

III. Двухзнаковая гравитация. Основопологающие принципы

А. В. Клименко, В. А. Клименко

Аннотация

Считается, что главной и основополагающей компонентой космической среды является безграничный, однородный, идеальный вакуум. Реальные частицы и античастицы являются его возмущенными состояниями. Они отличаются знаком энергии. Между ними существует не тяготение, а антитяготение. Вселенная в целом является не только электро-, но и гравитационно-нейтральной. Как и в общей теории относительности (ОТО), гравитация рассматривается как связанная с искривленностью пространства и времени. Теория гравитации основанная на этих принципах, названа авторами двухзнаковой гравитацией (ДГ).

Показано, что предлагаемая теория кардинально меняет существующие представления об источниках гравитационного поля и его свойствах. Отпадает необходимость введения в теорию гравитации гипотетических элементов: тёмной материи и тёмной энергии. В следующих статьях цикла будет показано, что для объяснения наблюдаемой динамики космической среды достаточно учитывать наличие в ней лишь реально наблюдаемых частиц и античастиц.

Ключевые слова: общая теория относительности, двухзнаковая гравитация, частицы и античастицы, гравитационная нейтральность, отрицательные энергии

1 Введение

В современной физике считается, что ОТО позволяет правильно описывать динамику гравитирующих астрофизических объектов: звёзд, галактик и их скоплений, а также динамику Вселенной в целом. Полагают, что существующие и давно известные проблемы этого описания являются временными и связаны главным образом с неполнотой знаний о физических свойствах компонент космической среды, определяемых терминами тёмная материя и тёмная энергия [1–3]. Возможно, что это не так и главная причина трудностей не в неполноте знаний о космической среде, а в ограниченности основополагающих принципов ОТО. Вследствие этого существует ошибочное понимание гравитационных свойств важнейших элементов космической среды и их роли в динамике Вселенной и её структур.

Существующие объяснения в рамках общей теории относительности наблюдаемой динамики космической среды на галактических и больших масштабах, а также физических процессов в окрестности релятивистских астрофизических объектов,

являются, в значительной степени, гипотетическими. Имеются веские основания сомневаться в правильности следующих гипотез, лежащих в основе ОТО:

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

На чем основаны наши сомнения?

В квантовой теории различие частиц и античастиц является неоспоримым фактом. В то же время эйнштейновская гравитация их не различает, хотя в прямом эксперименте это не доказано. В силу сложности экспериментальной проверки гипотезы о неразличимости элементарных частиц и античастиц в гравитации, соответствующие исследования пока находятся лишь в зачаточном состоянии [4].

В квантовой теории основополагающей сущностью мира является физический вакуум. В ОТО считается, что тёмная энергия является вакуумной формой материи. В то же время, оставаясь в рамках идей этой теории, установить связь между тёмной энергией и физическим вакуумом не удаётся. Это обсуждалось в нашей предыдущей статье [5].

В отсутствие убедительных теоретических и экспериментальных доказательств приведённых гипотез, нами была предложена теория гравитации, основанная на альтернативных им гипотезах [6; 7]. Их содержание заключается в следующем.

- 1 Реальная гравитация различает частицы и античастицы и между ними существует антитяготение. Вселенная симметрична по частицам и античастицам и является не только электро-, но и гравитационно-нейтральной.
- 2 Главной компонентой космической среды является электро- и гравитационно-нейтральный физический вакуум. Он однородно заполняет Вселенную. Частицы и античастицы являются возбуждёнными состояниями вакуума. Частицы — состояниями с положительной энергией, а античастицы — состояниями с отрицательной энергией. Различие знаков энергий частиц и античастиц в гравитации столь же существенно, как различие знаков электрических зарядов в электродинамике.

Теория гравитации, в основе которой лежат эти гипотезы, названа авторами двузнаковой гравитацией. Иногда её, для краткости, будем обозначать символами ДГ.

Чтобы согласовать идею о различии в гравитации частиц и античастиц с существующими представлениями о том, что все компоненты космической среды обладают энергией и являются источниками гравитационного поля, считается, что у любой частицы, в том числе и у фотона, существует античастица. В двузнаковой гравитации частицы и античастицы имеют противоположные по знаку энергии. При этом, одноимённые энергии притягиваются, а разноимённые отталкиваются и поэтому кроме тяготения существует и антитяготение.

В двузнаковой гравитации основополагающей является идея о различии знаков энергии у частиц и античастиц. Поясним, каким образом эта идея возникла, и почему была нами введена в теорию гравитации.

2 Двухзнаковость гравитации

Идея о различии знаков энергии у частиц и античастиц впервые возникла в квантовой теории, когда Дирак записал волновое уравнение для электрона, которое было согласовано с принципами теории относительности. Потребовав, чтобы решениями этого уравнения были волны де Бройля, подчиняющиеся вероятностной интерпретации, и чтобы энергия E и импульс p электрона были связаны релятивистским соотношением

$$E^2 = m^2c^4 + p^2c^2, \quad (1)$$

а не классическим соотношением $E = p^2/2m$, Дирак установил, что электрон может находиться в четырёх состояниях [8]. Можно считать, что электрон описывается волной де Бройля и квантовым числом, принимающим четыре значения.

