

Содержание

Предисловие ко второму изданию

Введение. История и проблемы теории гравитации

Глава 1. Релятивистская теория гравитации

1. Пространство-время Минковского
2. Пространство-время в теории гравитации Эйнштейна
3. Основы геометрии ОТО
4. Уравнения теории гравитации
5. Каталог гравитационных полей
6. Экспериментальные подтверждения ОТО

Глава 2. Современные подходы в теории гравитации

1. Принцип относительности и проблема систем отсчета
2. Принцип эквивалентности и $(3 + 1)$ -разбиение
3. Проблема энергии гравитационного поля
4. Гравитационные сингулярности
5. Современная космология

Глава 3. Гравитация и элементарные частицы

1. Элементы теории групп и таблица элементарных частиц
2. Теория калибровочных полей и программа Большого объединения
3. Калибровочная теория гравитации
4. Обобщения ОТО. Теория гравитации с кручением
5. Квантовая гравитация
6. Суперобъединение гравитации и элементарных частиц

Список рекомендованной литературы

Предисловие к второму изданию

Посвящается 100-летию со дня рождения Дмитрия Дмитриевича Иваненко

Хотя наша книга "Гравитация" была написана двадцать лет назад, почти все рассматривавшиеся в ней проблемы теории гравитации продолжают оставаться актуальными. В первую очередь это проблемы систем отсчета, энергии гравитационного поля, гравитационных сингулярностей, квантовой гравитации, объединения гравитации и других фундаментальных взаимодействий. Более того, нет заметного продвижения в решении этих проблем, хотя применяемая математическая техника и теоретические модели становятся все изощреннее. Сегодня в теории гравитации доминируют так называемые струны и мембраны. Однако все новые модели так или иначе исходят из главного постулата ОТО, что гравитация -- это пространственно-временная метрика. При этом фундаментальные трудности самой ОТО, которым была посвящена "Гравитация", остаются. Поэтому наша книга в целом сохранила свою актуальность и переиздается без изменений. Она может быть полезной для начинающих гравитационистов и всех тех, кто интересуется основами теории гравитации. Хотя список цитируемых публикаций, конечно, устарел, интересующийся читатель может легко приобщиться к современной литературе, используя общедоступную библиотеку электронных препринтов <http://xxx.lanl.gov>.

Главной причиной своеобразного застоя в теории гравитации является скудость новых экспериментальных данных. Гравитационные эксперименты на лабораторных расстояниях и в масштабе Солнечной системы ничего неожиданного не дали,

за исключением так называемого феномена "Пионера", подвергавшегося аномальному постоянному ускорению. Хотя астрофизические и космологические наблюдения привели к ряду важных открытий, их интерпретация часто сталкивается с трудностями. Например, она может зависеть от выбора той или иной шкалы расстояний до космических объектов. Об экспериментах по квантовой гравитации и говорить не приходится.

Более значительный успех достигнут в физике высоких энергий. Кварк-лептонное объединение и существование хиггсовского вакуума в модели Вейнберга--Салама стали фактом. Их теоретической основой является калибровочная теория со спонтанным нарушением симметрий. Однако все предложенные варианты единого мультиплета гравитона с другими элементарными частицами остаются пока чисто гипотетическими. При этом теория гравитации тоже может быть представлена как калибровочная теория со спонтанным нарушением пространственно-временн\ых симметрий. Хиггсовским полем, ответственным за это нарушение пространственно-временн\ых симметрий, служит псевдориманова метрика, его физической первопричиной является существование дираковской фермионной материи с лоренцевской группой симметрий на геометрической арене с группой общих ковариантных преобразований. Таким образом, гравитация, отождествляемая согласно ОТО с метрикой, по своей физической природе является хиггсовским полем. В этой связи описание хиггсовского вакуума как в объединенных моделях элементарных частиц, так и в теории гравитации становится сейчас одной из наиболее актуальных теоретических задач.

Геннадий Сарданашвили

Введение. История и проблемы теории гравитации

Физика XX в. пережила один за другим несколько периодов, каждый из которых приводил к кардинальному изменению физической картины мира. Это -- теория релятивизма и гравитации, модель атома и квантовая теория, физика ядра и элементарных частиц.

