



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 2007–18
ОЭФ

А.М. Блик, А.М. Горин, С.В. Донсков, С. Инаба ¹, В.Н. Колосов,
А.А. Леднев, В.А. Лишин, Ю.В. Михайлов, В.А. Поляков,
В.Д. Самойленко, А.Е. Соболев, В.П. Сугоняев, К. Такаматсу ¹,
Т. Тсуру ¹, Г.В. Хаустов

ИЗУЧЕНИЕ РАСПАДА $\eta' \rightarrow 3\pi^0$ НА УСТАНОВКЕ ГАМС-4 π

¹ Национальная лаборатория физики высоких энергий — КЕК, Тсукуба, Япония

Протвино 2007

Аннотация

Блик А.М., Горин А.М., Донсков С.В. и др. Изучение распада $\eta' \rightarrow 3\pi^0$ на установке ГАМС-4 π : Препринт ИФВЭ 2007–18. – Протвино, 2007. – 7 с., 4 рис., библиогр.: 14.

Эксперимент выполнен на установке ГАМС-4 π . В процессе работы наблюдались 235 ± 45 событий распада $\eta' \rightarrow 3\pi^0$. Вероятность распада получена равной $\text{BR}(\eta' \rightarrow 3\pi^0) = (1.8 \pm 0.4) \times 10^{-3}$. Параметр наклона квадрата матричного элемента в линейном приближении $\beta = -0.59 \pm 0.18$.

Abstract

Blik A.M., Gorin A.M., Donskov S.V. et al. The Study of the Decay $\eta' \rightarrow 3\pi^0$ with GAMS-4 π .: IHEP Preprint 2007–18. – Protvino, 2007. – p. 7, figs. 4, refs.: 14.

There 235 ± 45 events of the decay $\eta' \rightarrow 3\pi^0$ were observed. The branching is equal to $\text{BR}(\eta' \rightarrow 3\pi^0) = (1.8 \pm 0.4) \times 10^{-3}$. The slope of the matrix element in linear approximation is $\beta = -0.59 \pm 0.18$. The experiment was performed with GAMS-4 π Setup.

Введение

Адронные распады с нарушением G-четности

$$\eta' \rightarrow \pi\pi\pi \quad (1)$$

представляют большой интерес для современной киральной теории [1, 2, 3], но до сих пор слабо изучены экспериментально. Редкий нейтральный распад

$$\eta' \rightarrow 3\pi^0 \quad (2)$$

был открыт Сотрудничеством ГАМС [4] в 1983 г. Позднее был оценен наклон квадрата матричного элемента $\beta = -0,1 \pm 0,3$ [5]. До сих пор это единственное наблюдение процесса (1) в нейтральной моде. Исследование изотопически-сопряженного распада

$$\eta' \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0, \quad (3)$$

который в теоретических работах обычно рассматривается вместе с (2), ограничено большим сечением образования $\pi^+\pi^-\pi^0$ -системы, на фоне которой выделить малоинтенсивный процесс (3) пока невозможно, $\text{BR}(\eta' \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0) < 5 \times 10^{-2}$ [6]. На новом уровне точности распады (1) планируется изучать на установках WASA [7] и MAMI-C [8].

Целью настоящей работы являются измерение вероятности распада (2) и определение параметра наклона квадрата матричного элемента.

1. Отбор событий

Эксперимент выполнен на модернизированной установке ГАМС-4 π , краткое описание которой приведено в работе [9]. ГАМС-4 π является усовершенствованной версией установки ГАМС-2000 [10]. Несмотря на изменения, которые были внесены в детекторы, постановка эксперимента осталась прежней, методика калибровки установки и геометрическая реконструкция событий описаны ранее [11, 12].

Данные были получены в двух сеансах 2002 г. на ускорителе У-70 ИВФЭ. Источником моноэнергетических η' -мезонов служила реакция перезарядки

$$\pi^- p \rightarrow \eta' n \quad (4)$$

при импульсе π^- -мезона 32,5 ГэВ/с. π^- -мезоны в пучке выделялись двумя пороговыми черенковскими счетчиками. Для дальнейшего анализа использованы события, в которых программа реконструкции восстановила шесть γ -квантов в электромагнитном калориметре ГАМС. Подавление аппаратурного фона без существенной потери эффективности регистрации исследуемого процесса было достигнуто следующими стандартными отборами:

- расстояние между осями ливней в ГАМС больше 45 мм;
- расстояние точки попадания γ -кванта в ГАМС от оси пучка больше 40 мм (для подавления фона в наиболее загруженных центральных счетчиках ГАМС);
- энергия каждого γ -кванта больше 0,5 ГэВ, и в центральной области порог плавно повышается до 0,7 ГэВ;
- суммарная энергия в ГАМС ограничена интервалом 28–36 ГэВ.

