

## МИРЫ И АНТИМИРЫ

В рамках модифицированной теории гравитационного поля, учитывающей различие знаков гравитационных зарядов частиц и античастиц, показано, что в процессе эволюции первоначально однородной изотропной гравитационно-нейтральной Вселенной происходит её расслоение на области, состоящие из частиц (миры), и области, состоящие из античастиц (антимирь).

Высказана гипотеза о том, что уже более пятнадцати лет астрономы наблюдают миры и антимирь. Ими, по мнению авторов, являются объекты, наблюдаемые как относительно яркие пятна на почти однородном фоне реликтового излучения, имеющие характерный угловой размер один градус.

**Ключевые слова:** космология, частицы, античастицы, тяготение, антитяготение, миры, антимирь.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Вопрос о структурах Вселенной, их зарождении и эволюции является одним из центральных в современной космологии [1–4].

В настоящей работе рассмотрен один из возможных механизмов зарождения структур во Вселенной. В его основе лежит предполагаемое различие гравитационных зарядов частиц и античастиц [5; 6].

Наблюдения тонкой структуры реликтового излучения показывают, что на его равномерном фоне имеются незначительные отклонения яркости.

Наблюдаются пятна. Они имеют характерный угловой размер равный одному градусу. Амплитуда флуктуаций температуры реликтового излучения, обусловленная наличием этих пятен, составляет  $\delta T_{rad}/T_{rad} \lesssim 10^{-5} \div 10^{-4}$  (см., например, [2; 4; 7; 8]).

Учитывая этот наблюдательный факт, считают, что уже в эпоху рекомбинации в космической среде существовали возмущения плотности и температуры. Их амплитуда была порядка  $10^{-5} \div 10^{-4}$  [2; 4; 7; 8]. В космологии полагают, что существующие в современной Вселенной структуры (галактики и их скопления), возникли в результате эволюции этих малых неоднородностей (см., например, [1–3]).

Современные теории, описывающие развитие неоднородностей, основаны на расчёте эволюции возмущений при заданных начальных условиях. Известная неопределённость этих теорий заключается в выборе начальных возмущений. Этот выбор в значительной степени является произвольным. Например, в фундаментальной монографии [1, гл. 14] отмечается следующее: «Чем обусловлено возникновение первичных возмущений, каков их характер — об этом существуют только смутные догадки».

В связи с неопределённостью в знании начальных возмущений, рассматриваются различные гипотезы о них. Возможно, наиболее проработанным является вариант адиабатических возмущений, основанный на гипотезе о потенциальных начальных возмущениях [1; 2]. Интересной является гипотеза о первичной турбулентности космической среды и развитая на её основе теория вихревых возмущений космической среды (см., например, [9]). В основе рассматриваемых исследований лежит стандартная общая теория относительности (ОТО).

Красивой является идея Омнеса о зарядово-симметричном мире и начальных возмущениях, связанных с его распадом на области вещества и антивещества. В последнее время она обсуждается редко. Полагают, что эту идею трудно обосновать в рамках стандартной ОТО и она не подтверждается наблюдениями [1; 2]. В [1]

отмечается, что при всей красоте замысла теория Омнеса о зарядово-симметричной Вселенной встречается с такими трудностями, которые заставляют отказаться от предлагаемой им картины эволюции Вселенной.

Отметим некоторые из этих трудностей, которые, как полагают, «убивают» идею о симметрии Вселенной по частицам и античастицам. Согласно расчётам в рамках стандартной ОТО, ещё в ранней Вселенной, весь симметричный мир пар частиц–античастиц должен был проаннигилировать. В стандартной космологической модели (*ΛCDM*) совершенно исключена возможность «выживания» позже, чем через  $10^{-3}$  секунды после «Большого взрыва» заметного количества антивещества (см., например [1; 3]).

Главный недостаток теории Омнеса видим в отсутствии механизма роста областей занятых частицами и античастицами (см., например, [1, гл. 22]). Эта теория основана на стандартной теории гравитации, не различающей частицы и античастицы. В ней отсутствует регулярный механизм разделения частиц и античастиц.

