

## ОБ ИСТОЧНИКАХ АНТИГРАВИТАЦИИ

А.К. Гуц

профессор, д.ф.-м.н., e-mail: guts@omsu.ru

Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского

**Аннотация.** Приводится формула для «гравитационной» силы в постоянном статичном сферически-симметричном пространстве-времени, позволяющая описывать смену гравитации на антигравитацию. Анализируются возможные источники антигравитации.

**Ключевые слова:** антигравитация, источник антигравитации.

Традиционно в общей теории относительности (ОТО) считается, что гравитация, т. е. притяжение материальных тел, определяется кривизной пространства-времени  $R_{ijkl} \neq 0$ . В силу этого компоненты метрического тензора  $g_{ik}$  рассматриваются как потенциалы гравитационного поля. Однако, как учит диалектика, притяжения не бывает без отталкивания. Следовательно, кривизна пространства-времени должна, в зависимости от ситуации, проявляться то как гравитация, то как антигравитация.

Следует иметь в виду, что поскольку исторически ОТО создавалась как теория релятивистской гравитации, т. е. как теория притяжения, то отталкивание, т. е. антигравитацию в ОТО часто называют гравитационным отталкиванием, а собственно гравитацию — гравитационным притяжением. Автору кажется уместным использовать термины гравитация и антигравитация.

В статье мы выводим формулу, показывающую, каким образом кривизна сказывается либо как притяжение, либо как отталкивание.

### 1. Антигравитация определяется знаком кривизны Риччи

#### 1.1. Две формулы для постоянного метрического поля

Для постоянного метрического, или «гравитационного», поля  $g_{ik}$  ( $g_{00} > 0$ ) справедливы следующие две формулы:

$$f_{\alpha} = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \left\{ -\frac{\partial}{\partial x^{\alpha}} \ln \sqrt{g_{00}} + \sqrt{g_{00}} \left[ \frac{\partial}{\partial x^{\beta}} \left( \frac{g_{0\alpha}}{g_{00}} \right) - \frac{\partial}{\partial x^{\alpha}} \left( \frac{g_{0\beta}}{g_{00}} \right) \right] \frac{V^{\beta}}{c} \right\} \quad (1)$$

— для силы поля  $g_{ik}$ , действующей на пробную частицу [1, р. 327], где  $V^{\alpha}$  — скорость частицы, и

$$\frac{1}{g_{00}} R_{00} = \frac{1}{\sqrt{g_{00}}} (\sqrt{g_{00}})_{;\alpha}^{\alpha} + \frac{\sqrt{g_{00}}}{4} f_{\alpha\beta} f^{\alpha\beta} \quad (2)$$

— для 00-компоненты уравнений Эйнштейна [1, с. 361], где

$$f_{\alpha\beta} = \frac{\partial}{\partial x^\alpha} \left( \frac{g_{0\beta}}{g_{00}} \right) - \frac{\partial}{\partial x^\beta} \left( \frac{g_{0\alpha}}{g_{00}} \right)$$

и «;» обозначает ковариантную или контрвариантную производную относительно 3-метрики [1]

$$\gamma_{\alpha\beta} = -g_{\alpha\beta} + \frac{g_{0\alpha}g_{0\beta}}{g_{00}}$$

и соответствующей римановой связности

$$\lambda_{\beta\nu}^\alpha = \frac{1}{2} \gamma^{\alpha\mu} \left( \frac{\partial \gamma_{\beta\mu}}{\partial x^\nu} + \frac{\partial \gamma_{\nu\mu}}{\partial x^\beta} - \frac{\partial \gamma_{\beta\nu}}{\partial x^\mu} \right).$$

## 1.2. Статичное метрическое поле

Рассмотрим статичное метрическое поле  $g_{ik}$ , т. е. компоненты  $g_{ik}$  независимы от времени  $x^0$  и  $g_{0\alpha} = 0$  ( $\alpha = 1, 2, 3$ ).

