

К столетию общей теории относительности



УДК 530.12

Ю. С. Владимиров¹

СПЕЦИАЛЬНАЯ И ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ: ОТ СОЗДАНИЯ ДО НАШИХ ДНЕЙ

В связи с двойным юбилеем теории относительности, исполняющимся в 2015 году, предложено вспомнить идеи, заложенные в основание как специальной, так и общей теории относительности. Произведен анализ достижений общей теории относительности и всего геометрического подхода (парадигмы). Отмечены главные проблемы этого подхода: экспериментальная проверка, применение к описанию Вселенной в целом, попытки геометризации электромагнетизма, совмещение принципов ОТО и квантовой теории. Охарактеризованы попытки их разрешения в XX веке.

Ключевые слова: специальная и общая теория относительности, пространство-время, гравитация, электромагнетизм, космология, квантование гравитации, реляционная парадигма.

PACS: 04.20-q; 04.20.Cv.; 04.50.Kd

В этом, 2015 году научное сообщество всего мира отмечает двойной юбилей: 110-летие создания специальной теории относительности (СТО) и 100-летие со дня написания уравнений Эйнштейна, что принято считать основанием общей теории относительности (ОТО). Эти два величайших открытия ознаменовали важную веху в развитии представлений всего человечества о физическом мироздании. Они заложили фундамент для становления и развития двух ключевых метафизических парадигм – реляционной и геометрической, которые сыграли важную роль в развитии фундаментальной физики в XX веке.

1. Открытие специальной теории относительности

Открытия, подобные созданию специальной теории относительности, подготавливаются упорной мыслительной деятельностью многих ученых на протяжении столетий, что особенно проявляется в предшествующие десятилетия. Они происходят, когда созревают для этого все необходимые предпосылки. И, как правило, к подобным открытиям приходят сразу несколько наиболее подготовленных мыслителей. Так было при открытии первой неевклидовой геометрии в первой трети XIX века, когда к ее идеям почти одновременно и независимо пришли К. Гаусс, Н.И. Лобачевский и Янош Бояи. Аналогичное случилось и при открытии специальной теории относительности в самом начале XX века. В ее создание основной вклад внесли Х. Лоренц, А. Пуанкаре, А. Эйнштейн и Г. Минковский. Правда, уже в это время была значительная корреляция в исследованиях этих мыслителей. Создание СТО можно считать итогом коллективной деятельности этих ученых, конечно, при выделенной роли А. Эйнштейна, но вклад каждого из них незаменим.

Математическое формирование СТО можно считать завершенным в трудах Г. Минковского, который, выступая в 1908 г. на 80-м собрании немецких естествоиспытателей и врачей в Кельне, заявил: «Милостивые господа! Воззрения на пространство и время, которые я намерен перед вами развить, возникли на экспериментально-физической основе. В этом их сила. Их тенденция радикальна. Отныне пространство само по себе и время само по себе должны обратиться в фикции и лишь некоторый вид соединения обоих должен сохранить самостоятельность» [1, с. 167].

При этом нельзя забывать огромную роль идей Эрнста Маха в подготовке этого открытия. В его трудах были подвергнуты основательной критике устоявшиеся в физике на протяжении более

¹E-mail: yusvlad@rambler.ru

двух столетий ньютоновские представления об абсолютных пространстве и времени. А взгляды самого Маха были продолжением и развитием реляционных идей Лейбница. Напомним, еще за два столетия до этого Лейбниц спрашивал у сторонников Ньютона, если из пространства убрать тела, то пространство и время останутся? Сторонники Ньютона отвечали, что «Да», а Лейбниц считал, что «Нет», что пространство проявляется лишь как отношения между телами. Если не будет тел, то не будет и пространства. Он писал: «Я неоднократно подчеркивал, что считаю пространство, так же как и время, чем-то чисто относительным: пространство – порядком сосуществования, а время порядком последовательностей» [2, с. 441]. Аналогичной реляционной точки зрения придерживался и Мах, который писал: «Время и пространство существуют в определенных отношениях физических объектов, и эти отношения не только вносятся нами, а существуют в связи и во взаимной зависимости явлений» [3, 372].

Отметим, что специальная теория относительности по своей сути также имеет реляционный характер. Ее ключевым понятием является квадрат интервала $s^2(ab)$ между парами разнесенных событий a и b , а отдельные составляющие 4-мерного множества – расстояния между событиями и промежутки времени – самым существенным образом зависят от наблюдателя и состояния его движения. Без преувеличения можно утверждать, что создание специальной теории относительности означало важный шаг в развитии именно реляционной парадигмы. (Заметим, что, тем не менее, Г. Минковский придерживался субстанциальной точки зрения на природу пространства-времени.)

2. Создание общей теории относительности

Следует особо подчеркнуть, что А. Эйнштейн, создавая общую теорию относительности, следовал идеям Э. Маха, о чем он неоднократно писал в своих работах. В частности, он писал: «Мах ясно понимал слабые стороны классической механики и был недалек от того, чтобы прийти к общей теории относительности. И это за полвека до ее создания! Весьма вероятно, что Мах сумел бы создать общую теорию относительности, если бы в то время, когда еще был молод духом, физиков волновал вопрос о том, как следует понимать скорость света» [4, с. 31].

Однако в результате титанических усилий у А. Эйнштейна получилось нечто совершенно иное, — созданием общей теории относительности были заложены основы совершенно иной — геометрической парадигмы, коренным образом отличающейся от идей реляционной парадигмы Лейбница-Маха. Эйнштейн на сразу осознал содеянное. Даже в 1918 году, когда уже были записаны уравнения Эйнштейна и найден ряд их решений он писал, что в основе общей теории относительности лежат три принципа: принцип относительности, принцип эквивалентности и принцип Маха. Тогда же им был введен термин «принцип Маха», который он трактовал следующим образом: «Принцип Маха: G-поле (метрическое поле – Ю.В.) полностью определено массами тел. Масса и энергия, согласно следствиям специальной теории относительности, представляют собой одно и то же; формально энергия описывается симметричным тензором энергии: это означает, что G-поле обуславливается и определяется тензором энергии материи» [5, с. 613]. В примечании Эйнштейн разъяснял: «Название «принцип Маха» выбрано потому, что этот принцип является обобщением требования Маха, что инерция должна сводиться к взаимодействию тел».

Однако чуть позже, осознав суть созданной общей теории относительности, Эйнштейн фактически отрекся от идей Маха: «По мнению Маха, в действительно рациональной теории инертность должна, подобно другим ньютоновским силам, происходить от взаимодействия масс. Это мнение я в принципе считал правильным. Оно неявным образом предполагает, однако, что теория, на которой все основано, должна принадлежать тому же общему типу, как и ньютонова механика: основными понятиями в ней должны служить массы и взаимодействия между ними. Между тем не трудно видеть, что такая попытка не вяжется с духом теории поля» [6, с.268-269].

