

ГРАВИТАЦИОННО-НЕЙТРАЛЬНАЯ ВСЕЛЕННАЯ

А. В. Клименко, В. А. Клименко

ЧАСТИЦЫ, АНТИЧАСТИЦЫ И ГРАВИТАЦИЯ. АНТИТЯГОТЕНИЕ

Высказана гипотеза о том, что у любой частицы, в том числе и у фотона, существует античастица, отличающаяся знаком гравитационного заряда. Предложено описание гравитации, различающей частицы и античастицы. В отличие от эйнштейновской однознаковой гравитации, вклады частиц и античастиц в тензоре, являющимся источником гравитационного поля, в рассматриваемой в настоящей работе двузнаковой гравитации, не складываются, а вычитаются. В этой гравитации между частицами и античастицами присутствует антитяготение.

Приведены примеры, когда предсказания двузнаковой гравитации отличаются от соответствующих предсказаний эйнштейновской гравитации и это может быть обнаружено в наблюдениях.

Ключевые слова: *общая теория относительности, гравитация, античастицы, гравитационные заряды, миры, антимирры.*

1. ВВЕДЕНИЕ

Современной теорией гравитации является эйнштейновская общая теория относительности (ОТО) (см., например, [1–6]). Эта теория исходит из гипотезы о том, что источником гравитационного поля является тензор энергии-импульса космической среды и любые формы материи вносят свой вклад в этот тензор. Вклады всех компонент космической среды, в том числе частиц и античастиц, суммируются. Эйнштейновская гравитация не различает частицы и античастицы.

ОТО хорошо проверена экспериментально для макроскопических тел, состоящих из частиц, а также в случаях, когда изучается распространение электро-магнитных волн в гравитационном поле. Всё, что касается описания античастиц в ОТО, следует рассматривать как гипотетическое.

Гравитация слишком слаба, чтобы непосредственно экспериментально изучать её влияние на отдельные элементарные частицы [7]. Нет также и возможности экспериментально изучать движения в гравитационных полях макроскопических тел, состоящих из античастиц, вследствие их отсутствия в наблюдаемой нами части мира.

В отсутствие экспериментальных запретов существует возможность гипотетически предполагать, что в реальности гравитация различает частицы и античастицы, а обратное утверждение, содержащееся в стандартной ОТО, не является правильным.

В настоящей работе высказана гипотеза о том, что источником гравитационного поля являются «гравитационные заряды» и они у частиц и античастиц отличаются знаками. С учётом этого предположения предложен вариант гравитации, в котором источником гравитационного поля является тензор заряда-тока, в котором в отличие от тензора энергии-импульса вклады частиц и античастиц не суммируются, а вычитаются. Показано, что в рамках теории гравитации, различающей частицы и античастицы, с меньшим количеством предположений и более просто, чем в ОТО, объясняются наблюдательные данные, для которых существенны космологические эффекты [8].

В [8] с учётом современных представлений (см., например, [7]), предполагалось, что существуют частицы, которые тождественны своим античастицам и у которых гравитационный заряд отсутствует. К этим частицам был отнесён фотон. Наблюдаемое отклонение фотонов в гравитационном поле,

возможно, указывает на то, что идея о том, что гравитационный заряд фотонов равен нулю, не является правильной.

В настоящей работе, чтобы согласовать идею о гравитационных зарядах с существующими представлениями о том, что все компоненты космической среды являются источниками гравитационного поля, высказывается следующая гипотеза. У любой частицы, в том числе и у фотона, существует античастица. Частица и её античастица имеют равные по величине, но противоположные по знаку гравитационные заряды. При этом одноимённые гравитационные заряды притягиваются, а разноимённые отталкиваются. С учётом этой гипотезы в настоящей работе сформулирована теоретическая схема описания двузнаковой гравитации различающей частицы и античастицы.

Согласно эйнштейновской теории, при одинаковых начальных условиях любые частицы и античастицы приобретают одинаковые по величине и знаку ускорения и движутся по одинаковым траекториям. Другая ситуация в двузнаковой гравитации, различающей частицы и античастицы. При одинаковых начальных условиях частицы и античастицы приобретают одинаковые по величине, но разные по знаку, ускорения и движутся по различным траекториям. При этом при одинаковых условиях все частицы движутся одинаково. То же самое имеет место и для античастиц. Принцип эквивалентности выполняется для частиц и античастиц по отдельности.

Идея об антифотонах кажется фантастичной. В тоже время не видно теоретических запретов на их существование. Различие поведения фотонов/антифотонов в гравитационных полях обычно является столь малым, что, как мы полагаем, могло «ускользнуть» от наблюдателей, поскольку его специально никто не искал. В работе предложены варианты наблюдений, в которых различие траекторий фотонов и антифотонов в гравитационном поле может быть установлено. В рамках этих наблюдений можно будет понять является ли гипотеза о существовании антифотонов правильной или ложной. Уже в настоящее время существуют технические возможности прове-

дения соответствующих наблюдений.

