

V. Двухзнаковая гравитация. Миры и антимирры

А. В. Клименко, В. А. Клименко

Аннотация

В рамках двухзнаковой гравитации (ДГ) дано альтернативное, к существующему в современной космологии, объяснение наблюдаемой барионной асимметрии Вселенной. Показано, что ещё в ранней Вселенной, в эпохи красных смещений $z > 10^9$, произошёл её распад на области состоящие лишь из вещества (миры) и области, состоящие только из антивещества (антимирры). Описано как миры и антимирры, являясь самыми крупными структурами Вселенной, «вмороженные» в расширяющийся вакуум, разошлись на космологические расстояния и как при этом менялись их параметры. Приводятся аргументы в поддержку гипотезы о том, что уже более пятнадцати лет астрономы наблюдают ранние миры и антимирры и ими являются относительно яркие пятна на однородном реликтовом фоне, имеющие угловые размеры приблизительно один градус.

Ключевые слова: двухзнаковая гравитация, миры и антимирры, частицы и античастицы, антитяготение, барионная асимметрия.

1 Введение

1.1 Проблема барионной асимметрии

В простом (симметричном) варианте квантовой теории поля (КТП) частицы и античастицы описываются совершенно равноправно. Учитывая это, Дирак в Нобелевской лекции 1933 года высказал гипотезу о том, что частицы и античастицы во Вселенной должны присутствовать в равном количестве [1].

В то же время, наблюдения как будто говорят против этого. В достаточно большой области окружающего нас пространства вещество присутствует, а антивещество не наблюдается. Масштаб этой области миллиарды световых лет [2–4].

В физике существует давно известная и пока не имеющая убедительного решения проблема барионной асимметрии. Её суть состоит в следующем: почему симметричная по частицам и античастицам квантовая теория согласуется с наблюдениями в микромире, но не на космологических масштабах? В чем причина? В несовершенстве теории? И если да, то какой? Той, которая описывает природу на микромасштабах - квантовой теории поля — КТП, или той, которая используется для ее описания на глобальных масштабах-общей теории относительности — ОТО?

1.2 Барионная асимметрия. Современный взгляд [2; 3; 5]

Считается, что ранняя Вселенная была симметричной по частицам и античастицам. В современной Вселенной наблюдаются лишь частицы. Гипотетически предполагают, что простой симметричный вариант КТП не в полной мере отражает реальность, что отсутствие антибарионов в окружающем нас мире связано с нарушением симметрии в процессах рождения/уничтожения частиц/античастиц в экстремальных условиях ранней Вселенной. В результате этого возникли «лишние» барионы. Их было приблизительно одна миллиардная часть по отношению к количеству парных барионов/антибарионов. После эпохи аннигиляции барионов/антибарионов сохранились лишь «лишние» барионы, для которых не нашлось партнёров для аннигиляции. Современная Вселенная состоит из «лишних» барионов. Соотношение между количеством барионов и фотонов в современной Вселенной определяется параметром $\eta_B \approx 10^{-9} \div 10^{-10}$, который является важнейшим в космологии и как считается - мерой нарушения равенства между количествами барионов и антибарионов в эпоху их аннигиляции.

1.3 Идея миров и антимиров

Эта идея лежит в основе альтернативного, к существующему, решения проблемы барионной асимметрии. Она связана не с усложнением КТП, а с уточнением ОТО. Проблема миров и антимиров находит естественное и простое решение в двузнаковой гравитации. В этой теории гравитация различает частицы и античастицы, как реальные, так и виртуальные (вакуумные). Между частицами и античастицами существует не тяготение, а антитяготения. Вселенная и вакуум являются не только электро-, но и гравитационно-нейтральными [6-8]. Согласно двузнаковой гравитации в ранней Вселенной существовал регулярный механизм её распада на миры и антимирры. В процессе расширения Вселенной они разошлись на космологические расстояния. Барионная асимметрия не является глобальной. Мы находимся в одном из бесконечного множества миров, а кроме них существует ещё и бесконечное множество антимиров.

Подобная идея высказывалась ранее английским астрофизиком Омнесом [9], но им не предполагалось необходимое для ее реализации уточнение ОТО. Рассматривавшийся Омнесом механизм распада Вселенной на миры и антимирры в рамках общей теории относительности не выдержал критики [10].

Согласно ОТО динамику космической среды на достаточно больших масштабах определяет гравитация, и она не различает частицы и античастицы. Вследствие этого на всех этапах эволюции Вселенной отсутствовал регулярный механизм разделения частиц и античастиц. Согласно расчётам в рамках ОТО в симметричной по частицам и античастицам Вселенной совершенно исключена возможность «выживания» как тех так и других в эпоху их аннигиляции. Согласно ОТО в «симметричной» Вселенной отсутствовали бы не только антимирры, но и миры [3; 10].

1.4 Неучтенные «второстепенные» факты

В связи с рассматриваемой проблемой уместна, как мы полагаем, следующая мысль П. Дирака: «Если в каком-то случае применения красивой и логически замкнутой теории появляются расхождения с наблюдениями, то их причиной, видимо, являются

второстепенные факты, которые относятся к этому применению и которые не были должным образом учтены, но никак не неправильность общих принципов теории».

В чем могут заключаться неучтенные «второстепенные факты», относящиеся к применению «симметричного» и самого простого варианта квантовой теории к объяснению наблюдаемого состава Вселенной?

Наша гипотеза по этому поводу заключается в следующем.

