

вычисляя их с помощью псевдотензора энергии-импульса. Гравитационные волны рассматриваются при этом как механизм переноса импульса и энергии и даже как источник дополнительного гравитационного поля (см., например, [2]). Придерживаясь этой точки зрения, А. З. Петров называет гравитационное поле особым видом материи, обладающим некоторыми общими свойствами с другими видами материи [3].

**2. Квантование гравитации.** Вскоре после разработки основ квантовой механики довольно популярной стала идея квантования поля гравитации. Необходимость такого квантования усматривалась в том, что в микромире классическая теория гравитации должна неизбежно вступить в конфликт с квантовой механикой. Действительно, если гравитационные поля элементарных частиц являются классическими и отвечают обычной ОТО, то принципиально возможно путем соответствующих изменений найти одновременно координаты и скорости частиц, что противоречит принципу неопределенности. Для преодоления противоречия необходимо преобразовать ОТО по образцу квантовой электродинамики с тем, чтобы в применении к микрочастицам она приводила к результатам, согласным с принципами квантовой механики.

Этому соображению противопоставлялось предположение о том, что в микромире гравитация крайне слаба и не играет сколько-нибудь существенной роли. Например, отношение гравитационного взаимодействия двух электронов к кулоновскому равно  $\gamma : \left(\frac{e}{m}\right)^2$ ,

что составляет величину порядка  $10^{-42}$ . Однако с точки зрения ОТО такое сравнение допустимо только для достаточно больших расстояний, когда нелинейные уравнения поля можно аппроксимировать законом Ньютона. Что же касается расстояний, характерных для микромира, то для них, вследствие нелинейности уравнений поля, гравитационные взаимодействия могут оказаться существенными.

Первая попытка квантования гравитации относится, по-видимому, к 1930 г. [4]. Подробную квантовую теорию слабого гравитационного поля построил в 1936 г. М. Бронштейн [5], рассматривавший поле тяготения в пустоте как некоторую квантово-механическую систему. По аналогии с квантовой электродинамикой, Бронштейн ввел понятие «гравитационного кванта» (по современной терминологии — гравитона) и объяснял гравитационное взаимодействие между материальными частицами испусканием и поглощением этих квантов, пытаясь, таким образом, вывести закон тяготения Ньютона.

К ранним попыткам квантования поля гравитации можно отнести также работы П. Г. Бергмана [6]. Впоследствии различные варианты квантовой теории гравитационного поля как в линейном

приближении, так и в нелинейной форме разрабатывались С. Гупта [7], Д. Уилером [8] и рядом других исследователей. К сожалению, предлагавшиеся до сих пор варианты, основанные на формальной аналогии с квантовой электродинамикой, с физической точки зрения оказались бесплодными. Поскольку поле гравитации имеет особую природу и является, по-видимому, чисто геометрическим, трудно согласиться с тем, что его можно квантовать по тем же правилам, как и обычные материальные поля. Следует также иметь в виду, что при составлении условий квантования гравитационного поля приходится пользоваться псевдотензором энергии-импульса, физический смысл которого пока неясен. Большие сомнения вызывает вывод квантовой теории о существовании гравитона — гравитационной частицы, обладающей энергией, импульсом и спином, а особенно — заключение о возможности превращения материальных частиц в гравитоны и обратно.

Необходимость и процедура квантования материальных полей были результатом тщательного анализа множества твердо установленных фактов, необъяснимых с точки зрения классической физики. В отличие от этого, квантование полей гравитации до сих пор не имеет эмпирической основы и выполняется только по формальной аналогии с материальными полями. Трудно предположить, что этот путь окажется плодотворным и приведет к существенным успехам в теории гравитации.

**3. Единые теории поля.** Со времени завершения ОТО Эйнштейн и другие исследователи предпринимали многочисленные попытки создания единой теории поля, задачей которой является объяснение гравитации и электромагнетизма с единой точки зрения. Математическим аппаратом одного из первых вариантов единой теории поля служила геометрия Вейля [9], представляющая собой некоторое обобщение геометрии Римана. Наряду с метрическим тензором, в геометрии Вейля играет существенную роль четырехмерный вектор, интерпретируемый как электромагнитный потенциал. Идея Вейля разрабатывал Эддингтон [10], который построил геометрию на понятии параллельного переноса. К этому направлению примыкает один из ранних вариантов единой теории поля Эйнштейна [11]. Позднее Эйнштейн предлагает теорию, основанную на отказе от симметрии метрического тензора [12]. Последний разлагается на симметричный и антисимметричный компоненты, которые отвечают гравитационному и электромагнитному полям.

Другое направление начато исследованиями Калуза [13], который стремился описать гравитацию и электромагнетизм при помощи одного метрического тензора. Математическим аппаратом теории остается геометрия Римана, но число измерений континуума принимается равным пяти: к четырем измерениям пространственно-временного многообразия добавляется пятое, которое не обладает