

ЧАСТИЦЫ, АНТИЧАСТИЦЫ И ГРАВИТАЦИЯ. ГРАВИТАЦИОННО-НЕЙТРАЛЬНАЯ ВСЕЛЕННАЯ

Высказаны следующие предположения: источником гравитационного поля являются инвариантные гравитационные заряды, у частиц и античастиц они отличаются знаком, одноимённые гравитационные заряды притягиваются, а разноимённые отталкиваются. Предложена модификация ОТО, учитывающая эти предположения. На её основе построена модель гравитационно-нейтральной Вселенной.

В рамках этой модели объяснены известные наблюдательные данные, для которых существенны космологические эффекты.

Ключевые слова: космология, общая теория относительности, эйнштейновские уравнения, античастицы, гравитационные заряды, миры, антимирры.

1. ВВЕДЕНИЕ

В 1928 г. П. А. М. Дирак нашёл релятивистское квантовое волновое уравнение для точечных частиц со спином $S = 1/2$. Из анализа решений найденного им уравнения в 1931 г. Дирак делает вывод о существовании антиэлектронов и антипротонов. Его выводы оказались пророческими, [1].

Сейчас существование для любой частицы соответствующей ей античастицы полагается саморазумеющимся. Считается, что некоторые частицы (например, фотоны, π^0 -, K^0 -мезоны) совпадают со своими античастицами (см., например, [2]).

Из общих принципов квантовой теории поля следует выполнение СРТ-инвариантности. Согласно СРТ-теореме (см., например, [2–5]), существует определённая связь между параметрами частиц и античастиц.

Экспериментально античастицы изучены гораздо хуже, чем соответствующие им частицы. Такое положение — следствие того, что окружающий нас мир состоит из частиц (вещества), а не античастиц (антивещества). Перенос экспериментально хорошо изученных для частиц свойств на античастицы не вызывает возражений. Это неявно содержится в современных теориях. Считается, что гравитация не различает частицы и античастицы (см., например, [6–8]).

Концепция «элементарных частиц» как неизменных, неуничтожимых составляю-

щих материи оказалась не состоятельной. Как и фотоны, частицы и античастицы могут рождаться и уничтожаться. В современной физике утвердилась концепция «вечных зарядов» и законов их сохранения. Этими зарядами являются электрический, барионный и лептонный заряды.

Впервые идея о симметричной по частицам и античастицам Вселенной была высказана Дираком в 1933 г. в его Нобелевской лекции. Применительно к различным масштабам Вселенной эта идея уже давно обсуждалась. В тоже время у неё существуют, как полагают (см., например, [6; 7]), непреодолимые трудности.

Согласно расчётам, в рамках стандартной ОТО подавляющая часть пар частиц–античастиц должна была проаннигилировать ещё в ранней Вселенной. В современной Вселенной могло остаться не более 10^{-15} см⁻³ барионов и антибарионов. Реально барионов на семь–восемь порядков больше, а антибарионы в окружающем нас пространстве в заметных количествах не наблюдаются. Отсутствует разумное объяснение механизма разделения частиц и античастиц на космологических масштабах. Не наблюдаются также эффекты, являющиеся следствием интенсивной аннигиляции, которые можно было бы истолковать как связанные с присутствием антиматерии.

Учитывая вышесказанное, делают вывод: Вселенная не является симметричной по частицам и античастицам. Утверждается: если

бы она была симметричной, то к настоящему времени все частицы и античастицы, по крайней мере, e^- , e^+ , p , \bar{p} , n и \bar{n} , должны были проаннигилировать. Считают, что при снижении температуры космической среды ниже пороговой для рождения пар рассматриваемого сорта падение их концентраций происходит по экспоненциальному закону с характерным временем значительно меньшим возраста Вселенной, что приводит к практически полному исчезновению таких пар (см., например, [6–8]).

В окружающем нас пространстве в больших количествах присутствуют барионы, но в то же время антибарионы практически отсутствуют. Чтобы объяснить этот наблюдательный факт, возникла идея о барионной асимметрии (см., например, [6; 7]). Согласно этой идее, современная 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. Предлагаются механизмы создания «лишних» барионов в ранней Вселенной (см., например, [8; 9]).

Считается, что в процессе расширения Вселенной и её остывания весь симметричный мир пар частиц-античастиц проаннигилировал. Остались лишь те барионы, а также соответствующее им количество электронов, для которых не нашлось партнёров. В стандартной космологической модели Вселенной (Λ CDM) совершенно исключена возможность «выживания» позже, чем через 10^{-3} секунды после «Большого взрыва», заметного количества антибарионов (см., например, [6–8]).

В настоящей работе показано, что идея симметрии Вселенной по веществу и антивеществу может быть согласована с наблюдениями, если произвести существенное уточнение уравнений Эйнштейна. Полагаем, что используемое в современной ОТО предположение о том, что гравитация не различает частицы и античастицы, возможно, не является правильным.

