

ТЕОРИЯ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ

А. А. ЛОГУНОВ

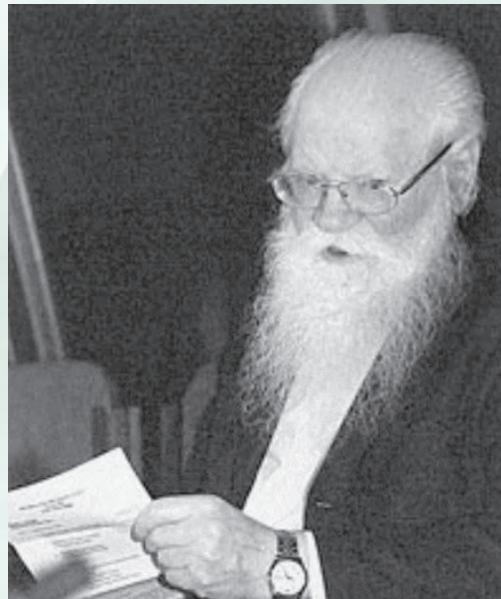
В основе релятивистской теории гравитации (РТГ) лежит гипотеза о том, что гравитационное поле, как и другие физические поля, развивается в пространстве Минковского, а его источником является сохраняющийся тензор энергии – импульса материи, включая и само гравитационное поле. Такой подход позволяет однозначно построить теорию гравитационного поля как калибровочную теорию. При этом возникает эффективное риманово пространство, которое в буквальном смысле имеет полевую природу.

В общей теории относительности (ОТО) Эйнштейна пространство предполагается римановым из-за наличия вещества, а поэтому гравитация рассматривается как следствие искривленности пространства–времени.

В РТГ гравитационное поле обладает спинами 2 и 0 и является физическим полем в духе Фарадея–Максвелла. Полная система уравнений РТГ непосредственно следует из принципа наименьшего действия. Поскольку все физические поля развиваются в пространстве Минковского, в РТГ строго выполняются фундаментальные физические принципы — интегральные законы сохранения энергии (импульса и момента количества движения). В теории реализуется принцип Маха: инерциальная система определяется распределением материи. Ускорение, в отличие от ОТО, имеет абсолютный смысл. Силы инерции и силы гравитации разделены, и они имеют разную природу. Теория, в отличие от ОТО, однозначно объясняет результаты всех гравитационных эффектов в Солнечной системе.

ОТО Эйнштейна не удовлетворяет принципу соответствия, не объясняет равенство инертной и активной гравитационной масс и не дает однозначного предсказания для гравитационных эффектов. В ней отсутствуют обычные законы сохранения энергии — импульса и момента количества движения материи.

Следует особо отметить, что известное постニュтоновское приближение удовлетворяет принципу соответствия, однозначно описывает гра-



А. А. Логунов

витационные эффекты в Солнечной системе, а также устанавливает равенство инертной и активной гравитационной масс. Однако оно не является однозначным следствием уравнений ОТО, поскольку при его выводе используются дополнительные предположения, не следующие из теории, т. е. совершается выход за пределы ОТО, который основывается на представлении гравитационного поля как физического поля, хотя в ОТО таковым оно не является. Поэтому это приближение нельзя считать однозначным следствием уравнений ОТО. Оно, скорее, угадано, чем получено из теории, тогда как, согласно РТГ, постニュтоновское приближение однозначно следует из уравнений теории. Принципиальные изменения РТГ вносит в характер развития Вселенной и коллапс больших масс.

При анализе развития однородной и изотропной Вселенной РТГ приводит к выводу, что Вселенная бесконечна и она «плоская». Ее развитие идет циклически от некоторой максимальной плотности до минимальной и т. д. Таким образом, никакого Большого точечного взрыва в прошлом не было. Было состояние с большой плотностью и высокой температурой в каждой точке пространства.