Действительно, общая теория относительности оказалась построенной совершенно на других принципах. Напомним, Эйнштейн писал: «Мах в двадцатом столетии был единственным, кто серьезно думал об исключении понятия пространства, которое он пытался заменить представлением о всей сумме расстояний между всеми материальными точками. (Он предпринял эту попытку для того, чтобы прийти к удовлетворительному пониманию инерции.)» [7, с. 749]. Однако, в основу общей теории относительности была заложена идея самостоятельного существования 4-мерного пространственно-временного многообразия, только не плоского, как в специальной теории относительности, а искривленного. Более того, полагалось, что гравитационное поле, (а в геометрической парадигме и другие поля) является проявлением искривленности (кривизны) пространства-времени.

Строго говоря, эта идея не была новой. Впервые ее четко высказал английский математик В. Клиффорд, скончавшийся в 1879 году — в год рождения А. Эйнштейна. В своей книге «Здравый смысл точных наук» он предлагал «рассматривать как изменения физического характера те действия, которые на самом деле обязаны своим происхождением изменения в кривизне нашего пространства. Не окажется ли, что все или некоторые из причин, которые мы называем физическими, свое начало ведут от геометрического строения нашего пространства» [8]. Клиффорд даже высказывал предположение, что таковыми физическими причинами могут быть теплота, свет, электрическое поле. Примечательно, что гравитация в качестве такой физической причины еще не называлась. Однако высказанная им тогда гипотеза о возможной связи электромагнитного поля с искривленностью пространства позволяет считать Клиффорда родоначальником идеи о геометризации электромагнитного поля. При этом следует также заметить, что Клиффорд говорил об описании физических понятий через искривленное 3-мерное пространство, а, как это стало ясно позже, для построения содержательной теории необходимо было использовать искривленное 4-мерное (или большей размерности) пространство-время. Это стало возможным только после создания специальной теории относительности в начале XX века. (Историки физики отмечают [9], что А. Эйнштейн ознакомился с книгой Клиффорда «Здравый смысл точных наук» уже в бернский период жизни (1902-1909 гг.).)

Таким образом, после создания специальной теории относительности и работ ряда геометров, Б. Римана, Э. Бельтрами, Г. Гельмгольца, Ф. Клейна и других (см. [10]), развивших основы теории дифференциальной римановой геометрии, были подготовлены все предпосылки для создания общей теории относительности, которая в ближайшее время должна была быть открытой.

Посчастливилось это сделать А. Эйнштейну, который после создания СТО обратил внимание на равенство гравитационной и инертной масс и теорию гравитации. Эйнштейн не знал о достижениях математиков. Это подсказал ему его друг со студенческой скамьи математик Марсель Гроссман, что позволило реализовать идею трактовки гравитации через искривленность 4-мерного пространства-времени. Это было сделано в совместной статье А. Эйнштейна и М. Гроссмана «Проект обобщенной теории относительности и теории тяготения», опубликованной в 1913 году [11]. Как нам представляется, правильнее было бы именно с публикации этой статьи датировать создание общей теории относительности, поскольку в ней было сказано самое главное. Статья состояла из двух частей: первая, физическая, была написана А. Эйнштейном, тогда как вторая, математическая, принадлежала перу Гроссмана, который подробно излагал основы аппарата дифференциальной геометрии, вводил метрику и разъяснял другие геометрические понятия, использованные Эйнштейном в первой части. Все остальное после этой статьи можно сказать, представляло собой доработку основной идеи, завешенной в самом конце 1915 года, когда почти одновременно А. Эйнштейном [12] и Д. Гильбертом [13] были записаны уравнения (Эйнштейна) для гравитационного поля.

Следует отметить, что математик Гильберт был прекрасно осведомлен о физических идеях и работах Эйнштейна и вывел уравнения строго математически посредством вариационного принципа, взяв в качестве плотности гравитационного лагранжиана скалярную кривизну R . При этом он пытался еще объединить гравитацию с электромагнетизмом, выбрав для этой цели вариант электромагнетизма, предложенный Г. Ми. Эйнштейн же действовал иначе, можно сказать, методом «проб и ошибок». Сначала он в качестве левой, геометрической части искомых уравнений выбрал тензор Риччи $R_{\alpha\beta}$, а в качестве правой, физической части писал тензор энергии-импульса материи $T_{\alpha\beta}$ с коэффициентом — эйнштейновской гравитационной постоянной. И только затем путем мучительных размышлений Эйнштейн пришел к правильной правой части в виде $T_{\alpha\beta} - (1/2)g_{\alpha\beta}T$ с тем же коэффициентом.

Исходя из того, что Гильберт опубликовал свой результат на несколько дней раньше, некоторые авторы даже предлагали называть полученные уравнения «уравнениями Гильберта-Эйнштейна», однако приоритетный вопрос в свое время был улажен самими авторами [14, 15], и в науке утвердился термин «уравнения Эйнштейна».

3. Экспериментальные следствия общей теории относительности

Как правило, новые физические теории возникали, исходя из потребности объяснения тех или иных экспериментальных данных или проявлений неких физических явлений. Так, в частности, было с открытием специальной теории относительности, когда экспериментально было найдено, что скорость света одинакова во всех системах отсчета. Однако в случае создания общей теории относительности такое утверждение не совсем верно. Конечно, важную роль, можно даже сказать,

– «роль повивальной бабки», сыграли размышления Эйнштейна о принципе эквивалентности и о необходимости обобщить ньютоновскую теорию гравитации с учетом только что открытой специальной теории относительности. Тем не менее, важную роль сыграли соображения принципиального, можно даже сказать, – метафизического характера. Они явились следствием принципиальных вопросов, вставших сразу же после открытия неевклидовых геометрий: проявляются ли в физической реальности неевклидовы геометрии? А если проявляются, то каким образом?. Сами же неевклидовы геометрии возникли совсем не из потребностей объяснения тех ли иных экспериментальных данных. Более того, для нормального человека настойчивые попытки доказательств пятого постулата Евклида могли показаться никчемными. Чем мог заинтересовать нормально человека вопрос: одну или несколько прямых, параллельных данной прямой, можно провести через произвольную точку?

Однако, перед так или иначе возникающей теорией, в том числе и перед общей теорией относительности, неизменно встает вопрос об ее экспериментальном подтверждении. При этом следует различать три стадии решения данного вопроса. Прежде всего, необходимо показать выполнимость принципа соответствия с данными, объясняемыми предшествующей теорией. Во-вторых, следует показать преимущества новой теории, объяснив какие-то наблюдаемые явления, которые не удавалось объяснить предшествующей теорией. И, наконец, в рамках новой теории необходимо предсказать новые эффекты или явления, которые нуждаются в обнаружении, а еще лучше такие, которые сулят практические приложения.

Для случая ОТО первая стадия состояла в доказательстве выполнимости принципа соответствия с выводами ньютоновской теории гравитации и давно наблюдаемых закономерностей. Эта задача была решена Эйнштейном еще до окончательной записи уравнений. Уже сам вид уравнений геодезических продемонстрировал выполнимость принципа эквивалентности, о котором Эйнштейн стал размышлять еще задолго до оформления его идей об искривлении пространства-времени. (Заметим, что сейчас принято показывать соответствие ОТО с ньютоновской теорией гравитации на основе самого важного решения уравнений Эйнштейна – сферически-симметричного решения Шварцшильда, найденного лишь в 1916 году.)