В современной космологии считается, что наблюдаемая Вселенная состоит из «лишних» барионов, возникших в ранней Вселенной. Предполагают, что ещё в ранней Вселенной спонтанно возникло нарушение барионной симметрии. На каждый миллиард пар барионов и антибарионов возник приблизительно один «лишний» барион (см., например, [1; 3; 10]).

В работах [5; 6] высказано сомнение в правильности основополагающей гипотезы стандартной теории ОТО о том, что гравитация не различает частицы и античастицы. В этих работах содержится гипотеза о том, что источником гравитационного поля являются гравитационные заряды и токи. Согласно этой гипотезе, гравитационные заряды частиц и античастиц отличаются знаком. При этом одноимённые гравитационные заряды притягиваются, а разноимённые отталкиваются. В [5] считается, что фотоны являются для себя античастицами, их гравитационный заряд равен нулю, и поэтому излучение является гравитационно нейтральным. В [6] предполагается,

что у фотона есть античастица и она отлична от него. Считается, что в целом во Вселенной излучение содержит равное количество частиц и античастиц и является гравитационно-нейтральным.

В настоящей работе показано, что красивая идея о возникновении структур в результате распада Вселенной на миры и антимирь в рамках модифицированной ОТО [5; 6] находит естественное обоснование. Показано, что распад Вселенной на миры и антимирь происходит в результате действия регулярного механизма. Он обусловлен различием знаков гравитационных зарядов частиц и античастиц. Одноимённые заряды притягиваются, а разноимённые отталкиваются. Это и является фактором роста неоднородностей гравитационных зарядов во Вселенной.

В работе используем следующие термины. Миры и антимирь — области пространства, заполненные частицами и античастицами, соответственно. Согласно стандартной ОТО, имеет место барионная асимметрия и вся современная Вселенная — это Мир. В настоящей работе показано, что если идея о различии гравитационных зарядов частиц и античастиц является правильной, то ещё в ранние эпохи 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 зарядам, проблема начальных возмущений рассматривается без каких-либо произвольных предположений. Считаем, что начальными возмущениями являются тепловые флуктуации космической среды. Это снимает неопределённость в задании начальных условий, имеющую место в других теориях возникновения структур во Вселенной.

## 2. КАЧЕСТВЕННЫЕ СООБРАЖЕНИЯ О РАССЛОЕНИИ ВСЕЛЕННОЙ НА МИРЫ И АНТИМИРЫ

Считаем, что космическая среда состоит из трех компонент: вакуумной формы материи, вещества и антивещества. Современ-

ный состав вещества: электроны ( $e$ ) протоны ( $p$ ), нейтроны ( $n$ ), нейтрино ( $\nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau$ ), слабо взаимодействующие «тёмные частицы» ( $\mathcal{D}$ ) ( $D$  — dark), фотоны ( $\gamma$ ). Природа слабо взаимодействующих  $\mathcal{D}$ -частиц в настоящее время не вполне понятна [2; 3]. Считаем, что Вселенная симметрична по частицам и античастицам. Состав античастиц:  $\bar{e}, \bar{p}, \bar{n}, \bar{\nu}_e, \bar{\nu}_\mu, \bar{\nu}_\tau, \bar{\mathcal{D}}, \bar{\gamma}$ . Учитываем, что во Вселенной может существовать большое количество нестабильных частиц (античастиц), но их влияние на её динамику несущественно.

В работе не учитываем тёмную энергию. Полагаем, что вакуумной формой материи является гравитационно-нейтральная материя, описанная в [11]. Уравнение состояния этой материи  $P_V = -(1/3)\epsilon_V$ .

При температурах значительно больших, чем пороговая для рождения  $\mathcal{D}, \bar{\mathcal{D}}, p, \bar{p}, n$  и  $\bar{n}$  частиц ( $T \gg 10^{13} K$ ) во Вселенной с высокой скоростью шли реакции их рождения и уничтожения. В ранней Вселенной их было более чем на девять—десять порядков больше, чем частиц  $\mathcal{D}, p$  и  $n$  в современной Вселенной.