В работе показано, что в ОТО непротиворечивым образом может быть реализова-

на идея о гравитационных зарядах и их токах как источниках гравитационного поля. Она основана на предположении, что у частиц и соответствующих им античастиц гравитационные заряды отличаются знаками. В настоящей работе считается, что некоторые частицы тождественны своим античастицам и их гравитационный заряд равен нулю. В частности, предполагается, что фотоны являются гравитационно нейтральными. Частицы и античастицы, имеющие одноимённые гравитационные заряды, притягиваются, а разноимённые — отталкиваются.

2. СТАНДАРТНАЯ ОТО

2.1. Основополагающие идеи

Основы релятивистской теории гравитации (ОТО) заложены в работе [10]. С подробным изложением этой теории можно ознакомиться, например, в [6–8; 11; 12]. Приведём краткое изложение идей ОТО и укажем, какие уточнения этой теории, по нашему мнению, являются необходимыми.

Согласно ОТО, четырёхмерное пространство-время при наличии материи является неевклидовым и оно определяет движение материи. В криволинейном пространстве-времени частицы движутся по геодезическим. В свою очередь геометрия пространства-времени определяется распределением и движением материи, а также её термодинамическими свойствами. В ОТО физика и геометрия оказываются взаимосвязанными.

Геометрические свойства пространства-времени определяются метрикой [11; 12]

$$ds^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu. \quad (1)$$

Величиной, определяющей термодинамические свойства и характер движения материи, является тензор энергии-импульса $T_{\mu\nu}$ [11; 12]. В ОТО, взаимосвязь между компонентами метрического тензора $g_{\mu\nu}$ и тензором энергии-импульса $T_{\mu\nu}$ определяется уравнениями Эйнштейна [11; 12]:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}, \quad (2)$$

где $R_{\mu\nu}$ — тензор Риччи, R — его след, G — гравитационная постоянная, c — скорость света.

В стандартной ОТО считается, что источником гравитационного поля являются компоненты тензора энергии-импульса космической среды. Космическую среду обычно описывают в приближении механики сплошных сред. Часто её считают идеальной и тензор энергии-импульса записывают в виде [11; 12]

$$T_{\mu\nu} = (\varepsilon + P)u^\mu u^\nu - P g^{\mu\nu}, \quad (3)$$

где ε — плотность энергии, а P — давление космической среды. Считается, что космическая среда состоит из обычной материи и вакуумной формы материи [7; 13]. Обычная материя состоит из частиц и античастиц. Предполагают, что гравитация не различает частицы и античастицы, и поэтому их вклады в ε и P суммируются.

В стандартной ОТО предполагается равноправность всех компонент обычной материи в создании гравитационного поля. Их вклады в тензоре энергии-импульса суммируются. Гравитационная постоянная одинакова для всех этих компонент. В тоже время существует различие во взаимоотношении с гравитационным полем обычной материи и вакуумных форм матери. Для последних оно зависит не от гравитационной постоянной, а от других констант, например, для тёмной энергии от космологической постоянной.

В стандартной ОТО широко распространена точка зрения, что вакуумной формой материи является так называемая тёмная энергия (см., например, [14]). Уравнение состояния этой среды

$$P_\Lambda = -\varepsilon_\Lambda, \quad (4)$$

а её плотность энергии

$$\varepsilon_\Lambda = \frac{c^4 \Lambda}{8\pi G}, \quad (5)$$

одинакова во все моменты времени и во всех точках пространства. Полагают, что значение космологической постоянной $\Lambda \approx 10^{-56} \text{ 1/см}^2$. В современной космологии считается, что тёмная энергия оказывает существенное влияние на динамику Вселенной

и оно стало главным ещё $6 \div 7$ млрд лет назад. Считают, что со временем оно будет всё больше и больше (см., например, [7; 13]).

Использование тёмной энергии обусловлено невозможностью объяснить без неё некоторые астрономические наблюдения (см., например, [7; 8; 13]). В тоже время, в связи с тёмной энергией возникают сложности. Не понятен её физический смысл. Имеет место нефизичное, на наш взгляд, экспоненциально расходящееся решение, описывающее динамику однородной изотропной Вселенной [7; 13].

2.2. Предлагаемые уточнения уравнений Эйнштейна

Вследствие отмеченных выше сложностей, связанных с тёмной энергией, полагаем, что вместо нее в ОТО необходимо учитывать вакуумную форму материи другого вида. Она описана в [15]. Её использование в уравнениях ОТО приводит к физически разумным решениям, правильно описывающим наблюдаемую динамику Вселенной.

Мы сомневаемся в том, что гравитация в реальности не различает частицы и античастицы. Наши сомнения основаны на следующем. В правой части уравнений Эйнштейна стоят источники гравитационного поля. Можно предположить, что ими являются «гравитационные заряды». Также как для электромагнитного поля, они для частиц и античастиц отличаются знаками. Если это так, то вклады частиц и античастиц в правой части уравнений Эйнштейна надо не складывать, а вычитать. С учётом этого предположения полагаем, что в правой части уравнений Эйнштейна должен стоять не тензор энергии-импульса, а тензор заряда-тока, в котором, в отличие от первого, вклады частиц и античастиц не складываются, а вычитаются. Это обусловлено тем, что, как мы предполагаем, гравитационные заряды у частиц и античастиц имеют разные знаки. Предлагаемая в работе модификация ОТО содержит два новых существенных момента.