В настоящее время на первый план фундаментальных физических исследований вышла задача построения единой теории (так называемого Большого объединения) элементарных частиц и их взаимодействий. Впечатляющим достижением в этом направлении стало экспериментальное подтверждение объединенной модели электромагнитного и слабого взаимодействий Вейнберга--Салама. В принципиальном плане не вызывает сомнения и кварк-глюонная модель сильного взаимодействия. На повестке дня стоит создание объединенной картины кварков и лептонов, сильного и электрослабого взаимодействий (см. разд. 3.2).

Какое место на этом фоне занимает сегодня теория гравитации? Далеко не последнее.

Во-первых, она имеет непреходящее значение, поскольку решаемые ею проблемы касаются не просто одного из физических полей, но самой концепции пространства-времени, поэтому они лежат в основе всей физической картины мира. Во-вторых, теория гравитации очень интенсивно развивается. Возникнув в начале XX в. вслед за специальной теорией относительности (СТО) и всколыхнув весь физический (и не только физический) мир, теория гравитации -- эйнштейновская общая теория относительности (ОТО) -- затем, в период построения квантовой механики и ядерной физики, отошла на второй план. Немалую роль в этом сыграло и то, что ОТО выглядела в то время настолько законченной теорией, что все попытки ее ревизии, расширения, обобщения, в том числе в лице единых теорий 20-х годов, оказались несостоятельными.

Понадобились десятилетия, чтобы стало ясно: в ОТО при всех ее огромных успехах имеются нерешенные проблемы, сравнимые по значению с проблемами квантовой теории поля и физики элементарных частиц.

Интерес к теории гравитации вновь стал возрастать в 60-е годы. В немалой степени этому способствовали новые космологические и астрофизические открытия (реликтовое излучение, квазары, пульсары), поиски гравитационных волн, необходимость учета общерелятивистских эффектов при полетах космических аппаратов в Солнечной системе. Сейчас по глубине намечающихся преобразований гравитационные исследования приближаются к ситуации, возникшей в период создания ОТО. Так, проводимые и планируемые в ближайшем будущем гравитационные эксперименты, в том числе с использованием космических аппаратов, по прецизионности, масштабу и стоимости скоро сравняются со строительством современных ускорителей элементарных частиц.

По-видимому, речь может идти о третьем (вслед за ньютоновским и эйнштейновским) этапе развития теории гравитации. Он характеризуется выходом за рамки ОТО в виде широкого применения новых методов, квантования и обобщения теории гравитации и имеет в виду как преодоление серьезных внутренних трудностей эйнштейновской ОТО, так и установление связи теории гравитации с теорией элементарных частиц. Поиски такой связи, ставшие одной из актуальных задач обеих теорий, являются еще одним фактором, определяющим место гравитации как важной составной части программы объединения всех взаимодействий.

Для того чтобы яснее представить себе современную ситуацию в теории гравитации, дадим краткий ретроспективный обзор гравитационных исследований, остановившись на главных узловых пунктах и отсылая за подробностями к обширной литературе [20, 68, 122, 130].

Как известно, в конце XVII в. И.Ньютон, опираясь на труды своих великих предшественников -- Г.Галилея, И.Кеплера, Х. Гюйгенса, Р.Декарта, -- установил основы классической картины мира, базирующейся на представлении о трехмерном евклидовом пространстве, независимом от материи, и абсолютном времени, на классической механике и феноменологически введенном законе тяготения.

Ньютонова система мира отнюдь не была незамедлительно и безоговорочно принята. Буквально все ее положения подверглись сомнениям, а дискуссии по некоторым из них в модернизированной форме идут до сих пор, стимулируя развитие науки.

Картезианцы возражали против неконтактного действия на расстоянии: распространение гравитации со скоростью света предполагалось позднее в вариантах Г.Лоренца и других ученых, а реально было введено А.Пуанкаре в первых же его работах 1905 г., в которых он сформулировал параллельно с А.Эйнштейном основные принципы СТО.

Далее, Дж.Беркли и Г.Лейбниц возражали против абсолютного пространства как физического объекта, по отношению к которому определяется движение по инерции. Они требовали построения "релятивной" механики, использующей взаимные расстояния, скорости и ускорения тел и, в частности, не видели смысла в задаче одного тела. В XIX в. Э.Мах подчеркивал, что инерция индуцируется всей материей космоса. Совсем недавно "релятивная" механика вновь стала развиваться [80]. Она обобщает обычные галилеевские преобразования классической механики, но еще не преобразования СТО.

