau)(\tau_0) = 1, \quad (10)$$

где τ_0 — возраст современной Вселенной. Считается, что «Большой взрыв» имел место при $\tau = 0$.

1.3 Параметры Λ CDM-модели

Как видно из (7), (8), параметрами, определяющими эволюцию Вселенной в рамках Λ CDM-модели являются:

$$\Omega_M, \Omega_{rad}, \Omega_{curv}, \Omega_\Lambda, h, k. \quad (11)$$

Эти параметры не являются независимыми. Из уравнения (7), с учётом граничных условий (10), следует:

$$-k\Omega_{curv} + \Omega_M + \Omega_{rad} + \Omega_\Lambda = 1. \quad (12)$$

Λ CDM-модель содержит пять независимых параметров.

Длительная практика применения Λ CDM-модели для интерпретации разнообразных наблюдательных данных определила области допустимых значений каждого из этих параметров (11).

Постоянная Хаббла H_0 , критическая плотность ρ_c

Обработка обширных наблюдательных данных [5; 6] даёт:

$$H_0 = (67 \pm 5) \text{ км/с Мпк}. \quad (13)$$

Часто её записывают в виде: $H_0 = 100 \cdot h$ км/с Мпк. В оценочных расчётах будем полагать $h = 0,67$. Величина критической плотности

$$\rho_c = 3H_0^2/8\pi G = 1,88 \cdot 10^{-29} h^2 \text{ г/см}^3. \quad (14)$$

Параметр Ω_{rad} Считают, что современная плотность релятивистской компоненты космической среды $\rho_{rad,0}$ содержит вклады двух составляющих: реликтового излучения $\rho_{\gamma,0}$ и трёх типов нейтрино $\rho_{\nu,0}$:

$$\rho_{rad,0} = \rho_{\gamma,0} + \rho_{\nu,0}. \quad (15)$$

Учитывают, что реликтовое излучение в настоящее время имеет температуру $T_0 = 2.725$ К. В соответствии с законом Стефана-Больцмана:

$$\rho_{\gamma,0} = 2 \frac{\pi^2 k_B^4}{30 \hbar^3 c^5} \cdot T_0^4, \quad (16)$$

где k_B — постоянная Больцмана, фактор 2 связан с наличием двух возможных поляризаций фотонов.

Вклад трёх типов нейтрино в современную плотность релятивистской компоненты, оценивается, как 0.68 от плотности $\rho_{\gamma,0}$ [1].

Учитывая, что $\rho_{rad,0} = 1.68\rho_{\gamma,0}$, а так же формулы (14), (16) и полагая $T_0 = 2.725$ К, находят:

$$\Omega_\gamma = \rho_{\gamma,0}/\rho_c = 2.5 \cdot 10^{-5}/h^2, \quad \Omega_{rad} = 1.68\Omega_\gamma, \quad (17)$$

а следовательно

$$\Omega_{rad}/\Omega_M = 4.2 \cdot 10^{-5}/(\Omega_M h^2). \quad (18)$$

Это значение параметра Ω_{rad} обычно и предполагается в Λ CDM-модели.

Параметры Ω_{curv} и k Расчёты, в которых предполагается, что $k = +1$ и Вселенная является замкнутой, не позволяют правильно интерпретировать наблюдаемую динамику Вселенной. Приходится считать, что пространственная кривизна Вселенной или точно равна нулю, или весьма мала. Для интерпретации наблюдений, часто используется «плоская» Λ CDM-модель, в которой полагают $k \cdot \Omega_{curv} = 0$, см гл. 4 [1]. Утверждают, что размеры области $\sim c \cdot H_0^{-1}$, в которой, в принципе, что-либо может видеть в настоящее время любой типичный наблюдатель, много меньше масштаба современной Вселенной a_0 . Согласно этой гипотезе, средняя скорость роста масштаба $a(t)$ много больше скорости света, но в то же время размеры наблюдаемой части современной Вселенной cH_0^{-1} много меньше её масштаба a_0 . Так обычно интерпретируют «плоскостность» Вселенной, в Λ CDM-модели. Другое объяснение предложению $k \cdot \Omega_{curv} = 0$ в этой модели вряд ли возможно.

Параметры Ω_M и Ω_Λ Хорошее согласие Λ CDM-модели с наблюдениями имеет место при значениях параметров

$$\Omega_M = (0.27 \pm 0.03), \quad \Omega_\Lambda = (0.73 \pm 0.03). \quad (19)$$

Эти значения являются не результатом измерений, а следствием подгонки параметров Λ CDM-модели с целью наилучшего согласования расчётных и наблюдательных данных [7].

В настоящее время считается, что многочисленные космологические наблюдательные данные, наилучшим образом интерпретируются в рамках Λ CDM-модели, если при расчётах полагать значения её параметров близкими к следующим [1–3]:

$$\begin{aligned} k &= -1; \quad \Omega_{curv} = 0; \quad \Omega_M = 0.27, \quad \Omega_{rad} = (4, 2/h^2) \cdot 10^{-5}; \\ \Omega_\Lambda &= 1 - \Omega_M - \Omega_{rad}, \quad H_0 = h \cdot 100(\text{км/сек})\text{Мпк}, \quad h = 0, 67. \end{aligned} \quad (20)$$

Знание значений параметров (20), считающихся наиболее вероятными, упрощает практику применения Λ CDM-модели для интерпретации наблюдений. В тоже время отметим, что нет объяснения того, почему эти параметры имеют значения близкие к приведённым в (20), а не другие.

1.4 Проблемы Λ CDM-модели

Выскажем замечания в адрес Λ CDM-модели.

В теоретическом плане вызывает недоумение использование в этой модели решений, описывающих расширение Вселенной со скоростями многократно превышающими скорость света. В однородной безграничной Вселенной увеличение со сверхсветовыми скоростями масштаба Вселенной одновременно означает и наличие сверхсветовых относительных скоростей разбегающегося достаточно далеко разнесённых материальных объектов «вмороженных» в расширяющееся пространство. С учетом этого, в Λ CDM-модели Вселенная не является единым физическим объектом. Для любого типичного наблюдателя она состоит из двух частей: внутренней (до горизонта видимости) и внешней (за его пределами). Математические положения, лежащие в основе модели, уравнения и решения её описывающие, справедливы для Вселенной в целом. В то же время, физический смысл имеет лишь та часть решений, которая описывает то, что происходит внутри причинно-связанной области, ограниченной горизонтом видимости, в которой скорости относительного движения тел не превышают скорость света. Исследователь, используя для описания динамики Вселенной Λ CDM-модель, может быть уверенным в правильности описания лишь той её части, которую он в принципе может видеть и о свойствах которой можно что либо утверждать, исходя из существующих современных знаний проверенных на опыте. Но если верить Λ CDM-модели, то это лишь малая часть того чем она является в реальности.

Существование областей Вселенной, которые принципиально не могут быть причинно-связанными с объектом её изучающим, порождает массу вопросов. Для их решения, кроме надёжно подтвержденных опытом знаний об окружающем мире, делаются гипотетические предположения о глобальных свойствах Вселенной, которые невозможно проверить. Причина невозможности состоит в том, что в Λ CDM-модели Вселенная не является единым реальным физическим объектом. В этой модели она содержит в себе часть, о свойствах которой можно судить лишь чисто гипотетически, поскольку какую-либо информацию из неё получить невозможно. Для полноты отметим, что в рамках Λ CDM-модели Вселенная может быть рассмотрена как единый физический объект в котором все события могут быть причинно взаимосвязанными, но для этого надо считать, что значение космологической постоянной меньше нуля. Такой вариант в современной космологии не рассматривается. Считается, что он не соответствует реальности.

Другим недостатком Λ CDM-модели является то, что она содержит слишком много параметров, см. (11), (12). Значения четырёх из них: Ω_M , Ω_{curv} , Ω_Λ и k , не определяются непосредственно из наблюдений и являются подгоночными. Модель, в которой так много свободных параметров, вряд ли можно считать удовлетворительной. Она содержит в себе ряд фундаментальных нерешённых проблем. Одна из них — проблема объяснения «плоскостности Вселенной» отмечалась ранее. Существуют и другие. Кратко их опишем.