Аналогичное можно сказать и о реализации второй стадии проблемы – объяснении смещения перигелия Меркурия [16] – эффекта, который наблюдался астрономами уже в середине XIX века, но для него не было найдено подходящего объяснения. Попытки это сделать путем допущения существования неких новых планет в Солнечной системе не увенчались успехом. Объяснение этого эффекта было триумфом общей теории относительности.

К третьей стадии экспериментального подтверждения ОТО следует отнести предсказание эффекта отклонения лучей света, проходящих вблизи диска Солнца. Данный эффект был действительно обнаружен в 1919 году экспедициями, организованными А. Эддингтоном для наблюдений солнечной короны во время солнечных затмений на островах в Тихом океане (см. [17]).

В дальнейшем эти два названных типа эффектов многократно подтверждались наблюдениями в других условиях. Так что справедливость общей теории относительности в масштабах Солнечной системы следует считать твердо установленной. Заметим, что часто называют в качестве третьего подтверждения ОТО наблюдаемый эффект гравитационного красного смещения спектральных линий света испущенного и затем принимаемого на разных высотах. Строго говоря, этот эффект следует трактовать не как новый эффект, а как свидетельство выполнимости принципа соответствия с ньютоновской теорией, т. к. значение красного смещения в обеих теориях предсказывается одинаковым.

В последнее время, уже в XXI столетии был измерен еще один эффект – эффект Шиффа в метрике, создаваемой вращающимся источником (в метрике Керра) – изменение ориентации оси гироскопа, запущенного на круговую орбиту вокруг Земли.

Однако в XX веке главное внимание гравитационистов было сосредоточено на обнаружении иного эффекта, который, как считается, предсказывается ОТО – на детектирование гравитационных волн внеземного происхождения. На их обнаружение возлагались большие надежды. Открытие гравитационных волн сулило широкие перспективы использования нового вида связи, практически не имеющей преград, получение нового канала информации о явлениях в космосе и т. д. Однако огромные затраченные на эти эксперименты средства и усилия многочисленных экспериментальных групп до сих пор так и не увенчались успехом.

Автору повезло участвовать в 3-й Международной гравитационной конференции в Варшаве (1962 г.), на которой Дж. Вебер объявил о начале своих экспериментов по обнаружению гравитационных волн. Затем мы его видели в 1965 году на 4-й Международной гравитационной

конференции в Лондоне, куда он приехал утомленным из-за бессонных ночей, пытаясь на этой конференции объявить об открытии гравитационного излучения внеземного происхождения. Но тогда ему это не удалось сделать. Наконец, мы его видели на 6-й Международной гравитационной конференции в Копенгагене в 1971 году, где Вебер объявил об открытии гравитационного излучения и даже говорил о направлении, откуда оно исходит, и о поляризации излучения. Тогда он ходил с высоко поднятой головой. Многие смотрели на него как на без пяти минут Нобелевского лауреата. Кто-то из российских участников даже предлагал кричать «Ура» Веберу как открывателю гравитационных волн.

Научный мир насторожился, и в ряде лабораторий мира начались работы по проверке результатов Вебера. Ведь физики прекрасно знают, что открытие можно считать сделанным, если оно подтвердится независимыми экспериментами в ряде других лабораторий. Первым на нужный уровень чувствительности вышел В.Б. Брагинский в МГУ имени М.В. Ломоносова, однако эксперимент показал отрицательный результат, — на этом уровне чувствительности гравитационные волны не наблюдались. Затем необходимая чувствительность была достигнута в других лабораториях, причем опять наблюдения дали отрицательный результат. Открытие Вебера оказалось ложным. Коллеги даже шутили: «Вебер не открыл гравитационные волны, зато открыл источники финансирования работ по их поиску».

В 1976 году в Минске состоялась 4-я Всесоюзная гравитационная конференция, на которую приехали представители основных мировых экспериментальных групп по поиску гравитационного излучения. Выступавшие на конференции достаточно полно охарактеризовали сложившуюся на тот момент ситуацию в этой области. Все были согласны с тем, что гравитационное излучение пока не открыто. После одного из заседаний состоялась узкая дружеская встреча физиков-экспериментаторов и нескольких примкнувших к ним теоретиков. Завязался спор, когда будет открыто гравитационное излучение. Мнения разделились. Назывались разные цифры: через три года, через пять лет, через десять лет... Угадавшему правильную дату посулили ящик коньяка. А присутствовавший при этом профессор П. Бергман, сотрудничавший некоторое время с Эйнштейном, сказал: «А я думаю, — никогда!». Об этом автору этих строк рассказывал выступавший в этом споре в качестве рефери профессор М.Ф. Широков, который был полностью согласен с профессором Бергманом.

Отметим, что волны кривизны были предсказаны еще В. Клиффордом до создания ОТО. В своей книге «Здравый смысл точных наук» он писал: «Мы можем мыслить наше пространство как имеющее повсюду приблизительно однородную кривизну, но легкие изменения кривизны могут существовать при переходе от одной точки к другой, в свою очередь изменяясь во времени» [8, с. 46]. Однако следует признать, что до сих пор в рамках ОТО так и не удалось найти достаточно обоснованного критерия волновых решений уравнений Эйнштейна. Его искали многими методами: на основе алгебраической классификации Петрова пространств Эйнштейна, в рамках монадных и диадных методов задания систем отсчета, анализа свойств дифференциальных уравнений и т. д. Сторонники существования гравитационных волн как волн особого, геометрического вида материи, обычно довольствуются следствиями линеаризованной теории гравитации, когда ОТО трактуется как проявление малых отклонений метрики от заранее постулированной фоновой метрики. Это фактически означает отказ от геометрической парадигмы и переход к иной, теоретико-полевой парадигме.

Примечательно, что и сам А. Эйнштейн, одним из первых заговоривший о гравитационных волнах в рамках ОТО, в конце жизни уже серьезно засомневался в их реальности. Об этом он писал в одном из своих писем Максу Борну: «Я вместе с одним молодым сотрудником получил интересный результат относительно того, что не существует волн гравитации, хотя в первом приближении все в этом были уверены. Это свидетельствует о том, что нелинейные общие релятивистские уравнения поля выражают или, наоборот, ограничивают значительно большее, чем об этом думали раньше. Если бы только не было столь гнусно искать строгие решения!» [18].

4. Построение космологии на базе ОТО

Одной из побудительных причин развития исследований в рамках эйнштейновской теории гравитации явилась возможность построения на ее основе теории происхождения и эволюции Вселенной. Ранее этой проблемой занимались в рамках религиозных и философских учений, а тут впервые в истории возникла возможность на основе физической теории приступить к постановке и поиску конкретных решений столь всеохватывающих проблем мироздания. Другими слова-

ми, физикам представилась возможность возвыситься над достижениями мировых философско-религиозных учений! Это не могло не окрылить и не вдохновить многих ученых на исследования глобальных вопросов мироздания на основе точных решений уравнений Эйнштейна.

