



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 2004–50
ОТФ

С.С. Герштейн, А.А. Логунов, М.А. Мествиришвили

**ОБ ОДНОМ ФУНДАМЕНТАЛЬНОМ СВОЙСТВЕ
ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ В ПОЛЕВОЙ ТЕОРИИ**

Направлено в *ДАН*

Протвино 2004

Аннотация

Герштейн С.С., Логунов А.А., Мествиришвили М.А. Об одном фундаментальном свойстве гравитационного поля в полевой теории: Препринт ИФВЭ 2004–50. – Протвино, 2004. – 5 с., библиогр.: 4.

В статье показано, как универсальное свойство гравитационного поля замедлять ход времени приводит в полевой теории к фундаментальному свойству: создавать эффективные силы отталкивания.

Abstract

Gershtein S.S., Logunov A.A., Mestvirishvili M.A. On One Fundamental Property of Gravitational Field in the Field Theory: IHEP Preprint 2004–50. – Protvino, 2004. – p. 5, refs.: 4.

It is shown that the universal property of gravitational field to slow down the rate of time leads in the field theory to a fundamental property — generation of effective forces of repulsion.

Обычно считается, что гравитационное поле обеспечивает только силы притяжения. Это видно хотя бы из того, что физическая скорость пробного тела по мере его приближения к тяготеющему телу увеличивается. Однако в сильных полях это не совсем так. Но об этом ниже. Когда А. Эйнштейн в 1912 г. связал гравитационное поле с метрическим тензором риманова пространства, оказалось, что такое поле вызывает замедление времени физического процесса. Это замедление, в частности, можно проиллюстрировать на примере решения Шварцшильда, сравнивая ход времени в присутствии гравитационного поля с ходом времени для удаленного наблюдателя. Однако в общем случае в ОТО присутствует только метрический тензор риманова пространства, а поэтому отсутствуют в уравнениях Гильберта-Эйнштейна какие-либо признаки инерциального времени пространства Минковского. Именно по этой причине универсальное свойство гравитационного поля оказывать замедляющее действие на ход времени по сравнению с инерциальным не могло получить в ОТО дальнейшего развития. В релятивистской теории гравитации (РТГ) как полевой теории ситуация кардинально изменяется. В этом подходе гравитационное поле рассматривается как физическое поле типа Фарадея-Максвелла, развивающееся в пространстве Минковского, как и все другие физические поля.

Источником универсального гравитационного поля является полный сохраняющийся тензор энергии-импульса всей материи, в том числе и гравитационного поля. Поэтому гравитационное поле является тензорным полем со спинами 2 и 0. Именно это обстоятельство и приводит к **геометризации**: возникает эффективное риманово пространство, но с простой топологией. Это приводит к следующей картине: движение пробного тела в пространстве Минковского под действием гравитационного поля эквивалентно движению этого тела в эффективном римановом пространстве, созданном гравитационным полем. Возникновение эффективного риманова пространства в полевой теории при сохранении пространства Минковского как основного пространства придает свойству гравитационного поля замедлять ход времени особое значение. Именно только в этом случае и можно говорить в полной мере о замедлении хода времени, осуществляя сравнение хода времени в гравитационном поле с ходом времени в инерциальной системе пространства Минковского при отсутствии гравитации. Все это и реализуется в РТГ, поскольку в полную систему ее уравнений входит метрический тензор пространства Минковского. Но это общее свойство гравитационного поля — замедлять ход времени — приводит в полевой теории к важному выводу: **замедление хода времени физического процесса в сильном поле создает эффективные полевые силы гравитационной природы. Эти эффективные силы в гравитации оказываются силами отталкивания.**

Чтобы показать, что изменение хода времени ведет к появлению силы, обратимся к уравнению Ньютона

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = F.$$

Если в этом уравнении формально перейти от инерциального времени t ко времени τ по правилу

$$d\tau = U(t)dt,$$

то легко получить

$$\frac{d^2 x}{d\tau^2} = \frac{1}{U^2} \left\{ F - \frac{dx}{dt} \frac{d}{dt} \ln U \right\}.$$

Отсюда видно, что изменение хода времени, определяемое функцией U , ведет к появлению эффективной силы. Но все это здесь имеет чисто формальный характер, поскольку в данном случае нет физической причины, которая изменила бы ход времени. Но именно этот формальный пример показывает, что, если в природе идет процесс замедления хода времени, то он неминуемо создает эффективные полевые силы, а поэтому их необходимо обязательно учитывать в теории как нечто совершенно новое и удивительное.