Важнейшие в Λ CDM-модели компоненты космической среды: тёмная материя и тёмная энергия. Они в прямых экспериментах и в наблюдениях не определяются и поэтому являются гипотетическими элементами. Нет понимания их природы. Считается, что в этом состоит не только проблема Λ CDM-модели, но физики в целом [1–3].

В течение многих десятилетий предпринимались многочисленные, но безуспешные попытки найти источники тёмной материи среди слабо-светящихся гравитирую-

щих объектов. Последнее время их пытаются найти среди слабо взаимодействующих массивных ещё не открытых частиц, но пока так же без результата. Возможно, что ищут совсем не то, что надо искать в реальности. Альтернативный вариант решения проблемы «тёмной материи» будем обсуждать в статье IV. «Двузнаковая гравитация. Вакуум и гравитация»

Проблема тёмной энергии кажется ещё более сложной. Её суть заключается в следующем. Совершенно не понятно, почему в гравитации физический вакуум квантовой теории, имеющий, как считается, огромную плотность энергии, не проявляется, а тёмная энергия, являющаяся также вакуумной формой материи и имеющая несравненно меньшую плотность энергии, проявляется? Почему космологическая постоянная имеет столь малое значение и влияние тёмной энергии проявляется лишь на космологических масштабах? Попытки решения этой проблемы предпринимались уже давно, но никогда ещё не были успешными [8; 9].

Учитывая вышесказанное считаем что, многие выводы, полученные в рамках Λ CDM-модели, следует рассматривать лишь как гипотетические. Например, считается, что современная Вселенная расширяется ускоренно [10; 11] и это преподносится как достоверно установленный наблюдательный факт. В реальности, вывод об ускоренном расширении Вселенной является лишь следствием применения Λ CDM-модели для объяснения наблюдений и веры в её правильность. Этот вывод вовсе не следует из прямых наблюдений.

В современной космологии считается, что Λ CDM-модель правильно описывает динамику Вселенной, а отмеченные выше её трудности являются временными и будут устранены в процессе уточнения параметров модели и познания их истинного физического смысла [1–4]. Полагаем, что это не так, поскольку имеются веские основания сомневаться в правильности некоторых гипотез, лежащих в основе Λ CDM-модели. Ими, на наш взгляд, являются следующие.

- 1а** Гравитация не различает частицы и античастицы. Между любыми частицами и античастицами существует тяготение. Современная Вселенная состоит лишь из частиц.
- 2а** Главное влияние на динамику современной Вселенной оказывает вакуумная форма материи, называемая тёмной энергией.

Эти гипотезы не согласуются с положениями квантовой теории в её простом и надёжно экспериментально проверенном варианте. В этой теории различие частиц и античастиц является бесспорным фактом. В тоже время в ОТО гравитация их не различает, хотя в прямом эксперименте это не доказано. В силу сложности экспериментальной проверки гипотезы о различии частиц и античастиц в гравитации, соответствующие исследования пока находятся лишь в зачаточном состоянии [12]. В квантовой теории основополагающей сущностью мира является физический вакуум. В Λ CDM-модели считается, что тёмная энергия является вакуумной формой материи, но в тоже время оставаясь в рамках ОТО, установить связь между тёмной энергией и физическим вакуумом не удаётся.

В отсутствие убедительных теоретических и экспериментальных доказательств приведённых выше гипотез в [13] предложена теория гравитации основанная на альтернативных им гипотезах. Она названа авторами двузнаковой гравитацией. В её основе лежат следующие постулаты.

16 Реальная гравитация различает частицы и античастицы и между ними существует антитяготение. Вселенная симметрична по частицам и античастицам, как реальным, так и виртуальным, и является не только электро-, но и гравитационно-нейтральной.

26 Главной компонентой космической среды является электро- и гравитационно-нейтральный физический вакуум. Он однородно заполняет Вселенную. Частицы и античастицы являются возбуждёнными состояниями вакуума. Частицы — состояниями с положительной энергией, а античастицы — состояниями с отрицательной энергией. Энергия, с учётом её знака, и гравитационный заряд частиц/античастиц являются тождественными понятиями.

Подробно эти положения двузнаковой гравитации обсуждались в предыдущих статьях [14–16].

В двузнаковой гравитации наличие тёмной материи и тёмной энергии не предполагается. В этой теории считается, что в состав космической среды достаточно включить лишь то, что наблюдается в реальных экспериментах и что описывается в рамках Стандартной модели частиц.

В настоящей работе покажем, что космологическая модель Вселенной, основанная на двузнаковой гравитации является предельно простой и поэтому определяется как *S*-модель (Simple). В ней нет проблем Λ CDM-модели. В *S*-модели скорость роста масштаба Вселенной никогда не превышает скорость света. Она не содержит предположений о существовании тёмной материи и тёмной энергии. В этой, и в последующих работах цикла, покажем, что в рамках *S*-модели наблюдаемая динамика Вселенной интерпретируется значительно проще и убедительнее, чем в рамках Λ CDM-модели.

2 Модель гравитационно-нейтральной Вселенной

2.1 Предположения, лежащие в основе *S*-модели

- Динамика Вселенной описывается двузнаковой гравитацией, различающей частицы и античастицы.
- Главной компонентой космической среды во Вселенной является физический вакуум. Он не только электро-, но и гравитационно-нейтрален. Реальные частицы и античастицы являются его возмущёнными состояниями. Частицы — состояниями с положительной энергией, а античастицы — с отрицательной.
- Вселенная однородна, изотропна и нестационарна.
- Вселенная, в целом, симметрична по частицам и античастицам, как реальным, так и вакуумным. Их вклады в создание космологического гравитационного поля сокращаются, вследствие этого и вакуум и Вселенная в целом являются гравитационно-нейтральными.

2.2 Исходные уравнения

С учётом сделанных в п. 2.1 предположений, уравнения двузнаковой гравитации, которые по форме совпадают с уравнениями общей теории относительности [13],

стандартным образом преобразуются в космологические уравнения Фридмана для гравитационно-нейтральной Вселенной:

$$3 \left(\frac{\dot{a}^2}{a^2} + \frac{kc^2}{a^2} \right) = 0, \quad (21)$$

$$2 \frac{\ddot{a}}{a} + \frac{\dot{a}^2}{a^2} + \frac{kc^2}{a^2} = 0. \quad (22)$$

Решения этих уравнений существуют при $k = 0$ и $k = -1$.

При $k = 0$ решение этих уравнений $a = a_0 = const$. Реальная Вселенная нестационарна. Считаем, что решение $a = const$ не имеет к ней отношения.

Нестационарные решения уравнений (21), (22) существуют при значении параметра $k = -1$. Согласно S -модели нестационарная однородная изотропная Вселенная является псевдосферической. Так как в правых «материальных» частях уравнений (21), (22) стоят нули, то их формально можно рассматривать как описывающие динамику искривлённого однородного псевдосферического пространства свободного от любых форм материи. В действительности, в правых частях этих уравнений, описывающих динамику Вселенной, содержатся вклады реальных частиц и античастиц. В симметричной гравитационно-нейтральной Вселенной на космологических масштабах эти вклады равны по величине, но противоположны по знаку и поэтому сокращаются.

Уравнения (21), (22), при $k = -1$, могут быть записаны в виде:

$$\dot{a}^2 = c^2, \quad \ddot{a} = 0. \quad (23)$$

Они являются предельно простыми.

Решение этих уравнений с граничными условиями

$$a(t_0) = a_0, \quad \dot{a}(t_0) = H_0 a_0, \quad (24)$$

имеет вид:

$$a(t) = ct, \quad t_0 = H_0^{-1}, \quad (25)$$

где t_0 — возраст современной Вселенной, H_0 — постоянная Хаббла. Параметр Хаббла $H(t) = t^{-1}$.

В S -модели масштаб $a(t)$ понимается как максимальное расстояние, на которое могли разойтись за время t частицы/античастицы после Большого взрыва, стартовавшие из зародыша Вселенной в момент времени $t = 0$. Одновременно — это и максимальное расстояние, с которого, в принципе, может быть получен какой-либо сигнал в любой точке Вселенной в момент времени t . Космологическое время t , в силу предположения об однородности Вселенной, течёт во всех её точках одинаково. В рамках S -модели синхронизация всех часов в причинно-связанных областях может быть осуществлена. Вселенная в S -модели является единым физическим объектом однородным и изотропным. Между любыми событиями, имевшими место ранее и которые будут происходить в будущем, могут быть вставлены другие причинно связанные с ними события плотно покрывающие пространство-время Вселенной и делающие его непрерывным и глобально причинно взаимосвязанным.

