

УДК 523.112

Катализ протонного распада в теории суперструн

Ю. М. Малюта¹, В. Ф. Губарев², Н. Н. Аксенов², Т. В. Обиход¹

¹Институт ядерних досліджень НАН України, Київ

²Институт космічних досліджень НАН України, НКАУ, Київ

Надійшла до редакції 25.07.97

Теорію суперструн на многовидах Калабі-Яу застосовано до вивчення каталізу протонного розпаду.

ВВЕДЕНИЕ

Рубаков (1981) и Каллан (1982) показали, что теории великого объединения, не сохраняющие барионное число, предсказывают существование индуцированного монополюс распада протона. Недавно было доказано, что модели Калаби-Яу описывают солитонные объекты теории суперструн (Aldazabal et al., 1995).

Цель данной работы — исследовать индуцированный распад протона в контексте моделей Калаби-Яу.

В течение последних нескольких лет был достигнут значительный прогресс в теории суперструн, компактифицированных на многообразиях Калаби-Яу (Berglund et al., 1995; 1996). Особенно плодотворной оказалась идея дуальности между гетеротическими струнами и струнами типа II. Новые методы позволили исследовать суперструнные вакуумы и фазовые переходы между ними. Этот подход очень важен, так как он дает новые предсказания для будущих экспериментальных поисков.

РЕАКЦИЯ КАТАЛИЗА

Рассмотрим инстантонные числа — топологические инварианты рациональных кривых (Berglund et al., 1995) — для многообразий Калаби-Яу $X_{24}(1, 1, 2, 8, 12)_{-480}^{3,243}$ и $X_{20}(1, 1, 2, 6, 10)_{-372}^{4,190}$ (табл. 1 и 2).

Вычисление этих чисел проводилось с помощью компьютерной программы INSTANTON. Из табл. 1

Таблица 1. Инстантонные числа для $X_{24}(1, 1, 2, 8, 12)_{-480}^{3,243}$

| | | | | | | | |
|---------|------|---------|------|---------|------|---------|-----|
| (0,0,1) | -1 | (0,1,1) | -1 | (0,1,2) | -2 | (0,1,3) | -3 |
| (0,1,4) | -4 | (0,1,5) | -5 | (0,2,3) | -3 | (0,2,4) | -16 |
| (1,0,0) | 240 | (1,0,1) | 240 | (1,1,1) | 240 | (1,1,2) | 720 |
| (1,1,3) | 1200 | (1,1,4) | 1680 | (1,2,3) | 1200 | (2,0,0) | 240 |
| (2,0,2) | 240 | (2,2,2) | 240 | (3,0,0) | 240 | (3,0,3) | 240 |
| (4,0,0) | 240 | (5,0,0) | 240 | (6,0,0) | 240 | (0,1,0) | 0 |

Таблица 2. Инстантонные числа для $X_{20}(1, 1, 2, 6, 10)_{-372}^{4,190}$

| | | | | | | | |
|-----------|-----|-----------|------|-----------|----|-----------|-----|
| (0,0,0,1) | 28 | (0,0,0,2) | -1 | (0,0,0,3) | 0 | (0,0,1,0) | -1 |
| (0,1,0,0) | 0 | (0,1,1,0) | -1 | (0,1,2,0) | -2 | (0,1,3,0) | -3 |
| (0,1,4,0) | -4 | (0,1,5,0) | -5 | (0,2,3,0) | -3 | (0,2,4,0) | -16 |
| (0,2,5,0) | -55 | (0,2,6,0) | -144 | (0,3,4,0) | -4 | (0,3,4,0) | -4 |
| (0,3,5,0) | -55 | (1,0,0,0) | -1 | (1,0,0,1) | 28 | (1,0,0,2) | 186 |
| (1,0,0,3) | 28 | (1,0,0,4) | -1 | | | | |

и 2 можно получить следующее соотношение между инстантонными числами

$$n_{a, b, c} = \sum_k n_{a, b, c, k} \quad (1)$$

Соотношение (1) описывает фазовый переход между солитонными объектами, спектры которых представлены в табл. 3.