Общая теория относительности основана на экспериментально не проверенной гипотезе согласно которой, гравитация не различает частицы и античастицы. Считается, что при одинаковых условиях (положении и скорости) в гравитационном поле они движутся одинаково. Предположим, что эта гипотеза является ложной [6]. В этом случае принципиально по иному, чем у Омнеса, можно объяснить распад ранней Вселенной на миры и антимир и дальнейшую их эволюцию.

В настоящей работе показано, что красивая идея о возникновении структур в результате распада Вселенной на области, состоящие только из вещества и только из антивещества, в рамках двузнаковой гравитации находит естественное обоснование. Показано, что этот распад происходил в результате действия регулярного механизма. Он был обусловлен различием знаков энергий частиц и античастиц. Согласно двузнаковой гравитации однознаковые энергии притягиваются, а разнознаковые отталкиваются [6–8]. Это и явилось фактором определившим зарождение и рост зародышей миров и антимиров в ранней Вселенной.

В настоящей работе показано, что если идея антитяготения между частицами и античастицами является правильной, то ещё в ранние эпохи эволюции Вселенная естественным образом распалась на бесконечное множество миров и антимиров. Наш Мир — лишь один из миров.

В рамках модели Вселенной нейтральной не только по электрическому, но и по гравитационному заряду, проблема начальных возмущений рассматривается без каких-либо произвольных предположений. Достаточно считать, что начальными возмущениями являются тепловые флуктуации космической среды. Это снимает неопределённость в задании начальных условий, имеющую место в существующих теориях возникновения структур во Вселенной [2–4].

2 О распаде Вселенной на миры и антимир

Считаем, что космическая среда состоит из трёх компонент: вакуумной материи, вещества и антивещества. Вещество состоит из электронов (e), протонов (p), нейтронов (n), нейтрино (ν_e, ν_μ, ν_τ) и фотонов (γ). Вселенная симметрична по частицам и античастицам. Состав антивещества: $\bar{e}, \bar{p}, \bar{n}, \bar{\nu}_e, \bar{\nu}_\mu, \bar{\nu}_\tau, \bar{\gamma}$. Предполагаем, что обычная материя и вакуумная материя являются гравитационно-нейтральными [7; 8].

При температурах значительно больших, чем пороговая для рождения барионов/антибарионов ($T > 10^{13} K$), во Вселенной с высокой скоростью шли реакции их рождения и уничтожения. На начало эпохи барион/антибарионной аннигиляции их было более чем на 9 – 10 порядков больше, чем в современной Вселенной. В эту эпоху энергии сталкивающихся частиц уже оказывается недостаточно для рождения барион-антибарионных пар.

Изначально в космической среде существовали тепловые флуктуации. Их амплитуда была разной для различных масштабов. В объёмах, содержащих n частиц/античастиц, начальная амплитуда тепловых флуктуаций концентрация частиц/античастиц

$\delta n/n$ была на уровне $\sim 1/\sqrt{n}$ [11]. В расширяющейся Вселенной действовал механизм, обеспечивающий регулярный рост крупномасштабных флуктуаций. Он был обусловлен различием знаков энергий гравитационных зарядов у частиц и античастиц. Росту мелкомасштабных возмущений препятствовало действие электромагнитных сил.

Согласно двузнаковой гравитации механизм расслоения первоначально равномерно перемешанных в ранней Вселенной частиц и античастиц состоял в следующем. Начальные тепловые флуктуации плотности частиц создавали локальные гравитационные поля. Они притягивали в эти флуктуации частицы и выталкивали из них античастицы. Это создавало регулярный экспоненциальный рост рассматриваемых флуктуаций. Симметричный процесс имел место в флуктуациях повышенной плотности античастиц. Эти флуктуации втягивали античастицы и выталкивали частицы. Рост флуктуаций частиц и античастиц в гравитационно-нейтральной расширяющейся Вселенной происходил до тех пор, пока в результате её охлаждения реакции рождения барионов и антибарионов выключились, но продолжалась интенсивная аннигиляция вещества и антивещества. В работе покажем, что к началу эпохи аннигиляции барионов/антибарионов относительная флуктуация плотностей частиц и античастиц в объёмах, содержащих $\approx 10^{88}$ частиц/античастиц достигла значений $\delta\rho/\rho \sim \delta\bar{\rho}/\bar{\rho} \lesssim 10^{-10} \div 10^{-9}$. Она была малой, но на много порядков больше, чем амплитуда первоначальных тепловых флуктуаций, которая в рассматриваемых объёмах была на уровне 10^{-44} . После завершения аннигиляции в флуктуациях «выжили» лишь незначительные избытки частиц над античастицами и античастиц над частицами, имевшиеся в флуктуациях на начало эпохи аннигиляции. Расширяющаяся Вселенная распалась на зародыши миров и антимиров. Подавляющая часть барионов и антибарионов, имевшихся до аннигиляции, проаннигилировала и превратилась в излучение и слабо взаимодействующие нейтрино. Фотонов, нейтрино и их античастиц во Вселенной стало приблизительно в миллиард раз больше, чем барионов и антибарионов.

Эпохи эволюции расширяющейся Вселенной удобно характеризовать величиной красного смещения z , соответствующего им. Формула

$$z = (a_0/a) - 1$$

определяет красное смещение эпохи [2; 10]. Здесь a_0 — масштаб современной Вселенной, а a — её масштаб в рассматриваемую эпоху. Эпохе интенсивной аннигиляции барионов/антибарионов ($T \lesssim 3 \cdot 10^{12}$) соответствует красное смещение $z_a \lesssim 10^{12}$.

После завершения аннигиляции электронно-позитронных пар $T \lesssim 3 \cdot 10^9$ в эпоху $z \lesssim 10^9$ Вселенная окончательно распалась на миры и антимир, погруженные в почти однородный, равномерно расширяющийся гравитационно-нейтральный Вакуум.