Изначально космическая среда была неоднородной. В ней существовали тепловые флуктуации. Их амплитуда была разной для различных масштабов. В объёмах, содержащих  $n$  частиц/античастиц, начальная амплитуда тепловых флуктуаций  $\delta n/n$  была на уровне  $\sim 1/\sqrt{n}$  [12]. В расширяющейся Вселенной действовал механизм, обеспечивающий регулярный рост этих флуктуаций. Он был обусловлен различием знаков гравитационных зарядов у частиц и античастиц. Согласно теории гравитации [5; 6], различающей частицы и античастицы, механизм расслоения первоначально равномерно перемешанных в ранней Вселенной частиц и античастиц состоял в следующем. Начальные тепловые флуктуации плотности вещества создавали вокруг себя локальные гравитационные поля. Они притягивали в эти флуктуации частицы и выталкивали из них античастицы. Это создавало регулярный рост рассматриваемых флуктуаций. Симметричный процесс имел место в флуктуациях повышенной плотности антивещества. Эти флуктуации втяги-

вали античастицы и выталкивали частицы. Рост флуктуаций вещества и антивещества в гравитационно-нейтральной расширяющейся Вселенной происходил до тех пор, пока в результате её охлаждения не началась интенсивная аннигиляция вещества и антивещества. К началу эпохи аннигиляции барионов/антибарионов амплитуда флуктуаций плотности вещества и антивещества, обусловленная различием их концентраций, достигала в объёмах, содержащих  $\approx 10^{88}$  частиц/античастиц, 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. 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.

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

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

определяет красное смещение эпохи (см., например, [1]). Здесь  $a_0$  — масштаб современной Вселенной, а  $a$  — её масштаб в рассматриваемую эпоху. Эпохе интенсивной аннигиляции барионов/антибарионов  $T \simeq 3 \cdot 10^{12}$  соответствует красное смещение  $z_a \approx 10^{12}$ .

После завершения аннигиляции электронно-позитронных пар в эпоху  $z \lesssim 10^9$  Вселенная окончательно распалась на миры и антимирры, погруженные в почти однородную, равномерно расширяющуюся релятивистскую компоненту космической среды.

### 3. УРАВНЕНИЯ, ОПИСЫВАЮЩИЕ МАЛЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ В НЬЮТОНОВСКОМ ПРИБЛИЖЕНИИ

В рамках модифицированной гравитации [5; 6], исследуем линейную стадию развития

неустойчивости, в результате которой Вселенная распалась на миры и антимирь.

Считаем, что в отсутствии возмущений гравитационное поле отсутствует. Вещество и антивещество равномерно перемешаны. Имеет место равномерное расширение Вселенной [5]. Динамику возмущений изучаем в сопутствующей системе отсчёта. В силу малости возмущений исследование проводим в ньютоновском приближении. В этом приближении, уравнение, описывающее гравитационное поле [5; 6], принимает вид

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

где  $\rho$  и  $\bar{\rho}$  — плотности гравитационных зарядов вещества и антивещества, соответственно;  $\Phi$  — гравитационный потенциал;  $G \simeq 6,67 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3/\text{с}^2\text{г}$  — гравитационная постоянная.

Рассматриваем эпоху, в которую процессы рождения и уничтожения барионов/антибарионов ещё в точности уравновешивали друг друга. Это имело место при температурах больших, чем  $10^{13}$  К. Для этой эпохи уравнения, описывающие сохранение гравитационных зарядов 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. Полагаем, что гравитационные массы частиц и античастиц различаются знаком. С учётом этих предположений уравнения движения для вещества и антивещества записываем в виде

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

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

где  $P$  — давление в космической среде,  $\nu$  — эффективная частота столкновений частиц и античастиц. Как будет видно из дальнейшего, трение между противотоками частиц и античастиц существенно влияет на процесс расслоения космической среды во Вселенной на миры и антимирь, вследствие этого, оно учитывается.

Уравнения (1)–(5) используем для исследования неустойчивости расширяющейся гравитационно-нейтральной космической среды. Исследование неустойчивости проводим в линейном приближении.

В [5] рассмотрена динамика однородной изотропной гравитационно-нейтральной Вселенной. Показано, что имеет место её равномерное расширение. Изменение масштаба Вселенной  $a(t)$  описывается уравнением

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

где  $\gamma$  — некоторый универсальный параметр,  $c$  — скорость света. Имеет место хаббловское расширение Вселенной. Параметр Хаббла

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

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

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

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

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

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  $f_1$ .