Вот как раз здесь мы и должны обратиться к гравитации. Физическое гравитационное поле изменяет как ход времени, так и параметры пространственных величин, по сравнению с теми же величинами в инерциальной системе пространства Минковского при отсутствии гравитации. Именно поэтому все это необходимо учесть в уравнениях гравитационного поля. В РТГ благодаря введению массы гравитона в гравитационные уравнения в них однозначно возникает и метрический тензор пространства Минковского, который и дает возможность учесть эффективные полевые силы, созданные изменением хода времени под действием гравитационного поля. При этом масса гравитона осуществляет связь эффективного риманова пространства с базовым пространством Минковского. Хотя масса гравитона очень мала, тем не менее, из-за сильного замедления хода времени под действием гравитационного поля влияние массового члена становится решающим.

Полная система уравнений РТГ может быть записана в форме [1, 2]:

$$\left(R^{\mu\nu} - \frac{1}{2} g^{\mu\nu} R \right) + \frac{m_g^2}{2} \left[g^{\mu\nu} + \left(g^{\mu\alpha} g^{\nu\beta} - \frac{1}{2} g^{\mu\nu} g^{\alpha\beta} \right) \gamma_{\alpha\beta} \right] = 8\pi G T^{\mu\nu}, \quad (1)$$

$$D_\nu \tilde{g}^{\nu\mu} = 0. \quad (2)$$

Здесь D_ν — ковариантная производная в пространстве Минковского, $\gamma_{\alpha\beta}$ — метрический тензор пространства Минковского, $g_{\alpha\beta}$ — метрический тензор эффективного риманова пространства, m_g — масса гравитона. Эта система уравнений общековариантна относительно произвольных преобразований координат и форминвариантна относительно преобразований Лоренца.

Покажем теперь на примерах коллапса и эволюции однородной и изотропной Вселенной, как проявляются эффективные полевые силы отталкивания, возникающие из-за замедления хода времени под действием гравитационного поля. Рассмотрим статическое сферически-симметричное поле

$$ds^2 = U(r)dt^2 - V(r)dr^2 - W^2(r)(d\Theta^2 + \sin^2 \Theta d\phi^2), \quad (3)$$

$$d\sigma^2 = dt^2 - dr^2 - r^2(d\Theta^2 + \sin^2 \Theta d\phi^2). \quad (4)$$

Здесь функция $U(r)$ определяет замедление хода времени по сравнению с инерциальным временем t .

Сильное замедление хода времени наступает тогда, когда эта функция достаточно мала по сравнению с единицей. Уравнения (1) для данной задачи, определяемой выражениями (3) и (4), принимают вид

$$\begin{aligned} L_1 &= 8\pi G\rho - \frac{1}{2}m_g^2\left[1 + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{U} - \frac{1}{V}\right) - \frac{r^2}{W^2}\right], \\ L_2 &= -8\pi G\rho - \frac{1}{2}m_g^2\left[1 - \frac{1}{2}\left(\frac{1}{U} - \frac{1}{V}\right) - \frac{r^2}{W^2}\right], \\ L_3 &= -8\pi G\rho - \frac{1}{2}m_g^2\left[1 - \frac{1}{2}\left(\frac{1}{U} + \frac{1}{V}\right)\right]. \end{aligned} \quad (5)$$

Если положить массу гравитона m_g равной нулю, то система уравнений (5) совпадает с системой уравнений Гильберта-Эйнштейна для задачи (3) и (4). В этом случае она будет иметь известное решение Шварцшильда, когда функции U , V и W равны

$$U = \frac{r - GM}{r + GM}, \quad V = \frac{r + GM}{r - GM}, \quad W = (r + GM). \quad (6)$$

Отсюда, в частности, видно, что сильное замедление хода времени по сравнению с инерциальным временем t имеет место в области, когда r близко к GM . Но малость величины U приводит к тому, что члены справа в (5), содержащие U в знаменателе, будут играть главную роль. Именно это и приводит при аккуратном анализе [1–3] с учетом массы гравитона к другим, отличным от (6), выражениям для функций U и V :

$$U = \left(\frac{GMm_g}{\hbar c}\right)^2, \quad V = \frac{1}{2} \frac{W}{W - 2GM}, \quad (7)$$

которые и вызывают остановку движения пробного тела, создавая точку поворота, в которой скорость $dW/ds = 0$

$$\frac{dW}{ds} = -\frac{\hbar c^2}{m_g GM} \left[\frac{W}{GM} \left(1 - \frac{2GM}{c^2 W}\right) \right]^{1/2}. \quad (8)$$

Ускорение в точке поворота равно

$$\frac{d^2W}{ds^2} = \frac{1}{2GM} \left(\frac{\hbar c^2}{m_g GM}\right)^2, \quad (9)$$

оно положительно и соответствует силе отталкивания. Именно благодаря этому исключается особенность Шварцшильда, а следовательно, и возможность образования “черных дыр”.