В отличие от нерелятивистской теории Шредингера, в которую спин вводился извне для объяснения наблюдаемого удвоения некоторых спектральных линий, в теории Дирака спин появился как следствие согласования волнового уравнения с принципом относительности. Согласно теории Дирака электрон обладает спином, причём он равен $\frac{1}{2}\hbar$ ($\hbar = 1,054572 \cdot 10^{-27}$ эрг·с — постоянная Планка), кроме того, величина собственного магнитного момента, связанного со спином, совпадает с наблюдаемой. Так впервые удалось объяснить внутреннее свойство частицы, и оно автоматически содержалось в уравнении, правильно описывающем её релятивистские свойства.

Появление дополнительного удвоения решений уравнений Дирака, кроме удвоения связанного с наличием у электрона спина, связано с тем, что каждому значению импульса соответствует два значения энергии. Согласно (1)

$$E = \pm[m^2c^4 + p^2c^2]^{1/2}. \quad (2)$$

В теории Дирака для каждого направления спина имеются два решения отличающиеся знаком энергии. Вектор состояния электрона является четырёхкомпонентным.

В основе двухзнаковой гравитации лежит гипотеза: для любых частиц имеет место удвоение количества решений описывающих их квантовые свойства; удвоение связано с наличием в формуле (2) двух знаков. Считается, что состояния с положительной и отрицательной энергиями описывают частицы и античастицы, соответственно. Принимая эту гипотезу, пытаемся идейно сблизить теорию гравитации с квантовой теорией.

Предполагаем, что различие гравитационных свойств частиц и античастиц в двухзнаковой гравитации связано с различием знаков их энергий. В ДГ энергии частиц и античастиц, с учётом их знаков, являются их гравитационными зарядами. У частиц и античастиц гравитационные заряды имеют противоположные знаки. В общем случае спектр гравитационных зарядов (энергий) являются непрерывными. Квантовое число Sg — грависпин, определяет знак гравитационного заряда [7]. Для частиц значение $Sg = +1$, для античастиц $Sg = -1$. В уравнениях двухзнаковой гравитации различие знаков гравитационных зарядов частиц и античастиц учитывается при записи тензора энергии-импульса, являющегося источником гравитационного поля.

3 Источник гравитационного поля в ДГ

Учёт различия частиц и античастиц в двухзнаковой гравитации аналогичен учёту их различия в электродинамике. В последней источником электромагнитного поля

является четыре-ток [9, § 28]. Вклады частиц и античастиц, имеющих противоположные по знаку электрические заряды, в четыре-ток берут с противоположным знаком не только при расчёте его нулевой компоненты, но и всех остальных.

В двузнаковой гравитации, как и в ОТО, источником гравитационного поля является энергия (точнее тензор энергии-импульса). В то же время, в отличие от ОТО, в ДГ вклады частиц и античастиц во все компоненты тензора энергии-импульса, являющегося источником гравитационного поля, не суммируются, а вычитаются. В этом — фундаментальное различие этих теорий.

В ОТО гравитация не различает частицы и античастицы. Считается, что не только частицы, но и античастицы имеют положительную энергию. С учётом этого, в этой теории вклады частиц и античастиц в тензор энергии-импульса суммируются. Фактически в ОТО нет античастиц квантовой теории, как состояний с отрицательной энергией. Без особых на то оснований, в этой теории античастицы заменяются на соответствующие им частицы. Это находится в противоречии с фундаментальным положением квантовой теории, согласно которому частицы соответствуют состояниям с положительной энергией, а античастицы — состояниям с отрицательной энергией и этим они отличаются.

Различие знаков энергий у частиц и античастиц учитывается в двузнаковой гравитации. В этой теории энергии (гравитационные заряды) частиц и античастиц имеют противоположные знаки и гравитация является двузнаковой.

4 Об антитяготении

В ДГ, учитывающей различие знаков энергий частиц и античастиц, гипотетически считается, что они не только с противоположным знаком входят в источник гравитационного поля — тензор энергии-импульса, но и противоположным образом реагируют на действие этого поля. То что для частиц является полем тяготения, то для античастиц полем антитяготения и наоборот.

При рассмотрении движения в заданных полях, античастицы можно рассматривать как частицы с положительной энергией, но движущиеся во времени вспять [10]. Это, например, означает, что силы действующие на частицы и античастицы, не только в электромагнитных, но и в гравитационных полях, являются противоположно направленными. Это предполагается в ДГ, но не в ОТО.

В заданном гравитационном поле на частицу и соответствующую ей античастицу, при одинаковых условиях, действуют равные по величине, но противоположно направленные силы. Это также означает, что направление силы, действующей между частицей и античастицей, противоположно тому, которое действует между двумя частицами или двумя античастицами. Между частицами и античастицами в двузнаковой гравитации существует не тяготение, а антитяготение.

5 Уравнения двузнаковой гравитации

Уравнения двузнаковой гравитации и ОТО по форме совпадают. Как и в эйнштейновской гравитации, в двузнаковой гравитации величинами, описывающими гравитационное поле, являются компоненты метрического тензора. В этих теориях источником гравитационного поля является тензор энергии-импульса частиц и античастиц.

Согласно двузнаковой гравитации космическая среда современной Вселенной состоит из обычной и вакуумной материй. Вакуумной материей является физический вакуум квантовой теории. Реальные частицы и античастицы являются его возбужденными состояниями. Частицы состояниями с положительной энергией, а античастицы состояниями с отрицательной энергией.