Как известно, идеи Э.Маха влияли на А.Эйнштейна при построении ОТО, которая оказалась, однако, немахианской. В ней возможна постановка задачи одного тела, пространство может быть искривлено и в отсутствии "обычной" материи. Вместе с тем эти идеи в модернизированной форме вновь возрождались как на базе ОТО [80], так и при попытках связывать космологию и микромир [95].

Подчеркнем также, что ньютоновский закон тяготения отражает трехмерность пространства: например, в четырех измерениях мы имели бы зависимость гравитационного потенциала от расстояния r^{-2} , а не r^{-1} . Влияние трехмерности на физические законы многократно анализировалось [29, 78]. Ныне не исключается изменение числа измерений на сверхмалых расстояниях и в сверхэкстремальных условиях, например, ранней Вселенной в духе допущения динамического характера топологических характеристик.

Огромные конкретные успехи в предсказании физических явлений в лабораторных условиях, планетарных и астрономических областях и вся грандиозность ньютоновской системы мира надолго отодвинули в сторону упомянутые возражения Г.Лейбница и картезианцев. Во второй половине XVIII в. ее победа была практически общепризнанной.

Сейчас стало ясно, что абсолютное плоское пространство и вся ньютоновская гравитация являются с точки зрения релятивистских СТО и ОТО законным приближением в механике для слабого гравитационного поля и медленно движущихся тел. Любопытно, что результаты недавних проверок закона Ньютона на лабораторных расстояниях вновь подтвердили его правильность.

Единственным эмпирическим "пятном" на ньютоновской картине мира явилась открытая У.Леверье в середине XIX в. аномалия -- сдвиг перигелия Меркурия (43 в столетие). Неудачные попытки объяснить эту аномалию предпринимались в XIX в. путем модификации ньютоновского потенциала. Интерес представляли потенциалы Вебера--Римана, добавлявшие к ньютоновскому потенциалу r^{-1} скоростные поправки $-\beta r^{-1}(v)^2$ и давшие для сдвига перигелия $14''$. Кинематика СТО объяснила часть аномалии ($7''$), а полное объяснение она получила позднее на базе ОТО.

Вместе с тем реальный удар по ньютоновской системе мира был сразу же нанесен в ее космологической части, поскольку допущение статического распределения звезд в бесконечной Вселенной приводит к бесконечной светимости (парадокс Шезо--Ольберса), что отчасти понимал И.Ньютон. Для устранения этого парадокса был предложен ряд модификаций: замкнутые Вселенные Целльнера, Шварцшильда; Г.Зеелигер, К.Нейман (1894) ввели ослабляющий фактор, перейдя к потенциалу $r^{-1}\exp(-k_0 r)$ "юкавского" типа, как скажет современный физик.

Интересным образом вариант Зеелигера--Неймана все же возродился в современной, уже постэйнштейновской теории гравитации, в ее применении к миру элементарных частиц, а именно в "сильной" гравитации А.Салама (70-е годы) [172]. Кванты поля "сильной" гравитации обладают спином 2 (подобно гравитонам ОТО), но имеют массу покоя (т.е. описываются в линейном приближении уравнением юкавского типа) и взаимодействуют с частицами с константой связи, примерно в 10^{40} раз превышающей гравитационную.

Наконец, важный вариант устранения парадоксов ньютоновой космологии был предложен И.Ламбертом еще в конце XVIII в. и неоднократно возрождался вплоть до последнего времени. Речь идет об иерархической модели Вселенной, согласно которой наша

наблюдаемая Вселенная (Метагалактика) имеет партнеров, рассматриваемых с точки зрения следующей иерархической ступени как "молекулы". Далее идут еще более высокие ступени, масштабы и другие характеристики которых подобраны так, чтобы обеспечить общее конечное значение светимости. Возрождаемые идеи иерархии смыкаются со взглядами приверженцев модернизированного махианства и идей "сильной" гравитации. Сейчас есть тенденция продолжать ступени иерархии не только "вверх", но и "вниз", переходя к элементарным частицам (а далее -- к кваркам). Возникает вопрос о наинизших ступенях, которыми (в рамках еще предварительных моделей), по-видимому, могут оказаться объекты и процессы планковской области, т.е. размеров 10^{-33} см (вместо размеров протона 10^{-13} см) и значений энергии 10^{19} Гэв [49а, 73].

