

## ПОИСК НОВЫХ КАЛИБРОВОЧНЫХ БОЗОНОВ В РАСПАДЕ $\pi \pi^0 \rightarrow \gamma + \text{"НИЧТО"}$

*М.И.Добролюбов, А.Ю.Игнатьев*

Показано, что поиск распада  $\pi^0 \rightarrow \gamma + \text{"ничто"}$  представляет собой эффективный метод поиска новых легких калибровочных бозонов.

В настоящее время стандартная  $SU(2) \times U(1) \times SU(3)$  модель хорошо согласуется со всеми экспериментальными данными. Однако, ряд недостатков модели (проблема иерархий, числа поколений, объединения всех взаимодействий и др.) требует выхода за ее рамки (теории великого объединения суперсимметрия, техни цвет, суперструны и т. д.). При этом низкоэнергетическая калибровочная группа часто оказывается шире, чем  $SU(2) \times U(1) \times SU(3)$ . Простейшим и вместе с тем наиболее распространенным случаем является расширение стандартной группы с помощью дополнительного  $U(1)$  фактора. Эта возможность часто реализуется в теориях великого объединения <sup>1</sup>, суперсимметричных моделях <sup>2</sup> и суперструнных теориях <sup>3</sup>. В последнее время интерес к подобным моделям возрос также в связи с указаниями на возможное существование нового дальнодействия ("пятой силы" <sup>4</sup>). В связи с этим важной задачей является теоретическое изучение свойств новых  $U(1)$ -бозонов и исследование возможностей их экспериментального поиска.

Цель настоящей работы – показать, что одним из новых эффективных способов поиска таких бозонов является поиск процесса  $\pi^0 \rightarrow \gamma + \text{"ничто"}$  (под "ничто" понимаются недетектируемые нейтральные частицы).

Лагранжиан взаимодействия гипотетического калибровочного бозона  $X_\mu$  с векторным кварковым током имеет вид<sup>1)</sup>:

$$\mathcal{L} = \sum_q g_q \bar{q} \gamma_\mu q X^\mu$$

(можно показать, что связь  $X_\mu$  с аксиальным током не дает вклада в распад  $\pi^0 \rightarrow \gamma X$ ).

Сводя амплитуду распада  $\pi^0 \rightarrow \gamma X$  к амплитуде распада  $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ , находим

$$\Gamma(\pi^0 \rightarrow \gamma X) = \frac{2\alpha}{(4\pi)^4} (2g_u + g_d)^2 \frac{m_\pi^3}{f_\pi^2} \left(1 - \frac{m_X^2}{m_\pi^2}\right)^3, \quad (1)$$

где  $f_\pi = 93$  МэВ,  $m_X$  – масса  $X$ -бозона.

Для конкретности рассмотрим суперсимметричную  $SU(3) \times SU(2) \times U(1) \times \tilde{U}(1)$  модель Файе<sup>2)</sup> со спонтанным нарушением суперсимметрии за счет  $D$ -члена. Дополнительный калибровочный бозон в этой модели (обычно называемый  $U$ -бозоном) взаимодействует с кварковым током  $\bar{q} \gamma_\mu q$  с константой связи<sup>2)</sup>

$$g_q = 2 \cdot 10^{-3} m_U (\text{ГэВ}) a, \quad (2)$$

где  $0 < a \leq 1$  – параметр, определяемый хиггсовским сектором модели, а также масштабом нарушения суперсимметрии (в обозначениях работ<sup>2)</sup>  $a = r \cos \varphi$ ). Анализ возможных проявлений  $U$ -бозона в различных экспериментах:  $\nu N$ -рассеяние, распады  $K^+ \rightarrow \pi^+ U$  и  $\pi^0 \rightarrow \pi^0 U$ <sup>7)</sup> показывает, что заведомо разрешенной областью масс  $U$ -бозона является  $100 \text{ МэВ} < m_U < 120 \text{ МэВ}$ <sup>3)</sup>, причем из экспериментов по несохранению  $P$ -четности в атомах<sup>8)</sup> следует ограничение на параметр  $a$ : для  $m_U$  в области  $100 - 120$  МэВ должно быть  $a^2 < 0,15 \cos \varphi$ . Используя (1) и (2), получаем при  $m_U = 100$  МэВ

$$B(\pi^0 \rightarrow \gamma U) B(U \rightarrow \nu \bar{\nu}) \lesssim 6,5 \cdot 10^{-8} \cos \varphi. \quad (3)$$

При получении (3) учено, что относительная вероятность распада бозона по невидимому каналу составляет  $B(U \rightarrow \nu \bar{\nu}) = 0,6$ .

Аналогичным образом можно оценить вероятность рождения нового калибровочного  $X$ -бозона в распаде  $\pi^0 \rightarrow \gamma X$  также в рамках других моделей, содержащих  $U(1)$ -фактор.