Выбор вакуумной формы материи в виде гравитационно-нейтральной материи [15].

Учёт различия в гравитации частиц и античастиц.

3. МОДИФИЦИРОВАННАЯ ОТО

3.1. Состав космической среды

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

Современный состав вещества: электроны (e), протоны (p), нейтроны (n), нейтрино (ν_e, ν_μ, ν_τ), слабо взаимодействующие «тёмные частицы» (\mathcal{D}), ($D - \text{Dark}$), а также фотоны (γ). Природа слабо взаимодействующих \mathcal{D} -частиц в настоящее время не вполне понятна (см., например, [7; 8]).

В настоящей работе считаем, что Вселенная симметрична по частицам и античастицам. Состав античастиц: $\bar{e}, \bar{p}, \bar{n}, \bar{\nu}_e, \bar{\nu}_\mu, \bar{\nu}_\tau, \bar{\mathcal{D}}, \bar{\gamma} \equiv \gamma$. Учитываем, что во Вселенной могут существовать нестабильные частицы (античастицы), но их влияние на её динамику несущественно.

В работе не учитываем тёмную энергию. Полагаем, что вакуумной формой материи является гравитационно-нейтральная материя, описанная в [15]. Уравнение состояния этой материи

$$P_V = -\frac{1}{3} \varepsilon_V. \quad (6)$$

Значок « V » здесь и далее, относится к величинам, описывающим вакуум ($V - \text{Vacuum}$). Вариант теории гравитации, в котором считается, что гравитационный заряд фотонов отличен от нуля и $\bar{\gamma} \neq \gamma$, изложен в работе [16].

3.2. Гравитационные заряды

В предлагаемой модификации ОТО считаем, что источником гравитационного поля являются инвариантные гравитационные заряды. При их описании предполагаем, что они могут быть двух знаков. Считаем, что у частиц и соответствующих им античастиц, имеющих гравитационные заряды, они равны по величине, но противоположны по знаку. Одноимённые гравитационные заряды гравитационно притягиваются, а разноимённые отталкиваются. Вследствие этого в космической среде существует естественный регулярный механизм нарушения однородно-

сти в распределении гравитационных зарядов (вещества и антивещества). Подробности в [17]

В настоящей работе предполагаем, что гравитационный заряд фотонов равен нулю и вследствие этого они не являются источниками гравитационного поля.

Считаем, что полный гравитационный заряд Вселенной равен нулю. Имеет место закон сохранения гравитационного заряда. Сколько положительного заряда рождается/уничтожается, столько же одновременно рождается/уничтожается отрицательно заряда. Этот закон выполняется локально.

Используем приближение механики сплошных сред. Задача определения величин гравитационных зарядов отдельных элементарных частиц не рассматривается.

Для проверки правильности идеи о гравитационных зарядах необходимо в наблюдениях увидеть или экспериментально показать различие движения частиц и античастиц в гравитационном поле в трёхмерном пространстве. Например, показать, что античастицы отталкиваются от вещества. Полагаем, что проведение соответствующих наблюдений или экспериментов является важнейшей задачей современной физики. Сложность таких исследований заключается в необходимости выявления влияния гравитационного поля на движение элементарных частиц на фоне неизмеримо большего влияния локальных электромагнитных полей.

3.3. Гравитационные заряды и принцип эквивалентности

Идея о гравитационных зарядах, в общем случае, не согласуется с принципом эквивалентности, который в стандартной ОТО является фундаментальным (см., например, [10; 11]). В связи с этим принципом, отметим следующее.

В известных экспериментах (см., например, [18; 19]) равенство инертной и тяжёлой масс проверялось для нерелятивистских макроскопических тел, состоящих из вещества. Нет оснований априори считать, что принцип эквивалентности справедлив в ре-

лятивистской области, а также для частиц и античастиц. Это всего лишь гипотезы. Такой же гипотезой является предположение об инвариантных гравитационных зарядах, имеющих различные знаки у частиц и античастиц. Все эти гипотезы необходимо проверить экспериментально.

3.4. Модифицированные уравнения Эйнштейна

Учитывая идею о гравитационных зарядах как источниках гравитационного поля, уравнения ОТО записываем в виде

$$B_{\mu\nu} = R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg^{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} (Q^{\mu\nu} + \bar{Q}^{\mu\nu} + Q_V^{\mu\nu}), \quad (7)$$

где $Q^{\mu\nu} = \rho_g c^2 u^\mu u^\nu$, $\bar{Q}^{\mu\nu} = \bar{\rho}_g c^2 \bar{u}^\mu \bar{u}^\nu$ — тензоры гравитационного заряда-тока вещества и антивещества, соответственно. Скаляры ρ_g и $\bar{\rho}_g$ — плотности их гравитационных зарядов. Для обозначения тензора заряда-тока используем значок « Q ». Запись этих тензоров для вещества и антивещества в таком виде является наиболее простой формой реализации идеи о том, что источником гравитационного поля являются компоненты тензора, определяющего распределение гравитационных зарядов и их токов. Учитываем, что потоки вещества и антивещества в гравитационном поле движутся поразному. Тензор $Q_V^{\mu\nu}$ описывает вакуумные формы материи.