Обычная материя содержит две компоненты: нерелятивистскую и релятивистскую. В современной Вселенной нерелятивистская (барионная) компонента состоит из протонов, нейтронов и электронов, а также их античастиц. Релятивистская компонента включает в себя реликтовое излучение, состоящее из фотонов и антифотонов и нейтринную компоненту, состоящую из трёх сортов нейтрино и соответствующих им антинейтрино. В состав космической среды пока включается лишь то, что наблюдается в реальных экспериментах и может быть описано в рамках стандартной теории частиц. В ДГ существование тёмной материи и тёмной энергии не предполагается. Считается, что главной и определяющей компонентой космической среды является вакуум. Он и Вселенная в целом являются не только электро-, но и гравитационно-нейтральными.

В двузнаковой гравитации описание частиц и античастиц, как и в релятивистской квантовой теории, является симметричным. В предельном случае идеализированных миров и не учёте эффектов поляризации вакуума, уравнения двузнаковой гравитации не только по форме, но и по содержанию, совпадают с уравнениями Эйнштейна. Только в этом предельном случае ОТО достаточно надёжно проверена на соответствие наблюдениям, во всех других случаях необходимо её существенное уточнение. Двузнаковую гравитацию рассматриваем как вариант теории гравитации идейно существенно более близкий к квантовой теории, чем ОТО.

В двузнаковой гравитации частицы и античастицы имеют гравитационные заряды противоположных знаков. В гравитационном поле, при одинаковых условиях, их 4-ре ускорения равны по величине, но отличаются знаком. Это означает, что частицы и античастицы воспринимают отклонения метрики пространства-времени от псевдоевклидовой (гравитационное поле) по разному. Метрика пространства-времени в представлениях частиц и античастиц не одно и то же. Метрические тензоры в представлениях частиц $g_{\mu\nu}$ и античастиц $\bar{g}_{\mu\nu}$ записываются в виде

$$g_{\mu\nu} = g_{\mu\nu}^0 + \delta g_{\mu\nu}, \quad \bar{g}_{\mu\nu} = g_{\mu\nu}^0 + \delta \bar{g}_{\mu\nu}, \quad (3)$$

где $g_{\mu\nu}^0$ — метрический тензор псевдоевклидового пространства-времени специальной теории относительности, а $\delta g_{\mu\nu}$ и $\delta \bar{g}_{\mu\nu}$ — отклонения метрики, связанные с наличием гравитационного поля. В (3) и далее чёрточка над символом означает, что данная величина описывается в представлении античастиц.

Уравнения (3) не рассматриваются как описывающие расщепление пространства-времени на два. Они описывают лишь факт различия «восприятия» частицами и античастицами гравитационного поля. Это аналогично тому, как электромагнитное поле электрическими зарядами противоположного знака воспринимается по разному и это не означает, что оно расщепляется на два.

Частные примеры представлений частиц и античастиц о метрике искривлённого пространства-времени приведены в пунктах 8 и 13

В рамках механики сплошной среды в двузнаковой гравитации обычная, космическая среда рассматривается как двухжидкостная. Одна из жидкостей состоит из вещества, другая из антивещества.

Уравнения двузнаковой гравитации в представлении частиц записываются в виде

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

где T_{μ}^{ν} и \bar{T}_{μ}^{ν} — вклады в тензор энергии-импульса вещества и антивещества, рассчитываемые в рамках ОТО, соответственно. В ОТО они суммируются, а в ДГ вычитаются. B_{μ}^{ν} — тензор Эйнштейна, R_{μ}^{ν} — тензор Риччи, R — его след, δ_{μ}^{ν} — единичный тензор. Подробно об уравнениях Эйнштейна и величинах входящих в них, см., например, в [1; 2].

В представлении античастиц уравнения двузнаковой гравитации записываются в симметричном по отношению к (4) виде:

$$\bar{B}_{\mu}^{\nu} = \bar{R}_{\mu}^{\nu} - \frac{1}{2}\delta_{\mu}^{\nu}\bar{R} = \frac{8\pi G}{c^4}(\bar{T}_{\mu}^{\nu} - T_{\mu}^{\nu}). \quad (5)$$

Уравнения (4), (5) принципиально отличаются от уравнений Эйнштейна в тех случаях, когда нельзя использовать идеализированные приближения миров и антими-ров. Это имеет место, когда в космической среде с высокой скоростью идут процессы рождения/уничтожения частиц/античастиц и когда они в ней присутствуют в соизмеримых количествах. Эти случаи являются типичными для вакуума и Вселенной в целом, а также для релятивистских стадий эволюции космических объектов. Отметим также, что на галактических и больших масштабах существенными являются эффекты гравитационной поляризации вакуума. Они могут быть описаны в рамках двузнаковой гравитации, но не в рамках общей теории относительности.

6 Закон сохранения энергии-импульса

Учитывая уравнения (4) и (5), а также основополагающие принципы двузнаковой гравитации, естественно считать, что тензор

$$G_{\mu}^{\nu} = -\frac{c^4}{8\pi G}B_{\mu}^{\nu} \quad (6)$$

является тензором энергии-импульса вакуума. С учётом этого, основное уравнение этой теории (4) можно записать в виде

$$K_{\mu}^{\nu} = G_{\mu}^{\nu} + T_{\mu}^{\nu} - \bar{T}_{\mu}^{\nu} = 0 \quad (7)$$

и рассматривать его как утверждение о равенстве нулю, во всех точках Вселенной и во все моменты времени полного тензора энергии-импульса всех составляющих космической среды, включающей в себя и вакуум.