Однако нельзя забывать, что при описании Вселенной как целого на базе уравнений Эйнштейна производится экстраполяция наших представлений о мире максимально далеко за пределы ее экспериментально изученной области. С позиций здравого смысла, это рискованный шаг. Всякий физик знает, что любая физическая теория имеет ограниченную сферу применимости. Поэтому выход за ее пределы должен производиться с осторожностью, и каждый новый шаг нуждается в тщательной проверке. Это в полной мере относится и к распространению выводов общей теории относительности на Вселенную в целом.

Вспомним слова академика В.А. Фока, который писал: «Вообще любая физическая теория – пусть это будет даже теория тяготения Эйнштейна – имеет предел применимости, и неограниченно экстраполировать ее нельзя. Рано или поздно становится необходимым введение существенно новых физических понятий, сообразных свойствам изучаемых объектов и применяемым средствам их познания, а тогда выявляются и пределы применимости теории, притом возникают новые гносеологические вопросы» [19]. В этой связи следует обратиться к изложению вопросов космологии в его книге «Теория пространства, времени и тяготения» [20]. Во-первых, этот материал занимает в книге довольно скромное место и, во-вторых, он постоянно обращает внимание на необходимость проявления осторожности при описании на основе уравнений Эйнштейна Вселенной в целом.

В этом вопросе с позицией Фока был солидарен профессор Д.Д. Иваненко, который в присутствии автора неоднократно выражал сомнения в правомерности распространения закономерностей ОТО на описание Вселенной в целом, полагая даже, что ОТО справедлива разве что в масштабах галактики.

Но имелась и иная точка зрения, которую, в частности, отстаивал Я.Б. Зельдович: Так, на одной из всесоюзных гравитационных конференций он делал доклад под названием «Неизбежность общей теории относительности». А на 5-й всесоюзной гравитационной конференции в Москве (1981 г.) он утверждал, что ОТО согласуется со всеми опытами. Нет ни одного опыта, противоречащего ОТО, потому что она логически замкнута и удовлетворяет всем разумным требованиям.

Однако понять, до каких пределов экстраполяция выводов ОТО правомерна, не прибегая к ней, невозможно. Об этом следует всегда помнить, обсуждая космологические модели, построенные на базе общей теории относительности. Только обнаружив отклонения от построенных на базе уравнений Эйнштейна космологических моделей можно будет говорить о границах их применимости.

Но что значит описать Вселенную в целом на основе уравнений Эйнштейна? Это означает, что в правую часть уравнений Эйнштейна нужно подставить тензор энергии-импульса всей материи мира: планет, звезд, межзвездной среды и всего прочего. В силу того, что все это точно учесть невозможно, всегда рассматриваются упрощенные модели. В простейших первых моделях, во-первых, предполагалось, что всю материю мира можно представить в виде сплошной среды наподобие пыли, когда в качестве отдельных пылинок выступают не звезды и даже не отдельные галактики, а скопления галактик. Во-вторых, полагалось, что, пренебрегая пекулярными движениями, можно выбрать сопутствующую материи систему отсчета, в которой вся материя заморожена в пространство. В-третьих, полагалось, что такая система отсчета нормальная (без вращения), так что в ней имеет место глобальное расщепление 4-мерного пространства-времени на глобальное пространство и ортогональное ему время. В-четвертых, полагалось, что распределение материи в глобальном пространстве однородно и изотропно.

Одним из первых, кто поставил такую задачу и нашел ее решение, был сам Эйнштейн [21]. В его космологической модели мир представлялся в виде статической (существующей вечно) трехмерной гиперсферы. Чтобы получить этот результат, Эйнштейн должен был ввести в свои уравнения космологическую постоянную. Однако вскоре, в 1922 году А.А. Фридманом были найдены другие космологические решения [22] без использования космологической постоянной. Было показано, что имеются три варианта пространственных сечений: в виде бесконечного гиперболического пространства, описываемого геометрией Лобачевского, бесконечного плоского евклидова пространства и замкнутого эволюционирующего сферического пространства Римана.

Примечательно, что Эйнштейн на первых порах резко отрицательно отнесся к решениям Фридмана, которые соответствовали расширяющимся (эволюционирующим) моделям Вселенной. Однако затем ему пришлось пересмотреть свою позицию и признать справедливость решений Фридмана.

По этому поводу Дж. Уилер писал: «Почему он думал, что Вселенная была и должна существовать вечно, хотя для каждого, кто рос в традициях иудейско-христианских представлений, акт

первоначального творения должен был казаться вполне естественным. Я чрезвычайно благодарен профессору Гансу Кюнгу, обратившему мое внимание на то большое влияние, которое оказал на Эйнштейна пример Спинозы. Почему двадцатичетырехлетний Спиноза был в 1656 г. отлучен в Амстердаме от синагогальной общины? Потому, что он отклонил учение о сотворении мира. В чем была слабость этого учения? Где во всем том "ничто которое предшествовало творению, могли висеть часы, сказавшие Вселенной, когда она должна начать существовать?" [23] Как известно, модель расширяющейся Вселенной на основе решений Фридмана отстаивалась бельгийским католическим священником астрономом и математиком Жоржем Леметром, тесно сотрудничавшим с А. Эддингтоном. Согласно представлениям Леметра, мир уподоблялся некому «космическому яйцу», взорвавшемуся в момент его творения Богом. Известно, что Эддингтон, как и Эйнштейн, с недоверием отнесся к этой модели, поскольку она слишком сильно напоминала христианский догмат творения и, по их первоначальному мнению, была «непроверяемой с физической точки зрения». Однако после открытия Хабблом космологического красного смещения в 1929 г. представления о расширяющейся Вселенной получили широкое признание и сейчас считаются твердо установленным научным фактом.

Отметим, что в восточных мировых религиях, например в даосизме и буддизме, представлена иная точка зрения на мироустройство, согласно которой Вселенная существовала всегда. Первоначальная позиция Эйнштейна фактически соответствовала именно восточной метафизической позиции. В настоящее время некоторые физики пытаются построить физическую модель без начальных и конечных стадий.

С 20-х годов XX века перед физиками-гравитационистами встал вопрос: Какая из фридмановских моделей соответствует реальной Вселенной? В настоящий момент мировое общественное мнение склоняется в пользу бесконечного эволюционирующего евклидова пространственного сечения. Более того, в последнее время широко обсуждается вопрос об ускоренном расширении Вселенной.

Согласно мнению подавляющего большинства современных физиков-гравитационистов (см., например [24]), Вселенная образовалась в результате Большого взрыва, что соответствует положению христианского вероучения о начале (творении) мира.

Исследования такого рода стали доминирующими в конце XX – начале XXI века, когда существенно расширились возможности астрофизических наблюдений. Появились данные, которые можно было трактовать не только как свидетельства расширения Вселенной (таковые были получены уже в конце 20-х годов), но даже и об ускоренном расширении, о реликтовом излучении, о возможной анизотропии и т. д. Стали интенсивно исследоваться гипотезы о существовании во Вселенной «черных дыр» и «кротовых нор».

Но для согласования последних астрофизических данных с выводами общей теории относительности понадобилось ввести гипотезы о существовании «темной энергии» и «темной материи», которые должны составить 96 процентов всей материи во Вселенной. Естественно возникает вопрос: не является ли факт выдвижения подобных гипотез свидетельством ограниченной сферы применимости выводов общей теории относительности? Может быть, настало время для настоячивых поисков оснований новой теории, способной обобщить или даже заменить эйнштейновскую теорию гравитации в столь больших масштабах?