В гравитационно-нейтральной Вселенной имеет место равновесие сил притяжения и отталкивания, вследствие этого она расширяется равномерно.

Уравнения (23), описывающие S - модель, не содержат свободных параметров. В то же время при их использовании для объяснения наблюдений через граничные условия (24) в S -модель вводится параметр H_0 - постоянная Хаббла. Он обеспечивает калибровку времени. За единицу времени берётся возраст современной Вселенной, $t_0 = H_0^{-1}$. Значение постоянной Хаббла находится из наблюдений за относительными движениями материальных объектов «вмороженных» в равномерно расширяющийся физический гравитационно-нейтральный вакуум.

Как видно из (25), в S -модели, как и в используемой в современной космологии Λ CDM-модели, существовал момент времени ($t = 0$), когда размер Вселенной был нулевым. Его рассматривают как момент её рождения и определяют термином «Большой взрыв». В этот момент физические параметры космической среды были бесконечными. Считаем это недостатком этих моделей. Устранение сингулярностей из теории гравитации является одной из актуальных задач.

2.3 Геометрия пространства Вселенной в S - модели

При $k = -1$, уравнения (21), (22) могут быть записаны в виде:

$$3 \left(\frac{\dot{a}^2}{a^2} + \frac{0 \cdot c^2}{a^2} \right) = \frac{8\pi G}{c^2} \varepsilon_N, \quad (26)$$

$$\left(\frac{\dot{a}^2}{a^2} + \frac{0 \cdot c^2}{a^2} \right) = \frac{8\pi G}{c^2} P_N, \quad (27)$$

где

$$\varepsilon_N = \frac{3c^4}{8\pi G} \frac{1}{a^2}, \quad P_N = -\frac{1}{3} \varepsilon_N. \quad (28)$$

Уравнения (26), (27) могут быть истолкованы как описывающие динамику однородной изотропной Вселенной, трёхмерное пространство которой является плоским, нестационарным, но не пустым. Оно заполнено вакуумной материей, термодинамические свойства которой определяются формулами (28). Эта необычная материя связана с искривлённостью трёхмерного пространства Вселенной. Согласно (25), масштаб гравитационно-нейтральной Вселенной увеличивается со скоростью света.

Если слагаемые, описывающие гравитационно-нейтральную вакуумную материю из правых «материальных» частей уравнений Фридмана (26), (27) перенести в левую, то там они будут описывать отрицательную кривизну однородного пустого псевдосферического трёхмерного пространства. При таком изменении формы записи уравнений Фридмана материя исчезает, но зато появляется кривизна. Полагаем, что материя не исчезает, а кривизну трёхмерного пространства можно трактовать как связанную с существованием во Вселенной глобального однородного нестационарного электро- и гравитационно-нейтрального вакуума. С учётом этого, формулы (28) рассматриваем как определяющие его термодинамические параметры: плотность энергии и давление.

Кроме космологического гравитационно-нейтрального вакуума во Вселенной теоретически может существовать и другой вакуум. Он описывается Λ -членом уравнений Эйнштейна и связан с неустранимой кривизной четырёхмерного пространства-времени $R_4(\Lambda = -\frac{1}{4}R_4)$. В современной космологии её трактуют как обусловленной наличием вакуумной материи, определяемой термином тёмная энергия. Её параметры определяются формулами (14).

Материи, связанные с кривизной пространства и кривизной пространства-времени, по-разному влияют на динамику Вселенной. Влияние первой из них приводит к равномерному росту масштаба Вселенной со скоростью света, тогда как влияние второй, при Λ больше нуля, приводит к его неограниченному экспоненциальному росту. Обычно в физике, считается, что если уравнение имеет решение, которое является экспоненциально растущим, то его как нефизичное следует отбросить. Имеются и другие соображения, указывающие на нецелесообразность учёта тёмной энергии с Λ больше нуля в двузнаковой гравитации []. Отметим также следующее, решения с Λ меньше нуля обычно в космологии не рассматриваются. Считается, что они не соответствуют наблюдениям [13; 15]. Возможно, что это не так и именно такие решения и должны лежать в основе космологии. В них, по крайней мере нет экспоненциального роста масштаба Вселенной и что очень привлекательно, на их основе может быть построена модель Вселенной в эволюции которой нет выделенного момента времени и её состояния периодически повторяются. Вариант Λ CDM-модели с Λ меньше нуля в работах цикла мы не обсуждаем, сосредоточив усилия на рассмотрении более простого и более красивого, как мы полагаем, варианта теории согласно которому Вселенная не только электро-, но и гравитационно-нейтральна.

В заключение этого пункта отметим, что уравнения (7), (8), описывающие Λ CDM-модель, переходят в уравнение (23), описывающие S -модель, если параметры Λ CDM-модели полагать равными:

$$\Omega_M = 0, \Omega_{rad} = 0, \Omega_\Lambda = 0, k = -1; \Omega_{curv} = 1; h = 0,67. \quad (29)$$

Значения параметров, приведённых в (20) не имеют под собой теоретического обоснования и являются лишь следствием желания согласовать ОТО с наблюдениями. Принципиально другая ситуация с выбором значений параметров Λ CDM-модели в виде (29). Такой выбор значений параметров этой модели, за исключением значения постоянной Хаббла, имеет строгое обоснование в двузнаковой гравитации. Значение постоянной Хаббла и в S - и в Λ CDM-моделях берётся из наблюдений. В работе ориентируемся на данные полученные миссией Планк [6] ($h = 0.6693 \pm 0.0062$) и приближенно считаем, что $h = 0.67$.

В следующем разделе покажем, что объяснение ключевых для космологии наблюдений в рамках современной Λ CDM-модели достигается за счёт подгонки пяти параметров. В рамках S -модели, основанной на двузнаковой гравитации, эти наблюдения объясняются значительно проще за счёт подбора лишь одного хорошо измеряемого параметра — постоянной Хаббла. Это, как мы полагаем, является сильным аргументом в пользу правильности основополагающих идей двузнаковой гравитации.

3 Интерпретация наблюдений в космологии в рамках Λ CDM- и S -моделей

3.1 Возраст Вселенной

Обработка многочисленных данных о физических свойствах наблюдаемых звёзд, с учётом существующего понимания законов их эволюции, показывает что наиболее старые из них имеют возраст не менее 11-12 млрд лет [17].

Оценка максимального возраста долгоживущих радиоактивных элементов указывают на то, что их образование, по-видимому, также произошло приблизительно

11-12 млрд лет назад. Примерно 1-2 млрд лет, как полагают, занимал период эволюции Вселенной, когда ещё не было ни звёзд, ни тяжёлых радиоактивных элементов, образовавшихся, как считается, в процессе эволюции звёзд [18].

Основываясь на приведённых выше данных, а также на кажущиеся убедительными их теоретические интерпретации, в современной космологии возраст Вселенной оценивают приблизительно в четырнадцать миллиардов лет [1–3].

Чтобы рассчитать возраст Вселенной в рамках Λ CDM-модели, решают космологические уравнения Фридмана (17), (18), описывающие эту модель, с граничными условиями (10). Для получения предполагаемого возраста Вселенной в районе $14 \cdot 10^9$ лет проводится подбор пяти параметров модели. Естественно, что при таком количестве параметров это легко достигается и притом бесконечным количеством способов. Даже, если предположить, что возраст Вселенной известен совершенно точно, то это не позволяет однозначно определить значения параметров Λ CDM-модели и сделать её определённой. Возраст один, а параметров много.

Для значений параметров Λ CDM-модели, приведённых в (20), расчёты в рамках этой модели возраста современной Вселенной дают: $t_0 \approx 14 \cdot 10^9$ лет.

Совершенно другая ситуация с объяснением возраста Вселенной в рамках S -модели. Согласно этой модели Вселенная расширяется равномерно и её возраст t_0 однозначно связан с значением постоянной Хаббла H_0 формулой

$$t_0 = H_0^{-1}.$$

Из наблюдательных данных следует, что значение H_0 лежит в интервале ($65 \div 70$) км/с Мпк. Ему в S -модели соответствуют значения t_0 , лежащее в интервале ($14 \div 15$) $\cdot 10^9$ лет. Это согласуется с современными представлениями о возрасте Вселенной.