В предлагаемой модификации ОТО излучение является гравитационно-нейтральным, и поэтому его вклад в создание гравитационного поля не учитывается. Предполагаем, что вакуум также является гравитационно-нейтральным и для тензора $Q_V^{\mu\nu}$ независимо выполняются уравнения

$$\nabla_\nu Q_V^{\mu\nu} = 0. \quad (8)$$

Тёмная энергия не является гравитационно-нейтральной. Заполненный тёмной энергией вакуум является гравитационно заряженным. Он создаёт ускоренное расширение Вселенной [7; 13]. В настоящей ра-

боте считаем, что тёмная энергия отсутствует, а вакуумной формой материи, заполняющей Вселенную, является гравитационно-нейтральная материя, описанная в [15]. Это находится в соответствии с нашими представлениями о том, что полный гравитационный заряд Вселенной равен нулю.

Учитывая тождество Бьянки

$$\nabla_\nu B^{\mu\nu} = 0 \quad (9)$$

(см., например, [7; 11]), заключаем, что в уравнениях (2) содержатся законы сохранения энергии-импульса. Они могут быть записаны в виде [6; 7]

$$\nabla_\nu T^{\mu\nu} = 0. \quad (10)$$

В модифицированных уравнениях ОТО (7) уравнения, описывающие законы сохранения энергии-импульса (10) не содержатся. Также, как и в случае электромагнитного поля в среде (см., например, [20]), эти уравнения при описании гравитационного поля, должны вводиться как дополнительные.

Учитывая тождество Бьянки (9), а также (8), заключаем, что уравнения (7) содержат в себе закон сохранения гравитационного заряда материи, состоящей из вещества и антивещества:

$$\nabla_\nu (Q^{\mu\nu} + \bar{Q}^{\mu\nu}) = 0. \quad (11)$$

В ранние эпохи, когда вещество и антивещество ещё были равномерно перемешаны, выполнялось равенство $Q^{\mu\nu} = -\bar{Q}^{\mu\nu}$ и динамика Вселенной определялась термодинамическими параметрами гравитационно-нейтральной вакуумной формы материи.

Модифицированные уравнения ОТО содержат в себе закон сохранения гравитационного заряда. В отличие от стандартных уравнений, они не содержат уравнений движения частиц (античастиц), а также уравнений, описывающих негравитационные поля. Для замыкания системы модифицированных уравнений ОТО необходимо дополнительно записать уравнения, описывающие рождение/уничтожение частиц и античастиц, а также уравнения, описывающие их движение. В этом смысле описание гравитационного поля становится подобным описанию электромагнитного поля в среде.

В виде примера запишем модифицированные уравнения (7) для слабых гравитационных полей.

3.5. Слабые гравитационные поля

Запишем уравнения (7), предполагая малость макроскопических скоростей частиц/античастиц, а также считая, что и само гравитационное поле является слабым. В рассматриваемом предельном случае важной является лишь компонента g_{00} метрического тензора [11, § 87]. Она может быть записана в виде

$$g_{00} = 1 + \frac{2\Phi}{c^2}, \quad (12)$$

где Φ — гравитационный потенциал.

Компоненты заряда-тока имеют вид

$$Q_\mu^v = \rho c^2 u_\mu u^v, \quad \bar{Q}_\mu^v = -\bar{\rho} c^2 u_\mu u^v. \quad (13)$$

Считаем, что в нерелятивистском пределе ρ и $\bar{\rho}$ — это сумма масс покоя частиц/античастиц в единице объёма. Полагаем, что гравитационные заряды (тяжёлые массы) частиц/античастиц отличаются знаками.

Макроскопическое движение вещества/антивещества считается медленным. Вследствие этого, пренебрегаем всеми пространственными компонентами 4-скорости: $u^\alpha = \bar{u}^\alpha = 0$ ($\alpha = 1, 2, 3$). Учитывается только временная компонента $u^\mu : u^0 = \bar{u}^0 = 1$. Из всех компонент Q_μ^v и \bar{Q}_μ^v остаются только лишь

$$Q_0^0 = \rho c^2, \quad \bar{Q}_0^0 = -\bar{\rho} c^2. \quad (14)$$

Учитывая (14), модифицированные уравнения ОТО (7) записываем в виде

$$R_0^0 = \frac{4\pi G}{c^2}(\rho - \bar{\rho}). \quad (15)$$

При вычислении R_0^0 учитывается (см. [11, § 99]), что члены, содержащие произведения символов Кристоффеля $\Gamma_{\mu\nu}^\alpha$, во всяком случае являются величинами второго порядка малости. Члены, содержащие производные по $x^0 = ct$, являются малыми (по сравнению с членами с производными по про-

странственным координатам) как содержащие лишние степени по $1/c$. В результате находим

$$R_0^0 = R_{00} = \frac{\partial \Gamma_{00}^\alpha}{\partial x^\alpha}. \quad (16)$$

