

VII. Двухзнаковая гравитация. Фотоны и антифотоны

А. В. Клименко, В. А. Клименко, С. В. Клименко

Аннотация

В двухзнаковой гравитации учитывается идея Дирака о противоположности знаков энергии у частиц и античастиц. Считается, что это связано с наличием у них некоторого внутреннего свойства. Оно характеризуется квантовым числом — грависпином, которое может принимать два значения: ± 1 . Соответствующие им состояния определяются как частицы и античастицы. Предполагается, что у любой частицы, в том числе и у фотона, существует отличная от нее античастица и противоположность знаков их энергий должна проявляться в гравитации. Приведены примеры астрономических наблюдений в которых, как считают авторы, различие поведения фотонов и антифотонов в гравитации проявляется явно. Утверждается, что в лабораторных экспериментах, аналогичных проведенным Паундом и Ребкой и доказывающих существование красного гравитационного смещения, следует искать и фиолетовое гравитационное смещение.

Ключевые слова: двухзнаковая гравитация, частицы и античастицы, фотоны, антифотоны, грависпин, антитяготение.

1 Введение. Антифотоны

В работе в рамках двухзнаковой гравитации (ДГ) рассматривается поведение электромагнитных квантов в гравитационных полях. В этой теории предполагается, что энергии частиц и античастиц отличаются знаком и вследствие этого они имеют различные гравитационные свойства [1–3].

В двухзнаковой гравитации, учитывающей противоположность знаков энергий у частиц и античастиц и их полное равноправие, естественно считать, что у любой частицы, в том числе и у фотона, существует античастица.

Приведём, для электромагнитных квантов, соображения в поддержку этой гипотезы. Электромагнитному кванту, имеющему определённые значения энергии E и импульса P , соответствует безграничная в пространстве и времени де-Бройлевская волна с частотой ω . Формула, связывающая E и ω для этого кванта имеет вид:

$$E^2 = p^2 c^2 = \hbar^2 \omega^2. \quad (1)$$

Из неё следует, что при заданном значении частоты ω , энергия E может быть двух знаков:

$$E = \pm \hbar \omega. \quad (2)$$

Согласно двузнаковой гравитации, это означает, что при заданном значении ω существуют электромагнитные кванты, имеющие противоположные знаки энергии. В этой теории их следует рассматривать как фотоны и антифотоны имеющие противоположные гравитационные свойства.

Различие знаков энергии для электромагнитных квантов трактуем как связанное с наличием у них некоторого внутреннего свойства, описываемого квантовым числом — грависпином [1], которое может принимать два значения: ± 1 . Предполагаем, что грависпином для электромагнитных квантов является их спиральность. Считаем, что все фотоны — левоспиральные, а антифотоны — противоспиральные. Такой выбор спиральностей для фотонов и антифотонов учитывает принимаемый в Стандартной Модели частиц для безмассовых нейтрино и антинейтрино. Все нейтрино — левоспиральные, а антинейтрино — правоспиральные. [4].

Согласно ДГ, изменение частоты фотонов и антифотонов в гравитационных полях должно происходить различным образом. Гравитационные поля тел, состоящих из вещества, являются полями притяжения для фотонов и полями отталкивания для антифотонов. Обратная ситуация в случае гравитационных полей тел, состоящих из антивещества. Согласно двузнаковой гравитации, там где для фотонов гравитационное смещение частоты является красным, для антифотонов — фиолетовым. Противоположными являются их отклонения в гравитационных полях. С противоположными знаками берутся их вклады в искривление пространства-времени.

Приведем примеры в которых различия в поведении фотонов и антифотонов в гравитационных полях, как мы предполагаем, должны проявиться в наблюдениях.

2 Антифотоны в гравитационном поле Земли

Описываемый случай является важным, поскольку, как мы полагаем, уже в лабораторном эксперименте позволит доказать существование антифотонов.

Согласно двузнаковой гравитации, при подъёме фотонов и антифотонов в гравитационном поле Земли их частоты меняются по-разному. Для фотонов частота уменьшается, а для антифотонов — увеличивается. Формулы, определяющие изменение частоты ν фотонов и $\bar{\nu}$ антифотонов, при их вертикальном подъёме в поле тяжести Земли на высоту h ($h \ll R$, R — радиус Земли), имеют вид:

$$\nu(h) = \nu_0 \left(1 - \frac{gh}{c^2} \right), \quad \bar{\nu}(h) = \nu_0 \left(1 + \frac{gh}{c^2} \right), \quad (3)$$

где $g \simeq 9,8$ м/сек, c — скорость света.