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

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

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

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

$$\begin{aligned} \frac{\partial\vec{u}_1}{\partial t} + H\vec{u}_1 + H(\vec{r}\nabla)\vec{u}_1 = \\ = -u_s^2\nabla\delta\rho - \nabla\Phi - \mathbf{v}(\vec{u}_1 - \vec{w}_1), \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial\vec{w}_1}{\partial t} + H\vec{w}_1 + H(\vec{r}\nabla)\vec{w}_1 = \\ = -u_s^2\nabla\delta\bar{\rho} + \nabla\Phi - \mathbf{v}(\vec{w}_1 - \vec{u}_1). \end{aligned} \quad (16)$$

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 [1] и [3]. Впервые задача о малых возмущениях в однородной изотропной расширяющейся Вселенной в ньютоновском приближении рассматривалась Боннором [13]. Если в (12)–(16) положить  $\delta\bar{\rho} = 0$ ,  $\vec{w}_1 = 0$ , то получим уравнения, приведённые, например, в [1] и [3] и описывающие задачу Боннора. Наше рассмотрение является более общим. Оно учитывает отличие гравитационных зарядов частиц и античастиц. Именно вследствие различия знаков гравитационных зарядов частиц и античастиц в ранней Вселенной существовал регулярный механизм расслоения Вселенной на миры и антимирры.

Система (12)–(16) является системой линейных уравнений в частных производных с коэффициентами, зависящими от времени. Считаем, как это обычно предполагается (см., например, [1; 3]), 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 [1–3]:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

В рассматриваемой нами задаче, вещество и антивещество входят симметрично.

В сопутствующей 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

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

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

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

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 флуктуациях где был избыток частиц ( $\delta\rho > 0$ ) остались «лишние» барионы, и наоборот, в флуктуациях, где  $\delta\bar{\rho} > 0$ , остались «лишние» антибарионы. Соотношение между количеством барионов/антибарионов, не проаннигилировавших в рассматриваемых флуктуациях, к

количеству фотонов в них приблизительно равно значению  $\delta\rho$  в эпоху  $T \simeq 3 \cdot 10^{12}$  К.

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 возмущений  $\delta\rho(0)$  и  $\delta\bar{\rho}(0)$  был на уровне  $10^{-44}$  ( $\delta\rho(0) \sim \delta\bar{\rho}(0) \sim 1/\sqrt{n_0} \sim 10^{-44}$ ) [12]. Выбор начальных флуктуаций такого масштаба связан с идеей рассматривать наблюдаемую часть Вселенной как следствие развития одной из этих флуктуаций.

Рост возмущений  $\delta\rho$  приблизительно на тридцать пять порядков (от начального теплового  $\delta\rho(0) \sim 10^{-44}$ ) мог быть обеспечен, если имел место их экспоненциальный рост, а характерное время  $\tau$  этого роста было приблизительно в восемьдесят раз меньше, чем возраст Вселенной  $t_a$  в эпоху интенсивной аннигиляции барионов.

Согласно модели однородной изотропной гравитационно-нейтральной Вселенной (см. [5]), она расширяется равномерно. Считая, что это так, заключаем, что эпоха аннигиляции барионов/антибарионов имела место приблизительно через время

$$t_a = t_0/z_a \approx 4,2 \cdot 10^5 \text{ с} \quad (28)$$

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

В эпоху, предшествующую аннигиляции барионов/антибарионов, космическая среда находилась в термодинамическом равновесии с излучением. Невозмущенная 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. Соответствующую

щее 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 невозмущенных 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  $\nu^{-1}$  между столкновениями частиц–античастиц, за исключением, возможно, самых ранних моментов эволюции Вселенной, много меньше характерного времени изменения её невозмущенных 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 времени жизни Вселенной в эпоху аннигиляции барионов/антибарионов  $t_a \approx 4 \cdot 10^5$ . Предполагая, что это так, и сравнивая характерные значения первого и последнего членов в уравнении (27), заключаем, что в ранней Вселенной в эпоху  $z > 10^{12}$  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  $n_0$  — невозмущенная 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  $\tau$  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  $\tau$  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 околосветовые, 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 сверхтекущем состоянии.