5. Обобщения теории Эйнштейна и проблема геометризации электромагнетизма

Идею Клиффорда о геометризации физики удалось реализовать в рамках общей теории относительности лишь для геометрического описания гравитационного поля. Напомним, что Д. Гильберт, выводя уравнения Эйнштейна, уже ставил задачу построения совместной теории гравитации и электромагнетизма (в варианте Ми). Эйнштейн же на первых порах ограничивался лишь гравитацией. Ряду ведущих исследователей, придерживавшихся идеологии геометрической парадигмы (Г. Вейлю, А. Эддингтону и др.), было видно, что в этом смысле общая теория относительности неполна, – остро ощущалась необходимость геометризации, по крайней мере, еще одного взаимодействия, медленно убывающего с расстоянием, – электромагнитного. Эта идея увлекла и Эйнштейна, и не покидала до последних дней его жизни. Для решения этой проблемы предпринимались настоячивые попытки так обобщить эйнштейновскую теорию гравитации так, чтобы возникающие при этом новые характеристики пространственно-временного многообразия можно было использовать для описания электромагнитного поля.

Попытки Германа Вейля решить эту проблему увенчались важным математическим результатом, сравнимым с открытием первой неевклидовой геометрии в первой трети XIX века, – уже в

1918 году он открыл первую нериманову геометрию (геометрию с неметричностью или с сегментарной кривизной) [25]. Суть этой геометрии состоит в том, что в ней, в отличие от римановой геометрии, векторы (тензоры) при параллельном переносе меняют свою длину. Вейль попытался связать это свойство геометрии с наличием электромагнитного поля. Получилась достаточно любопытная теория, в рамках которой были введены и другие важные для физики понятия, такие как конформные преобразования, тензор Вейля и другие. Однако анализ этой теории показал ее непригодность для реализации поставленной задачи. (Идеи Вейля оказались плодотворными при построении калибровочной теории взаимодействий в теоретико-полевого парадигме.)

Следует отметить, что Вейль использовал частный, так называемый вырожденный случай геометрии с неметричностью, когда обобщенная ковариантная производная от метрического тензора представляется в виде произведения тензора и вектора. Вскоре А. Эддингтоном было показано, что для данной цели можно использовать общий случай геометрии с сегментарной кривизной, однако и это в принципиальном плане не помогло решить данную проблему.

В 1922 году математик Эли Картан сделал другое важное открытие в геометрии, сравнимое с открытием второй неевклидовой геометрии Риманом, – был обнаружен второй вариант неримановой геометрии – с кручением [26]. Он характеризуется антисимметричной частью коэффициентов связности, т. е. к символам Кристоффеля добавляется антисимметричный по двум нижним индексам тензор кручения. В такой геометрии нарушается всем известное из школьной программы правило параллелограмма при сложении векторов.

Известно, что Эйнштейн перепробовал множество вариантов единых теорий гравитации и электромагнетизма. В последние годы жизни с этой целью он исследовал геометрию с несимметричной метрикой [27], когда обобщенный метрический тензор представляется в виде симметричной и антисимметричной частей, где последнюю было предложено отождествить с тензором напряженности электромагнитного поля. Эту теорию можно понимать как специальный случай геометрии с кручением. Однако ни один из этих вариантов не был признан решением проблемы.

Отметим, что Схоутоном на рубеже 20-х – 30-х годов был произведен анализ возможных обобщенных дифференциальных геометрий и было показано, что в самом общем случае такие геометрии характеризуются тремя тензорными величинами: сегментарной кривизной, тензором кручения и третьим схоутоном – разностью коэффициентов связности, определяющих параллельный перенос ковариантных и контравариантных тензоров. Насколько нам известно, третий схоутен практически не использовался в физических исследованиях, вероятно, по той причине, что он существенен в теориях, где отсутствует метрика, которая является ключевым понятием в физике и геометрии.

Нельзя не упомянуть исследования так называемых финслеровых геометрий, в которых метрика определяется не квадратичным выражением, как это принято в римановой геометрии, а более сложными соотношениями, например, кубичными, четвертой степени или с учетом векторов из расслоенного пространства. Начало этим исследованиям положил сам Б. Риман в середине XIX века [28], затем важный шаг в этом направлении был сделан Финслером в 1918 году. С тех пор эти исследования то возрождаются, то затихают. Пока не было предъявлено веских оснований для использования подобных геометрий, тем не менее, ряд авторов надеется на перспективность данных исследований.

Однако наиболее успешным вариантом геометризации электромагнитных взаимодействий оказалась 5-мерная теория Калуцы [29], опирающаяся на 5-мерную риманову геометрию (с определенными условиями на дополнительную пятую координату). В ней электромагнитный векторный потенциал описывается дополнительными (смешанными) компонентами 5-мерного метрического тензора.

В наших работах было показано, что аналогичным образом можно геометрически описать электрослабые и даже сильные взаимодействия, если далее увеличить размерность пространственно-временного многообразия до восьми [30]. Геометризация электрослабых и сильных взаимодействий в рамках многомерия позволила взглянуть под новым углом зрения на ранее построенные в рамках теоретико-полевого парадигмы калибровочные теории взаимодействий.

Важно отметить, что в рамках геометрической парадигмы удается описать лишь бозонные поля переносчиков взаимодействий: электромагнитное поле, поля Z- и W-бозонов, глюоны, – но не описываются фермионные частицы – источники взаимодействий. Их приходится либо вводить вольным образом в правую часть уравнений Эйнштейна (или в лагранжиан теории) или использовать теории с суперсимметриями, где опять-таки фактически вводятся дополнительные размерности, описываемые своеобразными грасмановыми переменными.

В многомерных геометрических моделях физических взаимодействий дополнительные размерности существенно отличаются от четырех измерений, используемых в ОТО, – они компактифицированы, т. е. замкнуты с чрезвычайно малым периодом. Это породило ряд новых принципиальных проблем типа: Сколько нужно использовать дополнительных размерностей? Почему в координатном пространстве «раскрылись» лишь четыре классические размерности, а остальные остались компактифицированными? Что является более первичным: многомерное импульсное пространство или координатное, частично «раскрытое», частично компактифицированное? И т. д.

Нельзя упомянуть ставшие в последнее время модными исследования многомерных теорий, где дополнительные размерности не являются компактифицированными. Эти теории исследуются не на предмет геометрического описания известных видов взаимодействий, а с целью найти какие-то новые физические проявления геометрических теорий.

Постепенно крепнет убеждение, что принципы, заложенные в основания общей теории относительности, а также ее классических обобщений в рамках геометрической парадигмы, за прошедшие годы уже в значительной степени исчерпаны. Тем не менее в работах ряда авторов продолжают попытки найти какие-то новые возможности геометрической парадигмы, не учтенные классиками.

