
ВЕЛИКОЕ СТОЛЕТНЕЕ ЗАБЛУЖДЕНИЕ

Е.Д. Бурланков

Физический факультет

Нижегородского государственного университета имени Н.И. Лобачевского

Высказано сомнение в абсолютной правильности пути, по которому идет описание пространства-времени в рамках общей теории относительности и предложен вариант выхода из сложившейся ситуации.

Ключевые слова: общая теория относительности, лагранжиан Гильберта, общая ковариантность, космология, темная энергия, плотность энергии.

Великое столетнее заблуждение – это общая теория относительности (ОТО).

(Вместо эпиграфа)

Динамическое пространство-время и уравнения Эйнштейна

В 1913 году Альберт Эйнштейн и Марсель Гроссман [1] открыли новое физическое поле: они показали, что пространство, ранее полагавшееся однородным и неизменным, объединенное специальной теорией относительностью в единое четырехмерное многообразие с временем, может динамически изменяться, и выдвинули программу поиска уравнений, описывающих динамику геометрии пространства-времени. Идея была беспрецедентна, ориентиров, за которые можно зацепиться, было очень мало.

Одним из таких ориентиров был *принцип эквивалентности*, определенный Эйнштейном в предыдущих работах 1907 года [2] и 1911 года [3], в которых гравитационный потенциал фактически определял компоненту метрики g_{00} : движение тел и света в искривленном таким образом пространстве-времени эквивалентно движению в евклидовом пространстве с однородным временем в гравитационном потенциале. Этот принцип естественным образом объяснял обнаруженную Галилеем независимость ускорений тел от их массы в заданном гравитационном поле, независимость параметров траекторий планет от их масс. Тем самым наметилась дорога определения влияния искривленности пространства-времени на движение тел и электромагнитные явления.

Но как же создается это искривление пространства-времени? Опять-таки в предыдущих работах Эйнштейн постоянно ставил вопрос о том, что любая энергия обладает не только инерционной массой, но и эквивалентной ей гравитационной массой. Тензорное представление Г. Минковским комплекса плотности и потока энергии, объединение их с разработанным в тео-

рии упругости тензором натяжений в десятикомпонентный *тензор энергии-импульса* (T_{ij}) [4] показало Эйнштейну объект, который может служить источником кривизны пространства-времени.

Характеристики кривизны четырехмерного многообразия, разработанные Бернгардом Риманом, Эльвином Кристоффелем, падуанской школой математиков во главе с Грегорио Риччи, были изложены Гроссманом в первой части уже упомянутой работы [1]. Основным геометрическим объектом, важным для физики, является симметричный тензор Риччи $R_{[ij]}$. После долгих проб Эйнштейн находит первый вариант уравнений, из которых по заданному распределению материи можно находить метрический тензор пространства-времени:

$$R_{[ij]} = q T_{ij}, \quad (1)$$

где q – константа, пропорциональная гравитационной постоянной.

В марте 1915 года Эйнштейн применяет вновь созданную теорию для объяснения медленного поворота эллипса, по которому движется Меркурий, обнаруженного в середине XIX века Урбенем Леверье [5]. Это вращение в теории Эйнштейна проявилось само, без всяких дополнительных гипотез, а величина поворота хорошо совпадала с определенной Леверье. Эйнштейн убедился, что он на правильном пути.

В той же работе Эйнштейн вычисляет (очень малый) угол отклонения от прямой луча света, проходящего вблизи Солнца. В принципе этот эффект был известен еще Лапласу, который, исходя из корпускулярной теории света, считал, что световая корпускула как тело, имеющее скорость выше третьей космической, должна двигаться по гиперболе, угол между асимптотами которой и определяет искомое отклонение. Этот угол был вычислен в 1801 году Золднером [6]. В работе 1911 года [3], не зная о работе Золднера, изучая явления в свободно падающей системе, Эйнштейн вывел то же выражение. Однако общая теория относительности определяла вдвое большее значение угла. Во время полного солнечного затмения 29 мая 1919 года экспедиция во главе с Эддингтоном провела замеры, результаты которых близко легли к формуле, выведенной Эйнштейном. Оглашение этого факта в ноябре 1919 года было организовано как невероятная сенсация. Какие-либо сомнения в истинности того, что говорил или писал Эйнштейн после этой сенсации, воспринимались как примитивизм мышления. Общая теория относительности считалась окончательно подтвержденной экспериментально.

Теоремы Гильберта

Глубокая физическая идея Эйнштейна и Гроссмана, с теоретической точки зрения, была оформлена на ощупь, можно сказать, как первая проба. В том же, 1915 году крупнейший математик Давид Гильберт живо заинтересовался поднятыми Эйнштейном проблемами. С математической точки зрения он прежде всего увидел несогласованность уравнений (1). Дивергенция

(не важно что это за операция) правой части (тензора T_{ij}) равна нулю – это следует из классической физики, – а дивергенция левой в общем случае не равна. Правда, в задаче, которую решал Эйнштейн, – о малых добавках к метрике Минковского за счет тяготеющей массы, равна нулю и дивергенция левой. Но в общем случае равенство не соблюдается. После того как Гильберт указал на этот дефект уравнений (1), к ноябрю 1915 года Эйнштейн эти уравнения модифицировал, введя тензор $G_{ij} = R_{ij} - R g_{ij}/2$ (тензор Эйнштейна), дивергенция которого тождественно равна нулю. Уравнения Эйнштейна приобрели вид

$$G_{[ij]} = q T_{ij}. \quad (2)$$

Эти уравнения и считаются окончательными уравнениями общей теории относительности.

