
ОБ ИНТЕРПРЕТАЦИЯХ ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

М.Л. Фильченков, Ю.П. Лаптев

Институт гравитации и космологии РУДН

Обсуждаются предположения А. Эддингтона о возможности интерпретации гравитации вне рамок геометрической парадигмы. Полученные результаты согласуются с астрономическими наблюдениями.

Ключевые слова: Общая теория относительности, теоретико-полевая парадигма, гравитационное поле, гравитационные волны, космология.

Введение

В 1919 году А. Эддингтон организовал экспедиции по наблюдению солнечного затмения, которые подтвердили результаты Общей теории относительности (ОТО), касающиеся отклонения луча света, проходящего вблизи Солнца. Тем не менее в своей книге [1], опубликованной спустя четыре года, он писал: «...возможно, что некоторые явления определяются сравнительно простыми уравнениями, в которые не входят компоненты кривизны мира; эти уравнения имеют одинаковый вид для плоских и для искривлённых областей мира...». Таким образом, А. Эддингтон допускал возможность интерпретации результатов ОТО, подтверждённых астрономическими наблюдениями, вне рамок геометрической парадигмы. Ниже, следуя этому предсказанию А. Эддингтона, мы рассмотрим гравитацию в трёх случаях высокой симметрии, не прибегая к уравнениям Эйнштейна–Гильберта [2; 3].

Общая теория относительности была построена в рамках геометрической парадигмы, хотя в некоторых случаях возможно и даже необходимо интерпретировать её в рамках теоретико-полевой парадигмы. Особенно это касается гравитационного излучения, описываемого с помощью псевдотензора [4]. Д. Гильберт утверждал, что законы сохранения отсутствуют в случае произвольной геометрии, не обладающей симметриями [5]. В частности, несохранение импульса означает, что искривлённое пространство-время связано с наличием сил.

Геометрическая парадигма стала преобладающей при интерпретации гравитации. Однако геометризация гравитационного взаимодействия не позволила объединить его с другими взаимодействиями в рамках Стандартной модели физики элементарных частиц. В некотором смысле этот недостаток ОТО скомпенсирован в теориях гравитации альтернативных ОТО добавлением к четырёхмерному пространству-времени высших размерностей.

Согласно Р. Фейнману, гравитация может быть интерпретирована как в рамках теоретико-полевой, так и геометрической парадигм [6]. Теоретико-

полевая интерпретация развивалась также Л. Бриллюэном [7] и А. Логуновым [8].

Статическое центрально-симметричное гравитационное поле

Базируясь на связи собственного времени тела τ в статическом гравитационном поле с его гравитационным потенциалом φ [9], движущегося со скоростью v относительно источника поля, легко получить следующее выражение для энергии тела:

$$E = \frac{mc^2 \sqrt{1 + \frac{2\varphi}{c^2}}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

где m – масса тела, c – скорость света.

Для ньютоновского гравитационного потенциала при $E = mc^2$ и $v = c$ находим формулу для гравитационного радиуса

$$r_g = \frac{2GM}{c^2},$$

где M – масса источника гравитационного поля, остающегося статическим при $r > r_g$, G – гравитационная постоянная. Эту формулу получил ещё Лаплас [10]. Интервал $ds = cd\tau$ соответствует эффективному риманову пространству, которое моделируется совместным воздействием гравитации и релятивизма на пробное тело в пространстве Минковского. В статическом центрально-симметричном гравитационном поле, исключая скорость из выражений для энергии и углового момента, можно получить формулы для закона движения и траектории, совпадающие с формулами, следующими из ОТО. Отсюда следует, что известные классические гравитационные эффекты отклонения луча света, проходящего вблизи Солнца, и смещения перигелия Меркурия, могут быть получены не только из геодезических в римановом пространстве с метрикой Шварцшильда [11], но в пространстве Минковского с учётом гравитационного потенциала, входящего в выражение для энергии нелинейным образом.

