

Релятивистская теория гравитации

Настоящая глава посвящена изложению основ релятивистской теории гравитации (РТГ), построенной нами в работах [28—30]. Но прежде чем перейти к изложению основ РТГ, мы коротко остановимся на обсуждении некоторых принципиальных положений, связанных с общей теорией относительности (ОТО).

При создании общей теории относительности Эйнштейн исходил из принципа эквивалентности сил инерции и тяготения. Принцип эквивалентности сил сформулирован им следующим образом [8]: «Для бесконечно малой области координаты всегда можно выбрать таким образом, что гравитационное поле будет отсутствовать в ней». В формулировке принципа эквивалентности Эйнштейн уже отошел от представления гравитационного поля как поля Фарадея—Максвелла. В дальнейшем это нашло отражение во введенной им псевдотензорной характеристике гравитационного поля τ_r^l . Позднее Шредингер в работе [35] показал, что при соответствующем выборе системы координат все компоненты псевдотензора энергии-импульса гравитационного поля τ_r^l вне шара обращаются в нуль. Эйнштейн по этому поводу писал [8]: «Что же касается соображений Шредингера, то их убедительность заключается в аналогии с электродинамикой, в которой напряжения и плотность энергии любого поля отличны от нуля. Однако я не могу найти причину, почему так же должно обстоять дело и для гравитационных полей. Гравитационные поля можно задавать, не вводя напряжений и плотности энергии». Отсюда видно, что Эйнштейн сознательно отошел от концепции гравитационного поля как физического поля Фарадея—Максвелла, так как это поле, как материальную субстанцию, никогда нельзя устранить выбором системы отсчета.

Поскольку в ОТО отсутствует понятие плотности тензора энергии-импульса гравитационного поля, то в ней нельзя ввести закон сохранения энергии-импульса вещества и гравитационного поля вместе взятых. Именно Гильберт первый подчеркнул это обстоятельство. Он писал [36]: «Я утверждаю, . . . что для общей теории относительности, т. е. в случае общей инвариантности гамилтоновой 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». Некоторые авторы не понимают этого до сих пор, другие понимают и рассматривают это как важнейший принципиальный шаг, который сделала ОТО, низвергнув такие понятия, как энергия. Отказ от понятий плотности энергии-импульса гравитационного поля приводит в ОТО к невозможности локализации энергии гравитационного поля. Но отсутствие локализации энергии поля и законов сохранения ведет к отсутствию понятия гравитационных волн и потока гравитационного излучения. Это значит, что перенос гравитационной энергии в пространстве от одного тела к другому невозможен.

Согласно идеологии ОТО принцип относительности неприменим для гравитационных явлений. Именно в этом центральном пункте почти семьдесят лет назад Эйнштейн и Гильберт совершили при построении ОТО принципиальный отход от специальной теории относительности, который и привел к отказу от законов сохранения энергии-импульса и момента количества движения, а также к возникновению нефизических понятий о нелокализуемости гравитационной энергии и многому другому, что не имеет отношения к гравитации. Эти два великих ученых покинули удивительной простоты пространство Минковского, обладающее максимальной (десятипараметрической) группой движения пространства и вошли в дебри римановой геометрии, которые затянули последующие поколения физиков, занимающихся гравитацией.

Итак, приняв ОТО, мы должны отказаться как от фундаментального принципа — закона сохранения энергии-импульса вещества и гравитационного поля, так и от концепции классического поля. Но это очень большая

потеря, и мы были бы слишком легкомысленны, если бы без должных экспериментальных оснований согласились на нее. Отсюда один выход—отказаться от ОТО.

В работах [31, 37—41] было показано, что поскольку ОТО не имеет и не может иметь законов сохранения энергии-импульса вещества и гравитационного поля вместе взятых, инертная масса, определенная в теории Эйнштейна, не имеет физического смысла, а поток гравитационного излучения, как он определен в ОТО, всегда может быть уничтожен соответствующим выбором допустимой системы отсчета, и, следовательно, квадрупольная формула Эйнштейна для излучения гравитационного поля не является следствием ОТО. Из общей теории относительности в принципе не следует, что двойная система теряет энергию из-за гравитационного излучения. ОТО не имеет классического ньютоновского предела, а следовательно, она не удовлетворяет одному из наиболее фундаментальных принципов физики—принципу соответствия. Вот к чему приводит отсутствие в ОТО законов сохранения энергии-импульса, если отказаться от догматизма, серьезно вдуматься в существо проблемы и провести детальный физический анализ.

Все это свидетельствует о том, что общая теория относительности не является удовлетворительной физической теорией, поэтому задача построения классической теории гравитации, которая удовлетворяла бы всем требованиям, предъявляемым к физической теории, является насущной проблемой.

В основе нашей теории, в противоположность ОТО, лежит принцип относительности, который был выдвинут Анри Пуанкаре как всеобщий принцип для всех физических процессов и формулирован следующим образом [42]: «Законы физических явлений будут одинаковыми как для покоящегося наблюдателя, так и для наблюдателя, находящегося в состоянии равномерного поступательного движения, так что мы не имеем и не можем иметь никаких средств, чтобы различить, находимся ли мы в таком движении или нет».