© А. А. Логунов. Теория гравитационного поля.— М.: Наука, 2001

Согласно РТГ, так называемое космологическое «расширение» Вселенной, наблюдаемое по красному смещению, объясняется изменением гравитационного поля во времени, а не относительным движением — разбеганием галактик, которого нет. Вещество во Вселенной находится в состоянии покоя относительно инерциальной системы координат. Пекулярные скорости галактик относительно инерциальной системы координат возникли из-за некоторой структуры неоднородности распределения вещества в период, когда Вселенная стала прозрачной. Это означает, что в прошлом расстояние между галактиками никогда не было равным нулю. Теория предсказывает существование во Вселенной большой скрытой массы «темной материи». Согласно РТГ, «черные дыры» невозможны: коллапсирующая звезда не может уйти под свой гравитационный радиус. Объекты больших масс могут существовать, и характеризуются они не только массой, но и распределением плотности вещества, поскольку, согласно ОТО, объекты с массой больше трех масс Солнца превращаются на заключительной стадии эволюции в «черные дыры», то обычно, когда обнаруживают объект с большой массой, его стараются отнести к «черным дырам». Так как предсказания относительно поведения больших масс РТГ принципиально отличаются от предсказаний ОТО, то для проверки выводов теории необходимы более детальные данные наблюдений. Например, в РТГ сферически-симметричная акреция вещества на тело большой массы, находящееся на заключительной стадии эволюции (когда ядерные ресурсы исчерпаны), будет сопровождаться значительным энерговыделением из-за падения вещества на поверхность тела. Тогда как в ОТО при сферически-симметричной акреции вещества на «черную дыру» энерговыделение будет крайне малым, поскольку падающее вещество уносит энергию в «черную дыру». Данные наблюдений за такими объектами могли бы дать ответ: существуют ли в природе «черные дыры». Полевые представления о гравитации с необходимостью требуют введения массы покоя гравитона, которая может быть определена по данным наблюдений: «постоянной» Хаббла и параметру замедления q . Согласно теории, параметр q в настоящее время может быть только положительным, т. е. имеет место замедление «расширения» Вселенной, а не ускорение. Поэтому последние сведения об ускорении «расширения» необходимо тщательно проверить, поскольку выводы теории о «замедлении» след-

дут из общих физических принципов, упомянутых выше.

Поскольку РТГ строится на основе специальной теории относительности (СТО), мы остановимся на последней более подробно, при этом рассмотрим подход Анри Пуанкаре, как и подход Альберта Эйнштейна. Такой анализ позволит глубже понять различие этих подходов и даст возможность сформулировать суть теории относительности.

Пуанкаре, анализируя преобразования Лоренца, показал, что эти преобразования вместе со всеми пространственными вращениями образуют группу, которая не изменяет уравнений электродинамики. Ричард Фейнман об этом писал: «Именно Пуанкаре предложил исследовать, что можно делать с уравнениями, не меняя при этом их вида. Именно ему принадлежит идея обратить внимание на свойства симметрии физических законов» (Фейнман Р. Характер физических законов. — М.: Мир, 1968. С. 97).

Пуанкаре не ограничился только электродинамикой, он открыл уравнения релятивистской механики и распространил преобразования Лоренца на все силы природы. Открытие группы, которую Пуанкаре назвал группой Лоренца, позволило ему ввести четырехмерное пространство–время с инвариантом, названное впоследствии интервалом

$$d\sigma^2 = (dX^0)^2 - (dX^1)^2 - (dX^2)^2 - (dX^3)^2.$$

Именно отсюда совершенно очевидно, что время и пространственная длина относительны.

Позднее развел теорию в этом направлении Герман Минковский, введя понятия времениподобных и пространственноподобных интервалов. Точно следуя А. Пуанкаре и Г. Минковскому, суть теории относительности можно сформулировать таким образом: все физические явления протекают в пространстве–времени, геометрия которого псевдоевклидова и определяется интервалом (α). При этом важно подчеркнуть, что геометрия пространства–времени отражает динамические свойства материи, которые делают ее универсальной.

С точки зрения истории, следует отметить, что А. Пуанкаре в ранних работах («Измерение времени», «Настоящее и будущее математической физики») подробно описал вопросы постоянства скорости света, одновременности событий в разных точках пространства путем синхронизации часов с помощью светового сигнала. В дальнейшем, опираясь на принцип относительности, ко-

торый он сформулировал в 1904 г. для всех физических явлений, а также на работу Г. Лоренца, опубликованную в том же году, А. Пуанкаре в 1905 г. открыл группу преобразований, назвав ее группой Лоренца. Это позволило ему дать по сути следующую точную формулировку теории относительности: уравнения физических процессов должны быть инвариантными относительно группы Лоренца. Именно такая формулировка появилась у А. Эйнштейна в 1948 г.: «С помощью преобразования Лоренца специальный принцип относительности может быть сформулирован следующим образом: законы природы инвариантны относительно преобразования Лоренца (т. е. закон природы не должен измениться, если отнести его к новой инерциальной системе при помощи преобразования Лоренца для x, y, z, t)» (А. Эйнштейн. Собрание научных трудов. — М.: Наука, 1966. Т. II. Ст. 133. С. 660).