3 Уравнения, описывающие малые возмущения

В рамках двузнаковой гравитации, исследуем линейную стадию развития неустойчивости, в результате которой Вселенная распалась на миры и антимир.

Считаем, что в отсутствие возмущений вещество и антивещество равномерно перемешаны и макроскопического гравитационного поля нет. Имеет место равномерное расширение электро- и гравитационно-нейтральной Вселенной. Динамику возмущений изучаем в космологической системе отсчёта в которой Вселенная однородна

и изотропна. В силу малости возмущений исследование проводим в ньютоновском приближении. В этом приближении, уравнение, описывающее гравитационное поле, принимает вид [6; 8]:

$$\Delta\Phi = 4\pi G(\rho - \bar{\rho}), \quad (1)$$

где ρ и $\bar{\rho}$ — абсолютные значения плотностей масс вещества и антивещества, соответственно; Φ — гравитационный потенциал; $G \simeq 6,67 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3/\text{с}^2\text{г}$ — гравитационная постоянная. В (1) учитываем, что тяжёлые массы частиц и античастиц отличаются знаком.

Рассматриваем эпоху, в которую процессы рождения и уничтожения барионов/антибарионов ещё уравновешивали друг друга. Это имело место при температурах заметно больших, чем $3 \cdot 10^{12}$ К. Для этой эпохи уравнения, описывающие сохранение тяжёлых масс для вещества и антивещества, запишутся в виде

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{u}) = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t} + \text{div}(\bar{\rho} \vec{w}) = 0, \quad (3)$$

где \vec{u} и \vec{w} — поля скоростей для вещества и антивещества, соответственно.

Вещество и антивещество рассматриваем как две взаимопроникающие жидкости. Уравнения движения для вещества и антивещества записываем в виде

$$\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + (\vec{u} \nabla) \vec{u} = -\frac{1}{\rho} \nabla P - \nabla \Phi - \nu(\vec{u} - \vec{w}), \quad (4)$$

$$\frac{\partial \vec{w}}{\partial t} + (\vec{w} \nabla) \vec{w} = -\frac{1}{\bar{\rho}} \nabla P + \nabla \Phi - \nu(\vec{w} - \vec{u}), \quad (5)$$

где P — давление в космической среде, ν — эффективная частота столкновений частиц и античастиц. Будет показано, что трение между противотоками частиц и античастиц существенно влияет на процесс расслоения космической среды во Вселенной на миры и антимир, вследствие этого, оно учитывается.

Уравнения (1)–(5) используем для описания распадной неустойчивости расширяющейся гравитационно-нейтральной космической среды на миры и антимир. Исследование проводим в линейном приближении.

В статье [12] рассмотрена динамика однородной изотропной гравитационно-нейтральной плоской Вселенной. Показано, что имеет место её равномерное расширение. Изменение масштаба Вселенной $a(t)$ описывается уравнением

$$a(t) = ct, \quad (6)$$

где c — скорость света. Имеет место хаббловское расширение Вселенной. Параметр Хаббла

$$H(t) = \frac{1}{a} \frac{da}{dt} = \frac{1}{t}. \quad (7)$$

Невозмущённое хаббловское расширение может быть описано и в рамках уравнений (1)–(5). Из этих уравнений следует, что для невозмущённых параметров космической среды выполняются соотношения

$$\begin{aligned} \rho_0(t) &= \bar{\rho}_0(t), \quad \nabla \rho_0 = \nabla \bar{\rho}_0 = 0, \\ P_0(t) &= \bar{P}_0(t), \quad \nabla P_0 = 0, \quad \vec{u}_0(t) = \vec{w}_0(t) = H(t) \vec{r}. \end{aligned} \quad (8)$$

Используя (8), из (1)–(5) находим

$$\frac{d\rho_0}{dt} + 3H(t)\rho_0 = 0, \quad (9)$$

$$\frac{dH}{dt} + H^2 = 0. \quad (10)$$

Интегрируя (9), (10), получаем

$$\rho_0 a^3 \sim \rho_0 t^3 = \text{const}, \quad H(t) = \frac{1}{t}, \quad a(t) = ct. \quad (11)$$

В (11) введена скорость света c . Считается, что масштаб $a(t)$ определяет текущее размеры областей, в которых события могут быть причинно-связанными. Относительные скорости движений любых частиц/античастиц в этих областях всегда не больше скорости света. Согласно ДГ, масштаб ранней Вселенной увеличивался со скоростью на много порядков меньшей, чем это считается в современной стандартной космологической модели, основанной на ОТО [3; 10].

Сравнение графиков масштабов $a(t)$ Вселенной, рассчитанных в рамках общей теории относительности (Λ CDM-модели) и двузнаковой гравитации (S -модели) показывает их кардинальное различие [12]. Длительности одних и тех же событий, имевших место в ранней Вселенной, согласно двузнаковой гравитации и общей теории относительности отличаются на много порядков. Условия, при которых, согласно ДГ, происходил распад Вселенной на миры и антимир, были совершенно иными, чем те, которые можно гипотетически обсуждать в рамках ОТО, и как это, например, делал Омнес [9].

Для исследования линейной стадии распада ранней Вселенной на миры и антимир, произведём линеаризацию исходных уравнений. Предположим, что на расширяющуюся космическую среду, состоящую из равномерно перемешанных вещества и антивещества, наложено малое возмущение. Однородное, но переменное во времени значение f_0 любого из параметров космической среды получает возмущение f_1 : $f = f_0 + f_1$, $f_1 \ll f_0$.