Эти спектры вычисляются путем применения

Таблица 3. Спектры солитонных объектов

| Калаби-Яу | Спектр | Калибровочная группа | Ранг группы |
|-------------------------------------|--------------|-----------------------|-------------|
| $X_{24}(1,1,2,8,12)_{-480}^{3,243}$ | 244 1 | $U(1)^4$ | 4 |
| $X_{20}(1,1,2,6,10)_{-372}^{4,190}$ | 28 2 + 191 1 | $SU(2) \times U(1)^4$ | 5 |

техники инстантонных чисел (Berglund et al., 1996):

$$\frac{240}{\frac{4}{244} + 1} = -1 + \frac{28}{191} + 186 + \frac{5}{191} - 1 \quad (2)$$

Мы заключаем из (2), что солитонный объект $Sol = (244 \ 1)$ состоит из 244 синглетных гипермультиплетов, а солитонный объект $Sol^* = (28 \ 2 + 191 \ 1)$ состоит из 28 дублетных гипермультиплетов и 191 синглетного гипермультиплета; причем существует фазовый переход

$$Sol^* \longrightarrow Sol + H, \quad (3)$$

где H является синглетным гипермультиплетом.

Комбинируя (3) с кварковой диаграммой распада протона, мы конструируем диаграмму катализа

$$\begin{array}{ccc} p \rightleftharpoons \circ & \longrightarrow & e^+, \\ & \downarrow \uparrow H & \\ Sol^* \Rightarrow \circ & \Rightarrow & Sol. \end{array} \quad (4)$$

ОЦЕНКИ ГРАНИЦ

Реакция (4) сопровождается энерговыделением $\varepsilon \approx m_H$, где мы приравняем m_H массе хиггсова бозона 1000 ГэВ (Particle Data Group, 1996). Для оценки сечения реакции (4) применим прием Окуня (1981). Этот прием продемонстрирован в табл. 4, где $\alpha_{12} = g_1 g_2$, g_1 и g_2 являются эффективными константами связи, представляющими вершины диаграммы (4).

Идентифицируя в формуле для σ константу α_{12} с константой великого объединения $\alpha_{GU} \approx 1/40$ (Окунь, 1981), найдем верхнюю границу сечения реакции катализа

$$\sigma \approx 10^{-28} \text{ см}^2.$$

В последнее время ведутся интенсивные поиски солитонных объектов типа неабелевых монополей в космических лучах (Ahlen et al., 1994; Becker-

Таблица 4. Размерная оценка наблюдаемых параметров

| Амплитуда реакции (4) | Вероятность реакции (4) | Сечение реакции (4) |
|----------------------------|--|---|
| $A = \alpha_{12} m_H^{-2}$ | $\omega = A^2 \varepsilon^5 = \alpha_{12}^2 m_H$ | $\sigma = \omega^{-2} = (\alpha_{12}^2 m_H)^{-2}$ |

Szendy et al., 1994). Формула

$$F = (4\pi\sigma\tau)^{-1},$$

связывающая поток монополей в космических лучах F с сечением реакции катализа σ и временем жизни протона $\tau \approx 10^{32}$ лет (Particle Data Group, 1996), определяет верхнюю границу потока

$$F \approx 10^{-12} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1} \text{ ср}^{-1}. \quad (5)$$

Экспериментальный интерес представляет реализация поиска монополей путем установки на орбитальной станции типа «Альфа» сцинтилляционного детектора с эффективным сечением 10^4 см^2 . Согласно оценке (5) такой детектор будет регистрировать один монополю за время экспозиции — один год.

- Окунь Л. Б. Лептоны и кварки. — М.: Наука, 1981.—304 с.
 Рубаков В. А. Сверхтяжелые магнитные монополи и распад протона // Письма в ЖЭТФ.—1981.—33.—С. 658—660.
 Ahlen S., Ambrosio M., Antolini R., et al. Search for slowly moving magnetic monopoles with the MACRO detector // Phys. Rev. Lett.—1994.—72.—P. 608—612.
 Aldazabal G., Font A., Ibañez L. E., et al. Chains of $N = 2$, $D = 4$ heterotic/type II duals // hep-th/9510093.
 Becker-Szendy R., Bratton C. B., Breault J., et al. New magnetic monopole flux limits from the IMB proton decay detector // Phys. Rev.—1994.—D49.—P. 2169—2173.
 Berglund P., Katz S., Klemm A. Mirror symmetry and the moduli space for generic hypersurfaces in toric varieties // Nucl. Phys.—1995.—B456.—P. 153—204.
 Berglund P., Katz S., Klemm A., et al. New Higgs transitions between dual $N = 2$ string models // hep-th/9605154.
 Callan C. G. Dyon-fermion dynamics // Phys. Rev.—1982.—D26.—P. 2058—2068.
 Particle Data Group. Review of Particle Physics // Phys. Rev.—1996.—D54, N 1, Part I.

CATALYSIS OF PROTON DECAY IN SUPERSTRING THEORY

Yu. M. Malyuta, V. F. Gubarev, N. N. Aksenov, and T. V. Obikhod

Theory of superstrings on Calabi-Yau manifolds is applied to the investigation of proton decay catalysis.