Другой пример, демонстрирующий появление новых эффективных полевых сил из-за замедления хода времени — это развитие однородной и изотропной Вселенной. В этом случае мы имеем на основании уравнения (2) только плоскую Вселенную, когда трехмерная геометрия — евклидова, т. е.

$$\begin{aligned} ds^2 &= d\tau^2 - \beta^4 a^2 (dr^2 + r^2 d\Theta^2 + r^2 \sin^2 \Theta d\phi^2), \\ d\sigma^2 &= \frac{1}{a^6} d\tau^2 - dr^2 - r^2 d\Theta^2 - r^2 \sin^2 \Theta d\phi^2. \end{aligned} \quad (10)$$

Здесь β^4 — постоянная, определяемая интегралом движения. Собственное время $d\tau$ связано с инерциальным временем dt соотношением

$$d\tau = a^3 dt. \quad (11)$$

Уравнения (1) на основании (10) сводятся к следующей системе уравнений для масштабного фактора $a(\tau)$ [1, 2, 4]:

$$\left(\frac{1}{a} \frac{da}{d\tau}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3} \rho(\tau) - \frac{1}{12} m_g^2 \left(2 - \frac{3}{\beta^4 a^2} + \frac{1}{a^6}\right), \quad (12)$$

$$\frac{1}{a} \frac{d^2 a}{d\tau^2} = -\frac{4\pi G}{3} \left(\rho + \frac{3p}{c^2}\right) - \frac{1}{6} m_g^2 \left(1 - \frac{1}{a^6}\right), \quad (13)$$

здесь принято $\hbar = c = 1$. Масштабный фактор $a(\tau)$ в (11) определяет замедление хода времени благодаря действию гравитационного поля. Но именно этот же фактор в правой части уравнения (12) при сильном замедлении хода времени останавливает процесс сжатия Вселенной, при этом минимальное значение a равно

$$a_{\min} = \left[\left(\frac{m_g c^2}{\hbar}\right)^2 \frac{1}{32\pi G \rho_{\max}} \right]^{1/6},$$

тем самым устраняется космологическая особенность. С другой стороны, в силу уравнений (13), созданная из-за замедления хода времени сила отталкивания обеспечивает ускоренное расширение Вселенной.

Ускорение в точке остановки сжатия равно

$$\left. \frac{1}{a} \frac{d^2 a}{d\tau^2} \right|_{\tau=0} = \frac{8\pi G}{3} \rho_{\max}.$$

Именно оно и явилось “толчком” к расширению Вселенной. Таким образом, полевые представления о гравитационном поле как физическом поле позволили **открыть фундаментальное свойство гравитационного поля: создавать в сильных полях, благодаря замедлению хода времени физического процесса, эффективные силы отталкивания**. В ОТО таких сил нет. Возникает интересная картина: гравитационное поле в РТГ, проявляя себя как силы притяжения, собирая материю, вступает затем в фазу, когда под действием этого сильного поля начинается замедление хода времени по сравнению с инерциальным временем, что неминуемо ведет к созданию эффективных полевых сил отталкивания, которые останавливают процесс сжатия материи под действием сил притяжения, обеспечивая в последующем процесс расширения. Мы видим, что в самом гравитационном поле в полевой теории заложен своеобразный механизм саморегулирования. Именно он осуществляет остановку коллапса массивных тел и устраняет космологическую особенность, обеспечивая циклическое развитие Вселенной.

Авторы выражают глубокую благодарность за ценные обсуждения В. И. Денисову, В. А. Петрову, Н. Е. Тюрину, Ю. В. Чугрееву.

Список литературы

- [1] *Логунов А.А., Мествиришвили М.А.* Релятивистская теория гравитации. М.: Наука, 1989. 304 с.
- [2] *Логунов А.А.* Теория гравитационного поля. М.: Наука, 2001. 238 с.
- [3] *Власов А.А., Логунов А.А.* // ТМФ. 1989. Т. 78, № 3. С. 323–329.
- [4] *Герштейн С.С., Логунов А.А., Мествиришвили М.А., Ткаченко Н.П.* // Ядерная физика. 2004. Т. 67, № 8. С. 1618–1626.

Рукопись поступила 21 декабря 2004 г.

С.С. Герштейн, А.А. Логунов, М.А. Мествиришвили
Об одном фундаментальном свойстве гравитационного поля в полевой теории.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы **Л^AT_EX**.
Редактор Л.Ф. Васильева. Технический редактор И.В. Кожина.

Подписано к печати 21.12.2004. Формат 60 × 84/8. Офсетная печать.
Печ.л. 0,625. Уч.-изд.л. 0,5. Тираж 160. Заказ 346. Индекс 3649.

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий
142281, Протвино Московской обл.