Подставляя

$$\Gamma_{00}^\alpha \approx -\frac{1}{2}g^{\alpha\beta} \frac{\partial g_{00}}{\partial x^\beta} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial \Phi}{\partial x^\alpha}, \quad (17)$$

находим

$$R_0^0 = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^\alpha \partial x_\alpha} \equiv \frac{1}{c^2} \Delta \Phi. \quad (18)$$

Учитывая (15), (18), модифицированные уравнения ОТО в пределе слабых гравитационных полей записываем в виде

$$\Delta \Phi = 4\pi G(\rho - \bar{\rho}). \quad (19)$$

Для практического использования этого уравнения необходимо записать уравнения, описывающие рождение/уничтожение частиц/античастиц, а также уравнения, описывающие их движение. В следующем пункте используем модифицированные уравнения ОТО для исследования динамики однородной изотропной Вселенной.

4. КОСМОЛОГИЯ ГРАВИТАЦИОННО-НЕЙТРАЛЬНОЙ ВСЕЛЕННОЙ

4.1. Общие замечания

Считаем, что полный гравитационный заряд Вселенной равен нулю и в любой момент времени полные заряды частиц и античастиц во Вселенной равны друг другу и противоположны по знаку.

Предполагаем, что в ранней Вселенной ($T \gg T_p = m_p c^2 / k_B$, m_p — масса протона), частицы, античастицы и излучение находились в полном термодинамическом равновесии (химическом и тепловом) и были равномерно перемешаны. Плотность гравитационного заряда была равна нулю. Пространство-время было плоским на любых масштабах. Вакуумная материя была сильно сжатой, она определяла расширение плоского пространства. Вещество, антивещество и излучение были «вморожены» в

расширяющееся пространство и практически не влияли на общую динамику Вселенной. Количество частиц, античастиц и фотонов было приблизительно одинаковым. Их параметры менялись в соответствии с изменением масштаба Вселенной.

При расширении Вселенной и её остывании происходил выход частиц и античастиц из химического равновесия. Сначала из равновесия вышли D и \bar{D} , ν и $\bar{\nu}$, частицы и античастицы, затем p , \bar{p} , n , \bar{n} , последними e и \bar{e} .

Вследствие наличия электрических и гравитационных зарядов у частиц и античастиц происходило их пространственное разделение. Коллективное электромагнитное взаимодействие порождало мелкомасштабные неоднородности электрического заряда. Коллективное гравитационное взаимодействие создавало неоднородности гравитационных зарядов значительно больших масштабов.

В процессе расширения и остывания Вселенной подавляющая часть частиц античастиц проаннигилировала. При $T \approx 10^9$ К почти вся энергия обычной космической среды оказалась в излучении. Вселенная оказалась разбитой на гравитационно заряженные области вещества и антивещества [17]. В отличие от них, излучение и вакуумная форма материи во все эпохи распределены во Вселенной почти однородно. Далее используем следующие термины. Миров — области пространства, заполненные частицами (e, p, n, D). Антимиров — области пространства, заполненные античастицами ($\bar{e}, \bar{p}, \bar{n}, \bar{D}$).

В стандартной ОТО имеет место барионная асимметрия и вся современная Вселенная — это Мир. В модифицированной ОТО Вселенная гравитационно нейтральна. Ещё в ранние эпохи она распалась на бесконечное множество миров и антимиров. Наш Мир — лишь один из миров [17].

4.2. Космологические уравнения Фридмана

Рассмотрим динамику Вселенной. Считаем, что Вселенная однородна, изотропна и нестационарна. Учитываем, что метрику её

пространства-времени в сопутствующей системе отсчёта можно записать в виде

$$ds^2 = c^2 dt^2 - a^2(t) \times [d\chi^2 + f(\chi) (\sin^2 \theta d\phi^2 + d\theta^2)], \quad (20)$$

$$f(\chi) = \begin{cases} \chi^2, & \text{при } k = 0; \\ \sin^2 \chi, & \text{при } k = 1; \\ \text{sh}^2 \chi, & \text{при } k = -1. \end{cases} \quad (21)$$

При $k = 0$ пространство плоское, при $k = 1$ — замкнутое сферическое, а при $k = -1$ — псевдосферическое (см., например, [7; 11]).

С учётом (20) модифицированные уравнения Эйнштейна (7) стандартным образом (см., например, [6; 7]) преобразуем в модифицированные космологические уравнения Фридмана, описывающие динамику однородной изотропной Вселенной:

$$\left(\frac{\dot{a}^2}{a^2} + \frac{0c^2}{a^2} \right) = \frac{8\pi G}{3} (\rho_g + \bar{\rho}_g) + \frac{\gamma^2 c^2}{a^2}, \quad (22)$$

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

При записи этих уравнений учтено, что влияние давлений частиц/античастиц на динамику Вселенной в интересующие нас эпохи не является существенным. Учитываем также, что, кроме обычной материи, Вселенную заполняет ещё и гравитационно-нейтральная вакуумная форма материи. Её параметры определяются формулами [15]

$$\varepsilon_V = \frac{3c^4}{8\pi G} \frac{\gamma^2}{a^2}, \quad P_V = -\frac{1}{3}\varepsilon_V, \quad (24)$$

где γ — универсальная постоянная, значение которой может быть найдено в процессе применения теории.