6. Проблема совмещения принципов квантовой теории и общей теории относительности

Другая проблема, над которой напряженно работали физики-теоретики в течение всего XX века (и работают до сих пор) — это проблема квантования гравитации. Трудно согласиться с тем, что две основополагающие теории современной физики никак не связаны друг с другом. Над решением этой проблемы работали А. Эйнштейн, Дж. Уилер, Р. Фейнман, П.А.М. Дирак и многие другие классики теоретической физики прошедшего века [31]. Но никому так и не удалось решить данную проблему. Анализ показывает, что главная причина неудач имеет метафизический характер: дело в том, что общая теория относительности и квантовая теория построены в рамках разных метафизических парадигм. Как уже отмечалось, первая из них (ОТО) сформулирована в рамках геометрической парадигмы, а вторая — в рамках теоретико-полевой.

Напомним, что в основаниях физики следует различать три ключевые категории: пространство-время, частицы и поля переносчиков физических взаимодействий [32]. В XX веке, осознавая это или нет, но фактически пытались построить физическую теорию не на трех, а на двух категориях: на некоей обобщенной, совмещающей в себе две из трех названных и остающейся третьей категории. Так, в геометрической парадигме объединялись в одну обобщенную категорию (искривленного пространства-времени) пространство-время и поля переносчиков взаимодействий, а третья категория частиц (массивной материи) оставалась прежней и писалась в правой части уравнений Эйнштейна. (В ОТО это относилось лишь к гравитации, а в многомерных теориях типа Калуцы в обобщенную категорию многомерного искривленного пространства-времени включались электромагнетизм и другие бозонные поля.)

В теоретико-полевой парадигме, в которой сформулирована квантовая теория поля, объединялись в одну обобщенную категорию полей как частицы, так и поля переносчиков взаимодействий, которые определялись на фоне третьей категории – 4-мерного пространства-времени. Каждая из названных двух парадигм диктует использование своего математического аппарата, свою постановку задач и методы их решения.

Не видя способа как-то объединить эти парадигмы или как-то подняться над ними, исследователи пытались решить проблему квантования гравитации в рамках одной из названных парадигм. Так, А. Эйнштейн, Дж. Уилер, Ю.Б. Румер [33] и некоторые другие пытались это сделать в рамках геометрической парадигмы, тогда как большинство исследователей пробовали это сделать в рамках теоретико-полевой парадигмы. Гравитоны вводились именно в рамках теоретико-полевой парадигмы.

Это главная, можно сказать, -- метафизическая -- причина неудач в решении данной проблемы, а на практике она выливалась в непреодолимые математические трудности в виде нелинейности уравнений Эйнштейна, их общей ковариантности, трудностей выделения динамических степеней свободы и т. д., В физическом плане та же самая метафизическая причина отражалась в том, что физикам пришлось иметь дело не с одной проблемой, а с комплексом из трех неразрывно связанных друг с другом проблем: законов сохранения энергии-импульса в искривленном пространстве-времени, определения гравитационных волн и проблемой квантования гравитации. Дело в том, что при рассмотрении этих проблем во главу угла ставят аналогию с теорией электромагнитного

поля, а последняя была построена в рамках теоретико-полевой парадигмы, принципиально отличающейся от геометрической парадигмы.

Согласно аналогии с электромагнетизмом, гравитационная волна должна обладать энергией, которая передается ей при излучении и воспринимается детектором при ее поглощении. А раз так, то естественно постулировать, что в гравитационных процессах, как и в случае электромагнетизма, имеют место законы сохранения энергии-импульса. Однако оказалось, что в общей теории относительности невозможно корректно определить эти законы сохранения. Отметим, что отсутствие законов сохранения энергии-импульса в ОТО не означает их нарушения. До сих пор никто не смог предъявить хотя бы проект эксперимента, способного показать нарушение законов сохранения. *Любую корректно поставленную задачу в рамках ОТО можно решить, не пользуясь законами сохранения.* Проблемы возникают лишь при попытках решать некорректно поставленные в рамках ОТО задачи, к каковым относятся попытки описания гравитационных волн или квантования гравитации.

После многолетних неудач некоторые исследователи начали высказывать мысль, что для решения данной проблемы недостаточно использовать понятия и закономерности привычных используемых парадигм, — необходимо использовать какие-то новые представления о свойствах физической реальности. Но какие? Ответ на него опять имеет метафизический характер: необходимо перейти к некой новой метафизической парадигме, в рамках которой можно было бы вывести принципы и понятия, из которых бы следовали понятия как квантовой теории, так и общей теории относительности.

Заметим, что здесь пока речь шла о двух метафизических парадигмах, по-разному трактующих три ключевые физические категории. Однако из комбинаций трех категорий можно определить третью метафизическую парадигму — *реляционную*, в которой вместо двух категорий пространства-времени и частиц можно образовать новую обобщенную категорию — отношений между частицами (событиями). Напомним, что именно в рамках идей этой парадигмы строилась специальная теория относительности и, пытаясь ее обобщить, Эйнштейн в русле реляционных идей Маха пришел к созданию общей теории относительности. В связи с этим возникает вопрос, не пора ли опять вернуться к идеям реляционной парадигмы и попытаться на новой основе решить круг проблем современной фундаментальной теоретической физики?!

7. Столетняя история ОТО и геометрической парадигмы

Следует отметить, что наиболее интенсивные и плодотворные исследования в области общей теории относительности и всей геометрической парадигмы происходили в первые примерно полтора десятилетия после создания ОТО. Именно тогда были исследованы главные следствия ОТО в неволевой зоне, построены однородные изотропные космологические модели, подтвержденные открытием космологического красного смещения, открыты неримановы геометрии с неметричностью и с кручением, исследованы их возможные проявления в реальности, вскрыты основные трудности ОТО, над преодолением которых бились физики в течении всего XX века.

В 30-х годах отсутствие новых осязаемых экспериментальных следствий теории и неудачи в попытках геометризации электромагнетизма охладили интерес к геометрической парадигме. Кроме того, в тот период успешно развивались исследования в области квантовой теории поля и физики микромира. Все это способствовало ироничному отношению к геометрическому подходу в физике.

Так, профессор Л. Инфельд в 1962 году, открывая 3-ю Международную гравитационную конференцию в Варшаве, поделился своими воспоминаниями о тех годах: «Во всяком случае, ученые проявили самый большой интерес к этой области (к общей теории относительности — Ю.В.) в двадцатые годы нашего столетия. Зато в 1936 г., когда у меня были непосредственные связи с Эйнштейном в Принстоне, я мог наблюдать почти полное исчезновение этого интереса.

Количество физиков, которые в Принстоне занимались проблемами поля, можно было без труда пересчитать по пальцам одной руки. Я помню, что очень немногие из нас встречались в кабинете покойного профессора Робертсона, а потом эти встречи прекратились. На нас, работавших в области поля, физики других специальностей смотрели исподлобья. Сам Эйнштейн часто мне говорил: «Здесь в Принстоне меня считают старым дураком» Это положение оставалось неизменным почти до смерти Эйнштейна. Теория относительности была не в очень высокой цене на «Западе», на нее кривились и на «Востоке».

Однако положение изменилось коренным образом в последние несколько лет. Двадцать лет тому назад люди считали, что теория относительности завершена и не может уже представить новых

проблем. Внезапное возрождение общей теории относительности и новый интерес, проявляемый к ней многими молодыми людьми, вызван несколькими причинами» [34, с. 69-70].