Экспериментальные методы позволяют измерять очень малые смещения частоты фотонов. Ещё в 1959 г американским физикам Р. Паунду и Д. Ребке удалось наблюдать, с использованием эффекта Мёссбауэра, гравитационное смещение спектральных линий γ -излучения при его подъёме в поле тяжести Земли [5]. Проходимый путь составлял, по вертикали, приблизительно 22 м. В этом случае ожидаемое смещение для фотонов $\Delta\nu/\nu_0 \approx 2,5 \cdot 10^{-15}$. Измерения дали именно этот результат. В этом сложном эксперименте было найдено то, что искали — красное гравитационное смещение γ -квантов. Повторение аналогичных измерений для антигамма квантов, в предположении их существования, являются актуальной задачей. В таком эксперименте должно наблюдаться расщепление спектра электромагнитных квантов в гравитационном поле. Кроме наблюдавшегося ранее красного гравитационного смещения для

гамма квантов, должно наблюдаться и фиолетовое гравитационное смещение для антигамма квантов. Предполагаем, что в этом эксперименте будет также установлено, что гамма кванты и антигамма кванты отличаются спиральностями.

3 Антифотоны в сильном гравитационном поле

В спектрах источника SS 433, проявляются яркие эмиссионные линии водорода, гелия и некоторых других элементов, имеющих следующие особенности. Около каждой основной линии λ_i существует две дополнительные: λ_{iB} — смещённая в синюю и λ_{iR} — смещённая в красную сторону относительно λ_i , см., например, [6]. Считается, что расщепление эмиссионных линий на три связано с доплеровским сдвигом длин волн. Предполагается, что в излучающем объекте имеются три области, движущиеся по отношению к наблюдателю с различной скоростью. Чтобы объяснить наблюдения, предполагают, что линии λ_{iB} и λ_{iR} излучаются атомами, двух «холодных» газовых струй, бьющих вдоль одной линии в противоположных направлениях со скоростями приблизительно 0,27 скорости света. Чтобы происходило излучение эмиссионных линий и они чётко проявлялись, струи должны быть не только «холодными» ($T \lesssim (1 \div 2)10^4\text{K}$), но и узкими (угловое расхождение струй $\lesssim (1 \div 2)$ градуса).

Альтернативное объяснение расщепления эмиссионных линий источника SS 433 основано на идее о существовании антифотонов. Считается, что расщепление связано с различием влияния гравитации на фотоны и антифотоны. Такое объяснение предложено в работе [7].

Наблюдаемое расщепление эмиссионных спектральных линий источника SS 433 на две можно трактовать как подтверждающее идею двузнаковой гравитации с антифотонами. Предполагаем, что антифотоны в линиях λ_{iB} и фотоны в линиях λ_{iR} источника SS 433 отличаются знаками спиральности. Проверка этой гипотезы является важной задачей.

4 О расщеплении спектра аннигиляционных γ -квантов

В окрестности релятивистских объектов (нейтронных звёзд, ядер галактик и других) частицы окружающей их космической среды, падая на эти объекты, могут быть ускорены до релятивистских энергий. При этом, эти объекты являются не только мощнейшими ускорителями частиц, но и эффективными фокусирующими мишенями. Естественно думать, что при столкновении частиц с этими мишенями, как это происходит в обычных ускорителях, рождаются частицы и античастицы. При этом, учитывая идею об антифотонах, считаем, что при последующей аннигиляции частиц/античастиц, кроме γ -квантов, в равных с ними количествах, рождаются и анти γ -кванты.

Если с поверхности этих объектов, имеющих массу M и радиус R , излучаются фотоны и антифотоны с частотой ν_0 , то вдалеке от них, согласно двузнаковой гравитации, должно наблюдаться расщепление этой линии на две. Оно обусловлено различием влияния гравитационного поля на фотоны и антифотоны. Предполагаем

мое смещение расщеплённых линий относительно ν_0

$$\Delta\nu = \pm \frac{1}{2} \frac{r_g}{R} \nu_0, \quad (4)$$

где $r_g = 2GM/c^2$ — гравитационный радиус этих объектов. В случае аннигиляции электрон-позитронных пар $\nu_0 \simeq mc^2/h$, где m — масса электрона. Возможна аннигиляция и других пар частиц/античастиц, например, π^+ и π^- -мезонов. Для нейтронных звёзд $r_g \approx 5 \cdot 10^5$ см, $R \lesssim 4r_g$, $\Delta\nu/\nu_0 \lesssim 0,12$ расщепление является значительным и должно чётко проявляться в наблюдениях. В случае чёрных дыр, это расщепление может быть ещё большим [8; 9]. Предполагаем, что в расщеплённых линиях будет наблюдаться различие спиральностей гамма и антигамма квантов.