Наличие группы координатно-временных преобразований означает, что существует бесконечный набор эквивалентных (инерциальных) координатных систем, связанных преобразованиями Лоренца. Из инвариантности уравнений следует, что физические уравнения в системах координат x и x' , связанных преобразованиями Лоренца, одинаковы. Но это означает, что любое явление, описываемое как в системе координат x , так и системе x' , при одинаковых условиях даст тождественные результаты, т. е. принцип относительности trivialно выполняется. Некоторые, даже крупные, физики это поняли с трудом, а другие так и не поняли. В этом нет ничего странного, ведь любое изучение требует определенного профессионализма. Удивительно другое: свое непонимание или трудность понимания, испытанную ими, они пытаются объяснить тем, что якобы А. Пуанкаре «не сделал решающего шага», «до конца не дошел». Но эти высказывания характеризуют не уровень выдающихся достижений А. Пуанкаре по теории относительности, а их собственный уровень понимания проблемы.

Именно по этому поводу В. Паули в 1955 г., в связи с 50-летием теории относительности, писал: «И Эйнштейн, и Пуанкаре опирались на подготовительные работы Г. А. Лоренца, весьма близко подошедшего к окончательному результату, но не сумевшего сделать последний решающий шаг. В совпадении результатов, полученных независимо друг от друга Эйнштейном и Пуанкаре, я усматриваю глубокий смысл в гармонии математического метода и анализа, проводимого с помощью мысленных экспериментов, опирающихся на всю совокупность данных физическо-

го опыта» (В. Паули. Физические очерки. — М.: Наука, 1975. С. 189.).

Детально изучая инварианты группы Лоренца, Пуанкаре открыл псевдоевклидову геометрию пространства–времени. Именно на этой основе он установил четырехмерность физических величин: силы, скорости, импульса, тока. Первая краткая работа Пуанкаре появилась в докладах Французской академии наук еще до того, как была направлена в печать работа Эйнштейна. Она содержала точное и строгое описание решения проблемы электродинамики движущихся тел и в то же время распространение преобразования Лоренца на все силы природы, какого бы происхождения они ни были. Очень часто многие историки, да и физики обсуждают вопросы приоритета. По этому вопросу правильная оценка дана академиками В. Л. Гинзбургом и Я. Б. Зельдовичем, которые в 1967 г. писали: «Например, что бы человек ни сделал сам, он не может претендовать на приоритет, если затем выясняется, что тот же результат получен ранее другими» (В. Л. Гинзбург, Я. Б. Зельдович. Знакомый и незнакомый Зельдович. — М.: Наука, 1993. С. 88).

А. Эйнштейн шел к теории относительности по пути анализа понятия одновременности и синхронизации часов, находящихся в разных точках пространства, используя принцип относительности и опираясь на принцип постоянства скорости света: «Каждый луч света движется в «покоящейся» системе координат с определенной скоростью V , независимо от того, испускается ли этот луч света покоящимся или движущимся телом». Но сформулированное им положение нельзя рассматривать как принцип, поскольку оно предполагает определенный выбор координат, а ведь физический принцип не должен зависеть от способа выбора координатной системы. Фактически А. Эйнштейн, по существу, точно следовал работам А. Пуанкаре. Однако при таком подходе невозможно прийти к неинерциальным системам координат, так как в них нельзя пользоваться синхронизацией часов, поэтому теряет смысл понятие одновременности, да и скорость света нельзя считать постоянной.