На достаточно больших масштабах Вселенная однородна изотропна, а плотность гравитационного заряда $\rho_g + \bar{\rho} = 0$. В этом случае модифицированные уравнения Фридмана (22), (23) принимают вид

$$\ddot{a} = 0, \quad \dot{a}^2 = \gamma^2 c^2. \quad (25)$$

Применение теории показывает, что для того чтобы она правильно объясняла наблюдения, необходимо предполагать, что Вселенная является открытой.

Решение уравнений (25) с граничными условиями:

$$a(t_0) = a_0, \dot{a}(t_0) = H_0 a_0, \quad (26)$$

где t_0 — возраст Вселенной, H_0 — постоянная Хаббла, имеет вид

$$a(t) = \gamma c t, t_0 = H_0^{-1}. \quad (27)$$

Значок «0» здесь и далее относится к величинам, определяющим состояние современной Вселенной. Согласно (27), имеет место равномерное расширение Вселенной. Оно обусловлено гравитационно-нейтральной вакуумной формой материи, параметры которой определяются формулами (24).

Космологическая модель, описываемая уравнением (27), названа, в силу её простоты, авторами [21] S -моделью (S — Simple). В отличие от [21], идея, используемая для обоснования «законности» S -модели, является более физической.

5. ОБЪЯСНЕНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ

5.1. Время жизни Вселенной

В S -модели время жизни Вселенной t_0 определяется значением постоянной Хаббла H_0 . Оно в точности равно H_0^{-1} . При $H_0 \approx 70$ км/с Мпс, $t_0 \approx 14 \cdot 10^9$ лет. Если $H_0 \approx 65$ км/с Мпс, то $t_0 \approx 15 \cdot 10^9$ лет. Эти оценки находятся в согласии с современными представлениями о времени жизни Вселенной [7; 8].

В послеемиссионный период температура излучения $T(t)$ и характерный масштаб $a(t)$ связаны соотношением

$$T(t) \cdot a(t) = T_0 \cdot a_0. \quad (28)$$

Из (27), (28) находим время, в которое достигается температура T :

$$t = t_0 \frac{T_0}{T}. \quad (29)$$

Согласно современным данным (см., например, [7]), $T_0 \approx 2,725$ К.

5.2. Зависимость «звёздная величина — красное смещение»

Одним из эффективных способов проверки правильности космологической модели считается способ, основанный на сравнении теоретически рассчитанной в рамках модели и наблюдаемой зависимости «видимая звёздная величина — красное смещение» для объектов, имеющих определённую абсолютную светимость, [6; 22; 23].

Формула, описывающая эту зависимость, имеет вид

$$(m - M)(z) = 5 \lg [(1 + z)\bar{r}(z)] + 5 \lg (c H_0^{-1}), \quad (30)$$

где

$$\bar{r}(z) = \frac{r(z)}{c H_0^{-1}}, \quad m = -2,5 \lg E + \text{const},$$

$$M = -2,5 \lg E_1 + \text{const},$$

$$E = \frac{L}{4\pi r^2(z)(1+z)^2}, \quad E_1 = \frac{L}{4\pi l_0^2},$$

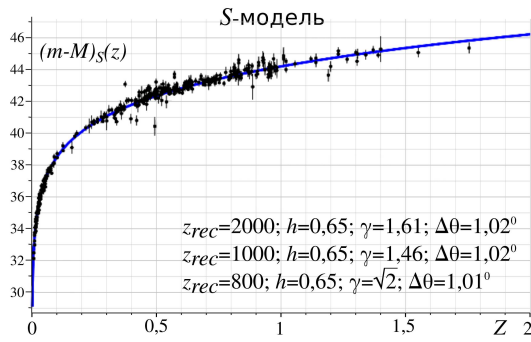
L — абсолютная светимость наблюдаемого объекта, имеющего красное смещение z ; $r(z)$ — фотометрическое расстояние до этого объекта; $l_0 = 10$ пс (подробности см., например, в [6; 21]).

Формула, определяющая фотометрическое расстояние $r(z)$, в S -модели имеет вид [21]

$$r(z) = c H_0^{-1} \gamma \operatorname{sh} \left[\frac{1}{\gamma} \ln(1+z) \right]. \quad (31)$$

Используя (30), (31), рассчитываем зависимость $(m - M)(z)$ в S -модели. На рисунке приведены графики зависимости $(m - M)(z)$, рассчитанные в рамках S -модели для нескольких значений её параметров.

Как видно из рисунка, значения константы γ , при которых S -модель хорошо описывает наблюдательные данные по сверхновым типа Ia, лежат в области $1,4 \div 1,5$. Это означает, что количество вакуумной формы материи, обеспечивающее необходимую скорость расширения Вселенной, раза в два больше, чем это следует из стандартных уравнений Фридмана.