Полагаем также, что поле  $g_{ik}$  описывается уравнениями Эйнштейна вида

$$R_{ik} - \frac{1}{2} g_{ik} R = \frac{8\pi G}{c^4} [(\varepsilon + p)u_i u_k - p g_{ik}],$$

$$u^0 = \frac{1}{\sqrt{g_{00}} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - \frac{g_{0\alpha} v^\alpha}{c \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad u^\alpha = \frac{v^\alpha}{c \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (3)$$

а материя его создающая покоится в нашей системе отсчёта, т. е.  $v^\alpha = 0$  ( $\alpha = 1, 2, 3$ ).

Тогда формулы (1), (2) принимают вид:

$$f_\alpha = -\frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \frac{\partial}{\partial x^\alpha} \ln \sqrt{g_{00}} = -\frac{mc^2}{\sqrt{g_{00}} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \frac{\partial \sqrt{g_{00}}}{\partial x^\alpha}, \quad (4)$$

$$\frac{1}{g_{00}} R_{00} = \frac{1}{\sqrt{g_{00}}} (\sqrt{g_{00}})_{;\alpha}^{\alpha}. \quad (5)$$

Из (4) и (5) выводим:

$$\begin{aligned} \frac{1}{g_{00}} R_{00} &= \frac{1}{\sqrt{g_{00}}} (\sqrt{g_{00}})_{;\alpha}^{\alpha} = \frac{1}{\sqrt{g_{00}}} \left( \frac{\partial \sqrt{g_{00}}}{\partial x^\alpha} \right)^{;\alpha} = -\frac{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{mc^2 \sqrt{g_{00}}} (\sqrt{g_{00}} f_\alpha)^{;\alpha} = \\ &= -\frac{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{mc^2 \sqrt{g_{00}}} \gamma^{\alpha\beta} (\sqrt{g_{00}} f_\alpha)_{;\beta} = -\frac{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{mc^2 \sqrt{g_{00}}} (\sqrt{g_{00}} \gamma^{\alpha\beta} f_\alpha)_{;\beta} = -\frac{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{mc^2 \sqrt{g_{00}}} (\sqrt{g_{00}} f^\beta)_{;\beta}. \end{aligned}$$

Используем формулу римановой геометрии

$$A_{;\beta}^\beta = \frac{1}{\sqrt{\gamma}} \frac{\partial (\sqrt{\gamma} A^\beta)}{\partial x^\beta}, \quad \gamma = \det ||\gamma_{\alpha\beta}||.$$

Значит,

$$\frac{1}{g_{00}} R_{00} = -\frac{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{mc^2 \sqrt{g_{00}} \sqrt{\gamma}} \frac{\partial(\sqrt{g_{00}} \sqrt{\gamma} f^\beta)}{\partial x^\beta}.$$

Кривизна Риччи в направлении  $u^i$  определяется как  $Ric(u) = R_{ik} u^i u^k$ .

В нашем случае  $u^i = (u^0, 0, 0, 0)$ ,  $u^0 = 1/\sqrt{g_{00}}$  (см. (3)) и

$$Ric(u) = R_{00} u^0 u^0 = -\frac{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{mc^2 \sqrt{g_{00}} \sqrt{\gamma}} \frac{\partial(\sqrt{g_{00}} \sqrt{\gamma} f^\beta)}{\partial x^\beta}, \quad (6)$$

или

$$\frac{\partial(\sqrt{-g} f^\beta)}{\partial x^\beta} = -\frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \sqrt{-g} Ric(u), \quad (7)$$

поскольку  $g_{00}\gamma = -g$ .