В ускоренной системе координат собственное время $d\tau$,

$$d\sigma^2 = d\tau^2 - s_{ik}dx^k,$$

$$d\tau = \frac{\gamma_{0\alpha} dx^\alpha}{\sqrt{\gamma_{00}}},$$

$$s_{ik} = -\gamma_{ik} + \frac{\gamma_{0i}\gamma_{0k}}{\gamma_{00}},$$

не является полным дифференциалом, а поэтому синхронизация часов, находящихся в разных точках пространства, зависит от пути синхронизации. Это означает, что такое понятие для ускоренных систем координат неприменимо. Следует подчеркнуть, что координаты в выражении сами по себе не имеют метрического смысла. Физически измеряемые величины необходимо строить с помощью координат и метрических коэффициентов $g_{\mu\nu}$. Но все это в СТО долгое время не было понятно, поскольку обычно следовали подходу Эйнштейна, а не Пуанкаре и Минковского. Таким образом, исходные положения Эйнштейна имели сугубо ограниченный частный характер, хотя, может быть, они и создавали иллюзию простоты. Именно поэтому А. Эйнштейн даже в 1913 г. писал: «В обычной теории относительности допускаются только линейные ортогональные преобразования» (А. Эйнштейн. Собрание научных трудов. — М.: Наука, 1965. Т. I. Ст. 21. С. 232). Или немного позднее в том же году он пишет: «В первоначальной теории относительности независимость физических уравнений от специального выбора системы отсчета основывается на постулировании фундаментального инварианта $ds^2 = \sum dx_i^2$, а теперь речь идет о том, чтобы построить теорию (имеется в виду общая теория относительности. — Прим. авт.), в которой роль фундаментального инварианта играет линейный элемент общего вида

$$ds^2 = \sum_{ik} g_{ik} dx^i dx^k.$$

Аналогичное утверждение А. Эйнштейн высказывал и в 1930 г.: «В специальной теории относительности разрешаются только такие изменения координат (преобразования), что и в новых координатных величинах ds^2 (фундаментальный инвариант) имеет вид суммы квадратов дифференциалов новых координат. Такие преобразования называются преобразованиями Лоренца» (А. Эйнштейн. Собрание научных трудов. — М.: Наука, 1966. Т. II. Ст. 95. С. 281).

Отсюда следует, что подход А. Эйнштейна не привел его к представлению о псевдоевклидовой геометрии пространства–времени. Сравнивая подходы Пуанкаре и Эйнштейна к построению СТО, видим, что подход Пуанкаре более глубокий и общий, поскольку именно он определил псевдоевклидову структуру пространства–времени.

Подход Эйнштейна существенно сужал рамки СТО, а поэтому в течение весьма долгого времени считалось, что СТО справедлива только в инерциальных системах координат. При этом пространство Минковского рассматривалось как некоторая полезная геометрическая интерпретация

основ СТО в подходе Эйнштейна. Переидем теперь к гравитации. А. Пуанкаре в 1905 г. писал, что «силы любого происхождения, и в частности силы тяготения, ведут себя при поступательном движении (или, если угодно, при преобразованиях Лоренца) совершенно так же, как электромагнитные силы» (А. Пуанкаре. Специальный принцип относительности. — М.: Атомиздат, 1973. С. 152.). Именно по этому пути мы и будем следовать.

Эйнштейн, обратив внимание на равенство инертной и гравитационной масс, пришел к убеждению, что силы инерции и гравитации родственны, поскольку их действие не зависит от массы тела. В 1913 г. он сделал вывод, что если в выражение (a) ввести «новые координаты x_1, x_2, x_3, x_4 при помощи произвольной подстановки, то относительно новой координатной системы движение точки будет происходить согласно уравнению

$$\delta \{ \int ds \} = 0, \text{ причем } ds^2 = \sum_{\mu\nu} g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu,$$

И далее он отмечал: «В новой координатной системе движение материальной точки определяется величинами $g_{\mu\nu}$, которые в соответствии с предыдущими параграфами следует понимать как составляющие гравитационного поля, как только мы захотим рассматривать эту новую систему “покоящейся”» (А. Эйнштейн. Собрание научных трудов. — М.: Наука, 1965. Т. I. Ст. 23. С. 286).

Такое отождествление метрического поля, полученное из (a) с помощью координатных преобразований, с гравитационным полем не имеет никаких физических оснований, поскольку эти преобразования координат не выходят за рамки псевдоевклидовой геометрии. С нашей точки зрения недопустимо считать такое метрическое поле гравитационным полем, поскольку это противоречит самой сущности понятия поля как физической реальности. Поэтому нельзя согласиться со следующими рассуждениями А. Эйнштейна: «По отношению к системе K' гравитационное поле «существует» в том же самом смысле, как и всякая другая физическая величина, которая может быть определена в некоторой системе координат, несмотря на то, что не существует в системе K . Здесь нет ничего странного, и это легко доказать следующим примером, заимствованным из классической механики. Никто не сомневается в «реальности» кинетической энергии, так как иначе пришлось бы отрицать энергию вообще. Однако ясно, что кинетическая энергия тел зависит

от состояния движения координатной системы: подходящим выбором последней можно, очевидно, сделать так, что в некоторый определенный момент кинетическая энергия поступательного движения одного тела примет наперед заданное положительное или нулевое значение. В специальном случае, при одинаково направленных и равных скоростях всех масс, можно подходящим выбором координатной системы сделать общую кинетическую энергию равной нулю. Аналогия, на мой взгляд, полная» (А. Эйнштейн. Собрание научных трудов. — М.: Наука, 1965. Т. I. Ст. 46. С. 620).