Зависимость $(m - M)_S(z)$ в S -модели. Экспериментальные точки взяты из [24; 25]. Сплошная кривая рассчитана в S -модели для $h = 0,65$. Приведены значения угла $\Delta\theta$ для различных значений z_{rec} и γ

5.3. Анизотропия реликтового излучения

Наблюдения тонкой структуры реликтового излучения показывает, что на его равномерном фоне имеются незначительные отклонения (см., например, [26]). Они являются свидетельством существования неоднородностей в распределении видимой материи. В современной космологии считается, что эти неоднородности явились зародышами галактик и их скоплений [6; 7]. В рамках модифицированной ОТО есть основания считать, что наблюдаемые при $z \approx 1000$ яркие пятна на фоне реликтового излучения, имеющие угловые размеры $1^\circ \pm (1 \div 2)\%$, являются выделившимися ещё раньше (при $z \approx 10^9$) мирами и антимирами (подробности в [17]).

Считается, что наблюдаемые пятна соответствуют эпохе рекомбинации, для которой красное смещение $z_{rec} \approx 1000$ (см., например, [7]). Возможно, что эпоха рекомбинации имела место при значениях красных смещений z несколько больших, чем это принято считать. Такое впечатление складывается, если посмотреть на графики зависимости степени ионизации водород-гелиевой плазмы от температуры. При температурах $T \approx 3000$ К степень ионизации очень маленькая (см., например, [27]).

Моменту рекомбинации в S -модели соответствует возраст Вселенной:

$$t_{rec} = H_0^{-1} / (1 + z_{rec}) \quad (32)$$

Так как $H_0^{-1} \approx 14 \cdot 10^9$ лет, а $z_{rec} \approx 1000$, то $t_{rec} \approx 14 \cdot 10^6$ лет.

Предполагая, что миры и антимирры выделились в расширяющейся Вселенной ещё при $z \approx 10^9$ и «вморожены» в равномерно расширяющееся пространство, заключаем, что их линейный размер при $z = z_{rec}$ был равным

$$d = \gamma c t_{rec}. \quad (33)$$

Формула, определяющая угол $\Delta\theta$, под которым виден объект, имеющий линейный размер d и красное смещение z , в радианах, имеет вид [7, § 4.7]

$$\Delta\theta = \frac{d(1+z)}{r(z)}. \quad (34)$$

В этой формуле $r(z)$ — фотометрическое расстояние до наблюдаемого объекта. Оно определяется формулой (31).

В S -модели $t_{rec}(1+z_{rec}) = H_0^{-1}$, поэтому угол $\Delta\theta$, определяемый в градусах, можно записать в виде

$$\Delta\theta = \frac{\gamma \cdot 180}{\bar{r}(z_{rec}) \pi}. \quad (35)$$

Учитывая (31), (35), находим, что в S -модели $\Delta\theta \approx 1^\circ$, если значение параметра γ лежит в области значений $1,4 \div 1,5$. При этих значениях параметра γ модель равномерно расширяющейся Вселенной хорошо описывает также и наблюдаемую зависимость «видимая звёздная величина – красное смещение» для сверхновых типа Ia в области красных смещений (см. рисунок). Значение параметра γ , при котором наблюдения и расчёты согласуются, зависят от принятого значения z_{rec} . Полагаем, что опыт применения модифицированной теории гравитации для объяснения широкого спектра наблюдательных данных, позволит высказать более определённые суждения о значениях параметров γ и z_{rec} .

6. НАБЛЮДАЮТСЯ ЛИ МИРЫ И АНТИМИРЫ?

Обычно, идеи обнаружения антивещества основаны на регистрации продуктов аннигиляции (см., например, [6–8]). Приведём лишь две из них.

Предполагают, что миры и антимирры могут сближаться и сталкиваться. Считают, что области интенсивной аннигиляции, на границе вещество—антивещество, должны быть мощными источниками γ -излучения, но, по-видимому, они не наблюдаются.

Обсуждается идея обнаружения мощных точечных источников антинейтрино при $z \leq 2$. Например, полагают, что при вспышке антисверхновой количества выделяющихся антинейтрино $\approx 10^{57}$ штук ($e^+ + \bar{p} \rightarrow \bar{n} + \bar{\nu}_e$). Чувствительности нейтринных телескопов уже сейчас достаточно для наблюдения взрывов антисверхновых на расстояниях $z \leq 2$. Но их пока также не наблюдают.

Описанные выше идеи, лежащие в основе поиска антимиров, основаны на представлениях стандартной ОТО, а они могут быть неправильными.

Согласно модифицированной ОТО, антимирры и миры вовсе не стремятся сближаться и сталкиваться. Нет также оснований считать, что антимирры находятся на расстояниях $z \leq 2$. Согласно сценарию эволюции Вселенной, развиваемой в рамках модифицированной ОТО, расслоение Вселенной на миры и антимирры произошло при $z \approx 10^9$ [17]. Они «вморожены» в равномерно расширяющееся пространство. Их характерный современный размер приблизительно $14 \cdot 10^9$ световых лет. Всё что наблюдают астрономы, кроме реликтового излучения, приходит из нашего Мира, а он состоит из вещества. Отсутствие антивещества в нашем Мире, согласно модифицированной ОТО, связано не с барионной асимметрией, а с процессами разделения вещества и антивещества в ранней Вселенной и её общей динамикой.