Легко показать, что в линейном приближении по возмущениям уравнения (1)–(5) могут быть записаны в виде

$$\Delta\Phi_1 = 4\pi G\rho_0(\delta\rho - \delta\bar{\rho}), \quad (12)$$

$$\frac{\partial\delta\rho}{\partial t} + H\vec{r}\nabla(\delta\rho) + \nabla\vec{u}_1 = 0, \quad (13)$$

$$\frac{\partial\delta\bar{\rho}}{\partial t} + H\vec{r}\nabla(\delta\bar{\rho}) + \nabla\vec{w}_1 = 0, \quad (14)$$

$$\frac{\partial\vec{u}_1}{\partial t} + H\vec{u}_1 + H(\vec{r}\nabla)\vec{u}_1 = -u_s^2\nabla\delta\rho - \nabla\Phi_1 - \nu(\vec{u}_1 - \vec{w}_1), \quad (15)$$

$$\frac{\partial\vec{w}_1}{\partial t} + H\vec{w}_1 + H(\vec{r}\nabla)\vec{w}_1 = -u_s^2\nabla\delta\bar{\rho} + \nabla\Phi_1 - \nu(\vec{w}_1 - \vec{u}_1). \quad (16)$$

Использованы обозначения

$$\delta\rho = \rho_1/\rho_0, \quad \delta\bar{\rho} = \bar{\rho}_1/\rho_0. \quad (17)$$

Аналогичные уравнения для случая однородной расширяющейся космической среды, состоящей лишь из вещества, хорошо известны. Они записаны, например,

в [10] и [13]. Впервые задача о малых возмущениях в однородной изотропной расширяющейся Вселенной в ньютоновском приближении рассматривалась Боннором [14]. Если в (12)–(16) положить $\delta\bar{\rho} = 0$, $\bar{w}_1 = 0$, то получим уравнения, описывающие задачу Боннора. Приводимое нами является более общим. Оно учитывает противоположность знаков тяжелых масс (энергий) частиц и античастиц и гравитационную нейтральность Вселенной в целом. Вследствие различия знаков энергий частиц и античастиц в ранней Вселенной существовал регулярный механизм расслоения Вселенной на миры и антимирры. В ОТО такой механизм невозможен.

Система (12)–(16) является системой линейных уравнений в частных производных с коэффициентами, зависящими от времени. Считаем, как это обычно предполагается (см., например, [10; 13]), что вследствие расширения Вселенной, происходит изменение длин волн, составляющих возмущение, и они меняются подобно её масштабу $a(t)$. Учитывая это, для решения системы (12)–(16) используем преобразование []:

$$f_1(\vec{r}, t) = f_{1\vec{k}}(t) \exp\left(i \frac{\vec{k}\vec{r}}{a(t)}\right). \quad (18)$$

Это преобразование позволяет заменить операторы дифференцирования по пространственным переменным на алгебраические операции и получить систему линейных обыкновенных дифференциальных уравнений для Фурье-амплитуд $f_{\vec{k}}(t)$. Учитывая (18), из (12)–(16) получаем

$$\frac{k^2}{a^2} \Phi_1 = -4\pi G \rho_0 a^2 (\delta\rho - \delta\bar{\rho}), \quad (19)$$

$$\frac{d\delta\rho}{dt} + i \frac{\vec{k}}{a} \vec{u}_1 = 0, \quad (20)$$

$$\frac{d\delta\bar{\rho}}{dt} + i \frac{\vec{k}}{a} \vec{w}_1 = 0, \quad (21)$$

$$\frac{d\vec{u}_1}{dt} + H \vec{u}_1 + i \frac{\vec{k}}{a} (u_s^2 \rho + \Phi_1) + \nu (\vec{u}_1 - \vec{w}_1) = 0, \quad (22)$$

$$\frac{d\vec{w}_1}{dt} + H \vec{w}_1 + i \frac{\vec{k}}{a} (u_s^2 \bar{\rho} - \Phi_1) + \nu (\vec{w}_1 - \vec{u}_1) = 0. \quad (23)$$

В уравнениях (19)–(23) значок \vec{k} в обозначениях фурье-амплитуд для того, чтобы не загромождать запись индексами, опущен.

Используя (19)–(23), получаем систему уравнений, определяющих эволюцию возмущений плотности вещества и антивещества. Они могут быть записаны в виде

$$\frac{d^2\delta\rho}{dt^2} + 2H \frac{d\delta\rho}{dt} + \nu \left(\frac{d\delta\rho}{dt} - \frac{d\delta\bar{\rho}}{dt} \right) + \left(\frac{k^2 u_s^2}{a^2} - 4\pi G \rho_0 \right) \delta\rho + 4\pi G \rho_0 \delta\bar{\rho} = 0, \quad (24)$$

$$\frac{d^2\delta\bar{\rho}}{dt^2} + 2H \frac{d\delta\bar{\rho}}{dt} + \nu \left(\frac{d\delta\bar{\rho}}{dt} - \frac{d\delta\rho}{dt} \right) + \left(\frac{k^2 u_s^2}{a^2} - 4\pi G \rho_0 \right) \delta\bar{\rho} + 4\pi G \rho_0 \delta\rho = 0. \quad (25)$$

В рассматриваемой нами задаче, вещество и антивещество входят симметрично. В космологической системе отсчёта скорости их движения в гравитационном поле

в каждой точке равны по величине, но противоположны по направлению. Вследствие этого, сколько частиц приходит в некоторый объём, ровно столько же античастиц из него уходит, и наоборот. Меняется в пространстве и времени соотношение между количеством частиц и античастиц. В тоже время суммарная концентрация частиц и античастиц меняется лишь во времени. Это изменение связано с расширением Вселенной. Учитывая вышесказанное, считаем, что до тех пор, пока вещество и антивещество находятся в локальном термодинамическом равновесии, выполняются соотношения

$$\vec{u}_1 = -\vec{w}_1, \quad \delta\bar{\rho} = -\delta\rho, \quad \nabla P = 0. \quad (26)$$

Согласно (26), изменение возмущений плотности в веществе и антивеществе происходит согласованно. Возмущения давления в рассматриваемый период отсутствуют. Они в космической среде возникли позже, в эпоху интенсивной аннигиляции.