3.2 Зависимость «звёздная величина — красное смещение»

Эффективный способ проверки правильности космологической модели основан на сравнении теоретически рассчитанной в рамках модели и наблюдаемой зависимости: «видимая звёздная величина — красное смещение» [1; 4]. В расчётах используется формула, определяющая эту зависимость для источников, чья абсолютная светимость предполагается известной. Вид этой зависимости определяется, для заданного красного смещения z , видом функции $a(t)$. Приведём вывод этой формулы.

И в Λ CDM- и в S -модели считается, что в однородной расширяющейся Вселенной длина волны λ фотона испущенного в момент времени t и его длина волны λ_0 , регистрируемая наблюдателем в момент времени t_0 , связаны соотношением

$$\lambda_0/\lambda = a_0/a. \quad (30)$$

Величины a и a_0 определяют масштаб Вселенной в момент времени t и t_0 , соответственно.

Красное смещение наблюдаемого объекта z определяется формулой

$$z = (\lambda_0 - \lambda)/\lambda = a_0/a - 1. \quad (31)$$

Чем дальше находился объект, излучивший фотоны, тем дольше эти фотоны летели в расширяющейся Вселенной, тем больше отношение $a_0/a(t)$ и тем больше его красное смещение.

Красное смещение z объекта — непосредственно определяемая величина. Измерение z сводится к идентификации системы линий излучения (или поглощения) атомов и определению того, насколько они смещены в область длинных волн. Формулы (30) и (31) имеют общий характер и справедливы при любых z .

И в Λ CDM, и в S -модели предполагается, что Вселенная является открытой, и используется метрика

$$ds^2 = c^2 dt^2 - a^2(t) \{ (d\chi)^2 + \text{sh}^2 \chi [(d\theta)^2 + \sin^2 \theta (d\varphi)^2] \}, \quad (32)$$

Площадь поверхности, через которую пролетают фотоны, испущенные источником, имеющим красное смещение z , определяется формулой

$$S(z) = 4\pi r^2(z), \quad (33)$$

С учётом вида метрики (32), расстояние до объекта, красное смещение которого z :

$$r(z) = a_0 \text{sh} \chi(z), \quad (34)$$

где $a_0 = a(t_0)$ — масштаб современной Вселенной. Взяв за единицу измерения длины величину cH_0^{-1} , запишем $r(z)$ в безразмерном виде:

$$\bar{r}(z) = r(z)/cH_0^{-1}. \quad (35)$$

Плотность потока фотонов, падающих на приёмник пропорциональна $1/S(z)$. Вследствие красного смещения энергия каждого регистрируемого фотона $\hbar\omega_0$ отличается от энергии испущенного фотона $\hbar\omega$. Эти энергии связаны соотношением

$$\hbar\omega_0/\hbar\omega = a/a_0 = (1+z)^{-1}. \quad (36)$$

Видно, что энергия каждого принимаемого фотона в $(1+z)^{-1}$ раз меньше его энергии в момент испускания. Дополнительно видимая яркость объекта, имеющего красное смещение z , ещё уменьшена на фактор $(1+z)^{-1}$. Это связано с тем, что единице времени приёмника соответствует время $(1+z)^{-1}$ излучателя (см., например, [4, Гл.3]).

Учитывая вышесказанное, формулу, определяющую видимую яркость E источника, имеющего абсолютную светимость L и красное смещение z , без учёта поглощения и рассеяния фотонов, записывают в виде

$$E = L / [(1+z)^2 S(z)]. \quad (37)$$

Астрономы используют не величину E , а звёздные величины m . По определению,

$$m = -2.5 \lg E + \text{const}. \quad (38)$$

Чтобы в зависимости $m(z)$ выделить влияние факторов, определяющих эволюцию Вселенной, и исключить влияние фактора «абсолютная светимость наблюдаемого объекта», рассматривают объекты, имеющие определённую светимость («стандартные свечи»). Кроме звёздной величины m для этих объектов вводится понятие абсолютной звёздной величины M . Величина M — это есть m при условии, что источник находится на расстоянии 10 пк от наблюдателя. По определению

$$M = -2.5 \lg E_1 + \text{const}, \quad (39)$$

где $E_1 = L/4\pi l_0^2$, $l_0 = 10$ пк. Учитывая (35), (37) – (39), находят формулу, определяющую зависимость «звёздная величина – красное смещение» для стандартных свеч:

$$m - M = 5 \lg [(1 + z)\bar{r}(z)] + 5 \lg (cH_0^{-1}/l_0), \quad (40)$$

см., например, [4].

В зависимости $(m - M)(z)$ влияние факторов, определяющих свойства наблюдаемых объектов исключены, и остаётся лишь зависимость от факторов, определяющих расширение Вселенной. Формулу (40) используем для теоретического расчёта зависимости $(m - M)(z)$ в рамках S - и Λ CDM-моделей. Для расчёта этой зависимости, предварительно вычисляем функцию $r(z)$.

Чтобы найти расстояние $\bar{r}(z)$, входящее в (40), необходимо вычислить функцию $\chi(z)$, (см. формулы (34), (35)). Функция $\chi(z)$ однозначно связана с масштабом $a(t)$, определяющим динамику Вселенной. Для фотона, движущегося к приёмнику, который находится в начале системы координат χ, θ, φ , справедливо уравнение

$$ds^2 = c^2 dt^2 - a^2(t) d\chi^2 = 0. \quad (41)$$

Отсюда находим:

$$d\chi = -c dt/a(t). \quad (42)$$

Знак минус взят потому, что рассматриваются лучи, приходящие к наблюдателю, находящемуся в начале системы координат.

Используя (31), от переменной t переходим к переменной z , получаем

$$dt = -a^2 dz/a_0 (da/dt) \quad (43)$$

и формулу (42) записываем в виде:

$$d\chi = c dz/a_0 (\dot{a}/a). \quad (44)$$

Отсюда находим функцию

$$\chi(z) = c \int_0^z \frac{dz'}{a_0 (\dot{a}/a)_{z'}} \quad (45)$$

Точка над буквой обозначает дифференцирование по времени.

Зависимость $\bar{r}_\Lambda(z)$ в Λ CDM-модели

Учитывая (34), (35), (45) и (7), формулу, определяющую в Λ CDM-модели расстояние $\bar{r}_\Lambda(z)$ до наблюдаемого объекта, имеющего красное смещение z , запишем в виде

$$\bar{r}_\Lambda(z) = \frac{1}{\sqrt{\Omega_{curv}}} \operatorname{sh} \int_1^{1+z} \frac{\sqrt{\Omega_{curv}} dz'}{\sqrt{-k\Omega_{curv}z'^2 + \Omega_M z'^3 + \Omega_{rad}z'^4 + \Omega_\Lambda}}. \quad (46)$$

Здесь и далее величины, рассчитанные в рамках Λ CDM-модели, обозначаются индексом Λ .

Обычно для интерпретации наблюдений используется «плоская Λ CDM-модель», в которой полагают $k \cdot \Omega_{curv} = 0$. Предсказания Λ CDM-модели, в которой значение параметра Ω_{curv} заметно отличается от нуля, противоречат наблюдениям [1]. Считая, что $\Omega_{curv} = 0$, формулу (46) записывают в виде

$$\bar{r}_\Lambda(z) = \int_0^z \frac{dz'}{\sqrt{\Omega_M(1+z')^3 + \Omega_{rad}(1+z')^4 + \Omega_\Lambda}}. \quad (47)$$

Стандартная математическая процедура выбора теоретически рассчитанной зависимости $(m - M)_\Lambda(z)$, наилучшим образом описывающей наблюдательные данные по сверхновым типа Ia , показывает, что это имеет место при значениях параметров Λ CDM-модели близких к приведённым в (20).

Зависимость $\bar{r}_S(z)$ в S -модели

Используя (34), (45) и (35), формулу (37), определяющую расстояние $\bar{r}_S(z)$ в S -модели, запишем в виде

$$\bar{r}_S(z) = sh [\ln(1 + z)] = \frac{z(2 + z)}{2(1 + z)}. \quad (48)$$

Учитывая (40), (48) можно построить график зависимости $(m - M)_S(z)$ в S -модели.