5 Релятивистские объекты на фоне гравитационных линз

Согласно двузнаковой гравитации, можно ожидать, что в окрестности релятивистских объектов в реакциях аннигиляции частиц/античастиц в равных количествах рождаются γ -кванты и анти γ -кванты. Если это так, то при наблюдении этих объектов на фоне гравитационных линз, должны наблюдаться особенности в их γ -изображениях, обусловленные различием отклонений фотонов и антифотонов в гравитационном поле линзы. Гравитационные линзы, состоящие из вещества, являются притягивающими для фотонов и отталкивающими для антифотонов. Влияние гравитационных линз, состоящих из антивещества, является противоположным. Учитывая это, можно ожидать, что луч света, идущий от релятивистского объекта в поле гравитационной линзы расщепится на два луча — фотонный и антифотонный. Вследствие этого должно наблюдаться расщепление изображения релятивистских объектов на фоне гравитационных линз. В зависимости от взаимного положения излучающего объекта, гравитационной линзы и приёмника будут различными карты изображений наблюдаемого объекта. Эти карты, кроме сфокусированного изображения, предсказываемого ОТО, должны содержать ещё и «размазанное» изображение этого же объекта, создаваемое антифотонами.

Излучения центральной (сфокусированной) и периферийной (рассеянной) частей изображения, предположительно, имеют круговые поляризации разных знаков. Если это будет выявлено в наблюдениях, то будет важным аргументом в поддержку правильности идеи о том, что грависпин и спиральность для электромагнитных квантов это одно и то же.

6 Гравитационные линзы на реликтовом фоне

Вселенная практически однородно заполнена реликтовым излучением. Оно является чернотельным и его современная температура приблизительно $2,725^\circ$ К [10; 11]. В рамках двузнаковой гравитации естественно считать, что реликтовое излучение содержит одинаковые количества фотонов и антифотонов.

Наблюдения тонкой структуры реликтового излучения показывает, что на его однородном фоне имеются незначительные отклонения яркости. Возможны две главные причины их возникновения. Первая из них связана с неоднородностью «поверх-

ности» отрыва реликтового излучения от вещества/антивещества в эпоху рекомбинации; вторая — с неоднородностью среды, через которую распространяется реликтовое излучение.

Неоднородности в распределении вещества/антивещества в эпоху рекомбинации, интерпретируются в двузнаковой гравитации как ранние миры и антимирры. Они должны проявляться не только в наблюдаемой анизотропии температуры реликтового излучения, приходящего из этих областей, но, возможно, и в анизотропии поляризации[7].

Неоднородности космической среды являются для проходящего через них реликтового излучения, гравитационными линзами. В наблюдаемом нами Мире они состоят из вещества [9; 10]. Согласно двузнаковой гравитации, наблюдаемые гравитационные линзы для фотонов являются собирающими, а для антифотонов — рассеивающими. При этом если линза сферически симметрична и находится не слишком далеко, то в реликтовом излучении она будет наблюдаться как имеющая более яркую центральную часть (сфокусированные фотоны) и более слабое широкое кольцо, охватывающее её (рассеянные антифотоны). Если фотоны и антифотоны различаются спиральностью, то это должно проявиться в наблюдениях. У излучения в центральной части и в кольце направления поляризаций должны быть противоположными. В случае линз более сложной геометрической конфигурации отмеченные особенности должны проявиться в изображениях отдельных её элементов.

При изучении распространения электромагнитных волн через гравитационные линзы следует учитывать следующее. Гравитационные поля объектов, имеющих галактические и большие размеры, кардинально отличаются от рассчитываемых в рамках ньютоновской теории гравитации. Согласно двузнаковой гравитации, при расчёте гравитационных полей на таких масштабах, необходимо учитывать влияние на них гравитационной поляризации вакуума. Это должно проявляться в наблюдениях и подтвердить гипотезу о природе тёмной материи, как эффекте связанном с влиянием поляризации вакуума на гравитацию [14].

