

МОЖЕТ ЛИ СЛОЖНАЯ СТРУКТУРА ВАКУУМА ПРИВЕСТИ К НАРУШЕНИЮ СУПЕРСИММЕТРИИ?

Н.В.Красников, В.А.Матвеев

Показано, что учет сложной структуры вакуума в неабелевых калибровочных теориях не приводит к нарушению суперсимметрии.

В последнее время вновь возрос интерес к суперсимметричным моделям теории поля¹, что связано с надеждами решения проблемы „иерархий масштабов“ в рамках суперсимметричных моделей². Чтобы получить наблюдаемый спектр масс, суперсимметрия должна быть нарушена. В работе² обсуждалась возможность нарушения суперсимметрии инстантонными эффектами (т.е. возможность нарушения суперсимметрии вследствие учета сложной структуры вакуума в калибровочных теориях³⁻⁶).

В настоящей работе мы покажем, что учет сложной структуры вакуума в суперсимметричных калибровочных теориях сам по себе не может привести к нарушению суперсимметрии. Для конкретности мы рассмотрим простейшую суперсимметричную глюодинамику. Лагранжиан модели в калибровке Васса — Зумино имеет вид¹

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4} (F_{\mu\nu}^a)^2 + \frac{i}{2} \bar{\psi}^a D_{ab} \psi^b + \frac{1}{2} (D^a)^2, \quad (1)$$

$$\hat{D}_{ab} = \partial_\mu j^\mu \delta_b^a - i g A_\mu^k j^\mu T_{ab}^k.$$

Здесь ψ^a — майораново поле, являющееся суперсимметричным партнером калибровочного поля A_μ^a , а T_{ab}^k — матрицы присоединенного представления алгебры калибровочной группы. Сохраняющийся суперсимметричный ток, соответствующий Лагранжиану (1), имеет вид

$$J_\mu^s(x) = \frac{1}{2} F_{\alpha\beta}^a(x) \sigma_{\alpha\beta} j_\mu \psi^a(x). \quad (2)$$

Заметим, что суперсимметричный ток (2) является калибровочно инвариантным. Это свойство сохраняется и при учете квантовых поправок⁷ в теории возмущений. В дальнейшем мы будем предполагать, что и вне рамок теории возмущений суперсимметричный ток $J_\mu^s(x)$, а точнее генератор суперсимметрии $Q_s = \int d^3x J_0^s(x)$ является калибровочно-инвариантным, т.е.

$$[Q_s, u] = 0, \quad (3)$$

где u — операторы калибровочных преобразований, включая топологически нетривиальные. Из коммутационного соотношения (3) по сути дела и следует основной вывод о том, что сам по себе учет сложной структуры вакуума не приводит к нарушению суперсимметрии. Действительно, θ -вакуум можно представить в виде ⁶

$$|\theta\rangle = \sum_{n=-\infty}^{n=\infty} e^{in\theta} [u(1)]^n |0\rangle. \quad (4)$$

Здесь $|0\rangle$ — вакуум теории возмущений, а $u(1)$ — топологически нетривиальное калибровочное преобразование с изменением топологического числа $\Delta n = 1$; в калибровке $A_a^0 = 0$

$$\Delta n = \frac{1}{6\pi^2} \int \epsilon^{ijkl} f^{abc} A_a^i A_b^j A_c^k d^3x.$$

Предположим, что состояние $|0\rangle$ является суперсимметрично инвариантным, т.е.

$$Q_s |0\rangle = 0. \quad (5)$$

Из представления (4) и коммутационного соотношения (3) немедленно следует, что

$$Q_s |\theta\rangle = 0, \quad (6)$$

т.е. θ -вакуум также является суперсимметрично инвариантным. Нетрудно убедиться, что справедливо и обратное утверждение: если состояние $|0\rangle$ не является суперсимметрично инвариантным ($Q_s |0\rangle \neq 0$), то и θ -вакуум также не является суперсимметрично инвариантным ($Q_s |\theta\rangle \neq 0$).

Заметим, что из приведенных выше рассуждений и соотношения $P^0 = \frac{1}{4}(Q_s Q_s^+ + Q_s^+ Q_s)$ следует, что если состояние $|0\rangle$ является суперсимметрично инвариантным, то энергия θ -вакуума не зависит от параметра θ , т.е. $P^0 |\theta\rangle = 0$.

Тот факт, что энергия θ -вакуума для Лагранжиана (1) не зависит от параметра θ является непосредственным следствием наличия симметрии Печи — Квинн ⁸

$$\psi^a \rightarrow \exp(i a j_s) \psi^a$$

для Лагранжиана (1).

В более сложных суперсимметричных моделях симметрия Печи — Квинн (R -симметрия ¹) может и отсутствовать. Поэтому в общем случае энергия θ -вакуума может нетривиально зависеть от параметра θ . То обстоятельство, что энергия θ -вакуума, построенного исходя из суперсимметрично инвариантного вакуума теории возмущений, не зависит от параметра θ является весьма нетривиальным.

Авторы благодарны Д.И.Казакову, В.А.Рубакову и А.Н.Тавхелидзе за полезные обсуждения.

Литература

1. В качестве обзора по суперсимметрии, см., например, *Fayet P., Ferrara S. Phys. Rep.*, 1977, 32С, 249.
2. *Witten E. Nucl. Phys.*, 1981, В188., 513.
3. *Belavin A.A. et al. Phys. Lett.*, 1975, 59В, 85.
4. *Hoofdt G.'t. Phys. Rev. Lett.*, 1976, 37, 8.
5. *Callan C.G. et al. Phys. Lett.*, 1976, 63В, 334.
6. *Jackiw R., Rebbi C. Phys. Rev. Lett.*, 1976, 37, 334.
7. *Abott L. et al. Phys. Rev.*, 1977, D16, 2995; *Majumdar P. et al. Phys. Lett.*, 1980, 93В, 321.
8. *Peccei R., Quinn H. Phys. Rev. Lett.*, 1977, 38, 1440.