Вывод фундаментальных уравнений теоретической физики (электродинамики, скалярного поля) оказывается полностью согласованным, когда уравнения получаются приравниванием к нулю вариаций (опять не очень важно, что же это за операция) по компонентам полей некоторого функционала – функционала *действия*.

Правая часть уравнений Эйнштейна (2) описывает поля, уравнения которых получаются вариацией функционалов действия (S_m) уже известных полей (электромагнитного и пр.). Гильберт в ноябре 1915 года [5] опубликовал *замечательную теорему*. Чтобы действие любого поля было инвариантным относительно произвольных преобразований координат, это действие обязательно зависит от метрического тензора пространства-времени. *Замечательная теорема* звучит (почти) так:

Вариация действия по десяти компонентам метрического тензора равна десяти компонентам тензора энергии-импульса.

Получив вариационным методом правую часть уравнений Эйнштейна (2), Гильберт нашел функционал Φ_G , зависящий только от метрического тензора и его производных (*функционал Гильберта*), вариации которого по метрическому тензору определяют левую часть уравнений – тензор Эйнштейна. Если ввести действие динамического пространства $S_G = -1/q \Phi_G$ (действие Гильберта) и суммарное действие $S = S_G + S_m$, то, приравнявая к нулю вариацию последнего по метрическому тензору, получим систему уравнений

$$-1/q G_{ij} + T_{ij} = 0; \quad G_{ij} = q T_{ij}.$$

Таким образом, уравнения Эйнштейна являются вариационными уравнениями, получаемыми приравниванием к нулю вариаций суммарного действия по компонентам метрического тензора. Появилось утверждение, что Гильберт теоретически обосновал уравнения Эйнштейна.

Крах общей теории относительности

Но замечательная теорема определяет, что вариация любого действия по метрическому тензору определяет его тензор энергии-импульса. Прирав-

няв к нулю эту вариацию (для вывода уравнений Эйнштейна), получаем, что решения уравнений Эйнштейна имеют нулевой тензор энергии-импульса.

В частности, компонента $-1/q G_{00} + T_{00}$ определяет плотность энергии системы полей с учетом энергии динамического пространства. *Все решения уравнений Эйнштейна имеют нулевую энергию и нулевой поток энергии* (компоненты 0_i).

Поэтому, например, гравитационные волны, определяемые уравнениями Эйнштейна, не могут переносить энергию.

Одно из фундаментальнейших решений общей теории относительности – космологическое решение Фридмана – определяет наблюдаемое однородное расширение Вселенной. Оно описывается двумя уравнениями, одно из которых определяет изменение масштаба Вселенной пропорционально $t^{2/3}$, а второе имеет вид $\rho = k H^2$, где ρ – средняя плотность вещества во Вселенной, H – параметр Хаббла, определяющий зависимость скорости разбегания галактик от расстояния, а k – известная константа. Замеры, проведенные во второй половине XX века, показали, что наблюдаемая плотность вещества в 25 раз меньше требуемой этим уравнением. То есть общая теория относительности *резко расходится* с экспериментальными наблюдениями. Для спасения ситуации была выдумана *темная энергия*, плотность которой выбирается таковой, чтобы второе уравнение в точности выполнялось.

Особую ответственность на теорию накладывает обнаружение гравитационных волн. Описание слабых волн в замечательной работе Эйнштейна 1918 года [6] очень эклективно в части описания потока энергии. Плотность потока энергии не выводится из теории, а подбирается, чтобы выполнялось уравнение неразрывности. Точные решения (например Бонди [7]) имеют нулевые энергетические характеристики.

Ну и конечно, осознанная уже около полувека невозможность построения квантовой теории гравитации на основе ОТО также определяется нулевой плотностью энергии, нулевым гамильтонианом.

Поэтому первый путь, проложенный уравнениями Эйнштейна к описанию динамики пространства-времени, оказался тупиковым.

Отказ от общей ковариантности, глобальное время

Уравнения Эйнштейна (2) общековариантны: они имеют вид равенства четырехмерных тензоров и при произвольных преобразованиях всех четырех координат это равенство сохраняется. Плотность энергии выражается через вариацию действия по компоненте обратного метрического тензора g^{00} . Очевидно, что энергия окажется ненулевой, если из уравнений исключить приравнивание к нулю вариации по этой компоненте. Но тогда уравнения перестают быть общековариантными. Допустимы только преобразования координат, сохраняющие компоненту g^{00} . В четырехмерном пространстве остается выделенное направление – глобальное время.