7 Анизотропия поляризации реликтового излучения

Чем могут фотоны и антифотоны отличаться друг от друга? Предполагаем, что они отличаются спиральностью. У одних из них проекция спина на направление движения $+\hbar$, у других $-\hbar$. Это различие, возможно, и должно лежать в основе экспериментального метода, позволяющего отличать фотоны и антифотоны.

Если поток излучения содержит равное количество фотонов и антифотонов, то поляризация в нём будет отсутствовать. Но если в нём больше фотонов, чем антифотонов, или наоборот, то это должно приводить к круговой поляризации потока, либо положительной, либо отрицательной.

Наличие на равномерном фоне реликтового излучения пятен указывает на существование неоднородностей материи в эпоху рекомбинации. В рамках двузнаковой гравитации они могут быть интерпретированы как миры и антимирры [13]. Связанные с ними гравитационные поля по разному действовали на фотоны и антифотоны в эпохи до рекомбинации. Это могло являться причиной различия потоков фотонов и антифотонов из миров и антимиров в эпоху рекомбинации. Так, в двузнаковой гравитации можно объяснить наблюдаемую анизотропию круговой поляризации в реликтовом излучении. Согласно этой теории, в реликтовом излучении должна на-

блюдаются не только анизотропия в распределении температуры, но, если фотоны и антифотоны отличаются спиральностью, ещё и анизотропия круговой поляризации. Возможно, что именно это и проявлялось в наблюдениях коллаборации ВИСЕР2, см. [15]. На реликтовом фоне обнаружены поляризационные узоры особой формы, имеющие угловые размеры приблизительно равные одному градусу. Эти закрученные в реликтовом излучении структуры называют поляризацией B -моды.

8 Гамма-всплески. Антитяготение

В рамках двузнаковой гравитации может быть дано простое объяснение природы гамма-всплесков. Считается, что они связаны с излучением антифотонов, образующихся при падении на массивные релятивистские объекты (чёрные дыры в ядрах галактик), компактных звёзд (белых карликов и нейтронных звёзд). Одновременно с любым γ -всплеском имеет место соизмеримый с ним по мощности всплеск антинейтринного излучения.

Анализ наблюдательных данных о гамма-всплесках выявил следующее.

- Гамма-всплески рождаются на космологических расстояниях. Многие из них имеют значительные красные смещения $z \geq 2$.
- Распределение гамма-всплесков на небесной сфере является изотропным.
- Показано, что значительная часть энергии, выделяющаяся при гамма-всплесках, содержится в γ -квантах, имеющих энергии десятки и сотни Кэв, но иногда и значительно больше. Длительность гамма-всплесков составляет секунды и доли секунды. Существует огромное разнообразие кривых яркости гамма-всплесков. Их спектр не является тепловым.

Из наблюдений следует, что значения полной энергии отдельных всплесков, если считать, что она излучается примерно равномерно во все стороны, лежат в интервале $10^{51} \div 10^{54}$ эрг [17–20]. Им соответствуют массы $10^{30} \div 10^{33}$ грамм. Верхняя граница интервала этих масс соизмерима с массой Солнца ($m_{\odot} \simeq 2 \cdot 10^{33}$ г). Для сравнения отметим: энергии ($10^{51} \div 10^{54}$ эрг) выделяются при взрывах сверхновых за времена порядка месяца и значительная их часть уносится нейтрино. В гамма-всплесках такие энергии выделяются в виде энергичных γ -квантов, имеющих энергии сотни и более Кэв, за секунды и доли секунд. Максимальная светимость мощного гамма-всплеска бывает сопоставима с суммарной электромагнитной светимостью всех звёзд видимой Вселенной и составляет $\sim 10^{54}$ эрг/с. Возникает вопрос о причинах и механизмах выделения такой большой энергии за короткое время гамма-всплеска.

Существующее объяснение гамма-всплесков

Широко распространена идея о том, что гамма-всплески являются следствием слияния двух нейтронных звёзд в чёрную дыру или коллапса гигантской звезды [21; 22]. Согласно этой идее гамма-всплески похожи на взрывы сверхновых, но имеют значительно меньшую длительность. В этом объяснении имеется масса неясных мест. Главные из них следующие. Каков механизм процесса перекачки тепловой энергии, выделяющейся при гравитационном коллапсе, в энергию гамма-квантов? Что определяет огромное разнообразие кривых яркости гамма-всплесков и их нетепловой спектр?