На рис. 1 приведён график зависимости $(m - M)_S(z)$, рассчитанный по формуле (40) для значения $h = 0,67$. Для сравнения приведён также график $(m - M)_\Lambda(z)$, рассчитанный в рамках Λ CDM-модели для значений параметров (20).

Сравнение приведённых графиков показывает следующее:

S -модель, содержащая лишь один параметр (причём не подгоночный, а измеряемый достаточно точно непосредственно!), не хуже, чем Λ CDM-модель, содержащая пять параметров, значения четырёх из которых получены подгонкой и непосредственно не измеряются, объясняет наблюдаемую зависимость $(m - M)(z)$ для сверхновых типа Ia .

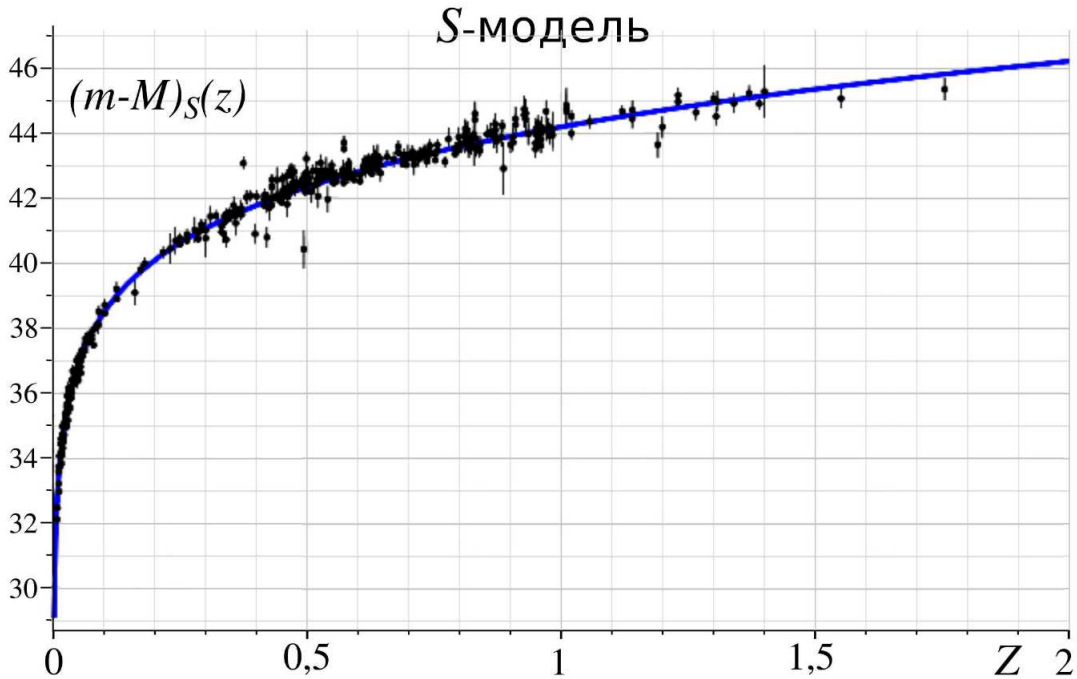


Рис. 1: Зависимость $(m - M)_S(z)$ в модели равномерно расширяющейся Вселенной. Экспериментальные точки для сверхновых типа Ia взяты из [7]. Сплошная кривая получена в рамках S -модели для $h = 0,67$; штрих-пунктирная — график $(m - M)_\Lambda(z)$ получен в рамках Λ CDM-модели для значений параметров (20). Эти графики практически совпадают.

Впервые утверждения об определяющем влиянии, непосредственно не измеряемой гипотетической тёмной энергии, на динамику Вселенной, а также об её ускоренном расширении, в космологии появились именно при объяснении зависимости $(m - M)(z)$ для сверхновых типа *Ia* [10; 11]. За установление этого факта в 2011г. была присуждена Нобелевская премия по физике (Сол Перлмуттер, Брайан Шмидт и Адам Рисс).

Применение *S*- и Λ CDM-моделей для объяснения этой зависимости показывает явное преимущество первой из них. Возникает естественный вопрос. Зачем для объяснения этой зависимости использовать модель содержащую пять параметров, четыре из которых чисто подгоночные, причём физический смысл двух из них до сих пор не ясен (тёмной материи и тёмной энергии), если её можно объяснить в рамках модели содержащей лишь один параметр, имеющий ясный физический смысл и измеренный с хорошей точностью?

Можно гипотетически предположить, что недостатки предельно простой *S*-модели проявятся в области красных смещений заметно больших, чем имеющих место для наблюдаемых сверхновых типа *Ia*. Чтобы убедиться, что это не так, применим *S*-модель для объяснения особенностей наблюдаемой анизотропии реликтового излучения, относящихся к области красных смещений $z \gg 1$.

3.3 Анизотропия реликтового излучения

В современной космологии считают, что фундаментальным результатом последних лет является установление факта малости пространственной кривизны Вселенной — её «плоскостности» [1]. Полагают, что данные, которые убедительно подтверждают этот факт, связаны с наблюдаемой анизотропией реликтового излучения. Они были получены в результате обширных наблюдений анизотропии с помощью космических аппаратов «Реликт», COBE, WMAP и ПЛАНК.

Изучение тонкой структуры реликтового излучения показывает, что на его равномерном фоне имеются незначительные отклонения. Наблюдаются слабые вариации температуры реликтового фона на уровне нескольких тысячных долей процента. Считается, что они являются свидетельством существования слабых неоднородностей сжатий и разрежений в космической среде, из которых реликтовое излучение свободно доходит до нас. В сжатиях плотность и температура среды были выше средней. Они видны как яркие (относительно среднего фона) пятна. В областях разрежения плотность и температура была ниже средней, и поэтому они наблюдаются как тёмные пятна. Степень отклонения яркости пятен от средней фоновой различна. Она меняется от пятна к пятну, а также среди ярких и тёмных пятен.

В современной космологии считается, что неоднородности на реликтовом фоне — это наиболее удалённые наблюдаемые в настоящее время объекты во Вселенной. Предполагают, что они существовали в космической среде в то время, когда произошёл «отрыв» излучения от барионной компоненты. Считают, что в эту эпоху температура излучения и барионной компоненты уменьшилась в процессе расширения Вселенной приблизительно до 3000 К. Барионная компонента из состояния плазмы перешла в газообразное состояние и при этом длина свободного пробега фотонов резко возросла и стала соизмеримой с масштабом Вселенной. Произошло «просветление» космической среды.

Наблюдаемое в настоящее время реликтовое излучение состоит из фотонов, которые свободно дошли к нам из этой эпохи. Её называют эпохой рекомбинации.

Считается, что пятна на реликтовом фоне являются изображениями в реликтовом излучении тех неоднородностей, которые существовали в барионной компоненте космической среды в эпоху рекомбинации. Предполагают, что для этой эпохи красное смещение $z_{rec} \simeq (1000 \div 1100)$ [1–3].

При переходе фотонов реликтового излучения из эпохи рекомбинации в современную, их длины волн увеличились в $(a_0/a_{rec}) \simeq z_{rec} \simeq (1000 \div 1100)$ раз. При этом, спектр реликтового излучения остался планковским, но его температура уменьшалась в (a_0/a_{rec}) раз и, как показывают измерения, в современной Вселенной стала равной 2,725 К.

Наличие неоднородностей температуры на реликтовом фоне на уровне $10^{-4} \div 10^{-5}$ от равновесного значения, указывает на существование в эпоху рекомбинации в барионной компоненте также и возмущений плотности и давления:

$$\delta\rho/\rho_0 \sim \delta T/T_0 \sim \delta P/P_0 \sim 10^{-4} \div 10^{-5}.$$

Особенно интересными на реликтовом фоне являются самые яркие пятна. Наблюдения чётко выявляют наличие определённого угла $\Delta\theta$ между направлениями в пространстве на их центры. Утверждается, что этот угол с точностью $(1 \div 2)\%$ равен одному градусу [19]. Считается, что в эпоху рекомбинации эти пятна имели приблизительно одинаковые линейные размеры.

В Λ CDM-модели, следуя теории образования структур, основанной на ОТО и идее об определяющей роли в образовании структур гравитационной (джинсовской) неустойчивости (см., например, классическую работу Лифшица [20], а также [21]), считают, что размер этих пятен определяется возрастом Вселенной в эпоху рекомбинации t_{rec} .