Общий вид метрики с глобальным временем ($g^{00}=1$):

$$ds^2 = (c^2 - V^2) dt^2 + 2 V_i dx^i dt - \gamma_{ij} dx^i dx^j \quad (3)$$

имеет 9 неопределенных функций: 6 компонент пространственной метрики γ_{ij} и 3 компоненты *поля скоростей* V_i . Подстановка этой метрики в лагранжиан Гильберта приводит к лагранжиану, определяющему уравнения динамики девяти указанных функций, составляющих основные уравнения динамики пространства в *теории глобального времени* (ТГВ) [8–12]. Решения ОТО остаются как подмножество с нулевой энергией.

Искривленное пространство-время не «преобразует радикально» классическую динамику, а дает в нее вклад в большинстве задач небольшой, но в таких, как космологические модели, вклад этой динамики существенный. Исчезают многие парадоксы общей теории относительности, например в описании развития ранней Вселенной отпадает необходимость введения инфляции, в описании спиральных галактик основную роль играют вихревые поля скоростей вместо надуманной «темной материи».

В описании гравитационных волн квадратичное приближение лагранжиана Гильберта совпадает с лагранжианом Паули-Фирца [13], позволяя корректно описывать различные волновые конфигурации (интерференцию, сферические гармоники) а также перенос энергии.

Решаются первые задачи квантовой теории гравитации [14].

Следует отметить, что сомнения в абсолютной правильности пути, по которому идет описание пространства-времени, пути ОТО, за прошедшие 100 лет возникали регулярно. Это Лоренц и Леви-Чивита (см. [15]). Это Л. Бриллюэн и А.З. Петров (см. [16]). Очень тщательный анализ проблем ОТО проведен Р. Пенроузом [17].

К сожалению, тяжело расставаться с заблуждениями, особенно учитывая инерцию огромного опыта, накопленного по направлению ОТО.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Einstein A., Grossmann M.Z.* Math. und Phys. – 1913. – V. 62. – 225–261. [Перевод: Эйнштейн А. Собрание научных трудов. – Т. 1. – С. 227–266. М.: Наука, 1966.]
2. *Einstein A.* Jahrb. d. Radioaktivitat u. Electronik. – 1907. – 4. – P. 411–462. [Перевод: Эйнштейн А. Собрание научных трудов. – Т. 1. – С. 65–114. М.: Наука, 1966.]
3. *Einstein A.* Ann. Phys. – 35. – P. 898–908. [Перевод: Эйнштейн А., Собрание научных трудов. – Т. 1. – С. 165–174. М.: Наука, 1966.]
4. *Уиттекер Э.* История теорий эфира и электричества. – Т. 2. – М. – Ижевск: РХД, 2004.
5. *Hilbert D.* Nachr. K. Ges. Wiss. Gottingen. – 1915. – V. 3. – P. 395 [Перевод в сб. Вариационные принципы механики / под ред. Л.С. Полака. – С. 589–598. М.: ГИФМЛ, 1959.]
6. *Einstein A.* Sitz. preuss. Akad. Wiss. – 1918. – V. 1. – 154–167. [Перевод: Эйнштейн А., Собрание научных трудов. – Т. 1. – С. 631–646. – М.: Наука, 1966.]
7. *Bondi H., Pirani F.A.E., Robinson I.* Proc. Roy. Soc. London. 1959. – V. A 251, 519.
8. *Бурланков Д.Е.* Динамика пространства. – Нижний Новгород: Изд-во ННГУ, 2005.
9. *Бурланков Д.Е.* Время, пространство, тяготение. – Москва-Ижевск: РХД, 2006.
10. *Бурланков Д.Е.* Анализ общей теории относительности. – Нижний Новгород: ННГУ, 2011.

11. *Бурланков Д.Е.* Физика пространства и времени. – Нижний Новгород: Изд-во ННГУ, 2015.
12. *Бурланков Д.Е.* Новая физика пространства и времени. – Нижний Новгород: Изд-во ННГУ, 2017.
13. *Fierz M., Pauli W.* Proc. Roy. Soc. Lond. – **A173**. – 211–232. – 1939.
14. *Burlankov D.E.* Gravitation and Cosmology. – **22**. – No. 1. – P. 64–70. – 2016.
15. *Паули В.* Теория относительности. – М.: Наука, 1983.
16. *Бриллюэн Л.* Новый взгляд на теорию относительности. – М.: Мир, 1972.
17. *Penrose R.* The road to reality. – London: Jonathan Cape, 2004. [Перевод: Пенроуз Р. Путь к реальности, или Законы, управляющие Вселенной. – М.–Ижевск: РХД, 2007.]

THE GREAT CENTURY-LONG MISCONCEPTION

E.D. Burlankov

It casts doubt on whether the course is absolutely right in which the description of space-time develops within the general relativity theory and suggests a way out of the predicament.

Key words: General relativity theory, Hilbert Lagrangian, general covariance, cosmology, dark energy, energy density.