

простым арифметическим соотношением

$$\beta = \frac{Gm_e m_p}{e^2} = \frac{\hbar c}{e^2} \cdot \frac{m_e}{m_{p1}} \cdot \frac{m_p}{m_{p1}} = 137 \frac{m_e}{m_{p1}} \cdot \frac{m_p}{m_{p1}},$$

Малость β есть результат того, что в планковских единицах измерения масса электрона, как и масса протона, ничтожна:

$$m_e/m_{p1} = 10^{-22}, \quad m_p/m_{p1} = 10^{-19}.$$

Внимательный читатель уже обратил внимание на то, что весь параграф написан в сослагательном наклонении: «Казалось бы», что гравитация никак не связана с элементарными частицами. В действительности современная физика преодолевает эту пропасть. Сказанное выше надо рассматривать как указания на характер тех трудностей, которые при этом приходится преодолевать.

Тяготение как поле в плоском пространстве

Еще Эйнштейн в ходе конкретных расчетов рассматривал ситуацию, когда гравитационные эффекты, а следовательно, и кривизна пространства-времени, малы. В этом случае можно считать малым и отличие пространства-времени от плоского пространства-времени специальной теории относительности.

Эти малые отклонения можно характеризовать 10 величинами, функциями координат, которые играют роль потенциалов. Кривизна выражается через частные производные (см. Математическое дополнение, с. 201) этих 10 величин по времени и по пространственным координатам. Не случайно число потенциалов (10) совпадает с числом компонент тензора плотности энергии, импульса и напряжений вещества.

Ряд ученых развивали это направление. Оказалось, что можно построить теорию тяготения, очень похожую на теорию Максвелла. Отличие состоит в том, что

1) кванты свободно распространяющегося поля, *гравитоны*, имеют спин 2, в отличие от квантов электромагнитного поля, фотонов, спин которых равен 1.

Масса гравитонов в точности равна нулю, так же как и масса фотонов — еще один элемент сходства;

2) теория гравитационного поля *нелинейна*. Источниками гравитационного поля является энергия вещества. Но гравитационное поле и само имеет определенную плотность энергии. Значит, в правой части уравнений для потенциалов тяготения, наряду с энергией вещества, находится и энергия гравитационного поля, квадратично зависящая от самих потенциалов тяготения.

Сегодня это не удивительно. Теория тяготения не похожа в этом отношении на теорию Максвелла, но она похожа на теорию глюонов. Впрочем, эта формулировка звучит как «дедушка вырос очень похожим на внука». Правильнее было бы сказать, что теория тяготения оказалась прообразом и первым примером современных нелинейных теорий поля.

Правильно сформулированная «полевая» теория тяготения согласуется по всем наблюдаемым выводам как с опытом, так и с общей теорией относительности.

Важнейший принципиальный вопрос состоит в следующем: отменяется ли в свете сказанного идея кривизны пространства-времени? Не оказывается ли общая теория относительности только промежуточным этапом, строительными лесами, которые можно убрать после построения полевой теории?

На четко поставленный вопрос можно дать и четкий — отрицательный — ответ.

В действительности именно полевая теория, воспринятая буквально, приводит к принципиальным трудностям. Полевая теория строится в плоском пространстве и времени. Но как определяется пространство и время? Для этого нужны эталон длины, эталон времени, нужны световые лучи, связывающие различные точки пространства.

Гравитационные поля (которые мы теперь описываем потенциалами) взаимодействуют со всеми формами вещества, в частности, и со светом — электромагнитным полем. Поэтому размеры эталона длины — атома водорода — оказываются различными в разных местах. Точно так же различны и частоты данного атомного перехода в зависимости от потенциала. Скорость света зависит и от места, и от направления распространения! Но все это означает, что *фиктивно* плоское пространство, в котором развивается полевая

теория тяготения*). Общая теория относительности и основная ее идея кривизны пространства-времени остаются непоколебленными. Таков итог многолетних, не законченных и сегодня дискуссий. Поскольку они не закончены, точнее надо сказать, что таким представляется этот итог авторам (и не им одним).