В Λ CDM-модели считается, что линейный размер ярких пятен, изображение которых наблюдается на реликтовом фоне равен $d = 2 \cdot (c/\sqrt{3})t_{rec}$. Учитывается, что возмущения являются адиабатическими и максимальная скорость их распространения в космической плазме была равна не скорости света, а скорости звука $c/\sqrt{3}$.

В S -модели, основанной на двузнаковой гравитации, считается, что яркими пятнами на реликтовом фоне являются миры и антимирры, на которые Вселенная распалась в эпоху $z \approx 10^9$. Приблизённо их можно рассматривать как однородные расширяющиеся хаббловские шары, «вмороженные» в равномерно расширяющийся вакуум. Их размер в эпоху рекомбинации был равным $d = 2ct_{rec}$.

Не обсуждая пока деталей, отметим, в чём состоит принципиальное различие в условиях образования структур в рамках ОТО и двузнаковой гравитации.

В ОТО развитие гравитационной неустойчивости в нерелятивистской компоненте космической среды изучается на «равновесном» фоне, изменение параметров которого рассчитывается в рамках Λ CDM-модели, а в двузнаковой гравитации изменение параметров этого фона, рассчитывается в рамках S -модели.

Согласно первой из них, ранняя Вселенная расширялась со сверхсветовыми скоростями на много порядков большими, чем скорость света, согласно второй, скорость расширяющей Вселенной не больше скорости света. В S -модели существовал регулярный механизм разделения частиц и античастиц, а в Λ CDM-модели он отсутствовал. Подробно эти вопросы обсуждаются в наших следующих статьях V. «Двузнаковая гравитация. Миры и антимирры» и IV. «Двузнаковая гравитация. Вакуум и гравитация».

3.4 Угловые размеры удалённых объектов

Формула, определяющая угол $\Delta\theta$ в радианах, под которым виден объект, имеющий линейный размер d и красное смещение z , может быть записана в виде [1, § 4.7]:

$$\Delta\theta = \bar{d}(1+z)/\bar{r}(z), \quad (49)$$

где $\bar{d} = d/cH_0^{-1}$, $\bar{r}(z) = r(z)/cH_0^{-1}$.

Λ CDM-модели расстояние $\bar{r}(z)$ вычисляют по формуле (47).

Время t_{rec} , при котором в Λ CDM-модели $\bar{a}(t_{rec}) = 1/(1+z_{rec})$, находят, решая уравнение (8) с граничными условиями (10). Расчёты показывают, что при значениях параметров (20)

$$t_{rec} \approx 3.8 \times 10^5 \text{ лет}. \quad (50)$$

Размер, определяющий расстояние между центрами ярких соседних пятен на однородном фоне реликтового излучения в момент рекомбинации, в Λ CDM-модели вычисляется по формуле:

$$d = (2/\sqrt{3})ct_{rec}. \quad (51)$$

Учитывая (51), запишем (49) в виде:

$$\Delta\theta = \frac{2t_{rec}(1+z_{rec})}{\sqrt{3}\bar{r}(z_{rec})H_0^{-1}} \frac{180}{\pi}. \quad (52)$$

В этой формуле значение угла приведено в градусах.

В Λ CDM-модели угловое расстояние между центрами ярких пятен на однородном фоне реликтового излучения получается приблизительно равным одному градусу, если считать, что $z_{rec} \approx 1000$, а значения параметров модели брать близкими к приведённым в (20).

В S -модели расстояние $\bar{r}(z)$ вычисляем по формуле (48). Момент рекомбинации t_{rec} в этой модели определяется формулой

$$t_{rec} = H_0^{-1}/(1+z_{rec}). \quad (53)$$

В оценочных расчётах, полагаем $H_0 \approx 67 \text{ км/с Мпк}$, при этом $H_0^{-1} \approx 14 \times 10^9$ лет.

Соотношение между угловыми и линейными размерами наблюдаемых объектов, имеющих красное смещение z , зависит от того, какова геометрия трёхмерного пространства Вселенной. Согласно S -модели она является плоской, и это является следствием предположений об однородности Вселенной и её гравитационной-нейтральности.

В S -модели $t_{rec}(1+z_{rec}) = H_0^{-1}$, $d = 2ct_{rec}$, поэтому

$$\Delta_S\theta = \frac{2 \times 180}{\bar{r}(z_{rec})\pi}. \quad (54)$$

Чтобы в S -модели получить значение угла $\Delta_S\theta$ равным одному градусу, необходимо считать, что отрыв излучения от вещества и антивещества произошел не при $z \approx 10^3$, как это предполагается в Λ CDM-модели, а при $z_{rec} \approx 225$. Согласно S -модели, это имело место приблизительно через шестьдесят два миллиона лет после большого взрыва. При этом, наблюдаемые в эту эпоху пятна на реликтовом фоне имели размер приблизительно 38 Мпк.

По поводу значений красных смещений, имевших место в эпоху отрыва излучения от вещества, предполагаемых в Λ CDM- и S -моделях выскажем следующее замечание. Когда говорят об отрыве излучения от вещества, то утверждают, что он произошёл в эпоху перехода водород-гелиевой плазмы в расширяющейся Вселенной в газообразное состояние. Это должно было произойти при температуре, когда частицы космической среды, в том числе и фотоны, уже не имели энергий достаточных для ионизации атомов водорода ($13,6\text{эВ} \approx 1,58 \cdot 10^5\text{К}$) и тем более для гелия ($24,3\text{эВ} \approx 2,85 \cdot 10^5\text{К}$). Вопрос о том, почему просветление космической среды во Вселенной произошло при температурах значительно меньших, чем температуры ионизации атомов водорода и гелия и что более соответствует реальности: $z_{rec} \approx 10^3$, или $z_{rec} \approx 225$, в настоящей работе не обсуждается. Отметим лишь следующее. В Λ CDM-модели задача объяснения роста амплитуды возмущений от начального уровня $\delta\rho/\rho \sim \delta T/T \approx 10^{-4} \div 10^{-5}$ при $z_{rec} \approx 10^3$, до величин, необходимых для зарождения звезд и галактик уже через один-полтора миллиарда лет после большого взрыва, может быть решена лишь в предположении, что количество тёмной материи во Вселенной значительно больше, чем барионной материи [2; 3].

В S -модели, для решения задачи объяснения роста возмущений от уровня $\delta\rho/\rho \sim \delta T/T \approx 10^{-4} \div 10^{-5}$ при $z_{rec} \approx 225$, до необходимого, чтобы интерпретировать наблюдаемое существование галактик с красными смещениями z , лежащими в интервале $10 - 15$, вообще не требуется предполагать существование тёмной материи. Согласно двузнаковой гравитации, на галактических и больших масштабах, гравитационные свойства космической среды кардинально отличаются от предполагаемых в современной теории гравитации. Показано, что при этом и свойства неустойчивости, определяющей распад однородной космической среды на крупномасштабные сгустки материи в ранней Вселенной, существенно иные, чем у обычной джинсовской неустойчивости. Этот важный вопрос будем обсуждать в статье IV. «Двузнаковая гравитация. Вакуум и гравитация».

3.5 Первичный нуклеосинтез

Согласно S -модели, расчетная длительность протекания процессов в ранней Вселенной на много порядков больше, чем длительность этих же процессов, но рассчитанных в рамках Λ CDM-модели. Это должно проявляться в различии предсказаний этих моделей относительно результатов этих процессов, а также и их проявлений в современной Вселенной. К одному из таких результатов можно отнести предсказания S - и Λ CDM-моделей, касающиеся ядерного состава барионной компоненты после первичного нуклеосинтеза.

При рассмотрении первичного нуклеосинтеза следует иметь ввиду следующее. Энергия связи ядер в расчёте на один нуклон $\lesssim 8,5$ Мэв. С учётом этого заключают, что в ранней Вселенной при температурах $\gtrsim 10^{11}$ К ядра, состоящие из протонов и нейтронов, существовать не могли. Они были бы разрушены при столкновениях.