События, не отвечающие любому из вышеперечисленных требований, исключены из дальнейшей обработки.

2. Анализ данных

2.1. Измерение вероятности распада $\eta' \rightarrow 3\pi^0$

Для отобранных событий был выполнен кинематический 4С-фит (фиксированы массы нейтрона отдачи и π^0 -мезонов, уровень достоверности $CL(4C) > 0,1$). Спектр масс событий, удовлетворяющих условиям фита, приведен на рис. 1а. В районе η' -мезона спектр имеет сложную структуру. Это связано с тем, что кроме истинных событий $3\pi^0$, он содержит комбинаторный и физический фон.

Комбинаторный фон обусловлен большим числом комбинаций — 15, которыми может быть образована система $3\pi^0$ из 6 γ -квантов, и конечным разрешением детектора. Отметим, что нерезонансное образование $3\pi^0$ является неустранимым источником фона, и только его сравнительно малое сечение позволяет изучать процесс (2) на уровне $\approx 10^{-4}$ [4].

Источником физического фона является распад по каналу

$$\eta' \rightarrow \eta\pi^0\pi^0, \quad (5)$$

при котором из-за перечисленных причин событие может быть ошибочно идентифицировано как $3\pi^0$. Подавление фонового распада (5), показанного на рис. 1б, достигалось исключением событий, в которых после 3С-фита (фиксированы массы нейтрона отдачи и двух π^0 -мезонов, $CL(3C) > 0,1$) есть два γ -кванта с массой в интервале 500–600 МэВ. Если 4С-фит гипотезой (n, π^0, π^0, η) имеет вероятность $CL(4C) > 0,02$, событие тоже отбрасывается. Это позволило полностью подавить систему $\eta\pi^0\pi^0$.

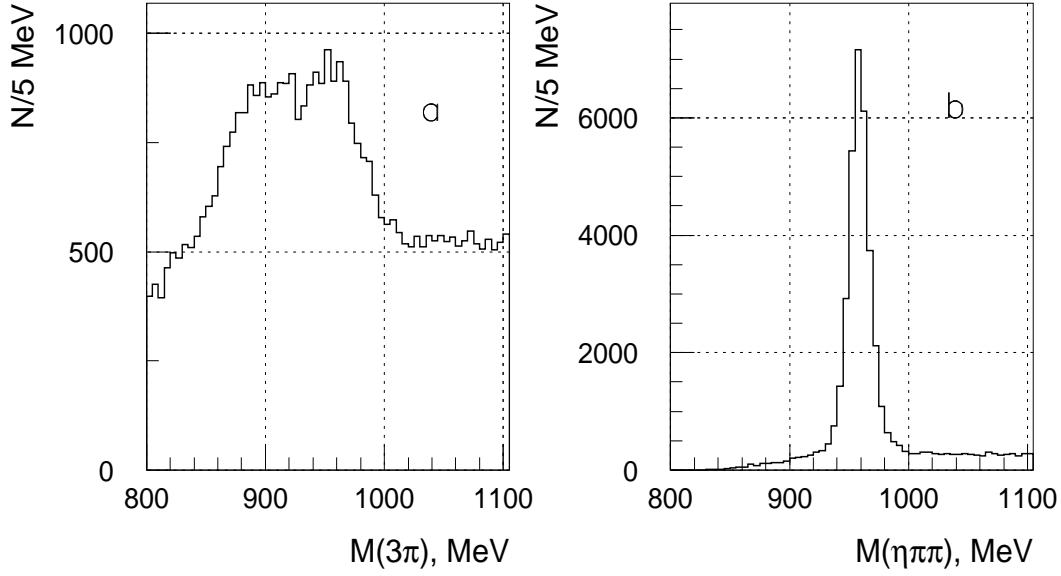


Рис. 1. Спектр масс $3\pi^0$ -системы после 4C-фита — (a). Спектр масс $\eta\pi^0\pi^0$ -системы после 4C-фита — (b).

Для определения фона в области η' -мезона для событий с массой 920–1000 МэВ после 3C-фита построен спектр масс нефитированной пары γ -квантов (рис. 2a). Уровень фона составляет $\approx 25\%$.

Другим опасным источником физического фона является $K_s^0\pi^0$ -система, включая образование $K^*(892)$ -мезона с последующим распадом



Чтобы подавить $K_s^0\pi^0$ -систему, рассматривались все возможные комбинации парных масс $\pi^0\pi^0$, и если хотя бы одна была в интервале 450–520 МэВ, то считалось, что событие относится к $K_s^0\pi^0$. Дополнительное подавление достигается анализом амплитудной информации от охранной системы, которая регистрирует γ -кванты из распада Λ .

Спектр “чистых” $3\pi^0$ -событий показан на рис. 2b. В интервале 880–1060 МэВ он хорошо фитируется суммой гауссиана и полинома первой степени. В нем четко виден пик с массой (960 ± 3) МэВ, что говорит о наблюдении распада (2). Пик содержит (235 ± 45) событий.

