Письма в ЖЭТФ, том 49, вып. 3, стр. 125 – 127 *10 февраля 1989 г.*

АСИМПТОТИЧЕСКАЯ КОНЕЧНОСТЬ И СУПЕРСИММЕТРИЯ В КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ ПОЛЯ

С.Д.Одинцов, И.Л.Шапиро

Рассмотрены теории большого объединения (ТБО), содержащие скаляры, спиноры и калибровочные поля, мультиплетный состав которых допускает конечность по всем константам связи. Показано, что в ультрафиолетовом пределе такие теории являются асимптотически-конечными, а в инфракрасном – асимптотически-суперсимметричными и конечными.

1. В последнее время был достигнут некоторый прогресс в построении конечных теорий поля, то есть теорий, в которых β-функции констант связи и масс равны нулю. В частности, были построены реалистические суперсимметричные конечные ТБО [1 - 4], основанные например, на группе $SU(5)$ [1 - 3].

Для того, чтобы сделать теорию конечной, необходимо наложить жесткие ограничения как на мультиплетный состав теории, так и на значения констант связи. При нарушении условий на константы связи теория перестает быть конечной, однако, может сохранять мультипликативную перенормируемость. В этом случае для исследования поведения эффективных зарядов, отвечающих константам связи, можно использовать метод ренормгруппы. Тогда, как показано в настоящей работе, в ультрафиолетовом пределе теория становится конечной, а в инфракрасном – суперсимметричной и конечной.

2. Изучим в однопетлевом приближении асимптотическое поведение эффективных констант связи в безмассовых ТБО, содержащих одну калибровочную константу связи g, несколько юкавских h и несколько скалярных констант связи f (индексы везде опускаются). При определенных ограничениях на мультиплетный состав скаляров и спиноров (см., например, [4]) теория конечна по константе g. В этом случае $g(t) = g$ (здесь t – ренормгрупповой параметр, $t \to \infty$ отвечает ультрафиолетовой асимптотике, $t \to -\infty$ – инфракрасной).

Уравнение для эффективных констант юкавской связи имеет следующую структуру [5, 6]

$$dh/dt = a_1 h(h^2 - a_2 g^2), \qquad (1)$$

где a_1, a_2 – константы. Как правило, для h имеются две фиксированные точки $\bar{h}_1 = 0$, $\bar{h}_2 \neq 0$. При $t \to \infty$ устойчивой является нулевая фиксированная точка [7], а при $t \to -\infty$ – ненулевая. Если рассматриваемая ТБО суперсимметрична при $h \sim g$, $f \sim g^2$, то точка $\bar{h}_2$ может соответствовать суперсимметричной теории (ср. [4]).

Условия конечности для скалярных констант связи (уравнения для соответствующих фиксированных точек) есть:

$$k_1 f^2 + k_2 f g^2 + k_3 g^4 + k_4 f h^2 + k_5 h^2 = 0, \quad k_i = \text{const}, \quad i = 1, \dots, 5. \tag{2}$$

Для интересных с точки зрения феноменологии групп (например, $SU(N)$ при $N \leqslant 5$) уравнения (2) имеют вещественные решения, как правило, только при $h = h_2 \neq 0$ [4-6].

При $t \to \infty$ существуют две возможности [8]. Если в теории $h(0)$ имеет произвольное значение, то при $t \to \infty$, $h(t) \to 0$ [7]. Тогда уравнения (2) не имеют вещественных решений и $|f(t)| \to \infty$. Можно зафиксировать начальные значения, потребовав, чтобы $h(0) = \overline{h}_2$. В этом случае $h(t) \equiv \overline{h}_2$, а уравнения (2) имеют вещественные решения [8].

В том случае, когда мультиплетная структура теории допускает суперсимметрию, среди решений уравнений (2) одно, как правило, отвечает суперсимметричной теории. Обозначим его f_1, а остальные решения (если они существуют) $- f_2$. В работах [4, 3] был приведен ряд моделей (например, $SU(2)$ калибровочная теория с глобальной $SU(4)$ или $SU(2) \times SU(4) \times U(1)$ симметрией, $SU(5)$ ТБО), для которых можно показать, что при $t \to \infty$ устойчивыми являются несуперсимметричные решения f_2, а при $t \to -\infty$ – суперсимметричные f_1. Можно предположить, что для всех моделей рассмотренного типа f_2 устойчивы при $t \to \infty$, а f_1 при $t \to -\infty$.