Приведённые оценки показывают, что в ранней Вселенной могли существовать условия, при которых в объемах, 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, [1; 2].

## 5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Приведённое исследование указывает на следующую возможность расслоения Вселенной на миры и антимир.

В ранней Вселенной при  $z > 10^{12}$ , вследствие различия знаков гравитационных за-

рядов у частиц и античастиц, действовал регулярный механизм роста флуктуаций гравитационных зарядов. Флуктуации одного знака втягивали в себя частицы и выталкивали античастицы. Симметричная ситуация имела место в флуктуациях другого гравитационного знака. Они втягивали античастицы и выталкивали частицы. Вследствие действия этого регулярного механизма, и те и другие флуктуации росли. Их количество было приблизительно 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 сопутствующей системе отсчёта в любой точке гравитационных полей, 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 противоточках частицы—античастицы. Приведённые в пункте 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 началу интенсивной аннигиляции барионов/антибарионов значения возмущений 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 в настоящей работе объяснению, это соотношение определяется амплитудой флуктуаций гравитационных зарядов на момент начала 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 этой оценке учитывается, что плотность массы барионов/антибарионов в эпоху их аннигиляции упала приблизительно на девять порядков и стала приблизительно равной  $10^5 \div 10^6$  г/см<sup>3</sup>. Эти зародыши миров и антимиров были «вморожены» в релятивистскую расширяющуюся космическую среду, состоявшую в основном из вакуумной формы материи, электронов, позитронов, нейтрино, антинейтрино и фотонов. 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 антимирь. Их масштаб в это время был приблизительно  $10^9$  световых секунд.

Барионы ( $p, n$ ) и электроны в мирах, антибарионы ( $\bar{p}, \bar{n}$ ) и позитроны в антимирь ещё долго, приблизительно до  $z \simeq 10^3$  ( $T \approx 3 \cdot 10^3$  К), находились в термодинамическом равновесии с излучением. Закон расширения миров и антимиров в эпоху от  $z \simeq 10^9$  до  $z \simeq 10^3$  очень 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  $z \simeq 10^3$  средняя плотность миров/антимиров стала на  $10^{-4} \div 10^{-5}$  больше, чем средняя плотность космической среды во Вселенной.

Согласно модели равномерно расширяющейся Вселенной, размер миров/антимиров



в эпоху рекомбинации  $z \simeq 10^3$  составлял приблизительно  $14 \cdot 10^6$  световых лет ( $\simeq 4,2$  Мпс). Согласно расчётам (см., [5; 14]), в рамках модели равномерно расширяющейся Вселенной, при таких линейных размерах, миры и антимирры в настоящее время должны наблюдаться как объекты имеющие угловой размер приблизительно равный одному градусу.

Наблюдение тонкой структуры реликтового излучения показывает, что на его равномерном фоне имеются незначительные отклонения (см., например, [2; 7]). Они являются свидетельством существования неоднородностей в распределении видимой материи. Во многих местах реликтового фона чётко наблюдаются пятна, имеющие угловые размеры приблизительно один градус. Учитывая оценки, приведённые в пункте 4, полагаем, что есть основания предполагать, что эти пятна являются мирами и антимиррами. По-видимому, они распределены в пространстве регулярно и являются наиболее крупными структурными элементами Вселенной. Мы живём в одном из миров. Полагаем, что невозможность чётко видеть в полном объёме периодичность в пространственном распределении окружающих нас миров и антимиров связана с «загораживающим» влиянием неоднородностей, возникших в нашем Мире значительно позже.

Согласно теории гравитации, различающей частицы и античастицы [5; 6], миры и антимирры вовсе не стремятся сблизиться и сталкиваться. Они «вморожены» в равномерно расширяющееся пространство гравитационно-нейтральной Вселенной. Их характерный современный размер приблизительно  $14 \cdot 10^9$  световых лет. Миры и антимирры отталкиваются друг от друга.

В [5] показано, что изменение масштаба Вселенной  $a(t)$  определяется формулой (6). Размеры  $R(t)$  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. Приблизительно можно считать, что при  $z \lesssim 10^9$  миры/антимирры расширяются как независимые хаббловские шары с практиче-

ски однородным начальным распределением в них вещества/антивещества.