В двузнаковой гравитации равенство нулю тензора энергии-импульса K_{μ}^{ν} в любой точке пространства-времени не означает, что там ничего нет. Равенство нулю достигается за счёт точной компенсации вкладов в этот тензор всех компонент космической среды, а вовсе не вследствие их отсутствия.

Левые части уравнения Эйнштейна, а также уравнений (4) и (5) двузнаковой гравитации, удовлетворяют известным тождествам [1; 2]:

$$\nabla_{\nu}B_{\mu}^{\nu} = \bar{\nabla}_{\nu}\bar{B}_{\mu}^{\nu} = 0. \quad (8)$$

Учитывая эти тождества, из (4) и (5) заключаем, что в уравнениях двузнаковой гравитации содержатся законы сохранения энергии-импульса вакуума

$$\nabla_\nu G_\mu^\nu = 0, \quad (9)$$

а также обычной материи:

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

В двузнаковой гравитации предполагается полное равноправие частиц и античастиц, как реальных, так и вакуумных. С учётом этого, из (9) и (10) следует, что полные энергии вакуума и обычной космической среды во Вселенной не только сохраняются, но и равны нулю. Вселенная в целом не только электро-, но и гравитационно-нейтральна.

В двузнаковой гравитации вакуум рассматривается как некоторая необычная идеальная безграничная сжимаемая среда. Она является главной и основополагающей компонентой космической среды неразрывно связанной с пространством и временем. В этой теории вакуум-пространство время является единым и неделимым физическим объектом. Вакуум — его материальной, а пространство-время — геометрической составляющими [5].

Если вакуум является однородным, то соответствующее ему трёхмерное пространство является евклидовым, а время одинаково текущим во всех его точках. Неоднородная деформация вакуума — это одновременно нарушение евклидовости соответствующего ему трёхмерного пространства, проявляющееся в его искривлённости. При этом в неоднородном (искривлённом) пространстве (деформированном вакууме) в различных его точках время течёт неодинаково. Это означает, что в неоднородном вакууме неоднородным (искривлённым) является не только соответствующее ему пространство, но и время. Искривлённое пространство-время и соответствующий им неоднородный и нестационарный вакуум, в двузнаковой гравитации рассматриваются как гравитационное поле.

В рамках уравнений двузнаковой гравитации (7), гравитационное поле можно рассматривать как ту часть возмущённого состояния вакуума, которая обеспечивает поддержание значений всех компонент полного тензора энергии-импульса в любой точке и в любой момент времени на нулевом уровне. В двузнаковой гравитации гравитационное поле материально. Оно связано с деформацией физического вакуума и по существу ей и является.

С учётом предлагаемой интерпретации смысла отдельных слагаемых уравнения (7), его следует рассматривать как граничное условие для закона сохранения энергии-импульса

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

материи в целом. Уравнение (11) является самым общим уравнением механики космической среды в предположении, что она включает в себя все её компоненты, в том числе и вакуум.

7 Ньютоновское приближение

Запишем уравнение для слабых гравитационных полей в представлении частиц.

Предполагаем, что гравитационное поле является слабым и скорости движения вещества/антивещества много меньше скорости света. В этом случае существенными являются лишь компоненты g_{00} и \bar{g}_{00} метрического тензора и они могут быть

записаны в виде [9, § 87] :

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

где Φ — гравитационный потенциал.

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

$$\Gamma_{00}^\alpha \approx -\frac{1}{2}g^{\alpha\beta} \frac{\partial g_{00}}{\partial x^\beta} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial \Phi}{\partial x_\alpha}. \quad (13)$$

В нерелятивистском пределе

$$T_\mu^\nu = \rho c^2 u_\mu u^\nu, \quad \bar{T}_\mu^\nu = \bar{\rho} c^2 \bar{u}_\mu \bar{u}^\nu, \quad (14)$$

где ρ и $\bar{\rho}$ — плотности вещества/антивещества соответственно. Это те положительные плотности массы, которые принимаются в расчётах в современной гравитации ОТО.

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

$$T_0^0 = \rho c^2, \quad \bar{T}_0^0 = \bar{\rho} c^2. \quad (15)$$

С учётом (15), уравнения (4) записываем в виде

$$R_0^0 = \frac{4\pi G}{c^2} (\rho - \bar{\rho}). \quad (16)$$

При вычислении R_0^0 учитывается (см. [9, § 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 содержащими производные по пространственным координатам. Учитывая это, находим

$$R_0^0 = R_{00} = \frac{\partial \Gamma_{00}^\alpha}{\partial x^\alpha}. \quad (17)$$

Подставляя (13) в (17), получим

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

Учитывая (16), (18), уравнение для слабых гравитационных полей в представлении частиц записываем в виде

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

Отметим, что ρ и $-\bar{\rho}$ — это плотности тяжёлых масс вещества и антивещества. Согласно основополагающей гипотезе двузнаковой гравитации они отличаются знаком.