### 1.3. Статичное сферически симметричное метрическое поле

Для этого метрического поля  $f^\alpha = (f^r, f^\theta, f^\varphi)$ ,  $f^\theta = f^\varphi = 0$ . Тогда из (7) имеем

$$\frac{d}{dr} \sqrt{-g} f^r = -\frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \sqrt{-g} Ric(u),$$

или

$$f^r = -\frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \int_0^r \sqrt{-g} Ric(u) dr. \quad (8)$$

с учётом того, что  $f^\alpha(0) = 0$ .

Формула (8) — это искомая нами формула. Она показывает, каким образом кривизна пространства-времени сказывается как сила, действующая на пробное тело.

Мы видим, что изменение знака кривизны Риччи в определённой области пространства-времени превращает гравитационное притяжение в гравитационное отталкивание, и наоборот.

О том, что знак кривизны Риччи определяет свойство метрики (гравитации)  $g_{ik}$ , проявляется как притяжение или отталкивание в смысле, что соседние геодезические вблизи любой точки приближаются в среднем друг к другу или отдаляются друг от друга, известно давно [2, р. 531], и в случае констатации притяжения условие положительности кривизны Риччи называется энергетическим условием. В нашей работе речь идёт о притяжении или отталкивании пробного тела от самого источника гравитационного поля, скажем Земли.

#### 1.4. Формула Грёна

Если принять во внимание формулу [1, р. 361] в форме

$$\frac{1}{g_{00}} R_{00} = \frac{8\pi G}{c^4} \left( \frac{\varepsilon + p}{1 - \frac{v^2}{c^2}} - \frac{\varepsilon - p}{2} \right), \quad (9)$$

то для покоящейся материи

$$Ric(u) = \frac{4\pi G}{c^4} \cdot (\varepsilon + 3p),$$

и формула (8), может быть записана как

$$f^r = - \frac{4\pi m G}{c^2 \sqrt{-g} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \int_0^r \sqrt{-g} (\varepsilon + 3p) dr, \quad (10)$$

Эта формула обобщает формулу Грёна [3, формула (9)], а интеграл в правой части, описывающий «активную гравитационную массу», часто именуется формулой Толмена-Уиттекера [3, 4].

Формула (10) говорит, что при изменении знака величины  $(\varepsilon + 3p)$  в определённой области  $V$  пространства притяжение (гравитацию) меняется на отталкивание (антигравитация), и обратно. Об этом писал Грэн в 1985 году. Он не называл источник отталкивания, хотя указал на интересную статью Коэнов [5], где гравитационное отталкивание возникает в электрически заряженных оболочках.

Из формулы (10) видно, что источником отталкивания является либо появление в области  $V$  экзотической материи ( $\varepsilon < 0, \varepsilon + 3p < 0$ ), либо большого отрицательного давления ( $\varepsilon > 0, p < 0, \varepsilon + 3p < 0$ ).

Заметим, что формула (10) отражает физическую сторону описания движения пробных тел, а формула (8) — геометрическую. Связь же геометрии и физики осуществляется посредством уравнений Эйнштейна.

## 2. Материя, обеспечивающая смену знака кривизны Риччи

Формула (8) позволяет утверждать, что универсальная сила гравитации (притяжения) наблюдается в пространственно-временных областях, иначе говоря (с точки зрения формулы (10)), в материальных средах, для которых кривизна Риччи положительна. В средах, где кривизна Риччи отрицательна, на пробные тела действует сила антигравитации (отталкивания). Мы живём в материальной среде, где властвует гравитация. Естественно поискать среды, где универсальной силой воздействия на тела будет антигравитация.

## 2.1. Экзотическая материя

Об экзотической материи, т. е. о материи с отрицательной плотностью писал ещё Эйнштейн [6, с. 89]. Отрицательная масса — это гипотетическая материя, масса которой имеет противоположное значение массе нормального вещества. Такое вещество, если бы оно существовало, нарушало бы одно или несколько энергетических условий, в частности, меняя знак кривизны Риччи и, следовательно, проявляя эффект антигравитации и некоторые другие странные свойства. Считается, что вещество с отрицательной массой можно использовать для создания 3-мерных кротовых нор в пространстве.