А. Эйнштейн, как мы видим, отказался от концепции классического поля Фарадея—Максвелла, обладающего плотностью энергии-импульса, в применении к гравитационному полю. Этот путь и привел его к построению ОТО, к нелокализуемости гравитационного поля. Если же рассматривать гравитационное поле как физическое поле, то оно, как и все физические поля, характеризуется тензором энергии-импульса $t^{\mu\nu}$. Если в какой либо системе координат, например, K' , гравитационное поле существует, то это означает, что некоторые компоненты (или все) тензора $t^{\mu\nu}$ отличны от нуля. Путем преобразования координат тензор $t^{\mu\nu}$ нельзя обратить в нуль, т. е. если гравитационное поле существует, то это физическая реальность, и ее нельзя уничтожить выбором системы координат. Сравнивать такое гравитационное поле с кинетической энергией неправомерно, так как последняя не характеризуется ковариантной величиной. Следует отметить, что данное сравнение недопустимо и в ОТО, поскольку гравитационное поле в этой теории характеризуется тензором кривизны Римана. Если он отличен от нуля, гравитационное поле существует, и его нельзя уничтожить выбором системы координат даже локально.

Ускоренные системы координат сыграли в исследованиях А. Эйнштейна важную эвристическую роль, хотя они и не имеют никакого отношения к сути ОТО. Отождествив ускоренные системы координат с гравитационным полем, А. Эйнштейн пришел к метрическому тензору пространства—времени как основной характеристике гравитационного поля, но метрический тензор отражает не только собственные свойства геометрии, но и выбор координатной системы. На этом пути появляется возможность объяснить силу гравитации кинематически, сведя ее к силе инерции, но при этом приходится отказаться от гравитационного поля, как физического поля. «Гравитационные поля, — писал А. Эйнштейн

в 1918 г., — можно задавать, не вводя направлений и плотности энергии» (А. Эйнштейн. Собрание научных трудов. — М.: Наука, 1965. Т. I. Ст. 47. С. 627). Но это очень большая потеря и с ней нельзя согласиться. Однако, как мы увидим, при построении РТГ этой потери можно избежать.

Удивительно, но А. Эйнштейн даже в 1933 г. писал: «В специальной теории относительности, как показал Г. Минковский, эта метрика была квазивклидовой, т. е. квадрат «длины» ds линейного элемента представлял собой определенную квадратичную функцию дифференциалов координат. Если же вводятся другие координаты с помощью нелинейного преобразования, то ds^2 останется однородной функцией дифференциалов координат, но коэффициенты этой функции $g_{\mu\nu}$ будут уже не постоянными, а некоторыми функциями координат. Математически это означает, что физическое (четырехмерное) пространство обладает римановой метрикой» (А. Эйнштейн. Собрание научных трудов. — М.: Наука, 1966. Т. II. Ст. 110. С. 405).

Это, конечно, правильно, ибо преобразованиями координат невозможно превратить псевдоевклидову метрику в риманову. Но главное здесь не в этом, а в том, что именно этим путем, благодаря глубокой интуиции, А. Эйнштейн пришел к необходимости введения именно риманова пространства, считая, что метрический тензор этого пространства $g_{\mu\nu}$ описывает гравитацию. Так был, по существу, открыт тензорный характер гравитации. Единство римановой метрики и гравитации является основным принципом общей теории относительности. В. А. Фок об этом принципе писал, что «он и составляет сущность теории тяготения Эйнштейна» (В. А. Фок. Теория пространства, времени и тяготения. — М.: Гостехиздат, 1961. С. 308). Однако с общей точки зрения оставался неясным вопрос: почему надо связать гравитацию именно с римановым пространством, а не с каким-то другим. Введение риманова пространства позволило использовать скалярную кривизну R как лагранжеву функцию и с помощью принципа наименьшего действия получить уравнения Гильберта — Эйнштейна. Так завершилось построение общей теории относительности Эйнштейна. При этом, как особенно подчеркивал Дж. Синг, «в теории Эйнштейна в зависимости от того, отличен от нуля тензор Римана или равен нулю, гравитационное поле присутствует или отсутствует. Это свойство абсолютно, оно никак не связано с мировой линией какого-то наблюдателя» (Дж. Синг. Общая

теория относительности. — М.: Изд-во Иностр. лит., 1963. С. 9).