8 Метрика Шварцшильда и метрика К2

Различие представлений частиц и античастиц о метрических свойствах пространства и времени покажем на простом частном примере гравитационного поля точечной тяжёлой массы M . Это поле обладает центральной симметрией. Для его описания используем «сферические» пространственные координаты r, θ, φ . В этой системе координат квадрат интервала dS^2 может быть записан в виде:

$$dS^2 = e^\nu c^2 dt^2 - r^2(d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2) - e^\lambda dr^2, \quad (20)$$

где $\nu(r, t)$ и $\lambda(r, t)$ — некоторые функции радиальной координаты r и «времени» t , см. [9, § 100]. Подразумевая под x^0, x^1, x^2, x^3 соответственно координаты ct, r, θ, φ имеем, для отличных от нуля компонент метрического тензора выражения

$$g_{00} = e^\nu, \quad g_{11} = -e^\lambda, \quad g_{22} = -r^2, \quad g_{33} = -r^2 \sin^2 \theta. \quad (21)$$

С учётом (21), уравнения ДГ (4) для центрально-симметричного поля в вакууме, вне создающей его сферической массы в представлении частиц, могут быть записаны в виде:

$$e^{-\lambda} \left(\frac{\nu'}{r} + \frac{1}{r^2} \right) - \frac{1}{r^2} = 0, \quad (22)$$

$$e^{-\lambda} \left(\frac{\lambda'}{r} - \frac{1}{r^2} \right) + \frac{1}{r^2} = 0, \quad (23)$$

$$\dot{\lambda} = 0. \quad (24)$$

Штрих означает дифференцирование по r , а точка над буквой — дифференцирование по ct . Из этих уравнений следует, что центрально-симметричное поле в пустоте автоматически оказывается статическим.

Уравнения (22), (23) легко интегрируются и дают

$$e^\nu = e^{-\lambda} = 1 + \frac{\text{const}}{r}. \quad (25)$$

Как и следовало ожидать, на бесконечности ($r \rightarrow \infty$) $e^\nu = e^{-\lambda} = 1$, т.е. вдали от точечной массы M , метрика автоматически оказывается галилеевой.

Постоянную в (25) находим из условия предельного перехода поля на больших расстояниях, где оно слабое, в ньютоновское. Учитываем, что для слабого гравитационного поля компонента метрического тензора g_{00} может быть записана в виде [9, § 87]:

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

В ньютоновском приближении потенциал Φ поля точечной массы M имеет вид:

$$\Phi = -\frac{GM}{r}. \quad (27)$$

Сила, действующая на массу m в этом поле

$$F = -m \frac{d\Phi}{dr} = -\frac{GMm}{r^2}. \quad (28)$$

В двузнаковой гравитации считается, что тяжёлые массы M и m для частиц положительны, а для античастиц отрицательны. При этом, согласно (28), одноимённые гравитационные заряды притягиваются, а разноимённые отталкиваются. Далее, для определённости, считаем, что центральное тело имеет массу $M > 0$.

Потенциал поля для античастиц отличается от потенциала поля для частиц знаком. С учётом этого, компоненту метрического тензора \bar{g}_{00} в представлении античастиц в ньютоновском приближении записываем в виде:

$$\bar{g}_{00} = 1 - \frac{2\Phi}{c^2}. \quad (29)$$

Вводя обозначение

$$r_g = 2GM/c^2 \quad (30)$$

и учитывая формулы (21), (25), (26), (27), (28) и (30) находим, что метрика пространства-времени точечной массы M в представлении частиц имеет вид:

$$dS^2 = \left(1 - \frac{r_g}{r}\right) c^2 dt^2 - r^2(\sin^2 \theta d\varphi^2 + d\theta^2) - \frac{dr^2}{\left(1 - \frac{r_g}{r}\right)}. \quad (31)$$

Она была найдена Шварцшильдом (1916 г.) и называется шварцшильдовской.

Метрика этого же пространства-времени, но в представлении античастиц имеет кардинально другой вид:

$$d\bar{S}^2 = \left(1 + \frac{r_g}{r}\right) c^2 dt^2 - r^2(\sin^2 \theta d\varphi^2 + d\theta^2) - \frac{dr^2}{\left(1 + \frac{r_g}{r}\right)}. \quad (32)$$

Эта метрика, в отличие от шварцшильдовской, описывает не поле притяжения, а поле отталкивания. Далее эту метрику будем, для краткости, называть метрикой К2.

Решения (31) и (32) справедливы не только для покоящихся сферических масс, но и для движущихся масс, если это движение сохраняет их сферическую симметрию. Эти решения справедливы во внешней области по отношению к центральной массе M . Метрики (31) и (32) зависят только от полной массы гравитирующего тела M . В двузнаковой гравитации учитывается, что вклады частиц и античастиц в тяжёлую массу центрального тела берутся с противоположными знаками. Далее, для определённости, считаем, что центральное тело имеет массу $M > 0$.

9 Масштабы в центральном поле

В ОТО, не различающей частицы и античастицы, вопроса о том из чего состоят масштабы и часы, используемые для измерений длин и времени, не возникает. Принципиально другая ситуация в двузнаковой гравитации, различающей частицы и античастицы. Различие в этой теории представлений частиц и античастиц о метрических свойствах пространства-времени связано с различием влияния на них гравитационного поля. Согласно двузнаковой гравитации масштабы и часы, сделанные из вещества и антивещества, в гравитационном поле ведут себя совершенно по разному. Рассмотрим это на примере поля точечной массы $M > 0$.