На самом деле первопричина парадоксов ньютоновской космологии заключалась в том, что она была статической, т.е. средняя светимость единицы объема предполагалась постоянной, а значит, плотность энергии во Вселенной -- бесконечной. Она была устранена в динамической модели А.А.Фридмана на базе ОТО.

Кардинальное изменение в картине мира принесло в XIX в. открытие электромагнетизма и его описание с помощью уравнений Максвелла. Окончательную формулировку это изменение нашло в СТО, установленной одновременно в работах А.Пуанкаре и А.Эйнштейна (1905), развивавших главным образом исследования Г.Лоренца и завершенных, в свою очередь, Г.Минковским (1908). Как известно, в СТО пространство и время оказались объединенными в единое четырехмерное пространство-время с сохраняющимся при переходах между инерциальными системами отсчета релятивистским интервалом

$$S^2 = -C^2 (t-t')^2 + (x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2.$$

Галилеевские преобразования ньютоновского пространства были заменены лоренцевскими. Уравнения электродинамики уже оказались инвариантными относительно этих преобразований, а уравнения механики и закон сложения скоростей подверглись существенной релятивистской реформе, запрещающей сверхсветовые скорости (впрочем, ряд авторов указывают на формальную возможность сверхсветовых частиц -- тахионов [95, 112]).

Следующим естественным шагом были попытки построения релятивистской теории гравитации.

Еще в своих первых работах по СТО (1905--1906) А.Пуанкаре подчеркивал универсальность принципа относительности и распространял его на гравитацию, сделав через 200 с лишним лет после создания ньютоновской теории гравитации первый обоснованный шаг по ее обобщению (в противоположность "подгончным" потенциалам Римана, Вебера, Герберга и др.). Он предпринял попытку установить релятивистские поправки к закону Ньютона, но еще не было речи о новых уравнениях гравитационного поля. С современной точки зрения Пуанкаре рассмотрел прямое запаздывающее гравитационное взаимодействие, предсказав, что скорость распространения гравитации равна скорости света. Гравитационные идеи А.Пуанкаре получили в то время незначительное продолжение у Г.Минковского, А.Зоммерфельда, Г.Лоренца, В.де Ситтера [87].

Релятивистские уравнения гравитационного поля в рамках СТО попытались установить М.Абрагам и Г.Нордстрем (1911) путем перехода от классического трехмерного уравнения Лапласа--Пуассона для ньютоновского скалярного гравитационного

потенциала к четырехмерному уравнению в различных вариантах. Но СТО позволяла объяснить, как уже отмечалось, лишь часть меркурианской аномалии.

В отличие от попыток непосредственной релятивизации ньютоновского закона тяготения, А.Эйнштейн поставил во главу угла принцип эквивалентности (1907--1911), опиравшийся на факт равенств инертной и гравитационной масс, известный уже Г.Галилею, И.Ньютону, Ф.Бесселю и экспериментально вновь с большой точностью подтвержденный Р.Этвешем в конце XIX в. Отсюда последовало фундаментальное признание движения в поле тяжести как движения по инерции в кривом пространстве, а в дальнейшем -- геометрического характера гравитационного поля.

Решающий шаг был сделан А.Эйнштейном в сотрудничестве с математиком М.Гроссманом в 1912--1913 гг. Они отождествили гравитационный потенциал с компонентами метрики $g_{\alpha\beta}$ четырехмерного искривленного пространства-времени. Это позволило сделать уже реальный набросок общей формы уравнений поля тяготения.

Окончательно уравнения гравитации были установлены в ноябре 1915 г. Д.Гильбертом, воспринявшим программу А.Эйнштейна и применившим вариационный принцип, а также самим Эйнштейном, который шаг за шагом отбрасывал ограничения на допустимые преобразования координат и пришел к общековариантным уравнениям путем учета члена (см. разд. 1.4).

Приближенные расчеты движения планет, основанные на ОТО, позволили полностью объяснить меркурианскую аномалию еще до получения полного решения для центрально-симметричного поля, данного К.Шварцшильдом в 1916 г.

