

III. Двухзнаковая гравитация. Основополагающие принципы

А. В. Клименко, В. А. Клименко

Аннотация

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

Ключевые слова: двухзнаковая гравитация, частицы и античастицы, гравитационная нейтральность, двухзнаковость энергии, антитяготение

1 Введение

В современной физике считается, что ОТО позволяет правильно описывать динамику 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 физических свойств компонент космической среды, определяемых терминами тёмная материя и тёмная энергия [1-3]. Возможно, что это не так и главная причина трудностей не в этом, 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 частицами и античастицами существует тяготение.
- 2 Современная Вселенная состоит лишь из частиц.
- 3 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 важнейшим элементом материального мира является физический вакуум. В ОТО считается, что тёмная энергия является вакуумной формой материи. В то же время, оставаясь в рамках основополагающих принципов 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.
- 2 Вселенная симметрична по частицам и античастицам и является не только электро-, но и гравитационно-нейтральной.
- 3 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. Сокращенно 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 идея о различии знаков энергии у частиц и античастиц является основополагающей. Поясним, каким образом она возникла, и почему была нами введена в теорию гравитации.

2 Двухзначность энергии

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 электрона, и оно автоматически содержалось в уравнении, правильно описывающем его 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 ДГ 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 двухзначовой 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. Квантовое число Sg — грависпин, определяет знак гравитационного заряда [7]. Для частиц значение $Sg = +1$, для античастиц $Sg = -1$. В уравнениях двухзначовой гравитации различие знаков гравитационных зарядов частиц и античастиц учитывается при записи тензора, являющегося источником гравитационного поля.

3 Источник гравитационного поля в ДГ

Учёт различия знаков энергии частиц и античастиц в двухзначовой гравитации аналогичен учёту различия знаков электрических зарядов 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 берутся 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 этого тензора 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 являются состояниями 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 описании движения античастиц в гравитационных полях, следуя Фейнману, рассматриваем их как частицы с положительной энергией, но движущиеся во времени вспять [10].

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 Основополагающие принципы 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. Вакуум в гравитационных полях сгустков материи/антиматерии может поляризоваться. Учет гравитационной поляризации вакуума позволяет понять и решить проблему тёмной материи и существенно по иному,

чем в настоящее время, подойти к решению задачи об образовании структур во Вселенной.

Реальные частицы и античастицы являются возбужденными состояниями вакуума. Частицы состояниями с положительной энергией, а античастицы состояниями с отрицательной энергией.

В упрощенной модели обычной материи считаем, что она 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 ДГ существование тёмной материи и тёмной энергии не предполагается. Считается, что главной и определяющей компонентой космической среды является физический вакуум. Он и Вселенная в целом являются не только электро-, но и гравитационно-нейтральными [5].

В двузнаковой гравитации описание частиц и античастиц, как и в релятивистской квантовой теории, является симметричным. В предельном случае идеализированных миров, состоящих лишь из вещества, и не учёте эффектов поляризации вакуума, уравнения двузнаковой гравитации не только по форме, но и по содержанию, совпадают с уравнениями Эйнштейна. Считается, что только в этом предельном случае ОТО достаточно надёжно проверена на соответствие наблюдениям, во всех других случаях необходимо её существенное уточнение.

В двузнаковой гравитации частицы и античастицы имеют энергии (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

6 Уравнения ДГ для гравитационного поля

Чтобы учесть основополагающие принципы, лежащие в основе ДГ, изложенные в предыдущем пункте, уравнения Эйнштейна для гравитационного поля уточняются

и записываются в виде:

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

где B_μ^ν - тензор Эйнштейна, R_μ^ν - тензор Риччи, R - его след, δ_μ^ν - единичный тензор, s_g — грависпин, значение s_g равно $+1$ для частиц и -1 для античастиц. Чёрточка над символом означает, что данная величина описывает античастицы. Подробно об уравнениях Эйнштейна и величинах входящих в них, см., например, в [1; 2].

Введение в уравнения Эйнштейна грависпина позволяет описать в рамках этих уравнений противоположность гравитационных свойств частиц и античастиц. Оно указывает на наличие у них определенного внутреннего квантового свойства, значение которого для частиц равно $+1$, а для античастиц -1 .

Предлагаемое уточнение существующей теории гравитации является кардинальным. Оно сближает основополагающие принципы теории гравитации и КТП. При таком уточнении одновременно учитывается и идея Дирака о фундаментальном различии частиц и античастиц, как состояний отличающихся знаком энергии, и идея Эйнштейна о гравитации, как искривленности пространства-времени, а энергии, как ее источнике.

В ДГ совершенно по иному, чем обычно, рассматриваются гравитационные свойства вакуума и его связь с пространством-временем. В этой теории вакуум-пространство-время это единый электро- и гравитационно-нейтральный выделенный физико-геометрический объект вселенского масштаба. Обычная материя является возмущенным состоянием этого объекта. Она в целом, как и вакуум, электро и гравитационно - нейтральна. На космологических масштабах распределение материи является однородным. Существует космологическая система отсчета в которой это распределение является еще и изотропным. В космологической системе отсчета динамика Вселенной описывается в рамках уравнений Фридмана. Пространство Вселенной на космологических масштабах является плоским. В ДГ считается, что ИСО 0 , связанная с вакуумом ДГ и космологическая фридмановская система отсчета-это одно и тоже. 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 антимиров. 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.

7 Законы 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.

8 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.

9 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:

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

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 $M > 0$.

10 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. Разница в этой теории представлений частиц и античастиц о метрических свойствах пространства-времени связана 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.

11 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.

12 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 двузнаковой гравитации равноправны. 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 то же гравитационное поле частицы и античастицы воспринимают по разному. То что для частиц является полем тяготения, для античастиц полем антитяготения и наоборот. 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.

13 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 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 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.

14 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 M , для определённости, считаем положительной. 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

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

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 $M \gg |m|$.

15 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 следующей статье цикла показано, что есть веские основания считать, что космологическая постоянная $\Lambda = 0$, вакуум состоит лишь из гравитационно-нейтральной вакуумной материи, Вселенная не только электро-, но и гравитационно-нейтральна.

16 Заключение

Приведём перечень проблем, которые в рамках ДГ обсуждаются в следующих статьях цикла .

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 содержится 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», показано, 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 обсуждается в статье *VI* «Двузнаковая гравитация. Вакуум и гравитация». Показано, что гравитационная поляризация вакуума оказывает существенное влияние на зарождение структур в мирах и антимирах.

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

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

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» обсуждается соответствие предсказаний ДГ о поведении γ -квантов и анти γ -квантов в гравитационных полях, 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 обсуждается 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 В. А., / Клименко А. В. Клименко В. А.
6. Клименко А. В. Двухзнаковая гравитация / Клименко А. В., Клименко В. А. — Челябинск: Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2017.
7. Клименко А. В. I. Двухзнаковая 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.