В представлении частиц пространственная метрика поля точечной массы M имеет вид:

$$dl^2 = \frac{dr^2}{\left(1 - \frac{r_g}{r}\right)} + r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2). \quad (33)$$

В то же время, пространственная метрика этого же поля, но в представлении античастиц определяется формулой:

$$\bar{dl}^2 = \frac{dr^2}{\left(1 + \frac{r_g}{r}\right)} + r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2). \quad (34)$$

Отметим, что геометрический смысл координаты r в обоих случаях определяется тем, что длина окружности с центром в центре поля равна $2\pi r$.

Согласно (33), расстояние между двумя точками r_1 и r_2 , на одном и том же радиусе, для масштаба, состоящего из вещества, даётся интегралом

$$l_{12} = \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{\left(1 - \frac{r_g}{r}\right)^{1/2}} > r_2 - r_1. \quad (35)$$

Если масштаб из вещества, расположенный радиально в центральном поле массы $M > 0$, переносить из области больших r в область малых r , то будет иметь место его растяжение.

Принципиально другая ситуация будет иметь место для масштаба, состоящего из антивещества. Согласно (34), расстояние между двумя точками r_1 и r_2 , на одном и том же радиусе, для масштаба, состоящего из антивещества, даётся интегралом

$$\bar{l}_{12} = \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{\left(1 + \frac{r_g}{r}\right)^{1/2}} < r_2 - r_1. \quad (36)$$

Если стержень из антивещества, расположенный радиально в центральном поле массы $M > 0$, переносить из области больших r в область малых r , то будет иметь место его сжатие, а не растяжение, как это имеет место для масштаба из вещества.

Различие в представлениях частиц и античастиц о геометрических свойствах искривлённого пространства, связанного с наличием гравитационного поля, обусловлено различием влияния этого поля на них.

10 Часы и античасы в гравитационном поле

Как видно из (26), (27) и (29), в гравитационном поле массы $M > 0$, в представлении частиц $g_{00} \leq 1$, а античастиц $\bar{g}_{00} \geq 1$.

Истинное время $d\tau$ отсчитываемое часами, состоящими из вещества, связано с мировым временем dt формулой, см. [9, § 84]:

$$d\tau = \frac{1}{c} \sqrt{g_{00}} dt. \quad (37)$$

Поскольку $g_{00} \leq 1$, то

$$d\tau \leq dt. \quad (38)$$

Знак равенства имеет место на бесконечности, где t совпадает с истинным временем τ . Учитывая (26), (27), (37) заключаем, что на конечных расстояниях от массы M происходит «замедление» хода часов по сравнению с их темпом на бесконечности. Замедление времени тем значительнее, чем ближе часы к центру гравитационного поля точечной массы.

Принципиально другая ситуация для истинного времени $d\bar{\tau}$ отсчитываемому часами, состоящими из антивещества. Для этих часов, называемых далее для краткости античасами, истинное время $d\bar{\tau}$, связано с мировым временем dt формулой

$$d\bar{\tau} = \frac{1}{c} \sqrt{\bar{g}_{00}} dt. \quad (39)$$

Поскольку $\bar{g}_{00} \geq 1$, то

$$d\bar{\tau} \geq dt. \quad (40)$$

Учитывая, что $\bar{g}_{00} \geq 1$, заключаем что в гравитационном поле положительной массы происходит «ускорение» хода античасов по сравнению с их темпом на бесконечности. Ускорение времени тем значительнее, чем ближе античасы к этой массе.

11 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 искривлённом пространстве-времени это уравнение обобщается и записывается в виде

$$Du^i = 0, \quad (41)$$

где Du^i — ковариантный дифференциал 4-вектора скорости u^i (см., например, [9]). Как известно,

$$Du^i = du^i + \Gamma_{kl}^i dx^k dx^l. \quad (42)$$

Учитывая (41), (42), находим

$$\frac{d^2 x^i}{ds^2} + \Gamma_{kl}^i \frac{dx^k}{ds} \frac{dx^l}{ds} = 0. \quad (43)$$

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 (43) является уравнением геодезических.

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

$$\frac{d^2 \bar{x}^i}{ds^2} + \bar{\Gamma}_{kl}^i \frac{d\bar{x}^k}{ds} \frac{d\bar{x}^l}{ds} = 0, \quad (44)$$

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

В двузнаковой гравитации частицы и античастицы имеют гравитационные заряды (тяжёлые массы) разных знаков. Вследствие этого, 4-ускорения частиц и античастиц в любой точке пространства-времени, обусловленные его искривлённостью, при одинаковых скоростях равны по величине, но отличаются знаками.

В собственном представлении частицы и античастицы в гравитационном поле движутся по геодезическим. Но представления частиц и античастиц о метрике пространства-времени отличаются. В любой точке гравитационного поля 4-ускорения частиц и античастиц равны по величине, но противоположны по знаку. Одно и тоже гравитационное поле частицы и античастицы воспринимают по разному. То что для частиц является полем тяготения, для античастиц полем антитяготения и наоборот. Поэтому понятие геодезической не является абсолютным. Геодезические для частиц и античастиц не совпадают.

Запишем уравнения, описывающие движения частиц и античастиц в слабом гравитационном поле, а так же в центрально-симметричном поле.