Объяснение сдвига перигелия Меркурия стало эмпирической базой ОТО. Затем последовало подтверждение предсказания отклонения света в поле тяготения. Отклонение луча от звезды в поле Солнца, определенное А.Эддингтоном во время солнечного затмения 1919 г., оказалось решающим в признании ОТО и вывело дискуссию о ее концепциях на первый план не только среди физиков, но и математиков, астрономов, философов.

Позже были подтверждены еще два так называемых классических эффекта ОТО: сдвиг частот в поле тяготения как в спектре звезд (белые карлики, Солнце), так и в лабораторных условиях, а также запаздывание радиосигнала в поле тяготения. Все четыре эффекта установлены с точностью меньше 1%, убедительной по сравнению с другими конкурирующими вариантами теории гравитации.

Огромный шаг был сделан на базе ОТО в построении современной космологии, приведший к признанию модели расширяющейся Вселенной. Она была предложена советским механиком А.А.Фридманом в 1922--1924 гг. в развитие моделей Эйнштейна статической и де Ситтера расширяющейся, но лишенной материи Вселенной. Расширение Вселенной было окончательно подтверждено в 1929 г. Э.Хабблом, который установил закономерное разбегание галактик.

Следующей ступенью в космологии стала гипотеза Дж.Гамова о своеобразном Большом взрыве Вселенной из сверхгорячего и сверхплотного состояния, подтвержденная в 1965 г. открытием предсказанного им изотропного электромагнитного излучения, заполняющего Вселенную и имеющего температуру около 3 К.

Экспериментальные подтверждения ОТО, основанная на ней космология, ряд других астрономических открытий вместе с множеством глубоких физических идей и развитых новых математических методов выдвинули релятивистскую теорию гравитации в первый ряд современных разделов физики.

В развитии ОТО следует особо выделить направление, имевшее целью вслед за геометризацией гравитации интерпретировать геометрически также электромагнитное поле и построить геометрическую картину всех известных тогда физических взаимодействий [3].

Первый вариант такой единой теории предложил Г. Вейль в 1918 г. Дополнив общековариантные преобразования конформной симметрией, он пришел к геометрии, в которой длина вектора изменяется при параллельном переносе. А. Эддингтон рассмотрел более общие, не риман-эйнштейновские, связности и квадратичные по кривизне лагранжианы, обобщая гильбертов лагранжиан ОТО в виде скаляра кривизны R . Э. Картан в 1922 г. ввел пространство с несимметричной связностью -- кручением. Т. Калуца в 1921 г. впервые предложил перейти к пятимерному пространству, получая при известных условиях уравнения Эйнштейна -- Максвелла гравитации и электромагнетизма.

А. Эйнштейн, относившийся сначала к варианту Вейля отрицательно, затем принял участие в разработке всех указанных вариантов единых теорий, предложив в 1928 г. теорию телепараллелизма. Позднее он (параллельно с Э. Шредингером) начал разработку моделей пространств с несимметричной метрикой и все последние годы своей деятельности посвятил построению единых геометризованных теорий [130].

Все главные варианты единых теорий 20-х годов, несмотря на множество работ самых авторитетных в свое время физиков и математиков, не достигли поставленной цели -- геометризации электромагнетизма, и их неудача на долгие годы дискредитировала эту идею. Однако замечательным образом почти все они ныне вновь возродились с новых точек зрения (см. разд. 3.4, 3.6).

Чем характеризуется сегодняшнее состояние теории гравитации?

Эйнштейновская теория гравитации и сейчас, спустя семьдесят лет после своего создания, продолжает оставаться наиболее удовлетворительным вариантом классической теории тяготения. Предсказания ОТО согласуются со всеми проведенными до сих пор гравитационными экспериментами, включая радиолокацию планет и лазерную локацию Луны, которая позволила отвергнуть ряд альтернативных моделей (Бранса--Дикке и др.).

Вместе с тем эйнштейновская теория гравитации столкнулась с рядом коренных трудностей [51, 150]. Понимание их пришло не сразу, а лишь в 60-е годы. Сначала они казались частными вопросами, но по мере получения новых решений и исследования все большего числа гравитационных моделей оказалось, что эти трудности носят коренной характер, и интенсивные попытки их преодолеть хотя и продвинули дело, но окончательным успехом пока не увенчались.