Такие ядра, согласно существующим представлениям, не могли существовать и при температурах $T \lesssim 10^{10}$ К. Это обусловлено тем, что они могут быть рождены в цепочках двухчастичных ядерных реакциях, на первом шаге которых должно возникнуть слабо связанное ядро дейтерия D . Его энергия связи $E_D \simeq 1$ Мэв. Этой энергии соответствует температура $T \approx 10^{10}$ К. Скорости развала и синтеза ядер дейтерия зависит не только от температуры космической среды, но и существенно от значения параметра $\eta_B = n_B/n_\gamma$, определяющего соотношение между концентрациями барио-

нов и фотонов. Если считать, как это обычно полагается в оценочных расчётах, что $\eta_B \simeq 10^{-9}$, то скорости развала дейтерия фотонами и скорости синтеза дейтерия в более тяжёлые ядра сравниваются при температуре $T \approx 9 \cdot 10^8$ К. Можно приближённо считать, что при $T < 9 \cdot 10^8$ К все образующиеся ядра дейтерия участвуют в реакциях образования более тяжёлых ядер, а при более высокой температуре разваливаются и не участвуют в этих реакциях. С учётом этого возможное количество дейтерия, участвующего в первичном ядерном синтезе, определяется соотношением между количеством протонов и нейтронов к моменту его начала. Согласно Λ CDM-модели температура космической среды $T \simeq 9 \cdot 10^8$ К была достигнута приблизительно через три минуты после Большого взрыва. Расчёты показывают, что при $T \simeq 9 \cdot 10^8$ К и $\eta_B \simeq 10^{-9}$ нейтрон-протонный баланс был на уровне: приблизительно 13% нейтронов и 87% протонов.

После окончания первичного нуклеосинтеза, практически все нейтроны, имевшиеся на его начало, оказались связанными в ядрах ${}^4\text{He}$. Через несколько минут после Большого взрыва барионная компонента состояла приблизительно на 92% из протонов и 8% ядер ${}^4\text{He}$ (по массе 74% и 26%, соответственно).

Согласно расчётам первичного нуклеосинтеза в рамках Λ CDM-модели, кроме большого количества ${}^4\text{He}$, в очень незначительных количествах образуются ядра ${}^2\text{D}$, ${}^3\text{He}$, ${}^7\text{Li}$ и некоторые другие ядра, см., например, [1–3]. Согласно этой модели, время существования в расширяющейся Вселенной условий благоприятных для синтеза ядер более тяжёлых, чем ${}^4\text{He}$, слишком мало, чтобы они могли в заметных количествах успеть образоваться. В современной космологии считается, что подавляющая часть ядер, более тяжёлых, чем ${}^4\text{He}$ и наблюдаемых в заметных количествах во Вселенной, синтезирована не в первичном нуклеосинтезе, а значительно позже — в звёздах. Считается, что звёзды первого поколения во Вселенной стали рождаться приблизительно через миллиард лет после Большого взрыва.

Существенно другими являются условия протекания первичного нуклеосинтеза, а следовательно и его результаты, если динамику расширения Вселенной описывать в рамках S -модели. Согласно этой модели, первичный нуклеосинтез начался лишь приблизительно через четыре года после Большого взрыва и при температурах несколько более высоких, чем это предсказывается в рамках Λ CDM-модели. При этом он протекал не в течении нескольких минут, как это считается в современной космологии, а в течении нескольких тысячелетий. Это обусловлено следующим.

Основополагающие идеи, лежащие в основе S - и Λ CDM-моделей отличаются принципиально. Вследствие этого существует кардинальное отличие законов изменения масштаба Вселенной $a(t)$ в этих моделях. Это наглядно показано на Рис. 2. Согласно S -модели длительность интервалов времён протекания «реперных» процессов в ранней Вселенной, в том числе и нуклеосинтеза, на много порядков больше, чем это предсказывается Λ CDM-моделью. Существенные отличия в изменениях $a(t)$ в этих моделях имеют место не только в ранней Вселенной, но и в другие времена. Это приводит к значительному различию интерпретаций в рамках этих моделей наблюдений, для которых существенны космологические эффекты.

Согласно S -модели, реакции нуклеосинтеза начали протекать при температурах $T \approx 10^{10}$ К. При этих температурах существовали благоприятные условия для образования нейтронов из протонов и электронов, а следовательно и ядер дейтерия. При $T \approx 10^{10}$ К большая часть образующихся ядер дейтерия разваливалась γ -квантами. В тоже время, согласно S -модели, время существования благоприятных условий для рождения дейтерия является значительным. Можно ожидать, что за это время, за-

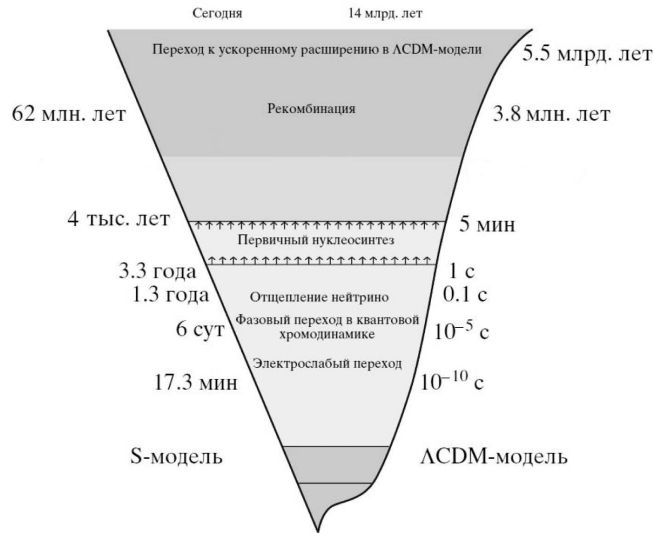


Рис. 2: Схематическое изображение динамики Вселенной, а также важнейших эпох её эволюции в S - и ΛCDM -моделях.

метная часть дейтерия успела поучаствовать в образовании ядер ${}^4\text{He}$, а некоторая часть последних ещё и в реакциях синтеза более тяжёлых элементов.

При более низких температурах ($T \lesssim 10^9 \text{ K}$), и по мере её дальнейшего уменьшения, условия для образования нейтронов становились все менее благоприятными. Вследствие этого, падала скорость рождения дейтерия, а следовательно и более тяжёлых элементов. В течении нескольких тысячелетий после большого взрыва термоядерные реакции в расширяющейся Вселенной протекали аналогично тому как это происходит в звёздах на стадии спокойного выгорания водорода.

Учитывая приведённые выше качественные соображения, можно ожидать, что результаты расчётов первичного нуклеосинтеза в рамках S - и ΛCDM -моделей будут значительно отличаться. Чтобы провести соответствующее исследование, необходимо в программах расчёта первичного нуклеосинтеза закон изменения масштаба $a(t)$, определяемый в рамках ΛCDM -модели, заменить на закон (25), описывающий изменение $a(t)$ в S -модели.

У нас нет опыта проведения исследования первичного нуклеосинтеза и программ его расчёта. Надеемся, что такие исследования в рамках S -модели будут проведены специалистами, занимающимися исследованиями нуклеосинтеза во Вселенной. Этот пункт написан нами с целью привлечения их внимания к этой важной задаче. Возможно, что, как и в исследовании глобальной динамики Вселенной, применение идей двузнаковой гравитации высветит принципиально новые моменты в первичном нуклеосинтезе, например, покажет, что начальное содержание металлов в звёздах первого поколения может заметно отличаться от рассчитываемого в рамках ΛCDM -модели.

4 Заключение

В современной астрофизике считается, что общая теория относительности правильно описывает гравитационные свойства космической среды на галактических и больших масштабах. Она лежит в основе современной космологической модели Вселен-

ной (Λ CDM-модели). В тоже время использование ОТО для объяснения динамики видимой барионной компоненты космической среды на галактических и больших масштабах выявило следующее: эта теория совершенно не пригодна для её описания.

Чтобы устранить вопиющее несоответствие расчётных и наблюдаемых характеристик, определяющих динамику движений видимой космической среды, стали гипотетически предполагать, что она составляет не более четырёх процентов реально существующей материи во Вселенной, а подавляющая её часть является невидимой и проявляет себя лишь в гравитации. Были высказаны кажущиеся убедительными аргументы в поддержку этой гипотезы. Подавляющая часть астрофизиков верят в её справедливость и она лежит в основе их работ. В этих работах учитывают и ищут то, что как считается, составляет приблизительно девять-десять процентов реально существующей во Вселенной материи и что позволяет согласовать выводы современной теории гравитации с наблюдениями. Формально, за счёт подгонки большого количества неизмеримых в прямых наблюдениях параметров (в Λ CDM-модели их пять, два из которых определяют плотности двух гипотетических материй: тёмной материи и тёмной энергии) это удаётся сделать. В то же время очевидно, что достигнутое согласие не является убедительным. Несмотря на огромные затраченные интеллектуальные усилия, нет понимания природы ни тёмной материи, ни тёмной энергии. Кроме того, существующую теорию гравитации (ОТО) уже почти сто лет безуспешно пытаются объединить с теорией микромира-квантовой теорией. В рамках последней, как предполагается, должно содержаться описание физических свойств тёмных материй.