С учётом соотношений (26) система уравнений (24), (25) сводится к одному. Оно имеет вид

$$\frac{d^2\delta\rho}{dt^2} + 2H\frac{d\delta\rho}{dt} + 2\nu\frac{d\delta\rho}{dt} - 8\pi G\rho_0\delta\rho = 0. \quad (27)$$

Используем это уравнение для анализа роста флуктуаций плотности барионов/антибарионов в ранней Вселенной.

4 Рост возмущений в ранней Вселенной

Идея проводимого в настоящей работе исследования заключается в следующем. Считаем, что при наличии флуктуаций плотности $\delta\rho$ и $\delta\bar{\rho}$, в остывающей Вселенной, при температурах ниже чем $3 \cdot 10^{12}$ К, не все барионы/антибарионы имели возможность проаннигилировать. В возмущениях, где был избыток частиц ($\delta\rho > 0$), остались «лишние» барионы, и наоборот, в возмущениях, где $\delta\bar{\rho} > 0$, остались «лишние» антибарионы. Соотношение между количеством барионов/антибарионов, не проаннигилировавших в рассматриваемых флуктуациях, к количеству фотонов в них определялось значением $\delta\rho$ в эпоху $T \simeq 3 \cdot 10^{12}$ К. Чтобы согласовать расчёты с наблюдениями, необходимо показать, что $\delta\rho$ в эпоху аннигиляции барионов/антибарионов было приблизительно равным 10^{-9} .

В рамках уравнения (27) исследуем принципиальную возможность роста $\delta\rho$ и $\delta\bar{\rho}$ в ранней Вселенной при температурах $T \gtrsim 3 \cdot 10^{12}$ К до уровня 10^{-9} . Предполагаем, что начальный уровень возмущений $\delta\rho(0)$ и $\delta\bar{\rho}(0)$ был на много порядков меньше, чем 10^{-9} . Считаем, что флуктуации $\delta\rho(0)$ и $\delta\bar{\rho}(0)$ имели тепловое происхождение. Интересуемся флуктуациями содержащими приблизительно $n_0 \approx 10^{88}$ частиц/античастиц. В этом случае начальный уровень тепловых возмущений $\delta\rho(0)$ и $\delta\bar{\rho}(0)$ был на уровне 10^{-44} ($\delta\rho(0) \sim \delta\bar{\rho}(0) \sim 1/\sqrt{n_0} \sim 10^{-44}$) [11]. Выбор начальных возмущений такого масштаба связан с идеей рассматривать наблюдаемую часть Вселенной как следствие развития одной из этих флуктуаций, в которой после аннигиляции частиц/античастиц, осталось не уничтоженными приблизительно 10^{79} барионов. Это число соответствует существующим представлениям об их количестве в современной Вселенной.

Рост возмущений $\delta\rho$ приблизительно на 35 порядков (от начального $\delta\rho(0) \sim 10^{-44}$, до конечного $\delta\rho \sim 10^{-9}$) мог быть обеспечен, если выполнялись следующие условия. Имел место их экспоненциальный рост. Характерное время τ роста возмущений было

приблизительно в 80 раз меньше, чем возраст Вселенной t_a в эпоху аннигиляции барионов/антибарионов.

При описании распада Вселенной на миры и антимирры считаем, что их масштаб определялся их текущими размерами. В эпоху аннигиляции барионов/антибарионов ($T \lesssim 3 \cdot 10^{12}$ К) он был приблизительно равным $2ct_a$, где t_a — возраст Вселенной в эту эпоху.

Учитывая, что в модели однородной изотропной гравитационно-нейтральной Вселенной она расширяется равномерно, заключаем, что эпоха аннигиляции барионов/антибарионов имела место приблизительно через время

$$t_a = t_0/z_a \approx 4,3 \cdot 10^5 \text{ с} \quad (28)$$

после «Большого взрыва». В (28) считается, что возраст современной Вселенной $t_0 \simeq 14 \cdot 10^9$ лет, а аннигиляция барионов/антибарионов закончилась при $z \approx 10^{12}$.

В эпоху, предшествующую вымиранию барион/антибарионных пар, космическая среда находилась в термодинамическом равновесии с излучением. Невозмущённая плотность энергии $\rho_0 c^2$ для вещества/антивещества в эту эпоху была одного порядка с плотностью излучения. Учитывая это, считаем, что при $T \gtrsim 3 \cdot 10^{12}$ К

$$\rho_0 \sim \sigma T^4/c^2 \gtrsim 10^{15} \text{ г/см}^3, \quad (29)$$

где $\sigma \simeq 7,56 \cdot 10^{-15} \text{ гК}^{-4}/\text{с}^2 \text{ см}$ — постоянная Стефана – Больцмана. Соответствующее этой плотности характерное время

$$\tau_0 = (8\pi G\rho_0)^{-1/2}, \quad (30)$$

входящее в уравнение (27), оказывается $\lesssim 2,4 \cdot 10^{-5}$ с.