## 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые идея о зарядово-симметричной Вселенной высказана П. Дираком в 1933 г. в его Нобелевской лекции. Нам доставляет удовольствие привести абзац из этой лекции. «Если мы станем на точку зрения, что полная симметрия между положительными и отрицательными электрическими зарядами является фундаментальным законом природы, то мы должны рассматривать как своего рода случайность, что Земля и, вероятно, вся Солнечная система содержит избыток обычных электронов и положительных протонов. Вполне возможно, что некоторые звезды построены иным путём, именно, главным образом, из позитронов и отрицательных протонов. Конечно, в мире должно быть одинаковое число звёзд каждого сорта. Оба сорта звёзд будут иметь в точности одинаковые спектры, и в настоящее время нет возможности различить их каким-либо астрономическим методом.»

Основываясь на исследовании, проведённом в настоящей статье, есть основания предполагать, что антимирры существуют и находятся от нас на расстояниях больших, чем  $14 \cdot 10^9$  световых лет. В тоже время отметим, что, возможно, антиматерия может рождаться в Мире. На релятивистских стадиях эволюции массивных «звёзд» в них с высокой скоростью могут идти процессы рождения/уничтожения частиц/античастиц. При этом, вследствие различия знаков гравитационных зарядов, может происходить эффективное разделение частиц и античастиц и образование из последних антивещества. Рождённое в окрестности этих «звёзд» антивещество может выбрасываться в окружающее их пространство.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зельдович, Я. Б. Строение и эволюция Вселенной / Я. Б. Зельдович, И. Д. Новиков. М.: Наука, 1975.

2. Горбунов, Д. С. Введение в теорию ранней Вселенной. Теория горячего большого взрыва / Д. С. Горбунов, В. А. Рубаков. М. : ЛКИ, 2008.
3. Горбунов, Д. С. Введению в теорию ранней Вселенной. Космологические возмущения. Инфляционная теория / Д. С. Горбунов, В. А. Рубаков. М. : КРАСАНД, 2010.
4. Чернин, А. Д. Тёмная материя и всемирное антитяготение // УФН. 2008. Т. 178, № 3. С. 267–300.
5. Клименко, А. В. Частицы, античастицы и гравитация. Гравитационно-нейтральная Вселенная / А. В. Клименко, В. А. Клименко // Вестн. Челяб. гос. ун-та. 2013. № 19 (310). Физика. Вып. 17. С. 89–99.
6. Клименко, А. В. Частицы, античастицы и гравитация. Антитяготение / А. В. Клименко, В. А. Клименко // Вестн. Челяб. гос. ун-та. 2013. № 19 (310). Физика. Вып. 17. С. 78–88.
7. Hinshaw, G. Three-year wilkinson microwave anisotropy probe (WMAP) observations: implications for cosmology / G. Hinshaw, M. R. Nolta, C. L. Bennet et al. // Astrophys. J. Suppl. 2007. Vol. 170, № 2. P. 377–408.
8. Черепашук, А. М. Современная космология — наука об эволюции Вселенной / А. М. Черепашук, А. Д. Чернин // Бюллетень РАН «В защиту науки». 2008. № 4.
9. Озерной, Л. М. «Фотонные вихри» в горячей Вселенной / Л. М. Озерной, А. Д. Чернин // Письма в ЖЭТФ. 1968. Т. 7, № 11. С. 436–439.
10. Рубаков, В. А. Электрослабое несохранение барионного числа в ранней Вселенной и в столкновениях частиц при высоких энергиях / В. А. Рубаков, М. Е. Шапошников // УФН. 1996. Т. 166, № 5. С. 493–537.
11. Клименко, А. В. Вакуумные формы материи / А. В. Клименко, В. А. Клименко // Вестн. Челяб. гос. ун-та. 2013. № 19 (310). Физика. Вып. 17. С. 72–77.
12. Киттель Ч. Статистическая термодинамика. М. : Наука, 1977.
13. Bonnor, W B. Jeans' formula for gravitational instability // MNRAS. 1957. Vol. 117. P. 104.
14. Клименко, А. В. О равномерном расширении Вселенной / А. В. Клименко, В. А. Клименко, А. М. Фридман М. // Астрон. журн. 2010. Т. 87, № 10. С. 947–966.