В случае источника, обладающего как массой, так и зарядом, в пространстве Минковского тем же способом могут быть найдены результаты, совпадающие с полученными в римановом пространстве с метрикой Рейснера–Нордстрёма [12; 13].

Гравитационное излучение

Интенсивность гравитационного излучения даётся формулой Эйнштейна [14]

$$I = \frac{G}{5c^5} \ddot{D}_{\alpha\beta} \ddot{D}^{\alpha\beta},$$

где $\ddot{D}_{\alpha\beta}$ – квадрупольный момент, зависящий от плотности массы, что уже подтверждено регистрацией гравитационных волн [19], за которую в 2017 г. присуждена Нобелевская премия по физике. Вывод этой формулы в рамках геометрической парадигмы основан на использовании псевдотензора t^{ik} , описывающего свободное гравитационное поле волны искривлённого пространства-времени, который не может быть определён однозначно, так как зависит от выбора не только системы отсчёта, но и системы координат, на что указывал Э. Шрёдингер [4]. Однако формула Эйнштейна может быть получена и в рамках теоретико-полевой парадигмы на основе аналогии с электродинамикой, заменяя в формуле для интенсивности квадрупольного электрического излучения плотность электрического заряда на плотность массы, умноженную на \sqrt{G} , и спин фотона $s = 1$ на спин гравитона $s = 2$ [15]. Фейнман доказал, что гравитоны, являющиеся квантами тензорного поля в пространстве Минковского, имеют как теоретико-полевую, так и геометрическую интерпретацию [6]. Последняя используется в ОТО, где возникает проблема энергии гравитационного поля, которая не может быть определена однозначно в силу нетензорного характера величины t^{ik} из-за отсутствия в общем случае симметрий риманова пространства, на что указывал Д. Гильберт [5]. Таким образом, сам факт существования гравитационных волн, подтверждённый астрономическими наблюдениями, может быть непротиворечиво интерпретирован в рамках теоретико-полевой парадигмы.

Однородная изотропная космологическая модель

А. Фридман в рамках геометрической парадигмы получил следующее уравнение для однородной изотропной космологической модели [16]:

$$\frac{\dot{a}^2}{2} - \frac{4\pi G \varepsilon a^2}{3c^2} = -\frac{kc^2}{2},$$

где \dot{a} – масштабный фактор, ε – плотность энергии, $k = 0, \pm 1$ – параметр модели. То же уравнение было получено У. МакКри и Э. Милном в рамках ньютоновской теории гравитации [17] из закона сохранения энергии единичной массы на шаре, который расширяется в евклидовом пространстве, заменяя радиальную координату в ньютоновском гравитационном потенциале на масштабный фактор и используя выражения для объёма шара в евклидовом пространстве.

В случае деситтеровского вакуума [18] $\varepsilon = \frac{\Lambda c^2}{8\pi G}$, где Λ – космологическая постоянная, однородная изотропная космологическая модель сводится к статическому центрально-симметричному полю отталкивания в пространстве Минковского.

Таким образом, ещё один результат ОТО может быть интерпретирован в рамках теоретико-полевой парадигмы, который фактически получен для скалярного поля в плоском пространстве.

Заключение

Основные результаты ОТО, подтверждённые астрономическими наблюдениями, для статического поля, гравитационных волн и космологии могут быть получены, не прибегая к уравнениям Эйнштейна–Гильберта в искривлённом пространстве-времени, которые в этих случаях являются избыточными. Это не может быть случайным, слишком много совпадений. Более вероятно, это указывает на то, что Общая теория относительности переопределена, по крайней мере в случаях высокой симметрии, то есть её математический аппарат неоправданно усложнён для получения простых и даже тривиальных результатов. Это связано с возможностью геометризации тензорного поля со спином 2, а не с существованием реального риманова пространства.