12 Слабое гравитационное поле

Если гравитационное поле является слабым и скорости движения частиц/античастиц много меньше скорости света, то существенными являются лишь компоненты g_{00} и \bar{g}_{00} метрического тензора. В этом случае они могут быть записаны в виде

$$g_{00} = 1 + \frac{2\Phi}{c^2}, \quad \bar{g}_{00} = 1 - \frac{2\Phi}{c^2}, \quad (45)$$

где Φ — гравитационный потенциал. В слабом гравитационном поле важными являются лишь компоненты Γ_{00}^α и $\bar{\Gamma}_{00}^\alpha$ ($\alpha = 1, 2, 3$) символов Кристоффеля, см. пункт 7.

Для слабых гравитационных полей

$$\Gamma_{00}^\alpha \approx -\frac{1}{2} g^{\alpha\beta} \frac{\partial g_{00}}{\partial x^\beta} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial \Phi}{\partial x^\alpha}, \quad \bar{\Gamma}_{00}^\alpha = -\frac{1}{c^2} \frac{\partial \Phi}{\partial x^\alpha}. \quad (46)$$

Учитывая (3) и (46), уравнения (43) и (44), определяющие движение частиц и античастиц в гравитационном поле, запишем в виде

$$\frac{d^2 x^\alpha}{dt^2} = -\frac{\partial \Phi}{\partial x^\alpha}, \quad (47)$$

$$\frac{d^2 \bar{x}^\alpha}{dt^2} = +\frac{\partial \Phi}{\partial \bar{x}^\alpha}. \quad (48)$$

Из (47) и (48) следует, что частицы и античастиц 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 энергии 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.

13 Движение в центрально-симметричном гравитационном поле

Поле точечной массы $M > 0$ является полем притяжения для частиц и полем отталкивания для античастиц. Как и во всяком центральном поле, движение частиц/античастиц будет происходить в одной «плоскости», проходящей через центр поля. Выберем эту плоскость так, что для неё угол $\theta = \pi/2$.

Для определения траектории частиц/античастиц воспользуемся уравнением Гамильтона-Якоби для действия S как функции координат и времени. Оно имеет вид [9]:

$$g^{ik} \frac{\partial S}{\partial x^i} \frac{\partial S}{\partial x^k} - m^2 c^2 = 0, \quad (49)$$

где m — масса частиц/античастиц. Массу центрального тела обозначаем здесь как M , для определённости считаем, что $M > 0$. Учитывая (31) и (49) уравнение движения частицы ($m \geq 0$) запишем в виде:

$$\left(1 - \frac{r_g}{r}\right)^{-1} \left(\frac{\partial S}{c \partial t}\right)^2 - \left(1 - \frac{r_g}{r}\right) \left(\frac{\partial S}{\partial r}\right)^2 - \frac{1}{r^2} \left(\frac{\partial S}{\partial \varphi}\right)^2 - m^2 c^2 = 0, \quad (50)$$

где $r_g = 2MG/c^2$ — гравитационный радиус центрального тела. Уравнение (50) описывает движение частицы в гравитационном поле притяжения. Решение этого уравнения приведено в [9, § 101].

Учитывая (32) и (49) уравнение движения античастицы ($m \leq 0$) в гравитационном поле массы ($M > 0$) запишем в виде:

$$\left(1 + \frac{r_g}{r}\right)^{-1} \left(\frac{\partial S}{c \partial t}\right)^2 - \left(1 + \frac{r_g}{r}\right) \left(\frac{\partial S}{\partial r}\right)^2 - \frac{1}{r^2} \left(\frac{\partial S}{\partial \varphi}\right)^2 - m^2 c^2 = 0. \quad (51)$$

По общим правилам решения уравнения Гамильтона-Якоби, см. [11, § 47], ищем S в виде

$$-S = -E_0 t + L \varphi + S_r(r) \quad (52)$$

с постоянными энергией E_0 и моментом импульса L . Подставив (52) в (51), найдём производную dS_r/dr и затем:

$$S_r = \int \left[\frac{E_0^2}{c^2} \left(1 + \frac{r_g}{r}\right)^{-2} - \left(m^2 c^2 + \frac{L^2}{r^2}\right) \left(1 + \frac{r_g}{r}\right)^{-1} \right]^{1/2} dr. \quad (53)$$

Зависимость $r = r(t)$ даётся, как известно (см. [11, § 47]) уравнением $\partial S / \partial E_0 = \text{const}$, откуда

$$ct = \frac{E_0}{|m|c^2} \int \frac{dr}{\left(1 + \frac{r_g}{r}\right) \left[\left(\frac{E_0}{mc^2}\right)^2 - \left(1 + \frac{L^2}{m^2 c^2 r^2}\right) \left(1 + \frac{r_g}{r}\right) \right]^{1/2}}. \quad (54)$$

Траектория же определяется уравнением $\partial S / \partial L = \text{const}$, откуда

$$\varphi = \int \frac{L}{r^2} \left[\frac{E_0^2}{c^2} - \left(m^2 c^2 + \frac{L^2}{r^2}\right) \left(1 + \frac{r_g}{r}\right) \right]^{-1/2} dr. \quad (55)$$

формулы (54), (55) дают аналитическое описание движения античастиц в поле точечной массы M . Считается, что $M \gg |m|$.