Кроме отмеченной выше идеи объяснения природы гамма-всплесков существуют и другие, например, см. [23–25]. Многочисленные предлагаемые объяснения природы гамма-всплесков ещё никогда не были убедительными. Они скорее показывают лишь одно: существующие теории для объяснения этого явления не годятся, если не делать различного рода предположения, приводящие к значительному (на три – четыре порядка) уменьшению суммарной энергии гамма-всплесков). В рамках этих теорий не удаётся убедительно показать, как можно за доли секунды превратить массу порядка солнечной в гамма-кванты высоких энергий и изотропно излучить их в окружающее пространство. Возможно, в гамма-всплесках работает другой более простой и естественный процесс, который не описывается в рамках существующих теорий.

В настоящей работе придерживаемся этой точки зрения. Полагаем, что существующие трудности объяснения природы гамма-всплесков, как и многих других физических явлений, связаны с ограниченностью общей теории относительности (ОТО). На качественном уровне покажем, что простое и естественное объяснение природы гамма-всплесков может быть дано в рамках двузнаковой гравитации.

Антигамма- и антинейтринные всплески

Предполагаем, что гамма-всплески связаны с падением на объекты, определяемые в настоящее время как сверхмассивные чёрные дыры, компактных космических тел, имеющих массы соизмеримые с массой солнца. Этими телами, например, могут быть белые карлики и нейтронные звезды. При падении на чёрные дыры, масса которых значительно больше солнечной, эти тела разгоняются до энергий соизмеримых с энергией их покоя. В сверхмассивной чёрной дыре кинетическая энергия падающих тел идёт на рождение частиц и античастиц, которые в экстремальных условиях этого релятивистского объекта достаточно быстро превращаются в излучение (фотоны, антифотоны, нейтрино и антинейтрино). Согласно ОТО нет способа быстро вывести их из чёрной дыры в окружающее пространство [8; 9]. Принципиально по-другому видится поведение античастиц, рождающихся в чёрной дыре, в рамках двузнаковой гравитации. Согласно этой теории для античастиц чёрная дыра, имеющая положительную тяжелую массу является мощнейшим центром антитяготения. За счёт антитяготения из такой чёрной дыры вылетают все образующиеся в ней античастицы (в основном, антифотоны и антинейтрино).

Замечание При построении количественной теории гамма-всплесков следует иметь в виду, что для античастиц центрально-симметричное поле массы M , состоящей из вещества, является не шварцшильдовским, а описывается метрикой $K2$ [3]. Метрика $K2$ отличается от метрики Шварцшильда заменой гравитационного радиуса r_g на $-r_g$ ($r_g = 2GM/c^2$, где M — масса черной дыры, G — гравитационная постоянная, c — скорость света).

Чёрная дыра, в предлагаемом нами объяснении природы гамма-всплесков, выполняет роль мощного ускорителя не только для падающей на нее компактной звезды, но так же и для вылетающих из неё античастиц (антифотонов и антинейтрино). Одновременно чёрная дыра выполняет ещё и роль мишени, которая своим гравитационным полем фокусирует падающие на неё частицы в её центральную часть, что создаёт благоприятные условия для преобразования их кинетической энергии в частицы и античастицы.

Предполагаем, что масса чёрной дыры M значительно больше массы падающего на неё тела (белого карлика, нейтронной звезды). В этом случае размер области интенсивного взаимодействия падающей звезды и массивной «чёрной дыры» опре-

деляется гравитационным радиусом r_g последней. Длительность времени этого взаимодействия $\tau \sim r_g/c$.

Если в солнечных массах $M = 10^4$, то $\tau \sim 0,1$ с, если $M = 10^6$, то $\tau \sim 10$ с.

Величина τ определяет так же и характерное время выброса из чёрной дыры, образовавшихся в ней антифотонов и антинейтрино, а следовательно и длительность антигамма-всплеска и, как предсказывает теория, сопутствующего ему антинейтринного всплеска.

Предлагаемое нами объяснение природы этих всплесков позволяет на качественном уровне пояснить, как можно за время порядка секунды и меньше, превратить массу порядка солнечной в фотоны и антифотоны, нейтрино и антинейтрино, а затем антифотоны и антинейтрино излучить в окружающее пространство.