2. ОСНОВОПОЛАГАЮЩИЕ ИДЕИ ДВУЗНАКОВОЙ ГРАВИТАЦИИ

2.1. Геометрия пространства-времени и гравитация

Как и в эйнштейновской гравитации, в двузнаковой гравитации считается, что гравитационное поле является тем, что определяется отклонением метрики пространства-времени от псевдоевклидовой метрики инерциальных систем отсчёта специальной теории относительности (СТО) [1–6]. Метрика четырёхмерного пространства-времени описывается тензором $g_{\mu\nu}$. В пространстве-времени квадрат интервала между двумя бесконечно близкими событиями, являющийся инвариантом, не зависящим от выбора системы координат, имеет вид

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

В идеализированных инерциальных системах отсчёта при использовании декартовых координат $x^{1,2,3} = x, y, z$ и времени $x^0 = ct$, компоненты метрического тензора $g_{\mu\nu}$ равны

$$\begin{aligned} g_{00}^{(0)} &= 1, \\ g_{11}^{(0)} &= g_{22}^{(0)} = g_{33}^{(0)} = -1, \\ g_{\mu\nu}^{(0)} &= 0 \text{ при } \mu \neq \nu. \end{aligned} \quad (2)$$

Истинное гравитационное поле описывается метрическим тензором $g_{\mu\nu}$, который никакими преобразованиями координат не может быть приведён во всём пространстве к виду (2). Пространство-время, соответствующее гравитационному полю, является кривым. Его метрические свойства определяются распределением материи, её движением и физическими параметрами [1–6]. При наличии материи любая система отсчёта не является инерциальной.

Геометрия пространства-времени зависит также от выбора системы отсчёта [1–6]. Гравитационные поля могут быть порождены неинерциальностью используемой системы отсчёта. Необходим рациональный выбор системы отсчёта, позволяющий избе-

жать необоснованного усложнения изучаемых гравитационных полей и их влияния на динамику космической среды.

В настоящей работе показано, что в гравитации, различающей частицы и античастицы, её свойства зависят ещё и от того, из чего состоит система отсчёта: из частиц или античастиц. В гравитации, различающей частицы и античастицы, показания конструктивно идентичных часов, одни из которых состоят из вещества, а другие из антивещества, помещённых рядом, в гравитационном поле разойдутся. Длительность между двумя событиями, происходящими в одной и той же точке гравитационного поля, зависит от того, измеряется ли она «часами» или «античасами». По разному в гравитационном поле изменяются длины волн фотонов и антифотонов. Факт зависимости пространственно-временных соотношений от выбора материала измерительных эталонов будем отмечать как описание гравитационного поля в представлении частиц, либо как в представлении античастиц.

2.2. Гравитационные заряды

В эйнштейновской теории гравитации считается, что источником гравитационного поля является тензор энергии-импульса всех существующих в природе форм материи. В этом тензоре вклады частиц и античастиц суммируются. Эйнштейновская гравитация не различает частицы и античастицы. Формально можно считать, что в этой гравитации любые частицы Вселенной имеют одинаковые по знаку гравитационные заряды. С учётом этого далее эйнштейновскую гравитацию будем определять термином *однознаковая гравитация*. В эйнштейновской теории гравитационным зарядом частиц является их тяжёлая масса. Считается, что она в точности равна инертной массе частиц (принцип эквивалентности) [9; 10].

В настоящей работе показано, что теоретически возможен вариант теории гравитационного поля, в котором гравитация различает частицы и античастицы. В этом варианте частицы и античастицы имеют гравитационные заряды (тяжёлые массы) раз-

личных знаков. Похожий вариант гравитации рассмотрен в [8]. В этом варианте допускалась возможность существования частиц с нулевым гравитационным зарядом и к таковым относились фотоны. В отличие от [8], в настоящей работе будем предполагать, что для любой частицы существует отличающаяся от неё знаком гравитационного заряда античастица. Гипотетически допускаем существование антифотона. Далее рассматриваемую в настоящей работе гравитацию будем определять как *двузнаковую гравитацию*. В двузнаковой гравитации источником гравитационного поля является тензор заряда-тока космической среды. Отличие тензора заряда-тока от тензора энергии-импульса лишь в одном: вклады частиц и античастиц не складываются, а вычитаются.

В двузнаковой гравитации полезными являются понятия, определяемые терминами миры и антимир. Они обозначают области Вселенной, содержащие только частицы или только античастицы, соответственно. Эти идеализации удобны в теории. Считаем, что в предельных случаях миров и антимиров уравнения двузнаковой гравитации должны переходить в уравнения однознаковой эйнштейновской гравитации.

Чтобы иметь перед глазами то, что должно содержаться в искомым уравнениях двузнаковой гравитации в предельных случаях миров и антимиров, в следующем параграфе запишем уравнения однознаковой ОТО.

3. УРАВНЕНИЯ ЭЙНШТЕЙНА

В однознаковой гравитации основным уравнением гравитационного поля являются уравнения Эйнштейна (см. [1–6]).