14 Тёмная энергия и двузнаковая гравитация

Если гипотетически считать, что космологическая постоянная Λ отлична от нуля, то тензор энергии-импульса вакуума-пространства-времени

$$G_{\mu}^{\nu} = -\frac{c^4}{8\pi G}(B_{\mu}^{\nu} - \delta_{\mu}^{\nu}\Lambda). \quad (56)$$

В этом тензоре учтён вклад не только гравитационно-нейтральной вакуумной материи, но и гравитационно-заряженной тёмной энергии.

Тензор энергии-импульса тёмной энергии

$$G_{\mu(\Lambda)}^{\nu} = +\frac{c^4\Lambda}{8\pi G}\delta_{\mu}^{\nu}. \quad (57)$$

В [5] показано, что в двузнаковой гравитации естественно считать, что космологическая постоянная $\Lambda = 0$. В этой теории считается, что вакуум состоит лишь из гравитационно-нейтральной вакуумной материи. Вселенная не только электро-, но и гравитационно-нейтральна.

15 Заключение

Приведём перечень задач, решения которых будут обсуждаться в последующих статьях, посвящённых приложениям двузнаковой гравитации.

В гравитационно-нейтральной Вселенной космологическое ускорение равно нулю. Вселенная расширяется равномерно. Её трёхмерное пространство на космологических масштабах является плоским. Главной и основополагающей компонентой космической среды является физический вакуум. На космологических масштабах он однороден. Описание глобальной динамики Вселенной в рамках ДГ будет представлено в статье IV «Двузнаковая гравитация. Космология».

Гравитационная нейтральность Вселенной не означает, что она таковой является на любых масштабах. Согласно ДГ во Вселенной существует регулярный механизм разделения вещества и антивещества. Он обусловлен антитяготением между частицами и античастицами. В рамках ДГ может быть дано простое объяснение наблюдаемой барионной асимметрии окружающего нас мира. В статье V «Двузнаковая гравитация. Миры и антимирры», покажем, каким образом ранняя Вселенная распалась на миры и антимирры. В процессе равномерного расширения Вселенной они разошлись на космологические расстояния и в настоящее время являются самыми крупными неоднородностями материи во Вселенной.

В гравитационных полях сгустков обычной материи имеет место гравитационная поляризация вакуума. В результате этого гравитационные поля на галактических и больших масштабах претерпевают кардинальные изменения. Учёт этого факта позволяет в рамках ДГ предложить простое решение проблемы «тёмной материи». Эта возможность будет обсуждаться в статье VI «Двузнаковая гравитация. Вакуум и гравитация». Будет также показано, что гравитационная поляризация вакуума оказывает существенное влияние на зарождение галактик и их скоплений.

Электромагнитному кванту, имеющему определённое значение энергии E , соответствует волна с частотой ω . Формула, связывающая E и ω для этого кванта имеет вид:

$$E^2 = p^2c^2 = \hbar^2\omega^2. \quad (58)$$

Из этой формулы следует, что при заданном значении частоты, энергия кванта может быть двух знаков:

$$E = \pm \hbar\omega. \quad (59)$$

Согласно двузнаковой гравитации, это означает, что при заданном значении ω могут существовать фотоны имеющие противоположные знаки энергии, а, следовательно, и противоположные гравитационные заряды. В этой теории их естественно рассматривать как фотоны и антифотоны. В статье VII «Двузнаковая гравитация. Фотоны и антифотоны» будут обсуждаться предсказания теории о поведении γ -квантов и анти γ -квантов в гравитационных полях, а также их соответствие наблюдениям.

В любом месте Вселенной электро- и гравитационно-нейтральный вакуум выделяет привилегированную локально-инерциальную систему отсчёта. Частицы и античастицы являются возмущенными состояниями вакуума. В тех случаях, когда меняется скорость или направление движения частиц и античастиц в вакууме, возникает его реакция на эти изменения. Она проявляется как действие со стороны вакуума на частицы и античастицы сил инерции. Именно в этом и состоит, как мы предполагаем, их природа. Это будет обсуждаться в статье VIII «Двузнаковая гравитация. Природа сил инерции».

Список литературы

1. Горбунов Д. С. Введение в теорию ранней Вселенной. Теория горячего большого взрыва / Горбунов Д. С., Рубаков В. А. — М.: ЛКИ, 2008.
2. Зельдович Я. Б. Строение и эволюция Вселенной / Зельдович Я. Б., Новиков И. Д. — М.: Наука, 1975.
3. Вайнберг С. Гравитация и космология / Вайнберг С. — М.: Платон, 2000.
4. The ALPHA Collaboration. Description and first application of a new technique to measure the gravitational mass of antihydrogen / The ALPHA Collaboration, Charman A. E. // Nature communications. — 2013.
5. Клименко А. В. II. Двузнаковая гравитация. Вакуум-пространство-время. / Клименко А. В., Клименко В. А.
6. Клименко А. В. Двузнаковая гравитация / Клименко А. В., Клименко В. А. — Челябинск: Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2017.
7. Клименко А. В. I. Двузнаковая гравитация. Частицы и античастицы в гравитационном поле / Клименко А. В., Клименко В. А.
8. Дирак П. Принципы квантовой механики / Дирак П. — М.: Наука, 1979.
9. Ландау Л. Д. Теория поля / Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. — М.: Наука, 1988.
10. Фейнман Р. Квантовая электродинамика / Фейнман Р. — М.: Мир, 1964.
11. Ландау Л. Д. Механика / Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. — М.: Наука, 1988.