Прежде всего отметим не имеющий прецедентов пример с непрекращающимися предложениями изменить авторское наименование теории "общая теория относительности" как отражающее общую ковариантность в противоположность более узкой лоренцевской инвариантности СТО. В этой связи указывалось на тривиальность условия ковариантности относительно координатных преобразований и отсутствие четкого разграничения их от имеющих физический смысл преобразований систем отсчета.

В.А.Фок и П.Хавас отказывались видеть "всеобщий релятивизм" в ОТО, возобновляя дискуссии периода становления ОТО. В.А.Фок, отвергая также значение принципа эквивалентности, предлагал назвать теорию, согласно А.Фоккеру, "хроногеометрией"; Г.Тредер говорит о "геохронометрической" гравитации; Дж.Уилер и некоторые другие -- о "геометродинамике" (хотя этот термин относился ранее к варианту Райнича). Быстро привились не претендующие на замену названия ОТО термины "гравидинамика", "граводинамика", или "гравитодинамика", в противовес "гравистатике". В геометрическом аспекте можно говорить о "гравигеометрии". Однако, по-видимому, навсегда останется название "общая теория относительности", которое А.Эйнштейн применил и в своей последней работе в 1955 г. Вместе с тем дискуссия о названиях отражает отсутствие до сих пор ясности даже в основах ОТО: принципах относительности и эквивалентности, процедуре перехода от СТО к ОТО, симметриях в ОТО.

К коренным трудностям ОТО относится проблема систем отсчета. Наиболее глубокий анализ она получила в рамках тетрадной формулировки ОТО, в которой тетрады (четверки ортогональных векторов), восстанавливаемые в каждой точке пространства-времени, рассматриваются как определяющие локальные системы отсчета [97]. Однако проблема их реализации физическими приборами далека от общего решения.

Неясность с принципом эквивалентности, применяемым к самому гравитационному полю (см. разд. 2.2), в свою очередь, ставит вопрос о том, в какой мере можно говорить о спецрелятивистских характеристиках гравитационного поля, таких, как энергия-импульс. Есть мнение, что именно в этом заключаются истоки известной проблемы энергии гравитационного поля, вызвавшей обширную дискуссию, начиная с работ Эйнштейна--Гроссмана еще до создания ОТО, и демонстрирующей широкий диапазон мнений (см. разд. 2.3).

Наиболее очевидной, широко обсуждаемой трудностью ОТО является также проблема сингулярностей. Она состоит в том, что для решений уравнений Эйнштейна с сильным энергетическим условием, которому удовлетворяют почти все материальные источники, оказываются несовместимыми требования причинности пространства-времени и отсутствия гравитационных сингулярностей. Это ставит под сомнение применимость ОТО для описания экстремальных гравитационных полей. Правда, еще не окончательно решен вопрос о самой критерии гравитационных сингулярностей (см. разд. 2.4).

До сих пор не объяснены удивительные соотношения между атомными, гравитационными и космологическими характеристиками -- "большими числами" Эддингтона--Дирака: отношение кулоновского и гравитационного потенциалов для элементарных частиц порядка 10^{40} ; размеры Метагалактики 10^{28} см, что примерно в 10^{40} раз превышает размеры частиц; число барионов в известной части Вселенной $(10^{40})^2$ и т.д. [76].

Серьезные проблемы привносит и квантовая гравитация (см. разд. 3.5).

Все эти трудности стимулировали поиск новых методов в теории гравитации, а также различные попытки ревизии, расширения, обобщения ОТО. В настоящее время приходится говорить не о теории, а о теориях гравитации, даже для классификации которых требуется не один, а несколько каталогов, составленных по разным принципам ("прагматический", "космологический", "геометрический" и т.д.) [49].

Важным мотивом для развития и обобщения теории гравитации всегда было стремление установить связь гравитации с физикой микромира; примером являются упоминавшиеся единые теории 20-х годов. Сейчас эта задача, стимулируемая всей современной

программой объединения элементарных частиц и фундаментальных взаимодействий, вышла на первый план. И первым необходимым шагом на пути к ее решению является построение калибровочной теории гравитации.