Недавно было объявлено от создании жидкости (конденсата Бозе-Эйнштейна в объёме менее  $0,001 \text{ мм}^3$ ), частицы которой приобретали отрицательную массу [7].

## 2.2. Эффект Казимира

Наиболее известным представителем экзотической материи является вакуум в области с отрицательным давлением, производимыми эффектом Казимира [8, с. 393-394],

$$\varepsilon = -\frac{\pi}{24a^2}, \quad \varepsilon = p.$$

Эффект Казимира, проявляющийся в притягивании двух параллельных пластин в вакууме, можно описать как наличие «отрицательного давления» между пластинами, когда вакуум лишён не только обычных, но и части виртуальных частиц (их рождение подавляется), т. е. «откачали всё и ещё чуть-чуть»<sup>1</sup>. На расстояниях порядка 10 нм — сотни размеров типичного атома — давление, создаваемое эффектом Казимира, оказывается сравнимым с атмосферным. Сила Казимира растёт как  $a^{-4}$  при уменьшении расстояния  $a$  между пластинами. Соответственно растёт сила антигравитации (как  $a^{-2}$ ).

Возможно, из пластин можно сконструировать нечто похожее на полостную структуру, описанную В.С. Гребенниковым, которая обладала антигравитационными свойствами, если верить автору [9].

Силу Казимира без традиционного квантового её описания изучил Е.М. Лифшиц. Он рассмотрел заполненное ван-дер-ваальсовой жидкостью пространство между пластинами и показал, что при определённых  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  диэлектрических проницаемостях пластин и жидкости  $\varepsilon_3$  возникает не притяжение пластин, а отталкивание. Эту силу называют силой Казимира-Лифшица. Она была измерена (жидкость — бромбензол) в 2008 и в 2012 годах [10, 11]. Авторы эксперимента писали о том, что отталкивающая сила Казимира-Лифшица позволяет осуществлять квантовую левитацию объектов в жидкости.

Обратим внимание на то, что эффект Казимира даёт в наше распоряжение среду не только с экзотической материей, но и с отрицательным давлением. Часто говорят о том, что эта среда есть среда с тёмной энергией, которой

<sup>1</sup>Эффект Казимира. — Викиверситет.

свойственно гравитационное отталкивание, т. е. это среда, где тела не притягиваются, а отталкиваются.

### 2.3. Отрицательное давление и гравитационное отталкивание

Э.Б. Глинер [12] в 1965 году ввёл понятие вакуумоподобного состояния вещества с отрицательным давлением  $p$ , положительной плотностью энергии  $\varepsilon$  с уравнением состояния  $\varepsilon = -p$ . Под отрицательным давлением он понимал внутренние объёмные силы в материи, определяющие не силы отталкивания (как и для среды, доступной для наблюдения, состоящей из частиц), а силы притяжения.

Отрицательное давление считается атрибутом тёмной энергии, понятие о которой появилось в космологии в конце XX века. Оно приводит к появлению отталкивающих гравитационных сил, о которых «неспециалисты иногда говорят как об антигравитации» [13]. Лучше говорить о космологической антигравитации, обеспечивающей инфляцию Вселенной, т. е. её ускоренное расширение вопреки (притягивающим) силам гравитации.

Как давление может быть отрицательным?

Давление обычного вещества, как известно, связано с движением молекул. Ударяясь о стенку сосуда, молекулы газа передают ей свой импульс, отталкивают её, давят на неё. Газ стремится расширить объём своего пребывания.