Согласно Эйнштейну, четырёхмерное пространство-время при наличии материи является неевклидовым. Метрические свойства пространства-времени определяются метрическим тензором $g_{\mu\nu}$. Метрические коэффициенты являются функциями четырёх пространственно-временных координат $x^i = (x^0, x^1, x^2, x^3)$. Они однозначно связаны с распределением материи, её физическими свойствами, а также характером движения частиц, составляющих материю. Компонен-

ты метрического тензора $g_{\mu\nu}$ рассматриваться как «потенциалы» гравитационного поля. Величинами, определяющими «напряжённость» гравитационного поля, являются символы Кристоффеля:

$$\Gamma_{\nu\sigma}^{\mu} = \frac{1}{2}g^{\mu\alpha} \left(\frac{\partial g_{\alpha\nu}}{\partial x^{\sigma}} + \frac{\partial g_{\sigma\alpha}}{\partial x^{\nu}} - \frac{\partial g_{\nu\sigma}}{\partial x^{\alpha}} \right). \quad (3)$$

Согласно Эйнштейну, источником гравитационного поля, является тензор энергии-импульса T_{μ}^{ν} всех компонент материи. В современной теории в перечень компонент материи, кроме хорошо изученных, включают тёмную энергию и тёмную материю, свойства которых пока понятны не в полной мере [3]. Взаимосвязь между компонентами метрического тензора и тензора энергии-импульса определяется уравнениями Эйнштейна:

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

где R_{μ}^{ν} — тензор Риччи, R — его след, δ_{μ}^{ν} — символ Кронекера, G — гравитационная постоянная, c — скорость света [1–6].

Тензор Риччи имеет вид

$$R_{\mu}^{\nu} = g^{\nu\sigma} \times \left[\frac{\partial \Gamma_{\mu\sigma}^{\alpha}}{\partial x^{\alpha}} - \frac{\partial \Gamma_{\mu\alpha}^{\sigma}}{\partial x^{\sigma}} + \Gamma_{\mu\sigma}^{\alpha}\Gamma_{\alpha\beta}^{\nu} - \Gamma_{\mu\alpha}^{\beta}\Gamma_{\sigma\beta}^{\nu} \right]. \quad (5)$$

В эйнштейновской теории гравитации часто космическую среду описывают как идеальную сплошную среду, записывая тензор энергии-импульса в виде

$$T_{\mu}^{\nu} = (\varepsilon + P)u_{\mu}u^{\nu} - P\delta_{\mu}^{\nu}, \quad (6)$$

где u^{ν} — четырёхмерная скорость макроскопического движения среды, ε и P — скалярные функции, определяющие плотность энергии и давление космической среды.

В эйнштейновской гравитации вклады вещества и антивещества в (6) суммируются и считается, что их макроскопические скорости совпадают.

4. УРАВНЕНИЕ ДВУЗНАКОВОЙ ГРАВИТАЦИИ

4.1. Общий вид уравнений

Идейно двузнаковая гравитация близка однознаковой. Как и в эйнштейновской гра-

витации, величинами, описывающими гравитационное поле, являются компоненты метрического тензора. Как и в эйнштейновской гравитации, источниками гравитационного поля являются тензоры энергии-импульса частиц и античастиц. Принципиальное отличие двузнаковой гравитации от эйнштейновской заключается в том, что вклады тензоров энергии-импульса частиц и античастиц не складываются, а вычитаются.

Может показаться, что такое определение источников гравитационного поля находится в противоречии с законом сохранения энергии. Однако это не обязательно. Чтобы это пояснить, рассмотрим подробнее предположения, лежащие в основе двузнаковой гравитации.

Предполагаем, что гравитационное поле порождается гравитационными зарядами частиц и античастиц, а также их токами. Считаем, что гравитационные заряды частиц и античастиц отличаются знаком. Придерживаемся идеи ОТО о том, что все формы материи являются источниками гравитационного поля, и поэтому полагаем, что у любой частицы, в том числе и у фотона, имеется античастица.

Считаем, что мерой величины гравитационного заряда является энергия. Полагаем, что Вселенная симметрична по содержанию в ней частиц и античастиц и её полный гравитационный заряд равен нулю. С учётом этого в двузнаковой гравитации полная энергия Вселенной разбивается на две равные части: энергию частиц и энергию античастиц. При этом имеет место закон сохранения энергии, а также взаимосвязанный с ним закон сохранения гравитационного заряда. Полные количества энергий, связанные с частицами и античастицами, равны друг другу и в ходе эволюции Вселенной не меняются.

Распределение плотности гравитационных зарядов в космической среде меняется в пространстве и времени. При высоких температурах и плотностях, существовавших на ранних этапах эволюции Вселенной, частицы и античастицы в космической среде были равномерно перемешаны, а масштабы, на которых имело место нарушение гравитационной нейтральности, малыми.

При расширении и охлаждении космической среды имело место расслоение Вселенной на миры и антимир. Движущим фактором расслоения являлось притяжение одноимённых гравитационных зарядов и отталкивание разноимённых [11].

В двузнаковой гравитации описание частиц и античастиц является симметричным. В предельном случае миров и антимиров уравнения двузнаковой гравитации переходят в уравнения Эйнштейна.