Теория калибровочных полей составляет базу всех современных моделей Большого объединения. В теории поля введение калибровочных полей стало универсальным способом описания самых разных взаимодействий. Более того, калибровочная теория в формализме расслоенных пространств фактически реализовала идею геометризации взаимодействий, положенную в основу единых теорий 20-х годов, неудача которых, как теперь стало ясно, состояла в том, что взаимодействия с непространственно-временными (так называемыми внутренними) симметриями они пытались описывать, как и гравитацию, в терминах пространственно-временной геометрии.

Большинство современных обобщений теории гравитации и моделей, претендующих на объединение гравитации и микромира, являются следствием калибровочной теории. Примером может служить уже получившее широкое признание ближайшее обобщение ОТО -- теория гравитации с кручением, учитывающая в качестве источника геометрического поля кручения спин материи (см. разд. 3.4).

Своего рода квинтэссенцией идей объединения является гипотеза о том, что в экстремальных условиях периода Большого взрыва, вблизи астрофизических сингулярностей, а возможно, и на уровне субчастиц и физического вакуума в результате квантовых флуктуации метрики, изменений топологии и трансмутаций между гравитонами и частицами могут исчезнуть различия между "обычной" материей и геометрической ареной, т.е. будет иметь место объединение "праматерии" с "прагеометрией" (см. разд. 3.6).

В этой книге, рассматривая современное состояние и проблематику теории гравитации, мы сосредоточили главное внимание на ее ключевых пунктах, не обходя спорных и дискуссионных моментов, поскольку именно они являются, что называется, "точками роста" живой развивающейся теории.

В первой главе излагаются математические и физические основы теории гравитации, заложенные эйнштейновской ОТО, и обсуждаются новейшие гравитационные эксперименты по ее проверке.

Вторая глава посвящена современной проблематике и некоторым новым подходам в теории гравитации, направленным на преодоление ее главных трудностей, но в целом не выходящим за рамки эйнштейновской теории.

В третьей главе рассматриваются различные варианты обобщения теории гравитации, ее квантования и сближения с теорией элементарных частиц, что потребовало краткого обзора ситуации в физике элементарных частиц (см. разд. 3.1) и изложения основ теории калибровочных полей (см. разд. 3.2).

Мы пытались сделать книгу доступной для широкого круга читателей, но не стали отказываться от языка современной теории гравитации, хотя и стремились, по возможности, адаптировать его. Ведь язык теории не складывается произвольно, он отражает уровень решаемых проблем. Язык сегодняшней теории гравитации во многом отличен от того, на котором первоначально формулировалась ОТО. Поэтому необходимо к нему привыкать. Мы постарались объяснить все основные понятия теории гравитации, прибегая, по возможности, к наглядности, чтобы не заставлять читателя лишней раз

обращаться к специальной литературе. Вместе с тем имеются ссылки на работы, с которых можно начать изучение той или иной проблемы на более глубоком уровне.

Об авторах



ИВАНЕНКО Дмитрий Дмитриевич

Выдающийся физик-теоретик XX века. Предложил протон-нейтронную модель атомного ядра. Разработал первую модель ядерных сил (совместно с И. Е. Таммом). Совместно с Е. Н. Гапоном начал развивать оболочечную модель ядра. Разработал каскадную теорию космических ливней (совместно с А. А. Соколовым). Предсказал синхротронное излучение релятивистских электронов (совместно с И. Я. Померанчуком) и создал его классическую теорию (совместно с А. А. Соколовым).

Совместно с В. А. Фоком построил уравнение Дирака в гравитационном поле (коэффициенты Фока—Иваненко). Построил нелинейное обобщение уравнения Дирака. Развивал обобщенную теорию гравитации с полем кручения. Предложил модель кварковых звезд (совместно с Д. Ф. Курдгеладзе). Разработал калибровочную теорию гравитации как хиггсовского поля (совместно с Г. А. Сарданашвили).



САРДАНАШВИЛИ Геннадий Александрович

Советский и российский физик-теоретик, доктор физико-математических наук. На протяжении многих лет работал на кафедре теоретической физики физического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова (последняя должность — ведущий научный сотрудник). Область научных исследований: геометрические методы теории поля, классической и квантовой механики; теория калибровочных полей; теория гравитации.

Автор более 350 научных работ, в том числе 25 книг.