<sup>1)</sup> Возможность существования векторного бозона, взаимодействующего с барионным током, рассматривалась еще Ли и Янгом<sup>5)</sup>. Если этот бозон безмассов, то из результатов экспериментов по проверке принципа эквивалентности следует весьма сильное ограничение на его константу связи:  $g_q^2 / 4\pi \lesssim 10^{-47}$ <sup>6)</sup>. Если, однако, этот бозон массивен, так что его комптоновская длина волны имеет микроскопическую величину, то это ограничение перестает быть справедливым.

<sup>2)</sup>  $U$ -бозон имеет также аксиальную связь, которая для нас несущественна.

<sup>3)</sup> Вопрос о том, запрещена или нет область масс  $m_U < 100$  МэВ (при  $a \sim 1$ ) данными о распадах  $K^+ \rightarrow \pi^+ U$  требует специального исследования в связи с тем, что теоретическое вычисление вероятности этого распада связано со значительными неопределенностями.

С экспериментальной точки зрения, возможность обнаружения процесса  $\pi^0 \rightarrow \gamma + \text{"ничто"}$  на уровне  $10^{-7} - 10^{-8}$  в настоящее время исследуется в ИЯИ АН СССР<sup>4)</sup>.

Отличительной чертой процесса  $\pi^0 \rightarrow \gamma + \text{"ничто"}$  (по сравнению, скажем, с процессом  $K^+ \rightarrow \pi^+ + \text{"ничто"}$ ) является тот факт, что фон от распадов  $\pi^0 \rightarrow \gamma + \text{скаляр(ы)}$  (например, гольдстоуновские или псевдогольдстоуновские бозоны),  $\pi^0 \rightarrow \gamma + f\bar{f}$ , где  $f$  – какой-либо легкий слабовзаимодействующий фермион (нейтрино, фотино и т. д.) является пренебрежимо малым. Так, например, распад  $\pi^0 \rightarrow \gamma + (\text{псевдо})$  скаляр запрещен; относительные вероятности распадов  $\pi^0 \rightarrow \gamma\nu\bar{\nu}$  и  $\pi^0 \rightarrow \gamma\tilde{\gamma}\tilde{\gamma}$  составляют, (для безмассовых  $\nu$  и  $\tilde{\gamma}$ ) соответственно

$$B(\pi^0 \rightarrow \gamma\nu\bar{\nu}) \simeq 8 \cdot 10^{-19} \quad ^{9, 10} \quad \text{и} \quad B(\pi^0 \rightarrow \gamma\tilde{\gamma}\tilde{\gamma}) \lesssim 1,4 \cdot 10^{-16} \quad ^9.$$

Таким образом, обнаружение распада  $\pi^0 \rightarrow \gamma + \text{"ничто"}$  означало бы открытие нового калибровочного бозона. Отрицательный результат эксперимента по поиску этого распада позволил бы получить новые нетривиальные ограничения на возможные массы и константу связи этого бозона.

Авторы признательны С.Г.Гниненко, В.А.Кузьмину, В.М.Лобашеву, В.А.Рубакову и участникам семинаров по программе экспериментов на каонной фабрике за полезные обсуждения. В особенности мы благодарны В.А.Матвееву за интерес к работе, поддержку и плодотворные обсуждения.

### Литература

1. Langacker P. Phys. Rep., 1981, **72C**, 185; Рубаков В.А., Шапошников М.Е. XV Международная школа молодых ученых по физике высоких энергий, Дубна, 1982.
2. Fayet P. Phys. Lett., 1977, **69B**, 489; Weinberg S. Phys. Rev., 1982, **D26**, 287.
3. Ellis J. et al. Nucl. Phys., 1986, **B276**, 14.
4. Glashow S., Rencontre de Moriond, 1986.
5. Lee T.D., Yang C.N. Phys. Rev., 1955, **98**, 1501.
6. Окунь Л.Б. ЯФ, 1969, **10**, 358.
7. Fayet P. Phys. Lett., 1980, **95B**, 285; 1980, **96B**, 83; Nucl. Phys., 1981, **B187**, 184; Fayet P., Mezard M. Phys. Lett., 1981, **104B**, 226.
8. Bouchiat C., Piketty C.A. Phys. Lett., 1983, **128B**, 73.
9. Добролюбов М.И., Игнатьев А.Ю. Препринт ИЯИ, 1987: Dobroliubov M.I., Ignatiev A.Yu., Matveev V.A. ICTP preprint IC/87/14, Phys. Lett. B, in press.
10. Комаченко Ю.Я., Хлопов М.Ю. Препринт ИФВЭ – 83/88, , 1983.

Институт ядерных исследований  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
10 июля 1987 г.

<sup>4)</sup> Отметим, что для векторного бозона  $X$  с достаточно большой массой энергия  $\gamma$ -кванта, испущенного в распаде  $\pi^0 \rightarrow \gamma X$  будет значительно меньше, чем энергия  $\gamma$ -квантов, испущенных в распаде  $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ . Этот факт является ключевым для постановки эксперимента с чувствительностью  $10^{-7} - 10^{-8}$ .