По этому поводу выскажем следующее замечание. Квантовая теория несравненно лучше, чем ОТО подтверждена экспериментально. В то же время в исследованиях, с целью объединения этих теорий, обычно присутствует не сомнение в правильности основополагающих принципов теории гравитации, а предположение о неполноте квантовой теории. Считается, что существующая теория частиц не в полной мере описывает процессы, имевшие место в экстремальных условиях ранней Вселенной. Предлагаемые усложнения существующей теории частиц часто связаны с желанием понять природу тех компонент космической среды без которых ОТО на галактических и больших масштабах является несостоятельной теорией.

В наших работах представлена противоположная точка зрения. Считается, что невозможность объяснить в рамках существующей теории гравитации наблюдаемую динамику космической среды на галактических и больших масштабах, не связана с неполнотой существующих знаний о космической среде, а является чётким указанием на ограниченность этой теории и ошибочность некоторых её основополагающих принципов. В предлагаемой нами теории, называемой двузнаковой гравитацией, считается, что реальная гравитация различает частицы и античастицы и между ними существует не тяготение, а антитяготение. Предполагается, что главным и основополагающим элементом космической среды является физический вакуум квантовой теории и он является не только электро-, но и гравитационно-нейтральным. Показано, что в рамках двузнаковой гравитации, можно просто и убедительно, без введения гипотетических тёмных материй, объяснить наблюдаемые свойства Вселенной на галактических и больших масштабах. Согласно этой теории, ОТО является ограниченной теорией, она неправильно описывает гравитационные свойства вакуума и гравитационное взаимодействие частиц и античастиц. Космологическая модель Вселенной, основанная на ОТО содержит пять независимых параметров, четыре из которых являются чисто подгоночными. В то же время модель, основанная на дву-

знаковой гравитации содержит лишь один достаточно точно измеряемый параметр и этого, как показано в работе, оказывается достаточно, чтобы интерпретировать наблюдаемую динамику Вселенной и при этом значительно проще и убедительнее, чем в рамках ОТО.

Согласно двузнаковой гравитации Вселенная является единым физическим объектом. Любые события в такой Вселенной могут быть связаны друг с другом цепочками причинно- связанных событий. В этой теории, при построении модели Вселенной, учитывается, что на достаточно больших масштабах она является однородной и изотропной. Это её свойство подтверждается огромным количеством наблюдательных данных. Оно является естественным и существенно упрощает задачу изучения Вселенной. В модели Вселенной, описываемой в рамках двузнаковой гравитации вопрос о том, почему параметры космической среды, в областях отстоящих друг от друга на любых достаточно далеких расстояниях оказываются согласованными не требует привлечения для своего решения каких либо идей выходящих за рамки хорошо проверенных экспериментально.

Решения, описывающие глобальные свойства Вселенной, в рамках двузнаковой гравитации, охватывают ее всю и определяются лишь одной скалярной функцией — её масштабом $a(t)$. Считается, что главным и определяющим элементом космической среды является физический вакуум квантовой теории. Предполагается, что он в невозмущенном состоянии является однородной изотропной идеальной электро-, и гравитационно- нейтральной средой имеющей вполне определённое уравнение состояния. Частицы и античастицы являются его возбуждёнными состояниями. Они отличаются знаком энергии. Скорость их относительного движения никогда не превышает скорость света.

Динамика расширения гравитационно- нейтральной Вселенной, описываемая в рамках двузнаковой гравитации, кардинально отличается от предсказываемой в рамках стандартной ОТО. S -модель является моделью зарядово-симметричной Вселенной, а Λ CDM-модель зарядово- асимметричной Вселенной. Первая значительно проще второй. В S -модели содержится значительно меньше произвольных допущений, чем в Λ CDM-модели. В следующих работах цикла покажем, что кроме наблюдательных данных, рассмотренных в этой работе, существует множество других, которые в рамках двузнаковой гравитации интерпретировать значительно проще, чем в рамках общей теории относительности.

Список литературы

1. Горбунов, Д. С. Введение в теорию ранней Вселенной. Теория горячего большого взрыва / Д. С. Горбунов, В. А. Рубаков. М. : ЛКИ, 2008.
2. Горбунов, Д. С. Введению в теорию ранней Вселенной. Космологические возмущения. Инфляционная теория / Д. С. Горбунов, В. А. Рубаков. М. : КРАСАНД, 2010.
3. Вайнберг, С. Космология. / С. Вайнберг, 2008. С. 696.
4. Зельдович, Я. Б. Строение и эволюция Вселенной / Я. Б. Зельдович, И. Д. Новиков. М. : Наука, 1975.

5. Sandage, A. G. The Hubble Constant: A Summary of the Hubble Space Telescope. Program for the Luminosity Calibration of Type Supernovae by Means of Cepheid / A. G. Sandage, A. Tammann, A. Saha et al. // *Astrophys. J.* 2006. Vol. 653, №2. P. 843–860.
6. Ade P.A.R. et al. (Planck Collaboration). Planck 2013 results. I. Overview of products and scientific results // *Astronomy and Astrophysics: journal.–EDP Sciens*, 2013. 22 March (vol. 1303). P. 50–62.
7. Astier, P. The Supernova Legacy Survey: measurement of Ω_M , Ω_Λ and ω from the first year data set / P. Astier, J. Guy, N. Regnault et al. // *Astron. Astrophys. J.* 2006. Vol. 447, №1. P. 31–48.
8. Зельдович, Я. Б. Космологическая постоянная и теория элементарных частиц. // *УФН* Т. 95, вып.1, 1968.
9. Зельдович Я. Б. Теория вакуума, быть может, решает задачу космологии. // *УФН*, т.133, вып.3, 1981.
10. Perlmutter S. Measurements of Ω and Λ from 42 High-Redshift Supernovae / S. Perlmutter, C. Aldering, G. Goldhaber et al. // *Astrophys. J.* 1999. Voll. 517, №2 P. 565–586.
11. Riess, A. G. Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant / A. G. Riess, A. V. Filippenko, P. Challis et al. // *Astron. J.* Vol. 116. №3. 1009, 1998.
12. Charman, A.E. Description and First Application of a New Technique to Measure the Gravitational Mass of Antihydrogen [Электронный ресурс] / The ALPHA Collaboration & A. E. Charman // *Nature communications*. — 2013. — URL: <http://www.nature.com/ncomms/journal/v4/n4/full/ncomms2787.html>.
13. Клименко А.В. Двухзнаковая гравитация / А.В. Клименко, В.А. Клименко. Челябинск : изд-во Челябинского гос. университета, 2017.
14. Клименко А.В. I. Двухзнаковая гравитация. Частицы и античастицы в гравитационном поле / А.В. Клименко, В.А. Клименко.
15. Клименко, А.В. II. Двухзнаковая гравитация. Вакуум пространство-время / А.В. Клименко, В.А. Клименко.
16. Клименко, А.В. III. Двухзнаковая гравитация. Основополагающие принципы / А.В. Клименко, В.А. Клименко.
17. Звёзды / ред.–сост.: В. Г. Сурдин. 2-е изд., испр. и доп. М. : Физматлит, 2009. 428 с.
18. Широков Ю. М., Юдин Н. П. Ядерная физика. // М. : Наука, 1980.
19. Смут, Дж. Анизотропия реликтового излучения. Открытие и научное знание // *УФН*. 2007. Т. 177.

20. Лифшиц Е. М. О гравитационной устойчивости расширяющегося мира / Е. М. Лифшиц // Журнал эксперимент. и теор. физики. 1946. Т. 16. С. 587–602.
21. Лифшиц Е. М. Проблемы релятивистской космологии / Е. М. Лифшиц, И. М. Халатников // Успехи физ. наук. 1963. Т. 80. вып. 3. С.391–438.