Характерным временем изменения невозмущённых параметров является величина H^{-1} . В модели равномерно расширяющейся Вселенной $H^{-1} = t$. Во времена предшествующие аннигиляции барионов/антибарионов $H^{-1} \lesssim 10^5$ с.

В интересующую нас эпоху эффективное время ν^{-1} между столкновениями частиц/античастиц, за исключением, возможно, самых ранних моментов эволюции Вселенной, много меньше характерного времени изменения её невозмущённых параметров. Вследствие этого, считаем, что $\nu \gg H$ и в уравнении (27) влияние второго слагаемого на рост возмущений не учитываем.

Требуемый рост возмущений плотностей вещества/антивещества $\delta\rho$ и $\delta\bar{\rho}$ от 10^{-44} до 10^{-9} получается, если характерное время их роста составляет приблизительно около одной восьмидесятой от возраста Вселенной в эпоху аннигиляции барионов/антибарионов $t_a \approx 4 \cdot 10^5$ секунд. Предполагая, что это так, и сравнивая характерные значения первого и последнего членов в уравнении (27), заключаем, что в ранней Вселенной в эпоху $z > 3 \cdot 10^{12}$ влияние слагаемого $d^2\delta\rho/dt^2$ не является существенным.

С учётом приведённых выше оценок, уравнение (27), описывающее рост возмущений $\delta\rho(t)$ в ранней Вселенной, приближённо может быть записано в виде

$$2\nu \frac{d\delta\rho}{dt} = 8\pi G\rho_0 \delta\rho. \quad (31)$$

В оценочных расчётах, учитывая, что $\nu \sim n_0$, $\rho_0 \sim n_0$, где n_0 — невозмущённая концентрация частиц/античастиц, приближённо считаем, что величина

$$\tau = \frac{\nu}{4\pi G\rho_0}, \quad (32)$$

в интересующие нас эпохи, остаётся постоянной. В этом случае решение уравнения (31) с начальным условием

$$\delta\rho|_{t=0} = \delta\rho(0) \quad (33)$$

имеет вид

$$\delta\rho(t) = \delta\rho(0) \exp(t/\tau). \quad (34)$$

Величина τ определяет характерное время роста возмущений $\delta\rho$. Чтобы обеспечить рост возмущения $\delta\rho$ от уровня 10^{-44} при $t = 0$ до 10^{-9} при $t \approx t_a$ необходимо, чтобы время τ было следующим:

$$\tau \approx \frac{1}{80} t_a \simeq 5 \cdot 10^3 \text{ с}. \quad (35)$$

Учитывая (29) и (32), находим, что условие (35) выполняется, если эффективная частота столкновений в противотоках частицы-античастицы $\nu \approx 4 \cdot 10^{12} \text{ с}^{-1}$. Эта частота приблизительно на одиннадцать порядков меньше, чем частота столкновений ядерных частиц, если считать, что их скорости движения около световые, а их концентрация $\approx 10^{39} \text{ 1/см}^3$ ($\rho_0 \simeq 10^{15} \text{ г/см}^3$). По-видимому, это означает, что в рассматриваемых условиях $\rho_0 \gtrsim 10^{14} \text{ г/см}^3$, $T \gtrsim 10^{13} \text{ К}$ материя находилась в сверхтекучем состоянии.

Приведённые оценки показывают, что в ранней Вселенной теоретически могли существовать условия, при которых в объёмах, содержавших приблизительно 10^{88} частиц/античастиц, к началу эпохи аннигиляции, достигался рост $\delta\rho(t)$ до значений приблизительно равных 10^{-9} . После аннигиляции барионов/антибарионов, Вселенная распалась на области, содержащие лишь барионы и области, в которых остались лишь антибарионы. В каждой из рассматриваемых областей, их осталось приблизительно по 10^{79} штук. При этом в этих областях установилось барион-фотонное и антибарион-фотонное соотношение на уровне 10^{-9} . По порядку величины, именно такими и являются число частиц в наблюдаемой части Вселенной и барион-фотонное соотношение, наблюдаемое в окружающем нас мире, см., например, [3; 8].

5 Обсуждение результатов

Приведённое исследование указывает на следующую возможность распада Вселенной на миры и антимирры.

В ранней Вселенной при $z > 10^{12}$, вследствие различия знаков энергий (тяжёлых масс) частиц и античастиц, действовал регулярный механизм роста возмущений их концентрации. Возмущения повышенной концентрации частиц втягивали в себя частицы и выталкивали античастицы. Симметричная ситуация имела место для возмущений повышенной концентрации античастиц. Они втягивали античастицы и выталкивали частицы. Вследствие действия этого регулярного механизма, и те и другие росли. Их количество было одинаковым.

Рассматривался рост флуктуаций, в которых первоначально содержалось приблизительно 10^{88} штук частиц и античастиц. Такой выбор количества частиц и античастиц в флуктуациях связан с идеей рассматривать наблюдаемую часть Вселенной как одну из этих флуктуаций. Считаем, что вначале они имели тепловую природу. В таких флуктуациях случайное начальное превышение числа частиц над числом

античастиц в возмущениях одного знака, как и симметричное ему случайное начальное превышение числа античастиц под числом частиц в возмущениях другого знака, было на уровне 10^{-44} .

В космологической системе отсчёта в любой точке, возникших флуктуаций, частицы и античастицы двигались с одинаковой, но противоположно направленной скоростью. Имел место экспоненциальный рост флуктуаций. Скорость их роста определялась равновесием сил гравитации и сил трения в противотоках частицы-античастицы. Приведённые в разделе 4 оценки показывают, что есть основания предполагать, что в ранней Вселенной характерное время роста избытка частиц над античастицами, и наоборот, в рассматриваемых флуктуациях, составляло приблизительно $5 \cdot 10^3$ секунды. Вследствие экспоненциального роста, к моменту начала эпохи аннигиляции ($t_a \approx 4,2 \cdot 10^5$ с) барионов/антибарионов значения возмущений относительной плотности $\delta\rho$ и $\delta\bar{\rho}$ в рассматриваемых флуктуациях смогли вырасти приблизительно до величины 10^{-9} .