В двузнаковой гравитации частицы и античастицы имеют гравитационные заряды противоположных знаков, поэтому при одинаковых условиях их 4-ре ускорения равны по величине, но отличаются знаком. Учитывая это, считаем, что частицы и античастицы воспринимают отклонения метрики пространства-времени от псевдоевклидовой (гравитационное поле) как имеющие разный знак. Полагаем, что метрика пространства-времени в представлениях частиц и античастиц не одно и то же. Метрические тензоры в представлениях частиц $g_{\mu\nu}$ и античастиц $\bar{g}_{\mu\nu}$ записываем в виде

$$g_{\mu\nu} = g_{\mu\nu}^0 + \delta g_{\mu\nu}, \quad \bar{g}_{\mu\nu} = g_{\mu\nu}^0 + \delta \bar{g}_{\mu\nu}, \quad (7)$$

где $g_{\mu\nu}^0$ определяется формулами (2), а $\delta g_{\mu\nu}$ — отклонения метрики, связанное с наличием гравитационного поля. Считаем, что $\delta \bar{g}_{\mu\nu} = -\delta g_{\mu\nu}$. В (7) и далее чёрточка над символом означает, что данная величина описывается в представлении античастиц.

В рамках механики сплошной среды в двузнаковой гравитации космическую среду рассматриваем как двухжидкостную. Одна из жидкостей состоит из частиц, другая из античастиц. Кроме обычных форм материи, космическая среда содержит вакуумные формы материи. Считаем, что вакуумная форма материи является гравитационно нейтральной [12].

Уравнения двузнаковой гравитации в представлении частиц записываем в виде

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

где T_{μ}^{ν} и \bar{T}_{μ}^{ν} — тензоры энергии-импульса для вещества и антивещества, соответственно.

В представлении античастиц уравнения двузнаковой гравитации записываются в

симметричном по отношению к (8) виде:

$$\bar{R}_{\mu}^{\nu} - \frac{1}{2}\delta_{\mu}^{\nu}\bar{R} = \frac{8\pi G}{c^4}(\bar{T}_{\mu}^{\nu} - T_{\mu}^{\nu}). \quad (9)$$

В мирах и антимирах уравнения (8) и (9) переходят в уравнения Эйнштейна (4).

Уравнения (8), (9) принципиально отличаются от уравнений Эйнштейна в тех случаях, когда нельзя использовать идеализированные приближения миров и антимиров. Это имеет место, когда в космической среде с высокой скоростью идут процессы рождения/уничтожения частиц/античастиц и когда в ней в соизмеримых количествах присутствуют частицы и античастицы. Эти случаи являются типичными для ранней Вселенной, а также релятивистских стадий эволюции космических объектов.

Левые части уравнений Эйнштейна, а также уравнений (8), (9) двузнаковой гравитации удовлетворяют тождествам Бъанки (см. [1–6]):

$$\begin{aligned} \nabla_{\nu}(R_{\mu}^{\nu} - \frac{1}{2}\delta_{\mu}^{\nu}R) &= 0, \\ \bar{\nabla}_{\nu}(\bar{R}_{\mu}^{\nu} - \frac{1}{2}\delta_{\mu}^{\nu}\bar{R}) &= 0. \end{aligned} \quad (10)$$

Учитывая тождества Бъанки, из (8), (9) заключаем, что в уравнениях двузнаковой гравитации содержится закон сохранения гравитационного заряда:

$$\nabla_{\nu}(T_{\mu}^{\nu} - \bar{T}_{\mu}^{\nu}) = 0. \quad (11)$$

Кроме закона сохранения гравитационного заряда, имеет место закон сохранения полной энергии космической среды равной сумме энергий частиц и античастиц. Он может быть записан в виде

$$\nabla_{\nu}(T_{\mu}^{\nu} + \bar{T}_{\mu}^{\nu}) = 0. \quad (12)$$

Уравнения (11), (12) могут быть справедливы одновременно, лишь в том случае, если они расщепляются на два независимых уравнения:

$$\nabla_{\nu}T_{\mu}^{\nu} = 0, \quad \nabla_{\nu}\bar{T}_{\mu}^{\nu} = 0. \quad (13)$$

Из этих уравнений следует, что в идее о двузнаковой гравитации, в которой предполагается, что гравитационные заряды связаны с

энергией, неизбежно содержится существенное изменение представлений об энергии. Энергия становится «двузнаковой». Имеет место не просто сохранение энергии, но и сохранение энергий, связанных с частицами и античастицами по отдельности. Необходимо считать, что в процессе эволюции Вселенной эти энергии не перепутываются.

4.2. Уравнения двузнаковой гравитации в случае слабых гравитационных полей

Запишем уравнения двузнаковой гравитации для случая слабых гравитационных полей в представлении частиц.

Предполагаем малость макроскопических скоростей частиц/античастиц, а также считаем, что само гравитационное поле является слабым. Если гравитационное поле является слабым и скорости движения частиц/античастиц много меньше скорости света, то существенной является лишь компонента g_{00} метрического тензора. В этом случае она может быть записана в виде [1, § 87]

$$g_{00} = 1 + \frac{2\Phi}{c^2}, \quad \bar{g}_{00} = 1 - \frac{2\Phi}{c^2}, \quad (14)$$

где Φ — гравитационный потенциал. В слабом гравитационном поле важными являются лишь компоненты Γ_{00}^α ($\alpha = 1, 2, 3$) символов Кристоффеля:

$$\Gamma_{00}^\alpha \approx -\frac{1}{2}g^{\alpha\beta}\frac{\partial g_{00}}{\partial x^\beta} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial\Phi}{\partial x^\alpha}. \quad (15)$$

В нерелятивистском пределе

$$T_\mu^\nu = \rho c^2 u_\mu u^\nu, \quad \bar{T}_\mu^\nu = \bar{\rho} c^2 u_\mu u^\nu. \quad (16)$$

В этом пределе ρ и $\bar{\rho}$ — это плотности вещества/антивещества соответственно.