В такой формулировке, казалось бы, принцип относительности нельзя применить к ускоренным системам отсчета. Более того, Эйнштейн утверждал, что в этом случае обязательно необходимо перейти к ОТО. Однако

это неправильно. Как показано в работе [43], открытие Минковским псевдоевклидовой геометрии пространства-времени позволяет сформулировать обобщенный принцип относительности: «Какую бы физическую систему отсчета мы ни избрали (инерциальную или неинерциальную), всегда можно указать бесконечную совокупность других систем отсчета, таких, в которых все физические явления протекают одинаково с исходной системой отсчета, так что мы не имеем и не можем иметь никаких экспериментальных возможностей различить, в какой именно системе отсчета из этой бесконечной совокупности мы находимся». Это означает, что при описании физических явлений в пространстве Минковского, в зависимости от физической задачи, мы можем выбрать любую подходящую систему отсчета, адекватную данной задаче, а следовательно, и задать соответствующий метрический тензор γ_{ip} пространства Минковского. Почему Эйнштейн не понял этого? По-видимому, это объясняется тем, что теорию относительности он воспринимал только через постулат о постоянстве скорости света в галилеевых координатах, а ускоренные системы отсчета на основании принципа эквивалентности отождествлял с гравитацией.

В основе нашей теории лежит представление о гравитационном поле как физическом поле в духе Фарадея — Максвелла, обладающем энергией-импульсом. Таким образом, гравитационное поле, аналогично всем другим физическим полям, характеризуется своим тензором энергии-импульса системы. Гравитационное поле мы рассматриваем как физическое поле со спином 2 и 0, причем асимптотически свободное гравитационное поле имеет спин 2. Геометрия пространства-времени для всех физических полей является псевдоевклидовой (пространство Минковского).

Таким образом, законы сохранения энергии-импульса и момента количества движения для замкнутой системы строго выполняются. В этом состоит еще одно принципиальное отличие нашей теории от ОТО Эйнштейна.

Другим важнейшим вопросом, возникающим при построении теории гравитации, является вопрос о взаимодействии гравитационного поля с веществом. Гравитационное поле, как мы сейчас представляем, является универсальным: оно действует на все виды вещества оди-

наково. В основу теории положим принцип геометризации [43, 44], согласно которому уравнения движения вещества под действием тензорного гравитационного поля φ^{ik} в пространстве Минковского с метрическим тензором γ^{ik} могут быть тождественно представлены как уравнения движения вещества в эффективном римановом пространстве-времени с метрическим тензором g^{ik} , зависящим от гравитационного поля φ^{ik} и метрического тензора γ^{ik} . Тем самым мы вводим представление об эффективном римановом пространстве полевой природы. Это силовое пространство создается в РТГ со строгим соблюдением законов сохранения и возникает из-за наличия гравитационного поля и определенного, универсального характера его действия на вещество. Кривизна этого динамического риманова пространства, как вторичное понятие, возникает в силу принципа геометризации и является следствием действия гравитационного поля.

На основании пространства Минковского и принципа геометризации плотность лагранжиана можно представить в виде

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_g(\tilde{\gamma}^{ik}, \tilde{\varphi}^{ik}) + \mathcal{L}_m(\tilde{g}^{ik}, \varphi_A), \quad (A)$$

где $\tilde{\varphi}^{ik} = \sqrt{-\gamma} \varphi^{ik}$ — плотность тензора полевой переменной гравитационного поля φ^{ik} ; $\tilde{g}^{ik} = \sqrt{-g} g^{ik}$ — плотность метрического тензора риманова пространства g^{ik} ; $\tilde{\gamma}^{ik} = \sqrt{-\gamma} \gamma^{ik}$ — плотность метрического тензора пространства Минковского, а φ_A — поля вещества.

В данной теории плотность лагранжиана гравитационного поля \mathcal{L}_g зависит от метрического тензора γ^{ik} и гравитационного поля φ^{ik} , поэтому она принципиально отличается от ОТО, где плотность лагранжиана зависит только от метрического тензора риманова пространства g^{ik} . Таким образом, плотность лагранжиана гравитационного поля в нашей теории не полностью геометризована, тогда как в ОТО она полностью геометризована.

Как будет показано далее, представление о гравитационном поле, обладающем плотностью энергии-импульса и спином 2 и 0, в соединении с принципом геометризации позволяет однозначно построить релятивистскую теорию гравитации. Такая теория изменяет сложившиеся под влиянием ОТО представления о пространстве-времени,

выводит нас из дебрей римановой геометрии и по духу соответствует современным теориям в физике элементарных частиц. Как следствие данной теории, общий принцип относительности Эйнштейна лишен физического смысла и не имеет никакого содержания [9].

§ 33. Инертная масса в общей теории относительности

Равенство инертной и гравитационной масс одного и того же тела Эйнштейн рассматривал как точный закон природы, который должен найти отражение в его теории. В настоящее время принято считать доказанным, что в общей теории относительности гравитационная масса (или, как ее иногда называют, тяжелая масса) системы, состоящей из вещества и гравитационного поля, равна ее инертной массе. Такое, например, утверждение содержится в работах Эйнштейна [8], Толмена [48] и Вейля [49]. Впоследствии «доказательство» этой теоремы с различными видоизменениями было проведено и рядом других авторов [14, 32, 47].

Однако этот вывод является неправильным. Следуя работам [31, 34], покажем, в чем состоит его ошибочность.

Тяжелая масса M произвольной физической системы, покоящейся как целое относительно галилеевской на бесконечности шварцшильдовской системы координат, определялась Эйнштейном [8] как величина, стоящая множителем при члене $-2G/(c^2r)$ в асимптотическом выражении ($r \rightarrow \infty$) для компоненты g_{00} метрического тензора риманова пространства-времени

$$g_{00} = 1 - \frac{2G}{c^2 r} M.$$

Несколько иное определение гравитационной массы дал Толмен [48]:

$$M = \frac{c^2}{4\pi G} \int R_0^0 \sqrt{-g} dV. \quad (33.1)$$

Из этих определений непосредственно следует, что величина гравитационной массы при преобразованиях трехмерных координат не изменяется, поскольку как компонента R_0^0 тензора Риччи, так и компонента g_{00}