В эпоху аннигиляции барионов/антибарионов подавляющая их часть погибла. Выжившими оказались лишь приблизительно один барион/антибарион на миллиард. Эта величина наблюдается в современной Вселенной для барион-фотонного соотношения. Согласно предлагаемому объяснению значение этого соотношения определяется амплитудой возмущений концентрацией частиц и античастиц на момент начала эпохи барион/антибарионной аннигиляции.

После аннигиляции барионов/антибарионов в рассматриваемых флуктуациях осталось приблизительно по 10^{79} барионов/антибарионов. В половине из них сохранились лишь барионы, а в другой половине лишь антибарионы.

Характерный масштаб образовавшихся зародышей миров и антимиров при $z \lesssim 10^{12}$ был приблизительно 10^6 световых секунд. В эпоху барион-антибарионной аннигиляции плотность массы вещества/антивещества упала приблизительно на 9 порядков и стала приблизительно равной $10^5 \div 10^6$ г/см³. Зародыши миров и антимиров были «вморожены» в релятивистскую расширяющуюся космическую среду, состоящую в основном из вакуумной формы материи, электронов, нейтрино, фотонов и их античастиц. В эту эпоху подавляющая часть энергии космической среды была заключена в её релятивистской компоненте.

При $z \lesssim 10^9$ ($T \lesssim 3 \cdot 10^9$ К) произошла аннигиляция электрон-позитронных пар и Вселенная окончательно распалась на миры и антимирры. Их масштаб в это время был приблизительно 10^9 световых секунд.

Согласно двузнаковой гравитации, барионы (p, n) и электроны в мирах, антибарионы (\bar{p}, \bar{n}) и позитроны в антимирах ещё долго, приблизительно до $z \simeq 225$ ($T \approx 620$ К), находились в термодинамическом равновесии с излучением [12]. Закон расширения миров и антимиров в эпоху от $z \simeq 10^9$ до $z \simeq 225$ мало отличался от закона расширения Вселенной в целом. Слабое различие скоростей расширения Вселенной и миров/антимиров было связано с влиянием гравитационных полей последних на их динамику. Оно привело к тому, что при $z \simeq 225$ температура миров/антимиров стала на $10^{-4} \div 10^{-5}$ больше, чем средняя температура космической среды во Вселенной.

Согласно модели равномерно расширяющейся Вселенной, размер миров/антимиров в эпоху отрыва излучения от вещества/антивещества ($z \simeq 225$) составлял приблизительно $124 \cdot 10^6$ световых лет ($\simeq 38$ Мпк). Согласно расчётам в рамках модели равномерно расширяющейся Вселенной, при таких линейных размерах, миры и антимирры в настоящее время должны наблюдаться как объекты имеющие угловой размер $\Delta\theta$

приблизительно равный одному градусу [12].

Наблюдение тонкой структуры реликтового излучения показывает, что на его равномерном фоне имеются незначительные отклонения [15; 16]. Считается, что они являются свидетельством существования неоднородностей в распределении видимой материи. Во многих местах реликтового фона чётко наблюдаются пятна, имеющие угловые размеры приблизительно один градус. Учитывая приведенные оценки, считаем, что есть основания предполагать, что эти пятна являются ранними мирами и антимирами. По-видимому, они распределены в пространстве регулярно и являются наиболее крупными структурными элементами ранней Вселенной. Мы находимся в одном из современных миров. Полагаем, что невозможность чётко видеть в полном объёме окружающие нас ранние миры и антимирры связана с «загораживающим» влиянием неоднородностей, возникших в нашем Мире значительно позже его рождения.

Согласно теории гравитации, различающей частицы и античастицы, миры и антимирры вовсе не стремятся сближаться и сталкиваться. Они «вморожены» в равномерно расширяющийся Вакуум. Характерные современные размеры миров и антимиров приблизительно $28 \cdot 10^9$ световых лет. Миры и антимирры отталкиваются друг от друга.

Изменение масштаба Вселенной $a(t)$ определяется формулой (6). Размеры миров/антимиров меняются подобно масштабу Вселенной $a(t)$. Различие в скорости расширения гравитационно-нейтральной Вселенной и гравитирующих миров/антимиров связано с влиянием гравитационных полей последних на их динамику. Приблизённо можно считать, что при $z \lesssim 10^9$ миры/антимирры расширяются как независимые хаббловские шары с практически однородным начальным распределением в них вещества/антивещества. Существенное влияние на их эволюцию оказывает расширяющийся вакуум, в который они погружены. Это будем обсуждать в следующей статье «Двузнаковая гравитация. Вакуум и гравитация».

6 Заключение

Впервые идея о зарядово-симметричной Вселенной высказана П. Дираком в 1933 году в его Нобелевской лекции.

Основываясь на исследовании, проведённом в настоящем работе, есть основания предполагать, что ещё в эпоху $z \simeq 10^{12}$ ($T \lesssim 3 \cdot 10^{12}$ К) во Вселенной появились зародыши миров и антимиров, имевшие характерный размер приблизительно $\cdot 10^6$ световых секунд. При $z \lesssim 10^9$ ($T \lesssim 3 \cdot 10^9$ К) произошла аннигиляция электрон-позитронных пар и Вселенная окончательно распалась на миры и антимирры. Их масштаб в это время был приблизительно $\cdot 10^9$ световых секунд.