Интерпретация гравитации в рамках теоретико-полевой парадигмы, то есть дегеометризация ОТО, не изменяет её результатов, поэтому вполне допустима наряду с её стандартной интерпретацией в рамках геометрической парадигмы. Идентификация гравитации с пространственно-временным континуумом – это лишь аксиома, принятая в ОТО, которую невозможно вывести из астрономических наблюдений.

Природа гравитации является одной из самых фундаментальных проблем теоретической физики, поэтому её следует решать в рамках различных парадигм: геометрической, теоретико-полевой (как было показано выше) и реляционной, где также были достигнуты важные результаты [19].

ЛИТЕРАТУРА

1. Эддингтон А.С. Теория относительности / пер. с англ., под ред. Д.Д. Иваненко. – М. – Ижевск: РХД, 2003. – 508 с.
2. Einstein A. Die Feldgleichungen der Gravitation // Sitz. preuss. Akad. Wiss. – 1915. – В. 42. – S. 844.
3. Hilbert D. Die Grundlagen der Physik I // Göttingen Nachrichten. – 1915. – В. 3. – S. 395.
4. Schrödinger D. Die Energiekomponenten des Gravitation felbes // Z. Phys. – 1918. – В. 19. – S. 4.
5. Hilbert D. Die Grundlagen der Physik II // Göttingen Nachrichten. – 1915. – В. 4. – S. 53.
6. Фейнман Р.Ф., Моринго Ф.Б., Вагнер У.Г. Фейнмановские лекции по гравитации / пер. с англ. А.Ф. Захарова. – М.: Янус-К, 2000. – 296 с.
7. Бриллюэн Л. Новый взгляд на теорию относительности / пер. с англ., под ред. А.З. Петрова. М.: Мир, 1972. – 144 с.
8. Логунов А.А., Мествиришвили М.А. Релятивистская теория гравитации. – М.: Наука, 1989. – 304 с.
9. Pound P.V., Rebka G.A.Jr. Apparent weighting of photons // Phys. Rev. Lett. – 1960. – V. 4. – P. 337.

10. *Laplace P.S.* Exposition du systèm du monde. – Paris: Cercle-social l’An IV, 1796.
11. *Schwarzschild K.* Über das Gravitation sfeldeines Massenpunkten nach Einsteinischen Theorie // Sitz. preuss. Akad. Wiss. – 1916. – B. 1. – S. 189.
12. *Reissner H.* Über die Eigengravitation deselektrischen Feldesnach Einsteinischen Theorie // Ann. Phys. – 1916. – B. 50. – S. 106.
13. *Nordström G.* On the energy of the gravitational fieldin Einstein’s theory // ProcKon. Ned. Akad. Wt. – 1918. – V. 20. – P. 1238.
14. *Einstein A.* Narungsweise Integration der Feldgleichungen der Gravitation // Sitz. preuss. Akad. Wiss. – 1916. – B. 1. – S. 688.
15. *Фильченков М.Л., Лантев Ю. П.* Квантовая гравитация: От микромира к мегамиру. – М.: Ленанд, 2016. – 304 с.
16. *Friedmann A.* Über die Krümmung des Raumes // Z. Phys. – 1922. – B. 10. – S. 377.
17. *McCrea W.H., Milne E.A.* Newtonian Universes and curvature of space // Quart. J. Math. – 1934. – V. 5. – P. 73.
18. *Sitter W. de.* On Einstein’s theory of gravitation and its astronomical consequences, II. // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. – 1917. – V. 78. – P. 3.
19. *Владимиров Ю.С.* Реляционная концепция Лейбница–Маха. – М.: Ленанд, 2017. – 232 с.

ON THE INTERPRETATIONS OF THE GENERAL RELATIVITY THEORY

M.L. Filchenkov, Yu. P. Laptev

The article considers the assumptions of A. Eddington on the possibility to interpret gravitation outside the framework of a geometric paradigm. The results obtained are consistent with astronomic observations.

Key words: General relativity theory, field-theoretic paradigm, gravitational field, gravitational waves, cosmology.