В качестве таких причин Инфельд назвал новые достижения в исследовании математической структуры ОТО, надежды на обнаружение гравитационных волн, новые экспериментальные возможности, позволяющие подтвердить справедливость ОТО: использование эффекта Мессбауэра, искусственные спутники Земли и т. д.

Действительно, в 60-е годы во всем мире возрос интерес к проблемам ОТО. После успехов в области ядерных технологий, кибернетики и запуска искусственных спутников ожидалось, что и дальше наука столь стремительно будет развиваться и приводить к новым еще более значительным техническим приложениям. Ожидалось, что этого можно будет ожидать от теории гравитации. В 1959 году во время 2-й Международной гравитационной конференции в Париже был создан Международный гравитационный комитет, и стали регулярно, раз в три года, созываться международные гравитационные конференции, продолжающиеся до сих пор.

Резкое изменение отношения к теории гравитации отмечалось и в нашей стране. В 1961 году, после долгого периода критического отношения к теории Эйнштейна как к «идеалистической буржуазной науке» на базе физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова была созвана 1-я Советская гравитационная конференция, а затем в 1962 году была образована секция гравитации Минвуза СССР, призванная координировать в стране гравитационные исследования. С тех пор в нашей стране стали более или менее регулярно проводиться Всесоюзные гравитационные конференции. В 1988 году во время проведения 7-й Всесоюзной гравитационной конференции в Ереване (Цахкадзоре) было образовано сначала Всесоюзное, а с 1992 года Российское гравитационное общество, которое продолжило деятельность прекратившей к тому времени существование секции гравитации при Минвузе. Этим обществом стали регулярно, раз в три года проводиться Российские гравитационные конференции (с широким приглашением иностранных участников), в перерывах организовывались совещания по отдельным проблемам ОТО, был организован и успешно функционирует журнал "Gravitation and Cosmology", на физфаке МГУ регулярно (еженедельно) работает семинар «Геометрия и физика». (Многие моменты истории развития гравитационных исследований в нашей стране и за рубежом изложены в серии из 5 книг автора «Между физикой и метафизикой» [35].)

За прошедшие с начала 60-х годов пол века во всем мире и в нашей стране были получены первоклассные теоретические результаты в виде новых точных решений уравнений Эйнштейна, исследований следствий алгебраической классификации Петрова пространств Эйнштейна, развития теории систем отсчета в виде монадных, диадных и тетрадных методов, построения вариантов многомерных объединенных теорий физических взаимодействий, исследований вариантов космологических моделей Вселенной и т. д. При этом так и не были решены указанные выше принципиальные проблемы типа квантования гравитации, законов сохранения и т. д.

К сожалению, следует признать, что ожидаемых прикладных результатов от теоретических исследований в области ОТО за прошедшие пол столетия после всплеска интереса к теории гравитации было получено немного. К несомненным достижениям следует отнести учет общерелятивистских поправок в уравнения движения при сверхдальних запусках космических аппаратов. Большие усилия по обнаружению гравитационных волн (имеются в виду прямые эксперименты, а не косвенные, претендующие на открытие) так и не увенчались успехом.

В последнее время центр интересов в данной области фундаментальной физики сместился к исследованиям релятивистской астрофизики и космологии, где имеются осязаемые результаты, предоставляющие возможность корректировать их описание в рамках общей теории относительности (и ее обобщений). Это относится и к описанным выше уточнениям космологических моделей на базе ОТО.

8. Заключение

Автору данной статьи, наблюдавшему и активно участвовавшему в развитии отечественных исследований в области общей теории относительности (и геометрической парадигмы) на протяжении более 50 лет, с момента организации и проведения 1-й Советской гравитационной конференции (1961 г.), представляется, что за 100 лет существования ОТО и геометрической парадигмы ее основополагающие идеи и принципы к настоящему времени уже в значительной степени проанализированы и выработаны. Настало время более внимательно отнестись к новым идеям о природе пространства-времени и о сущности физических взаимодействий.

Поскольку общая теория относительности справедливо признается как наиболее далеко развитая теория пространства-времени, то на конференциях и на других гравитационных форумах обычно рассматриваются идеи, касающиеся изменений общепринятых свойств классического пространства и времени не только в рамках геометрической, но также и в других парадигмах: теоретико-полевой и реляционной. Высказывалось немало новых идей. Среди них были различные варианты квантования пространства и времени, замена классических понятий на операторы, использование алгебры Галуа, и т. д. В последнее время большое внимание уделялось проблемам построения суперсимметричных теорий (суперструн, супергравитации), правда и они к настоящему времени не оправдали возлагавшиеся надежды.

На каком из вариантов остановиться? Этот вопрос обсуждался рядом авторов. Например, в книге Э. Шмутцера «Теория относительности – современное представление. Путь к единству физики» приводится перечень идей, достойных особого внимания. Завершается перечень словами: «Таким образом, возможно, что вместо господствующей уже целое столетие теории близкодействия (отражаемой дифференциальными уравнениями) на более высоком уровне возродится теория дальнего действия, или же мы будем поражены новыми открытиями, о которых сейчас трудно даже догадываться» [36, с. 220].

Отметим, что и сам А. Эйнштейн в конце жизни высказывал сомнения относительно состоятельности общепринятых идей теории поля (а тем самым и всего геометрического подхода). Так, в 1954 году в письме к Бессо он писал: «Мне кажется вполне вероятным, что физику нельзя построить на полевой концепции, т. е. на непрерывных структурах. В таком случае ничего не останется от всего моего воздушного замка, включая теорию гравитации, и от остальной физики» (Цит. по статье [37, с. 347].).

Подобная точка зрения высказывалась рядом физиков-теоретиков. В последнее время она звучит все чаще. Может быть, А. Эйнштейн после создания общей теории относительности зря поспешил отречься от реляционных взглядов Э. Маха? Ведь они послужили ему путеводной звездой при создании этой теории. А спустя несколько десятилетий эти же реляционные идеи привели Фейнмана к открытиям в квантовой теории поля, за которые ему была присуждена Нобелевская премия. Это он сам отметил в своей нобелевской лекции, об этом он также неоднократно писал в статьях, например: «Теорию электромагнетизма, развитую Уилером и Фейнманом (в рамках прямого межчастичного взаимодействия – Ю.В.) можно сформулировать в виде принципа наименьшего действия, содержащего только координаты частиц. Именно попытка проквантовать эту теорию, не обращаясь к представлению о поле, и привела к изложенной здесь формулировке квантовой механики [38, с. 202].

Наконец, отметим, что в работах ряда авторов уже сформулирована фундаментальная проблема *вывода классических пространственно-временных представлений из неких более глубоких принципов, присущих физике микромира, вместо того, чтобы его продолжать подкладывать в виде априорно заданного фона под все наши физические построения (уравнения, лагранжианы и т. д.)*. Анализ этой проблемы показывает, что ее решить удастся лишь в рамках реляционной парадигмы [39].

