

теории. В квантовой теории испускать кванты может лишь система, находящаяся в возбужденном состоянии. При этом система переходит, прямо или каскадно, в основное, нижнее состояние, и теряет способность испускать волны. Между тем кулоновское поле существует у покоящегося заряда и у заряженной системы, находящейся в нижнем квантовом состоянии.

Это нужно иметь в виду и в случае ядерных сил. Теория скалярных мезонов (теория Юкавы; здесь не существенно, что мезоны псевдоскалярны, а не скалярны) предусматривает два факта:

1) существование свободных мезонов с определенной массой, со спином 0, подчиняющихся статистике Бозе;

2) взаимодействие нуклонов.

Когда мезонов много, можно говорить о классической теории мезонного поля; это поле скалярное, т. е. подобно полю температуры $T(r)$, а не векторному полю скорости $v(r)$; понятия продольных и поперечных волн здесь нет.

Однако и в мезонной теории остается в силе утверждение: испускать свободные мезоны может только ускоренно движущийся или возбужденный нуклон. Покоящийся нормальный нуклон создает вокруг себя мезонное поле, воздействующее на другие нуклоны, но это поле статическое, мезоны не испускаются, и нуклон, естественно, не теряет массы и энергии. Это видно также и из того, что статическое мезонное поле убывает экспоненциально с расстоянием, как $e^{-mcr/\hbar}$.

Гравитационное взаимодействие тел (ньютоновское притяжение) нельзя представлять как результат излучения гравитонов, сопровождающегося потерей энергии (массы) по обоим причинам: как из-за поперечности гравитонов, так и по энергетическим причинам. Идеи гравитационной потери энергии легко привести к абсурду простым сопоставлением: почему не предположить, в таком случае, потерю энергии электростатическую или связанную с ядерными силами, в 10^{40} раз более сильную? Время изменения массы порядка 10^{10} лет (гравитационное) превратилось бы в 10^{-23} сек!

§ 7. Скалярная теория тяготения

В заключение этой главы вернемся к рассмотрению скалярной теории тяготения (Бранс, Дикке). Результат для скалярного поля можно сформулировать в очень общем виде: его источник *) должен

*) Полное решение всегда есть сумма поля источника плюс свободно распространяющаяся волна. Как указано ранее, свободные волны исключаются в векторном и тензорном случаях, если наложить условие сферической симметрии, поскольку свободные волны векторного и тензорного поля поперечны. В скалярном случае существуют сферические свободные волны, которые следует исключить при получении статического решения для статического источника.

быть скаляром, сконструированным из тензора энергии — импульса. Очевидно, таким скаляром является след тензора

$$T = T^i_i = g_{ik} T^{ik}.$$

Для материи без анизотропных натяжений, покоящейся в локально псевдоевклидовом пространстве,

$$T = T^0_0 + T^x_x + T^y_y + T^z_z = \varepsilon - 3P.$$

Например, для нерелятивистского газа

$$\varepsilon = nm_0c^2 + n \frac{3}{2} RT, \quad P = nRT, \quad T = nm_0c^2 - n \frac{3}{2} RT.$$

На первый взгляд, рецепт для нахождения различия между тензорной и скалярной теориями прост: возьми холодное тело, взвесь его, затем нагревай его при постоянном объеме. В тензорной теории сила источника (вес) увеличивается пропорционально ε , в скалярной теории вес растет как $\varepsilon - 3P$.

Но это не вся история! В теории тяготения все тела следует считать источниками поля. Поэтому необходимо принимать во внимание и сосуд, в котором находится нагреваемое тело. В статическом случае, когда тело находится под давлением, в стенках сосуда должны быть соответствующие отрицательные напряжения. Общая сумма (точнее, интеграл по объему) давления и напряжения тождественно равна нулю, иначе наблюдалось бы ускоренное движение. Поэтому в статическом случае для тел, у которых самогравитация несущественна (об этом см. ниже),

$$T \neq \varepsilon, \quad \text{но} \quad \int T dV \equiv \int \varepsilon dV,$$

где интеграл распространяется на весь объем, занимаемый материей. Таким образом, статические гравитационные эксперименты не позволяют отличить тензорную теорию тяготения от скалярной. Лишь эксперименты с быстро движущимися телами могут быть решающими. Вот почему проверка скалярно-тензорной теории Бранса — Дикке должна основываться на таких эффектах, как отклонение лучей света и смещение перигелия Меркурия.

Однако, как подчеркивает Торн, приведенные выше аргументы не справедливы для тел, у которых самогравитация существенна. В этом случае $\int T dV$ и $\int \varepsilon dV$ отличаются на величину порядка гравитационной энергии связи. Важное следствие этого факта состоит в том, что в скалярной теории тяготения отношение гравитационной массы к инертной массе звезды и планеты отличается

от единицы на величину порядка отношения

$$\frac{\text{гравитационная энергия связи}}{\text{масса покоя}} .$$

Это означает, что будучи помещенными во внешнее гравитационное поле, различные звезды и планеты будут падать с разными ускорениями. Например, в теории Бранса — Дикке Солнце должно падать с ускорением в 10^{-6} раз меньшим, чем ускорение малого пробного тела; ускорение Юпитера должно быть меньше в 10^{-8} раз и Земли в $\sim 10^{-9}$. Эти факты и их следствие для проверок гравитационных теорий в Солнечной системе указаны и обсуждались в ряде статей Нордведта [(1968а, б; 1970); см. также Дикке (1969)]. Впрочем, неясно, нельзя ли построить такую нелинейную модификацию теории, где этих эффектов не было бы.

Вернемся к проверке с помощью световых лучей. В настоящее время можно утверждать, что вклад скалярной теории меньше 10% вклада ОТО в гравитацию [Шапиро (1971)].