Согласно двузнаковой гравитации, излучение, заполнявшее «вмороженные» в равномерно расширяющееся пространство Вселенной миры и антимирры, находилось в термодинамическом равновесии с веществом в мирах и антивеществом в антимирах. Это продолжалось до эпохи отрыва излучения от вещества и антивещества. Отрыв излучения, согласно расчётам в рамках модели, описывающей динамику Вселенной в рамках двузнаковой гравитации, произошёл в области красных смещений $z \approx 225$ ($T \lesssim \cdot 620$ К).

Миры и антимирры в эту эпоху имели размер приблизительно равный $124 \cdot 10^6$ световых лет ($\simeq 38$ Мпк) и были самыми крупными структурами во Вселенной. Ам-

плитуда возмущений температуры излучения, связанных с наличием миров и анти-миров, в эпоху отрыва излучения от вещества, была на уровне $10^{-4} \div 10^{-5}$.

В работе высказывается гипотеза о том, что в настоящее время ранние миры и антимирры наблюдаются как пятна на равномерном фоне реликтового излучения, имеющие угловые размеры приблизительно один градус. Приходящее из ранних миров и антимиров излучение покинуло их ещё в эпоху $z \simeq 225$, когда масштаб наблюдаемой Вселенной был приблизительно в двести двадцать пять раз меньшим, чем современный.

Согласно двузнаковой гравитации, реликтовое излучение состоит из фотонов и антифотонов. Анизотропия реликтового излучения, в этой гравитации, одновременно означает и анизотропию потоков фотонов и антифотонов. Обязаны ли мы в этой теории считать, что потоки фотонов и антифотонов из миров и антимиров в точности совпадают? Полагаем, что нет. Вследствие различия влияния гравитации на фотоны и антифотоны, в течение приблизительно $62 \cdot 10^6$ лет (до отрыва излучения от вещества и антивещества) в мирах и антимирах происходило их расслоение. В мирах фотоны шли к их центрам, а антифотоны к периферии. В антимирах этот процесс шёл в обратном направлении. Учитывая это, можно предположить, что в эпоху отрыва излучения от вещества и антивещества миры излучали больше антифотонов, чем фотонов, а антимирры, наоборот, излучали больше фотонов, чем антифотонов.

Фотоны и антифотоны, возможно, отличаются спиральностью [17]. Если это так, то различие потоков фотонов и антифотонов из миров и антимиров должно проявляться в наблюдениях. Излучение, приходящее из миров и антимиров должно иметь круговую поляризацию противоположных знаков. Должна наблюдаться анизотропия круговой поляризации реликтового излучения с характерным угловым размером около одного градуса. Возможно именно это и проявляется в наблюдениях коллаборации VICEP2 [18].

Список литературы

1. Дирак, П. А. М. Лекция при вручении Нобелевской премии. / П. А. М. Дирак, 1933.
2. Вайнберг, С. Космология. / С. Вайнберг, 2008. С. 696
3. Горбунов, Д. С. Введение в теорию ранней Вселенной. Теория горячего большого взрыва / Д. С. Горбунов, В. А. Рубаков. М. : ЛКИ, 2008.
4. Чернин, А. Д. Тёмная материя и всемирное антитяготение // УФН. 2008. Т. 178, № 3. С. 267–300.
5. Сахаров, А. Д. Нарушение CP-инвариантности, C-асимметрия и барионная асимметрия Вселенной. // Академия наук СССР, 1967 – ISBN ЖЭТФ Письма в редакцию 17. Т. 5, № 1. С. 32–35.
6. Клименко А.В. I. Двухзнаковая гравитация. Частицы и античастицы в гравитационном поле / А.В. Клименко, В.А. Клименко.
7. Клименко, А.В. II. Двухзнаковая гравитация. Вакуум пространство-время / А.В. Клименко, В.А. Клименко.
8. Клименко, А.В. III. Двухзнаковая гравитация. Основополагающие принципы / А.В. Клименко, В.А. Клименко.
9. Omnes, R. On the Origin of Matter and Galaxies // Astron. & Astrophys. — 1971. — Vol. 10.
10. Зельдович, Я. Б. Строение и эволюция Вселенной / Я. Б. Зельдович, И. Д. Новиков. М. : Наука, 1975.
11. Киттель, Ч. Статистическая термодинамика / Ч. Киттель. М. : Наука, 1977.
12. Клименко, А.В. IV. / А.В. Клименко, В.А. Клименко.
13. Горбунов, Д. С. Введению в теорию ранней Вселенной. Космологические возмущения. Инфляционная теория / Д. С. Горбунов, В. А. Рубаков. М. : КРАСАНД, 2010.
14. Bonnor, W.B. Jeans Formula for Gravitational Instability /W.B. Bonnor// Mon. Not. R. Astr. Soc. 1957. Vol. 177, P 104–117
15. Смут, Дж. Анизотропия реликтового излучения. Открытие и научное знание // УФН. 2007. Т. 177.
16. Hinshaw, G. Three-year wilkinson microwave anisotropy probe (WMAP) observations: implication for cosmology / G. Hinshaw, M.R. Nolte, C.L. Bennet et al. // Astrophys. J. Suppl. 2007. Vol.170., № 2, P. 377–408.
17. Клименко А.В. Двухзнаковая гравитация / А.В. Клименко, В.А. Клименко. Челябинск : изд-во Челябинского гос. университета, 2017.
18. The BICEP2 Collaboration Experiment and Three-year Data Set / BICEP2 Collaboration //Astrophys. J. 2014.