В заключение автор выражает искреннюю благодарность профессору Вл.П. Визгину, ознакомившемуся с данной статьей и сделавшему ряд ценных замечаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Г. Минковский. Пространство и время // Сб. «Принцип относительности», - М.: Атомиздат, 1973.
2. Г.В. Лейбниц. Переписка с Кларком // Сочинения в 4 томах. Том 1. - М.: Мысль, 1982.
3. Э. Мах. Познание и заблуждение. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003, с. 421.
4. А. Эйнштейн. Эрнст Мах // Собр. научн. трудов. Т.4. - М.: Наука, 1967, с. 27-32.
5. А. Эйнштейн. Принципиальное содержание общей теории относительности // Собр. научн. трудов. Т.1. - М.: Наука, 1965, с. 613-615.
6. А. Эйнштейн. Автобиографические заметки // Собр. научн. трудов. Т.4. - М.: Наука, 1967, с. 259-293.
7. А. Эйнштейн. Относительность и проблема пространства // Собр. научн. трудов. Т.2. - М.: Наука, 1966, с. 744-759.
8. В. Клиффорд. Здравый смысл точных наук // См. Сб. «Альберт Эйнштейн и теория гравитации. - М.: Мир, 1979, с. 36-37.
9. Б.Г. Кузнецов. Эйнштейн. - М.: Изд-во АН СССР, 1962,

10. Сборник «Об основаниях геометрии. Сборник классических работ по геометрии Лобачевского и развитию ее идей». – М.: Гос изд-во технико-теоретич. Лит-ры, 1956.
11. А. Эйнштейн, М. Гроссман. Проект обобщенной теории относительности и теории тяготения // Собр. научн. Трудов. Т.1. – М.: Наука, 1965, с.227-266.
12. А. Эйнштейн. Уравнения гравитационного поля (1915) // Собр. научн. трудов. Т.1. – М.: Наука, 1965, с. 448-451.
13. Д. Гильберт. Основания физики. (Первое сообщение) (1915) // Сб. «Альберт Эйнштейн и теория гравитации». – М.: Мир, 1979, с.133-145.
14. Вл.П. Визгин. Об открытии уравнений гравитации Эйнштейном и Гильбертом // УФН, 2001, т. 171, №12, с. 1347-1363.
15. Вл.П. Визгин. Эйнштейн и математики (к 100-летию создания общей теории относительности) // Метафизика, 2015, №3 (17), с. 135-156.
16. А. Эйнштейн. Объяснение движения перигелия Меркурия в общей теории относительности (1915) // Собр. научн. трудов. Т.1. – М.: Наука, 1965, с.439-447..
17. Сборник «Альберт Эйнштейн и теория гравитации». – М.: Мир, 1979, с. 564-570.
18. А. Эйнштейн. Переписка А. Эйнштейна и М. Борна. – М.: «Эйнштейновский сборник 1972», Наука, 1974, с. 26.
19. В.А. Фок. Об основных принципах теории тяготения Эйнштейна // Сб. «Современные проблемы гравитации». – Тбилиси: Изд-во Тбил. гос. ун-та, 1967, с. 6.
20. В.А. Фок. Теория пространства, времени и тяготения - М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит-ры, 1961.
21. А. Эйнштейн. Вопросы космологии и общая теория относительности // Сб. «Альберт Эйнштейн и теория гравитации». – М.: Мир, 1979, с.287-298.
22. А.А. Фридман. О кривизне пространства // Сб. «Альберт Эйнштейн и теория гравитации». – М.: Мир, 1979, с.320-329.
23. Дж.А. Уилер. Эйнштейн: что он хотел? // Сб. «Проблемы физики: классика и современность». – М.: Мир, 1982, с. 94-95.
24. А.М. Черепашук, А.Д. Чернин Вселенная, жизнь, черные дыры. – Фрязино: Изд-во «Вен-2», 2003.
25. Г. Вейль. Гравитация и электричество // Сб. «Альберт Эйнштейн и теория гравитации». – М.: Мир, 1979, с.513-528.
26. Э. Картан. Об обобщении понятия римановой кривизны и о пространствах с кручением // Сб. «Альберт Эйнштейн и теория гравитации». – М.: Мир, 1979, с.535-537.
27. А. Эйнштейн. Автобиографические заметки // Собр. научн. Трудов. Т.4. – М.: Наука, 1967, с.259-293.
28. Б. Риман. О гипотезах, лежащих в основаниях геометрии // Сб. «Об основаниях геометрии» - М.: Гос. изд-во Технико-теоретической лит-ры, 1956, с.309-342.
29. Т. Калуца. К проблеме единства физики // Сб. «Альберт Эйнштейн и теория гравитации». – М.: Мир, 1979, с. 529-534.
30. Ю.С. Владимиров. Геометрофизика. (Второе издание) – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010.
31. Ю.С. Владимиров. Квантовая теория гравитации // «Эйнштейновский сборник 1972». – М.: Наука, 1974, с.280-340.
32. Ю.С. Владимиров. Метафизика. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2002 – первое издание; 2009 – второе издание.
33. Ю.Б. Румер. Исследования по 5-оптике. М.: ГИТТЛ, 1956.
34. Ю.С. Владимиров. Между физикой и метафизикой. Книга вторая «По пути Клиффорда-Эйнштейна». – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011.
35. Ю.С. Владимиров. Между физикой и метафизикой. Книги третья и четвертая. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011, 2012.
36. Э. Шмутцер. Теория относительности – современное представление. Путь к единству физики. – М.: Мир, 1981.
37. В.П. Визгин, И.Ю. Кобзарев, Б.Е. Явелов. Научное творчество и жизнь Альберта Эйнштейна. // «Эйнштейновский сборник 1984-1985». – М.: Наука, 1988, с.301-350.
38. Р. Фейнман. Пространственно-временной подход к нерелятивистской квантовой механике // Сб. «Вопросы причинности в квантовой механике». – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1955, с.302.

39. Ю.С. Владимиров. Проблема вывода классического пространства-времени из закономерностей физики микромира // *Метафизика*, 2015, №2 (16), с.21-27.

Поступила в редакцию 01.12.2015

Владимиров Юрий Сергеевич – доктор физ.-мат. наук, профессор; Московский Государственный Университет им. М. В. Ломоносова, физический факультет, кафедра теоретической физики. Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2; Институт гравитации и космологии РУДН
E-mail: yusvlad@rambler.ru

Yu. S. Vladimirov

Special and general relativity: from creation up to now

Keywords: special and general relativity, space-time, gravitation, electromagnetism, cosmology, quantum gravity, relational paradigm.

PACS: 04.20-q; 04.20.Cv.; 04.50.Kd

Due to the double anniversary of the theory of relativity in 2015, the main ideas of special and general relativity are discussed. An analysis of general relativity and all geometric approach (paradigm) is given. The central problems of this approach are discussed: experimental problems, application to the description of the Universe as a whole, attempts to geometrize electromagnetism, unification of the principles of general relativity and quantum theory. Attempts to resolve them in the twentieth century are characterized.

Received 01.12.2015

Vladimirov Yury Sergeevich, Professor, Department of Physics, Lomonosov State University, Moscow, Russia; Institute of Gravitation and Cosmology. Peoples' Friendship University of Russia
E-mail: yusvlad@rambler.ru