

ном 2. Известна ещё скалярно-тензорная теория гравитации Бранса — Дикке — Йордана (К. Бранс, Р. Г. Дикке, Т. Йордан, 1959—61), к-рая явилась развитием идеи П. Дирака об изменении со временем фундам. физ. констант и *констант взаимодействия*. Однако предсказания этой теории в пределе слабых полей, по-видимому, не согласуются с имеющимися эксперим. данными. А. Д. Сахаров (1967) выдвинул идею о гравитации как индуцированном взаимодействии, по аналогии с силами Ван-дер-Ваальса, к-рые, как известно, имеют эл.-магн. природу. В этой теории Г. в. — не фундам. взаимодействие, а результат квантовых флуктуаций всех др. полей. В настоящее время достигнут большой прогресс в этом направлении в результате того, что успехи квантовой теории поля (КТП) сделали возможным вычисление индуцированной гравитац. постоянной  $G$ , к-рая в этом случае выражается через параметры этих квантовых полей.

Теория тяготения — классич. теория. Квантовая теория гравитации ещё не создана. Необходимость квантования вызвана тем, что элементарные частицы — объекты квантовой природы, и поэтому соединения классического взаимодействия и квантованных источников этого взаимодействия представляется непоследовательным.

Создание квантовой теории гравитации наталкивается на большие матем. трудности, возникающие вследствие нелинейности ур-ний поля, сложности калибровочной группы (при квантовании ОТО и теории Эйнштейна — Картана), существования ур-ний нач. условий и отсутствия глобальной группы Пуанкаре, столь важной для физики элементарных частиц. Существует неск. методов квантования таких сложных матем. объектов; эти методы развиваются и совершенствуются (см. *Квантовая теория гравитации*). Как и в квантовой электродинамике (КЭД), при вычислениях появляются *расходимость*, однако, в отличие от КЭД, квантовая теория гравитации оказывается перенормируемой. Здесь имеется аналогия с теорией слабого взаимодействия, к-рая тоже, взятая отдельно, вне связи с др. взаимодействиями, перенормируема. И только объединение слабого и эл.-магн. взаимодействий (на основе идеи о т. н. *спонтанном нарушении симметрии*) позволило построить единую перенормируемую теорию *электрослабого взаимодействия*. В этой связи большие надежды возлагаются на *супергравитацию* — теорию, в к-рой объединены все взаимодействия на основе *суперсимметрии* и в к-рой, кроме *гравитонов* (безмассовых частиц со спином 2, бозонов), имеются и др. частицы — переносчики Г. в. — фермионы, получившие назв. *гравитино*.

Интерес к созданию квантовой теории гравитации не является чисто академическим. Связь Г. в. со всеми видами материи и с пространственно-временным многообразием неизбежно приведёт в будущей квантовой теории к квантованию пространства-времени и к изменению наших взглядов не только на пространство и время на сверхмалых расстояниях и промежутках времени, но и на понятие «частицы», на процедуру измерений в микромире, к изменению структуры совр. теорий элементарных частиц.

Нек-рые контуры этих изменений уже просматриваются. Это прежде всего проблема расходимостей в квантовой теории поля (КТП). Расходимость, напр., собств. энергии электрически заряженной частицы появляется уже в классич. электродинамике. Полная масса классич. заряженной точкой сферы, имеющей заряд  $e$  и размер  $r_0$ , равна

$$M = M_0 + \frac{e^2}{2r_0c^2}, \quad (2)$$

где  $M_0$  — *затравочная масса*. При  $r_0 \rightarrow 0$  масса  $M$  становится бесконечной. Эта расходимость не устраняется и в квантовой теории, только она становится более

слабой — логарифмической. Если учесть Г. в., то вместо (2) получится соотношение:

$$M = M_0 + \frac{e^2}{2r_0c^2} - \frac{GM^2}{2r_0c^2}. \quad (3)$$

Важной особенностью ф-лы (3) является то, что добавка за счёт Г. в. зависит (вследствие принципа эквивалентности) от полной массы  $M$ , а не от затравочной массы  $M_0$ . Из (3) имеем:

$$M = -\frac{r_0c^2}{G} + \left[ \frac{r_0^2c^4}{G^2} + \frac{e^2}{G} + \frac{M_0r_0c^2}{G} \right]^{1/2}. \quad (4)$$

Если устремить  $r_0$  к нулю, то

$$M \rightarrow \frac{e}{\sqrt{G}}, \quad (5)$$

т. е. расходимость собств. энергии в этом случае исчезает уже в классич. теории.

К вопросу о расходимостях можно подойти с др. стороны. Взаимодействие в КТП представляет собой обмен виртуальными частицами сколь угодно больших энергий. Поэтому при интегрировании по этим энергиям получаются расходящиеся выражения. В ОТО частицы не могут быть точечными. Их миним. размер определяется *гравитационным радиусом*  $r_g$ . Чем больше масса (энергия), тем больше гравитац. радиус:

$$r_g = \frac{2GM}{c^2}. \quad (6)$$

Если тело массы  $M$  сжато до размеров, меньших  $r_g$ , то оно превращается в *чёрную дыру* с размерами  $r_g$ . В квантовой теории также есть предел локализации частицы — её комптоновская длина волны  $l_C = \hbar/Mc$ , к-рая, очевидно, не может быть меньше гравитац. радиуса:  $l_C \geq r_g$ . Поэтому появляется надежда, что в теории, учитывающей Г. в., промежуточные состояния со сколь угодно большими энергиями не возникнут и, следовательно, расходимости исчезнут (имеются в виду *ультрафиолетовые расходимости*). Макс. масса (энергия) частиц соответствует равенству  $l_C = r_g$  и равна

$$M_{Pl} = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} \approx 10^{-5} \text{ г}. \quad (7)$$

Эта величина наз. *планковской массой*, и ей соответствует *планковская длина*

$$l_{Pl} = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} \approx 10^{-33} \text{ см}. \quad (8)$$

М. А. Марков предположил (1965), что могут существовать элементарные частицы массы  $M_{Pl}$  и что эти частицы имеют максимально возможную для элементарной частицы массу. Он назвал эти частицы *максимонами*. Заряж. максимоны будут иметь массу [по ф-ле (5)]:

$$M = \frac{e}{\sqrt{G}} \approx 10^{-6} \text{ г}, \quad (9)$$

где  $e$  — величина заряда электрона. Марков назвал их *фридмонами*. Фридмоны и максимоны обладают рядом необычных свойств. Так, геометрия внутри этих частиц может существенно отличаться от геометрии снаружи, и мыслимы такие фридмоны и максимоны, внутри к-рых находятся целые вселенные. Вполне возможно, что квантовые образования, подобные максимонам и фридмонам, определяли ранние этапы эволюции Вселенной и задавали нач. вакуум единого взаимодействия, к-рое при расширении Вселенной посредством, напр., механизма спонтанного нарушения симметрии расчленилось на четыре взаимодействия, известных в настоящее время. По крайней мере, совр. направленные развития физики элементарных частиц не исключают, а скорее предполагают такую возможность.

Не только квантовая гравитация может оказать существенное влияние на теорию др. взаимодействий. Несомненно, будет иметь место и обратное влияние. Исследования по КТП в искривлённом пространстве-времени,