Вместе с тем, нельзя отрицать и пользу альтернативной полевой теории тяготения.

Выше уже было сказано о практическом удобстве вычислений. Можно добавить, что квантование теории и, в частности, вывод о существовании гравитонов и о том, что их спин равен 2, получены именно в такой формулировке теории тяготения.

Но еще важнее, что полевая формулировка открыла путь к дальнейшим обобщениям. Была развита теория, в которой определенным симметричным образом, наряду с гравитонами (спин 2), вводятся не наблюдаемые до сих пор частицы — *гравитино* — со спином $3/2$. Так как эти частицы — фермионы, то они не дают классического поля, не меняют закон тяготения. Однако для высших приближений квантовой теории тяготения гравитино необходимы.

Полевая теория тяготения может быть включена в объединение с большим числом полей и частиц — в том числе, с электромагнитным полем, с электронами и позитронами, глюонами, кварками и др.

Симметрии, объединяющие бозоны и фермионы, математически сложны и очень своеобразны. Мы не будем и пытаться объяснить эти теории по существу. Приведем только названия: *суперсимметрия* и *супергравитация*.

Невольню вспоминается неудобопечатаемая история о том, как «товарищ морского министра», академик Крылов объяснял в 1912 г. великому князю разницу между дредноутом и супердредноутом... — Умолкаю! «Sapienti sat», что по-латыни означает: «Кто знает, тот пусть и знает».

*) Будем производить геометрические и временные измерения, пользуясь стандартным эталоном длины — платиновым метром, эталоном времени — частотой атомных колебаний, эталоном скорости — скоростью света в пустоте (достаточно выбрать два эталона из указанных трех). Такие измерения неизбежно приведут к выводу, что пространство-время не плоское.

Психологический барьер перехода к объединению полей с очень сильно отличающейся массой в теории уже перейден в моделях Великого объединения (см. выше). В этих моделях появляются частицы с массой, превышающей 10^{15} ГэВ. Отсюда уже не далеко и до объединения с планковскими масштабами.

Отметим наконец, что гигантское различие между планковской массой, с одной стороны, и массой протона или электрона, с другой стороны, в настоящее время уже не воспринимается как непреодолимая пропасть при наведении мостов между тяготением и остальной физикой.

С одной стороны, по мере увеличения энергии ускорителей, растет и масса наблюдаемых частиц. Уже упоминалось открытие W и Z с массой почти в 100 раз большей массы протона. Для W и Z отношение $m/m_p = 10^{-17}$, показатель уменьшился на 12% по сравнению с протоном. Вполне вероятно, что с вводом в строй ускорителя с энергией встречных частиц $2 \times 20\,000$ ГэВ будут открыты и еще более тяжелые частицы. Заполнить интервал до планковской массы помешают, возможно, только принципиальные технические трудности. (При темпе ускорения 1 МэВ/см, которого только надеются достичь, для энергии 10^{19} ГэВ требуется длина ускорителя порядка размера Галактики.) Но есть и другое, теоретическое замечание: отношение масс 10^{19} кажется неестественным и означающим отсутствие связи тяготения и частиц лишь до тех пор, пока мы думаем в привычных терминах

теории возмущений: $m_1 = \frac{e^2}{\hbar \cdot c} m_2 = \frac{1}{137} m_2$ или $m_1 = \left(\frac{1}{137}\right)^2 \cdot m_3$. Такие соотношения неплохо выполня-

ются для мюона и тау-частицы при сравнении их с электроном. Но современные теории оперируют и величинами типа *) $\exp(\hbar c/e^2) = 10^{50}$.

Конечно, от такой игры числами очень далеко до логически связной теории. Однако и «большие числа» 10^{19} или 10^{22} , или даже $Gm_1 m_2 / e^2 = 10^{-40}$ не пугают современного теоретика.

*) В частности, в моделях Великого объединения масса барлептонных полей $\sim 10^{15}$ ГэВ получена из выражений такого рода.