Таким образом, при $t \to \infty$ за счет специального выбора начального условия для юкавской константы $h(0) = \overline{h}_2$ в теории реализуется асимптотическая конечность, т. е. эффективные заряды $h(t)$ и $f(t)$ стремятся к значениям, отвечающим конечной несуперсимметричной теории. Отметим, что начальные значения скалярных констант произвольны.

В инфракрасном пределе ($t \to -\infty$) для произвольных начальных значений $h(0)$ и $f(0)$, $h(t) \to \overline{h}_2$, а $f(t) \to f_1$. Следовательно, в инфракрасном пределе рассматриваемая теория становится асимптотически конечной и асимптотически–суперсимметричной. Заметим, что реализация асимптотической суперсимметрии в инфракрасном (а не ультрафиолетовом) пределе, по-видимому, обусловлена тем, что нарушение суперсимметрии жесткое.

3. Рассмотрим теперь ТБО, в которой при $h = \overline{h}_2$, $f = f_1$ условия конечности разрешимы во всех порядках теории возмущений. Другими словами, мультиплетная структура теории такова, что при $h = \overline{h}_2$, $f = f_1$ точные β-функции всех эффективных констант связи зануляются. Примером такой теории является $SU(2)$ калибровочная теория с глобальной $SU(4)$-инвариантностью [4], в которой имеются две скалярные константы связи и одна юкавская. Если все эти константы связи (в обозначениях работы [4]) равны калибровочной константе g, то мы приходим к $N = 4$ расширенной суперсимметричной калибровочной теории, являющейся конечной во всех порядках теории возмущений.

Точные β-функции для теорий рассматриваемого типа имеют фиксированную точку при $h = \overline{h}_2$, $f = f_1$. Кроме того, возможны и бесконечные асимптотики для всех (или части) эффективных зарядов. Однопетлевое рассмотрение (п.2) дает возможность предположить, что в инфракрасном пределе фиксированная точка $h = \overline{h}_2$, $f = f_1$ является устойчивой. Другими словами, рассматриваемая модель является асимптотически конечной и асимптотически суперсимметричной при $t \to -\infty$ вне рамок теории возмущений.

В ультрафиолетовом пределе эффективные заряды, по-видимому, будут стремиться к бесконечности. Однако, результаты п. 2 дают возможность высказать следующую гипотезу: при некоторых условиях возможно существование несуперсимметричной устойчивой при $t \to \infty$ фиксированной точки $h = \overline{h}_2$, $f = f_2$ для точных β-функций. Это означает наличие несуперсимметричных решений условий конечности во всех порядках теории возмущений.

Мы признательны И.Л.Бухбиндеру, И.В.Тютину за полезные обсуждения.

Литература

1. *Hamidi S., Schwarz J.H.* Phys. Lett. B, 1984, **147**, 301.
2. *Bjorkman J.E., Jones D.R.T., Raby S.* Nucl. Phys. B, 1985, **259**, 503; *Leon J. et al.* Phys. Lett. B, 1985, **156** , 66.
3. *Ermushev A.V., Kazakov D.I., Tarasov O.V.* Nucl. Phys. B, 1987, **281**, 72.
4. *Böhm M., Denner A.* Nucl. Phys. B, 1987, **282**, 206.
5. *Cheng T.P., Eichten E., Li L.F.* Phys. Rev. D, 1974, 9, 2259.
6. *Воронов Б.Л., Тютин И.В.* ЯФ, 1976, **23**, 664; Письма в ЖЭТФ, 1975, **23**, 6.
7. *Конштейн С.Е., Фрадкин Е.С.* Кратк. сообщ. по физике. ФИАН 1986, №12, с. 28.
8. *Одинцов С.Д., Шапиро И.Л.* Препринт ТФ СО АН СССР, 1988, №28, с. 19.

Томский государственный
педагогический институт
им. Ленинского комсомола

Поступила в редакцию
21 ноября 1988 г.