Наличие во многих гамма-всплесках последовательности следующих друг за другом вспышек яркости можно трактовать, как связанное с разрывом падающего тела в окрестности чёрной дыры, вследствие действия приливных сил, на много частей. Образующиеся осколки отличаются друг от друга массой, различием траекторий движения, а как следствие этого и моментами начала преобразования их кинетической энергии в частицы и античастицы. В фазе излучения высокоэнергичных античастиц чёрная дыра находится в сильно неравновесном состоянии. Следствием этого является нетепловой спектр всплесков. Наблюдаемый всплеск является в реальности наложением множества более мелких всплесков различной интенсивности, обусловленных падением в черную дыру отдельных фрагментов первоначального тела.

Приведённые выше соображения позволяют, по крайней мере на качественном уровне, пояснить в чем состоит причина большого разнообразия кривых яркости гамма-всплесков, а так же и их нетеплового спектра.

В предлагаемом объяснении природы гамма-всплесков содержится важное предсказание: в нашем мире имеют место не гамма-, а антигамма-всплески и одновременно с ними всплески антинейтринного излучения. Эти всплески имеют подобные параметры по энергетике и по длительности.

Учитывая огромную мощность предсказываемых всплесков антинейтринного излучения можно пытаться их регистрировать, считая, что они неразрывно связаны с хорошо регистрируемыми гамма-всплесками. Если между моментами регистрации антигамма- и соответствующих им антинейтринных всплесков будет обнаружен временной сдвиг, то это может быть использовано для очень точного определения параметров нейтрино, скорости их движения и периодов осцилляций.

Отметим также, что можно гипотетически предполагать, что все электромагнитные кванты в гамма-всплесках имеют одинаковый знак спиральности. Если это подтвердится в наблюдениях, то будет свидетельством правильности гипотезы о том, что антифотоны отличаются от фотонов, как антинейтрино от нейтрино, знаком спиральности.

Центральным элементом в предлагаемом объяснении природы гамма-всплесков, а так же и в предсказании в рамках этого объяснения существования антинейтринных всплесков, является идея о различии влияния гравитации на частицы и античастицы.

Если будет доказано, что наблюдаемые гамма-всплески в реальности являются антигамма- и антинейтринными всплесками, то это будет важным аргументом в пользу идеи о том, что гравитация различает частицы и античастицы и является двузначной.

9 Заключение

Гипотеза о существовании антифотонов в двузнаковой гравитации, возможно, не является обязательной. В тоже время, с учётом этой гипотезы теория гравитации оказывается более симметричной и красивой. Правильность или ложность этой гипотезы может быть доказана в экспериментах и наблюдениях.

В статье описаны наблюдательные данные (расщепление эмиссионных линий источника SS 433, а также гамма-всплески), которые в предположении существования антифотонов и правильности основополагающей идеи двузнаковой гравитации о различии в гравитации частиц и античастиц, находят простое и ясное объяснение. Обращается внимание и на другие наблюдения в которых различие фотонов и антифотонов в гравитации, если оно в реальности существует, должно проявиться.

Если окажется, что фотоны и антифотоны отличаются знаком спиральности, то они могут быть легко разделены. Для этого следует воспользоваться отличием законов распространения фотонов с разной спиральностью в анизотропных средах.

Если гравитация различает фотоны и антифотоны, то это может стать эффективным инструментом для изучения её свойств. Фотоны и антифотоны, прошедшие через гравитационные поля, можно будет принимать с огромных расстояний, сепарировать и с высочайшей степенью точности изучать результат их взаимодействия с этими полями.

Различие в поведении фотонов и антифотонов в гравитационном поле может найти широкое применение на практике. Приведём лишь некоторые возможные варианты такого применения. Различие влияния гравитации на фотоны и антифотоны может быть использовано для изучения процессов, протекающих в окрестности релятивистских астрономических объектов. Оно может лежать в основе методов регистрации возмущений пространства-времени во Вселенной (гравитационных волн), а также одним из эффективных способов изучения структуры гравитационных полей на галактических и больших масштабах.