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 $u^\mu : u^0 = \bar{u}^0 = 1$. С учётом этого из всех компонент T_μ^ν и \bar{T}_μ^ν остаются лишь только

$$T_0^0 = \rho c^2, \quad \bar{T}_0^0 = \bar{\rho} c^2. \quad (17)$$

Учитывая (17), уравнения (10) записываем в виде

$$R_0^0 = \frac{4\pi G}{c^2}(\rho - \bar{\rho}). \quad (18)$$

При вычислении R_0^0 учитывается (см. [1, § 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 пространственным координатам) как содержащие лишние степени по $1/c$. В результате находим

$$R_0^0 = R_{00} = \frac{\partial\Gamma_{00}^\alpha}{\partial x^\alpha}. \quad (19)$$

Подставляя (15) в (19), получим

$$R_0^0 = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2\Phi}{\partial x^\alpha\partial x^\alpha} \equiv \frac{1}{c^2}\Delta\Phi. \quad (20)$$

Учитывая (18), (20), уравнения двузнаковой гравитации в пределе слабых гравитационных полей в представлении частиц записываем в виде

$$\Delta\Phi = 4\pi G(\rho - \bar{\rho}). \quad (21)$$

Для практического использования этого уравнения необходимо дополнительно записать уравнения, описывающие рождение/уничтожение частиц/античастиц, а также уравнения, описывающие их движение. Нерелятивистское приближение в двузнаковой гравитации в [11] было использовано при решении задачи о расслоении Вселенной на миры и антимирры.

5. УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ/АНТИЧАСТИЦ В ГРАВИТАЦИОННОМ ПОЛЕ

5.1. Геодезические для частиц и античастиц

Частица, находящаяся в гравитационном поле, не только подвергается воздействию со стороны поля, но и сама влияет на поле, изменяя его. Однако, если гравитационный заряд частицы не велик, то его действием

на поле можно пренебречь. В этом случае, рассматривая движение частицы в заданном поле, можно считать, что само поле не зависит ни от координат, ни от скорости частицы. Аналогичные рассуждения справедливы и для античастиц.

Уравнение движения частицы в гравитационном поле находится путём соответствующего обобщения дифференциального уравнения свободного движения частицы в специальной теории относительности. Это уравнение гласит: $du^i = 0$, где $u^i = dx^i/ds$ есть 4-скорость частицы. В кривом пространстве-времени это уравнение обобщается и записывается в виде

$$Du^i = 0, \quad (22)$$

где Du^i — ковариантный дифференциал 4-вектора скорости u^i (см. например, [2–6]). Как известно,

$$Du^i = du^i + \Gamma_{kl}^i dx^k dx^l. \quad (23)$$

Учитывая (22), (23), находим

$$\frac{d^2 x^i}{ds^2} + \Gamma_{kl}^i \frac{dx^k}{ds} \frac{dx^l}{ds} = 0. \quad (24)$$

Это и есть искомые уравнения движения для частицы в гравитационном поле. Видно, что движение частицы в гравитационном поле определяется величинами Γ_{kl}^i . В представлении частиц уравнение (24) является уравнением геодезических [1; 2].

Частицы и античастицы в двузнаковую гравитацию входят равноправно. Учитывая это, уравнения, описывающие движение античастиц в гравитационном поле в их представлении, записываем в виде

$$\frac{d^2 \bar{x}^i}{ds^2} + \bar{\Gamma}_{kl}^i \frac{d\bar{x}^k}{ds} \frac{d\bar{x}^l}{ds} = 0, \quad (25)$$

где \bar{x}^i — 4-вектор, определяющий координаты античастицы в четырёхмерном пространстве-времени.

В двузнаковой гравитации частицы и античастицы имеют гравитационные заряды разных знаков. Вследствие этого, 4-ускорения частиц и античастиц в любой точке пространства-времени, обусловленные его кривизной, при одинаковых скоростях

равны по величине, но отличаются знаками. Это имеет место, если выполняются соотношения (7). Отклонение метрики пространства-времени от галилеевой (гравитационное поле) частицами и античастицами воспринимается как имеющее разный знак.

В собственном представлении частицы и античастицы в гравитационном поле движутся по геодезическим. Но представление частиц и античастиц о метрике пространства-времени отличается. В любой точке гравитационного поля 4-ускорения частиц и античастиц равны по величине, но противоположны по знаку. Одно и то же гравитационное поле частицы и античастицы воспринимают по-разному. Понятие геодезической не является абсолютным. Геодезические для частиц и античастиц не совпадают.