В среде с отрицательным давлением всё происходит иначе. Аналогией отрицательного давления и порождаемой им антигравитации служит вертикально натянутая резиновая плёнка, зажата снизу в тиски. Каждый её квадратный сантиметр растянут и стремится сжаться. Плёнка имеет натяжение  $p_1 < 0$ . Пометим на ней точку  $A$ , находящуюся на расстоянии  $l$  от тисков. Потянем плёнку сильнее вверх. Натяжение, т. е. отрицательное давление  $p_2$ , по модулю усилится до  $|p_2| > |p_1|$ . Точка  $A$  удалится от тисков ещё дальше вверх, как будто под воздействием силы  $f$ , поднявшей точку выше над тисками. Это и есть иллюстрация действия силы антигравитации, поднимающей материальные точки все выше вверх и являющейся **естественной силовой характеристикой воздействия среды с отрицательным давлением на материальные точки**.

Сходным образом ведут себя галактики во Вселенной под действием отрицательного давления тёмной энергии. Вселенная не сжимается, а ускоренно расширяется. Получается, что материя, среда с очень сильным отрицательным давлением, парадоксальным образом не сжимается, а наоборот, распухает под действием, и это следствие влияния отрицательности кривизны Риччи.

Таким образом, можно ответить на вопрос: почему сильнейшее отрицательное давление вместо сжатия приводит к расширению, или почему вместо падения вниз наблюдается падение вверх? Таковы свойства кривизны пространства-времени, выраженные уравнением Эйнштейна.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. М., 1967.
2. Hawking S.W., Penrose R. The Singularities of Gravitational Collapse // Proc. Royal Soc. Lond. A. 1970. Vol. 314. P. 529–548.
3. Grøn Ø. Repulsive gravitation and electron models // Phys. Rev. D. 1985. V. 31, No. 8. P. 2129–2131.
4. Tolman R.C. On the Use of the Energy-Momentum Principle in General Relativity // Phys. Rev. 1930. V. 35, Iss. 8. P. 875–895.
5. Cohen J.M., Cohen M.D. Exact Fields of Charge and Mass Distributions in General Relativity // Nuovo Cimento. 1969. V. 60. P. 241–248.
6. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Т. 2. М. : Наука, 1966.
7. Khamehchi M.A., Hossain Kh., Mossman M.E., Zhang Y., Busch Th., McNeil Forbes M., Engels P. Negative-Mass Hydrodynamics in a Spin-Orbit-Coupled Bose-Einstein Condensate // Phys. Rev. Lett. 2017. V. 118. P. 155301; arXiv:1612.04055.
8. Мостепаненко В.М., Трунов Н.Я. Эффект Казимира и его приложения // УФН. 1988. Т. 156, вып. 3. С. 385–426.
9. Гребенников В.С. Мой мир. Новосибирск : Советская Сибирь, 1997.
10. Munday J.N., Capasso F., Parsegian V.A. Measured long-range repulsive Casimir-Lifshitz forces // Nature. 2009. No. 457. P. 170–173.
11. Bostrom M., Sernelius Bo E., Baldissera G., Persson C., Ninham B.W. Casimir-Lifshitz interaction between  $ZnO$  and  $SiO_2$  nanorods in bromobenzene turns repulsive at intermediate separations due to retardation effects // Phys. Rev. 2012. A85. P. 044702. arXiv.org (arXiv:1612.04055).
12. Глинер Э.Б. Алгебраические свойства тензора энергии-импульса и вакуумоподобные состояния вещества // ЖЭТФ. 1965. Т. 49(8). С. 542–548.
13. Лукаш В., Михеева Е. Тёмная энергия Вселенной // Вокруг света. 2008. № 9.

## ON SOURCES OF ANTIGRAVITATION

A.K. Guts

Dr.Sc. (Phys.-Math.), Professor, e-mail: guts@omsu.ru

Dostoevsky Omsk State University

**Abstract.** The formula for the “gravitational” force in a constant static spherical-symmetric space-time, allowing to describe the change of gravity to antigravity, is given. Possible sources of antigravitation are analyzed.

**Keywords:** antigravitation, source of antigravitation.

*Дата поступления в редакцию: 23.08.2017*