Список литературы

1. Клименко, А.В. I. Двухзнаковая гравитация. Частицы и античастицы в гравитационном поле / А.В. Клименко, В.А. Клименко. Статья размещена на сайте: Cosmoway.ru
2. Клименко, А.В. II. Двухзнаковая гравитация. Вакуум пространство-время / А.В. Клименко, В.А. Клименко. Статья размещена на сайте: Cosmoway.ru
3. Клименко, А.В. III. Двухзнаковая гравитация. Основопологающие принципы / А.В. Клименко, В.А. Клименко. Статья размещена на сайте: Cosmoway.ru
4. Широков Ю. М., Юдин Н. П. Ядерная физика. — М. : Наука, 1980.
5. Pound, R.V. Gravitational Red-Shift in Nuclear Resonance / R, V. Pound, Jr. G. Rebka // Phys. Rev. Lett. 1959. Vol.3. P.439–441
6. Черепащук, А.М. Уникальный астрофизический объект SS 433 / А, М. Черепащук // Физика № 7. 2000. С. 267–300.
7. Клименко, А.В. Различает ли гравитация фотоны различных спиральностей? / А.В. Клименко, В.А. Клименко. // Вестн. Челяб. гос. ун-та. 2015. Физика. Вып.21. С.148–154.
8. Новиков И. Д., Физика черных дыр / И. Д. Новиков, В. П. Фролов М. : Наука, 1986.
9. Зельдович, Я.Б. Строение и эволюция Вселенной / Я.Б. Зельдович, И. Д. Новиков. М. : Наука, 1975. 736 с.
10. Смут Дж. Анизотропия реликтового излучения. Открытие и научное знание УФН 177. № 12, 2007.
11. Горбунов, Д. С. Введение в теорию ранней Вселенной. Теория горячего большого взрыва / Д. С. Горбунов, В. А. Рубаков. М. : ЛКИ, 2008.
12. Клименко А.В. Двухзнаковая гравитация / А.В. Клименко, В.А. Клименко. Челябинск : изд-во Челябинского гос. университета, 2017. С. 289.
13. Клименко, А.В. V. Двухзнаковая гравитация. Миры и антимирры / А.В. Клименко, В.А. Клименко. Статья размещена на сайте: Cosmoway.ru
14. Клименко, А.В. VI. Двухзнаковая гравитация. Вакуум и гравитация / А.В. Клименко, В.А. Клименко. Статья размещена на сайте: Cosmoway.ru
15. The VICEP2 Collaboration Experiment and Three-year Data Set / VICEP2 Collaboration //Astrophys. J. 2014.
16. Meegan, C.A. Spatual Distribution of Gamma-ray Bursts Observed by BATS E / С, А. Meegan // Nature 1992. Vol.355. P.143–145.
17. Аптекарь, Р.Л. Исследования космических гамма-всплесков и мягких гамма-репитеров в экспериментах ФТИ «Конус» // УФН. 2010. Т. 180, вып. 4. С.420–424.

18. Постнов, К. А. Космические гамма-всплески. // УФН. 1999. Т. 169, вып. 5. С.545–548.
19. Costa, E. Discovery of an X-ray Afterglow Associated with the γ -ray Burst of 28 February 1997 / E. Costa, F. Frontera, J. Heise et al. // Nature 1997. Vol.387. P.783–785.
20. Постнов, К. А. Гиперновые и гамма-всплески. // Физика Т. 8, №2, 2004.
21. Blinnikov, S. Exploding Neutron Stars in Close Binaries / S. Blinnikov, I.D. Novikov et al. // Soviet Astron. Lett. 1984. Vol.10. P.177–179.
22. Paczynski, B. Gamma-ray Bursters at Cosmological Distances / B. Paczynski // Astrophys. J. 1986. Vol.308. P.43–46.
23. Богомазов, А. И. Эволюция тесных двойных систем и гамма-всплески / А.И. Богомазов, В.М. Липунов, А.В. Тутуков // Астроном. журн. 2007. Т. 84. №4. С. 345–356.
24. Герштейн, С. С. Осцилляционная структура гамма-всплесков и их возможное происхождение / С.С. Герштейн // Письма в Астроном. журн. 2000. Т. 26. № 11. С. 848–854.
25. Докучаев, В. И. Сверхновые — оптические предшественники коротких гамма-всплесков / В.И. Докучаев // Письма в Астроном. журн. 2011. Т. 37. № 2. С. 102–109.
26. The ALPHA Collaboration, Charman A.E. Description and first application of a new technique to measure the gravitational mass of antihydrogen. //Nature communications. — 2013. — URL: <http://www.nature.com/ncomms/journal/v4/n4/full/ncomms2787.html>.