5.2. Уравнения движения частиц/античастиц в слабом гравитационном поле

Если гравитационное поле является слабым и скорости движения частиц/античастиц много меньше скорости света, то существенной является лишь компонента g_{00} метрического тензора. В этом случае она может быть записана в виде [1, § 87]

$$g_{00} = 1 + \frac{2\Phi}{c^2}, \quad (26)$$

где Φ — гравитационный потенциал. В слабом гравитационном поле важными являются лишь компоненты Γ_{00}^α ($\alpha = 1, 2, 3$) символов Кристоффеля [1, § 99].

Для слабых гравитационных полей

$$\Gamma_{00}^\alpha \approx -\frac{1}{2} g^{\alpha\beta} \frac{\partial g_{00}}{\partial x^\beta} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial \Phi}{\partial x^\alpha}. \quad (27)$$

Учитывая (7) и (27), уравнения (24) и (25), определяющие движение частиц и античастиц, запишем в виде

$$\frac{d^2 x^\alpha}{dt^2} = -\frac{\partial \Phi}{\partial x^\alpha}, \quad (28)$$

$$\frac{d^2 \bar{x}^\alpha}{dt^2} = +\frac{\partial \Phi}{\partial \bar{x}^\alpha}. \quad (29)$$

Из (28) и (29) следует, что частицы и античастицы в заданном гравитационном поле движутся по разным траекториям. Ускорения, которые они приобретают в любой точке гравитационного поля равны по величине, но противоположны по знаку. Это является следствием различия знаков гравитационных зарядов частиц и античастиц. В тоже время уравнения движения для всех частиц являются одинаковыми и не зависят от их массы и состава. Тоже самое справедливо и для античастиц.

В следующем параграфе опишем предложения по проверке некоторых предсказаний двузнаковой гравитации, которые отличаются от соответствующих предсказаний эйнштейновской гравитации.

6. ОБ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ПРОВЕРКЕ ДВУЗНАКОВОЙ ГРАВИТАЦИИ

6.1. Промежуток времени между двумя событиями

В стандартной ОТО промежуток истинного времени $d\tau$ между двумя бесконечно близкими событиями, происходящими в одной и той же точке пространства, определяется формулой

$$d\tau = \frac{1}{c} \sqrt{g_{00}} dx^0. \quad (30)$$

В общем случае истинное время между любыми двумя событиями в одной и той же точке пространства

$$\tau = \frac{1}{c} \int \sqrt{g_{00}} dx^0 \quad (31)$$

(см., например [1, § 84]).

В двузнаковой гравитации отклонения метрических коэффициентов от их галилеевых значений (2) частицами и античастицами воспринимаются как имеющие разные знаки. Вследствие этого, для частиц и античастиц временные промежутки, определяемые формулой (31), не одно и тоже.

Рассмотрим для простоты постоянное гравитационное поле. В этом поле, как известно (см. [1, § 84]), возможна синхронизация часов, находящихся в разных точ-

ках пространства. Мировое время x^0 может быть введено так, что, по определению, его промежуток между двумя событиями в некоторой точке пространства совпадает с его промежутком между любыми другими двумя событиями в любой точке пространства, которые рассматриваются как одновременные с первой парой событий. Одинаковым промежутком мирового времени x^0 в разных точках гравитационного поля соответствуют различные промежутки собственного времени τ .

Учитывая (30), эту связь запишем в виде

$$\tau = \frac{1}{c} \sqrt{g_{00}} x^0, \quad (32)$$

применим к любым конечным промежуткам.

В слабом гравитационном поле, в представлениях частиц и античастиц, компоненты g_{00} и \bar{g}_{00} определяются формулами (14). Учитывая (14) и (32), формулы, определяющие зависимость промежутков времени, показываемых часами (τ) и античастицами ($\bar{\tau}$) от значения гравитационного потенциала Φ , записываем в виде

$$\tau = \tau_0 \left(1 + \frac{\Phi}{c^2} \right), \quad \bar{\tau} = \tau_0 \left(1 - \frac{\Phi}{c^2} \right), \quad (33)$$

где τ_0 — это то, что было бы, если часы и античасы находились на «бесконечности», где нет гравитационного поля и значение гравитационного потенциала полагается равным нулю.

Вывод. Если одинаковые часы и античасы находились некоторое время в гравитационном поле звезды, то отставшими будут часы. С точностью наоборот будет в случае, если их поместить в гравитационное поле антизвезды.

Этот вывод можно попытаться проверить экспериментально. Для этого, например, можно измерить периоды полураспада частиц T и античастиц \bar{T} на поверхности сферического тела радиуса R , имеющего массу M . В этом случае, учитывая (33), формулы для T и \bar{T} можно записать в виде

$$\begin{aligned} T &= T_0 \left(1 + \frac{GM}{c^2 R} \right), \\ \bar{T} &= T_0 \left(1 - \frac{GM}{c^2 R} \right), \end{aligned} \quad (34)$$

где T_0 — период полураспада в отсутствие гравитационного поля. Если измерения производить на поверхности Земли, то $(T - \bar{T})/T_0 \approx 4 \cdot 10^{-10}$. Более благоприятные условия для выявления различия периодов T и \bar{T} в окрестности релятивистских объектов, где их отличие может быть значительным.