Однако в ОТО возникли трудности с законами сохранения энергии-импульса и момента количества движения. Д. Гильберт по этому поводу писал: «Я утверждаю, что для общей теории относительности, т. е. в случае общей инвариантности гамильтоновой функции, уравнений энергии, которые... соответствуют уравнениям энергии в ортогонально-инвариантных теориях, вообще не существует, я даже мог бы отметить это обстоятельство как характерную черту общей теории относительности» (В. П. Визгин. Релятивистская теория тяготения. — М.: Наука, 1981. С. 319). Все это объясняется тем, что в римановом пространстве отсутствует десятипараметрическая группа движения пространства-времени, а поэтому в принципе нельзя ввести законы сохранения энергии-импульса и момента количества движения, подобные тем, какие имеют место в любой другой физической теории.

Другой особенностью ОТО по сравнению с известными теориями является наличие в лагранжиевой функции R вторых производных. Около 50 лет назад Натан Розен показал, что если наряду с римановой метрикой $g_{\mu\nu}$ ввести метрику $\gamma_{\mu\nu}$ пространства Минковского, то можно построить скалярную плотность лагранжиана гравитационного поля, которая будет содержать производные не выше первого порядка. Он, в частности, построил такую плотность лагранжиана, которая приводит к уравнениям Гильberta – Эйнштейна. Так возник двуметрический формализм. Однако такой подход сразу усложнил проблему построения теории гравитации, поскольку, используя тензоры $g_{\mu\nu}$ и $\gamma_{\mu\nu}$, можно написать большое число скалярных плотностей, и совершенно не ясно, какую скалярную плотность необходимо выбрать в качестве плотности лагранжиана для построения теории гравитации. Хотя математический аппарат ОТО позволяет ввести вместо обычных производных ковариантные производные пространства Минковского, но, поскольку метрика $\gamma_{\mu\nu}$ не входит в уравнение Гильberta – Эйнштейна, ее использование в ОТО лишено какого-либо физического смысла, так как решения для метрики $g_{\mu\nu}$ не зависят от выбора $\gamma_{\mu\nu}$. Следует отметить, что замена обычных производных на ковариантные в пространстве Минковского оставляет данные уравнения неизменными. Это объясняется тем, что если в тензоре кривизны Римана заменить обычные производные ковариантными в пространстве Минковского, то он не изменится. Такая замена в тензоре Римана есть не что

иное, как тождественное преобразование. Именно поэтому в рамках ОТО такую свободу записи тензора Римана нельзя использовать, поскольку метрический тензор пространства Минковского не входит в уравнения Гильberta – Эйнштейна.

При построении РТГ эта свобода записи тензора Римана оказывается чрезвычайно необходимой. Но при этом метрика пространства Минковского входит в уравнения гравитационного поля, а само поле рассматривается как физическое поле в пространстве Минковского. В ОТО мы имеем дело только с метрикой риманова пространства как основной характеристикой гравитации, в которой находят отражение собственные свойства геометрии и выбор системы координат. При выключении гравитационного взаимодействия, т. е. когда тензор кривизны Римана равен нулю, мы приходим к пространству Минковского. Именно из-за этого в ОТО возникает проблема с выполнимостью принципа соответствия, так как нельзя определить, в какой системе координат (инерциальной или ускоренной) мы оказались при выключении гравитационного поля.

Релятивистская теория гравитации может строиться по-новому, как полевая теория гравитационного поля в рамках специальной теории относительности. Исходным положением служит гипотеза о том, что источником гравитации является универсальная характеристика материи – тензор энергии-импульса. Гравитационное поле рассматривается как универсальное физическое поле со спинами 2 и 0, из-за действия которого и возникает эффективное риманово пространство. Это позволяет найти калибровочную группу и однозначно построить плотность лагранжиана гравитационного поля. Система уравнений данной теории общековариантна и форминвариантна относительно группы Лоренца. При этом в теории с необходимостью требуется введение массы гравитона. Масса гравитона существенно влияет на эволюцию Вселенной и изменяет характер гравитационного коллапса.

ЛОГУНОВ Анатолий Алексеевич —

физик-теоретик, специалист в области частиц высоких энергий, академик, в 1977–1991 гг. ректор Московского университета, Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской и дважды Государственных премий