Полагаем, что уже более пятнадцати лет астрономы наблюдают миры и антимирры. Ими, по нашему мнению, являются относительно яркие пятна на почти однородном реликтовом фоне, имеющие характерный угловой размер 1° .

7. ЗАМЕЧАНИЯ

В настоящей работе ограничились приложением предлагаемой модификации ОТО

к изучению эволюции однородной изотропной Вселенной. В тоже время отметим, что предлагаемая модификация ОТО имеет область применимости не меньшую, чем стандартная ОТО. Очевидно, что их предсказания будут существенно различаться в задачах, для которых важны процессы рождения уничтожения частиц античастиц, а также в случаях, когда заметная часть энергии космической среды сосредоточена в излучении.

Исследование проводилось в рамках механики сплошной среды. В связи с идеей о гравитационных зарядах, важной является задача их определения для отдельных частиц и античастиц. В настоящей работе эта задача не обсуждалась.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дирак, П. Принципы квантовой механики. М.: Наука, 1979.
2. Окунь, Л. Б. Физика элементарных частиц. М.: Наука, 1988.
3. Берестецкий, В. Б. Релятивистская квантовая теория : в 2 т. Т. 1 / В. Б. Берестецкий, Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский. М.: Наука, 1968.
4. Лифшиц, Е. М. Релятивистская квантовая теория : в 2 т. Т. 2 / Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский. М.: Наука, 1971.
5. Бояркин, О. М. Введение в физику элементарных частиц. М.: Наука, 2008.
6. Зельдович, Я. Б. Строение и эволюция Вселенной / Я. Б. Зельдович, И. Д. Новиков. М.: Наука, 1975.
7. Горбунов, Д. С. Введение в теорию ранней Вселенной. Теория горячего большого взрыва / Д. С. Горбунов, В. А. Рубаков. М.: ЛКИ, 2008.
8. Горбунов, Д. С. Введению в теорию ранней Вселенной. Космологические возмущения. Инфляционная теория / Д. С. Горбунов, В. А. Рубаков. М.: КРАСАНД, 2010.
9. 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.
10. Эйнштейн, А. Основы общей теории относительности // Собр. науч. тр. : в 4 т. Т. 1. М.: Наука, 1965.
11. Ландау, Л. Д. Теория Поля / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц, М.: Наука, 1988.

12. Мизнер, Ч. Гравитация : в 3 т. / Ч. Мизнер, К. Торн, Д. Уиллер. М. : Мир, 1977.
13. Чернин, А. Д. Тёмная материя и всемирное антитяготение // УФН. 2008. Т. 178, № 3. С. 267–300.
14. Глинер, Э. Б. Раздувающаяся Вселенная и вакуумоподобное состояние физической среды // УФН. 2002. Т. 172, № 2. С. 221–228.
15. 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.
16. 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.
17. Клименко, А. В. Миры и Антимир / А. В. Клименко, В. А. Клименко // Вестн. Челяб. гос. ун-та. 2013. № 19 (310). Физика. Вып. 17. С. 100–109.
18. Roll, P. G. The equivalence of inertial and passive gravitational mass / P. G. Roll, R. Krotkov, R. H. Dicke // Annals of Physics. 1964. № 26. P. 442–517.
19. Брагинский, В. Б. Эквивалентность инертной и гравитационной масс / В. Б. Брагинский, В. И. Панов // УФН. 1971. Т. 105, № 4.
20. Ландау, Л. Д. Электродинамика сплошных сред / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. М. : Наука, 1982.
21. Клименко, А. В. О равномерном расширении Вселенной / А. В. Клименко, В. А. Клименко, А. М. Фридман // Астрон. журн. 2010. Т. 87, № 10. С. 947–966.
22. Perlmutter, S. Measurements of Ω and Λ from 42 High-Redshift Supernovae / S. Perlmutter, G. Aldering, G. Goldhaber et al. // Astroph. J. 1999. Vol. 517, № 2. P. 565–586.
23. 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. 1998. Vol. 116, № 3. P. 1009.
24. Astier, P. The Supernova Legacy Survey: measurement of Ω_M , Ω_Λ and w from the first year data set / P. Astier, J. Guy, N. Regnault et al. // Astron. and Astrophys. 2006. Vol. 447, № 1. P. 31–48.
25. Riess, A. G. New Hubble Space Telescope Discoveries of Type Ia Supernovae at $z \geq 1$: Narrowing Constraints on the Early Behavior of Dark Energy / A. G. Riess, L.-G. Strolger, S. Casertano et al. // Astrophys. J. 2007. Vol. 659, № 1. P. 98.
26. Hinshaw, G. Three-year wilkinson microwave anisotropy probe (WMAP) observations: implications for cosmology / G. Hinshaw, M. R. Nolte, C. L. Bennet et al. // Astrophys. J. Suppl. 2007. Vol. 170, № 2. P. 377–408.
27. Арцимович, Л. А. Управляемые термоядерные реакции. М. : Физматгиз, 1963.