6.2. Фотоны и антифотоны в постоянном гравитационном поле

Рассмотрим возможность экспериментального доказательства существования антифотонов. Известно, что частота света, измеренная в собственном времени, равна $\omega = -\partial\Psi/\partial\tau$ (см. [1, § 58]), где Ψ — эйконал. Она различна в различных точках гравитационного поля.

В силу соотношения

$$\frac{\partial\Psi}{\partial\tau} = \frac{\partial\Psi}{\partial x^0} \frac{\partial x^0}{\partial\tau} \Rightarrow \omega = \frac{\omega_0}{\sqrt{g_{00}}}, \quad (35)$$

где ω_0 — частота света в точках на луче, в которых гравитационное поле отсутствует.

Для фотонов и антифотонов изменение частоты при их движении в одном и том же гравитационном поле происходит различным образом.

В слабом гравитационном поле для фотонов

$$\omega = \omega_0 \left(1 - \frac{\Phi}{c^2} \right), \quad (36)$$

а для антифотонов

$$\bar{\omega} = \omega_0 \left(1 + \frac{\Phi}{c^2} \right). \quad (37)$$

Эти формулы применим для расчёта смещения частот $\Delta\omega$ (для фотона) и $\Delta\bar{\omega}$ (для антифотона) при их переходе из места испускания, где потенциал $\Phi = \Phi_1$, в место наблюдения, где $\Phi = \Phi_2$. Учитывая (36), (37), находим

$$\Delta\omega = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{c^2} \omega_0, \quad (38)$$

$$\Delta\bar{\omega} = \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{c^2} \omega_0 = -\Delta\omega. \quad (39)$$

Экспериментальные методы позволяют измерять очень малые смещения частоты фотонов. Например, ещё в 1960 г. американским физиком Р. Паунду и Д. Ребке [13] удалось уверенно наблюдать с использованием эффекта Мёссбауэра гравитационное смещение спектральных линий при распространении света в поле тяжести Земли. Проходимый путь составлял по вертикали всего 20 м. В этом случае ожидаемое смещение $\Delta\omega/\omega_0 \simeq 2 \cdot 10^{-14}$. Измерение дали именно этот результат. Повторение аналогичных измерений для антифотонов в предположении, что они существуют, является актуальной задачей.

Различие смещений частот фотонов/антифотонов в гравитационном поле может чётко проявиться в следующей ситуации. Если существуют антифотоны, то в спектрах излучения релятивистских объектов должны наблюдаться два «пичка», смещённые относительно частоты $\nu_0 = mc^2/h$ (m — масса электрона, h — постоянная Планка) на величину

$$\Delta\nu = \pm \frac{GM}{c^2 R} \nu_0 = \pm \frac{1}{2} \frac{r_g}{R} \nu_0. \quad (40)$$

Эти «пички» можно было бы интерпретировать как потоки фотонов и антифотонов, родившихся в процессе аннигиляции электрон-позитронных пар на поверхности релятивистских объектов, имеющих массу M и радиус R ; $r_g = 2GM/c^2$ — гравитационный радиус этих объектов. Возможно, этот эффект «расщепления» может особенно ярко проявиться при наблюдении объектов с быстро изменяющимся R .

6.3. Расщепление изображений релятивистских объектов на фоне гравитационных линз

Можно ожидать, что в окрестности релятивистских объектов (нейтронных звёзд, чёрных дыр, активных ядер галактик и др.) интенсивно происходят процессы рождения/уничтожения частиц/античастиц и при этом в больших количествах, кроме фотонов, рождаются антифотоны. Если это так, то при наблюдении этих объектов на фоне

гравитационных линз должны наблюдать особенности в их изображении, обусловленные различием закона распространения фотонов и антифотонов в гравитационном поле линзы. Гравитационные линзы, состоящие из вещества, являются собирающими для фотонов и рассеивающими для антифотонов. Влияние гравитационных линз, состоящих из антивещества, является противоположным. Наличие в наблюдениях таких особенностей было бы серьёзным аргументом в поддержку правильности двузнаковой гравитации.

6.4. Искажение наблюдаемых форм гравитационных линз

Наблюдение тонкой структуры реликтового излучения показывает, что на его равномерном фоне имеются незначительные отклонения (см., например, [3; 14]). На равномерном реликтовом фоне наблюдаются пятна. Возможны две главные причины их возникновения. Первая из них связана с неоднородностью «поверхности» отрыва реликтового излучения от вещества/антивещества. Вторая связана с неоднородностью среды, через которую распространяется реликтовое излучение.

Неоднородности космической среды являются для проходящего через них реликтового излучения гравитационными линзами. Есть основание предполагать, что наблюдаемая часть Вселенной состоит из вещества [2; 3; 8; 11]. Если это так, то в рамках двузнаковой гравитации наблюдаемые гравитационные линзы для фотонов являются собирающими, а для антифотонов рассеивающими.

В двузнаковой гравитации следует ожидать, что реликтовое излучение наполовину состоит из фотонов, а наполовину из антифотонов. Вследствие этого должны наблюдаться особенности в угловом распределении наблюдаемого реликтового излучения, проходящего через гравитационную линзу.

Если линза сферически симметричная, то в реликтовом излучении она будет наблюдаться как имеющая более яркую центральную часть (фотоны) и более слабое кольцо, охватывающее её центральную часть (анти-

фотоны). В случае линз более сложной геометрической конфигурации, эти особенности будут проявляться в изображениях отдельных её элементов.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрено одно из простейших теоретически допустимых расширений эйнштейновской теории гравитации. Оно предполагает, что гравитация различает частицы и античастицы. Гипотетически считается, что у любой частицы, в том числе и у фотона, существует отличающаяся от неё знаком гравитационного заряда античастица.

В предполагаемом варианте двузнаковой гравитации сохранена идея об однозначной взаимосвязи гравитации и геометрии пространства-времени.

Считается, что источником гравитационного поля является тензор заряда-тока. В этом тензоре, в отличие от тензора энергии-импульса, вклады частиц и античастиц не суммируются, а вычитаются.

Записаны уравнения, описывающие двузнаковую гравитацию, различающую частицы и античастицы.

Показано различие представлений частиц и античастиц о геометрических свойствах пространства-времени (о гравитации).

Приведены примеры, в которых предсказания двузнаковой гравитации отличаются от соответствующих предсказаний эйнштейновской гравитации, а также гравитации с нулевым гравитационным зарядом у фотона [8], и это может быть обнаружено в наблюдениях.

Решения, описывающие динамику однородной изотропной Вселенной, в рамках двузнаковой гравитации и гравитации с нулевым гравитационным зарядом у фотоном, совпадают. Эти решения приведены в [8]. Аналогичный результат получен в [15] при значениях параметра $\alpha = 1$. Гравитационно-нейтральная Вселенная расширяется равномерно. Её динамика принципиально отличается от предсказываемой в рамках стандартных уравнений ОТО.

Двузнаковая гравитация принципиально отличается от эйнштейновской в тех

случаях, когда существенными являются процессы рождения/уничтожения частиц/античастиц и когда их вклады в полную плотность энергии космической среды соизмеримы. Например, в эйнштейновской гравитации присутствие сингулярностей является неизбежным (Р. Пенроуз, С. Хоукинг [16]), в двузнаковой, это, по-видимому, вовсе не обязательно. Античастицы, которые могут возникать в окрестности сингулярности, согласно двузнаковой гравитации, выбрасываются в окружающее пространство. Это может существенно влиять на условия образования и существования сингулярностей. Процессы, протекающие в окрестностях сингулярностей, могут иметь взрывной характер и проявляться в наблюдениях. Полагаем, что двузнаковая гравитация идейно ближе к квантовой теории, чем стандартная ОТО.

Уравнения двузнаковой гравитации переходят в уравнения Эйнштейна в предельных случаях миров и антимиров.

При всей «фантастичности» идеи об антифотонах не видно явных противоречий предлагаемой теории с физическими принципами современной физики. Нам не известны те наблюдения, которые бы ясно указывали на ошибочность идеи о различии гравитационных зарядов частиц и античастиц. Использование этой идеи позволяет более просто и естественно объяснить известные астрономические наблюдения, для которых существенны космологические эффекты.

Будем рады сотрудничеству с астрономами с целью установления в наблюдениях предполагаемого различия частиц и античастиц в гравитации. Заранее признательны специалистам в области элементарных частиц за соображения о допустимости или запрете на введение идеи о гравитационных зарядах и различии их знаков у частиц и античастиц.

Авторы выражают глубокую благодарность А. Г. Жилкину, указавшему на неточности первого варианта статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ландау, Л. Д. Теория Поля / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. М.: Наука, 1988.

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

3. Горбунов, Д. С. Введение в теорию ранней Вселенной. Теория горячего большого взрыва / Д. С. Горбунов, В. А. Рубаков. М.: ЛКИ, 2008.

4. Горбунов, Д. С. Введению в теорию ранней Вселенной. Космологические возмущения. Инфляционная теория / Д. С. Горбунов, В. А. Рубаков. М.: КРАСАНД, 2010.

5. Вайнберг, С. Гравитация и космология. М.: Платон, 2000.

6. Мизнер, Ч. Гравитация : в 3 т. / Ч. Мизнер, К. Торн, Д. Уиллер. М.: Мир, 1977.

7. Окунь, Л. Б. Физика элементарных частиц. М.: Наука, 1988.

8. 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.

9. 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.

10. Брагинский, В. Б. Эквивалентность инертной и гравитационной масс / В. Б. Брагинский, В. И. Панов // УФН. 1971. Т. 105, № 4.

11. 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.

12. 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.

13. Pound, R. V. Gravitational Red-Shift in Nuclear Resonance / R. V. Pound, Jr. G. A. Rebka // Physical Review Letters. 1959. № 3. P. 439–441.

14. 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.

15. Клименко, А. В. О тепловой природе космологических сил отталкивания / А. В. Клименко, В. А. Клименко, А. М. Фридман // Вестн. Челяб. гос. ун-та. 2013. № 19 (310). Физика. Вып. 17. С. 42–65.

16. Hawking, S. W. The Singularities of gravitational collapse and cosmology / S. W. Hawking, R. Penrose // Proc. Roy. Soc. Lond. 1970. Vol. A314. P. 529–548.