Для определения вероятности распада была использована нормировка на процесс (5) с той же множественностью γ -квантов, что уменьшает систематическую погрешность. С учетом эффективности регистрации и $BR(\eta \rightarrow \gamma\gamma)=0,39$ вероятность распада (2) получена равной

$$BR(\eta' \rightarrow 3\pi^0) = (1,8 \pm 0,4) \times 10^{-3}. \quad (7)$$

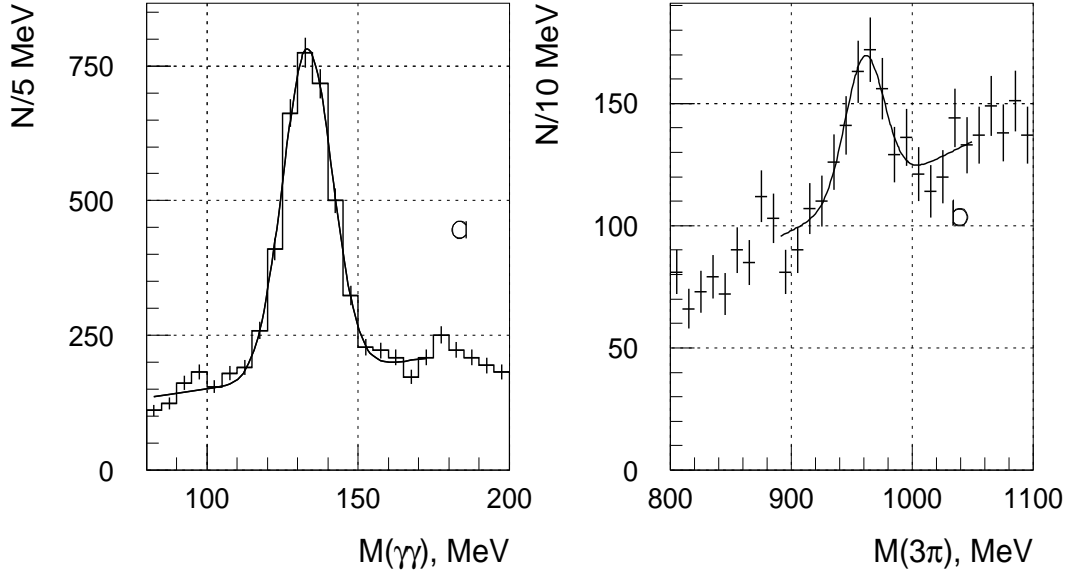


Рис. 2. Спектр масс нефитированной пары γ -квантов после 3С-фита (фиксированы массы нейтрона отдачи и двух π^0 -мезонов), когда масса $\pi^0\pi^0\gamma\gamma$ -системы находится в интервале 920–1000 МэВ — (а); $\sigma(\pi^0) = 8,5$ МэВ. Спектр масс $3\pi^0$ -системы после 4С-фита — (б).

2.2. Измерение параметра наклона матричного элемента

Квадрат матричного элемента (2) в линейном приближении записывается как

$$|M|^2 \propto 1 + 2\beta Z, \quad (8)$$

где Z — квадрат расстояния от центра диаграммы Далитца

$$Z = \left(\frac{r}{r_{max}}\right)^2 = \frac{6}{(M_{\eta'} - 3M_{\pi^0})^2} \sum_{i=1}^3 \left(E_{\pi^0}^i - \frac{M_{\eta'}}{3}\right)^2. \quad (9)$$

Сравнительно большое энергосвечение в распаде приводит к тому, что уже при $Z = 0,5$ наблюдается резкий спад в распределении (рис. 3). Подавление фоновых реакций (5) и (7) сильно искажает распределение по Z , особенно область малых Z (рис. 4а), где находятся главным образом события, отнесенные к $K_s^0\pi^0$ системе.

Большой уровень подложки под η' -мезоном не позволяет измерить параметр наклона матричного элемента непосредственно. Поэтому после 5С-фита (добавлено условие $M(\eta') = M(3\pi^0)$, $CL(5C) > 0,1$) были построены распределения по переменной Z для интервалов 920–1000 МэВ, и соседних интервалов 880–920 и 1000–1040 МэВ. Два последних распределения были вычтены из первого.

При определении параметра β мы следуем методу [13], который применялся ранее при исследовании матричных элементов K - и η' -мезонов [13, 14]. В нашем случае в конечном состоянии находятся три тождественные частицы, что сводит задачу к одномерному случаю.

Экспериментальный спектр квадрата матричного элемента (8) фитуруется функцией

$$F(Z) = A(F_1(Z) + aF_2(Z)) \quad (10)$$

с параметром a , A — нормировочный множитель.

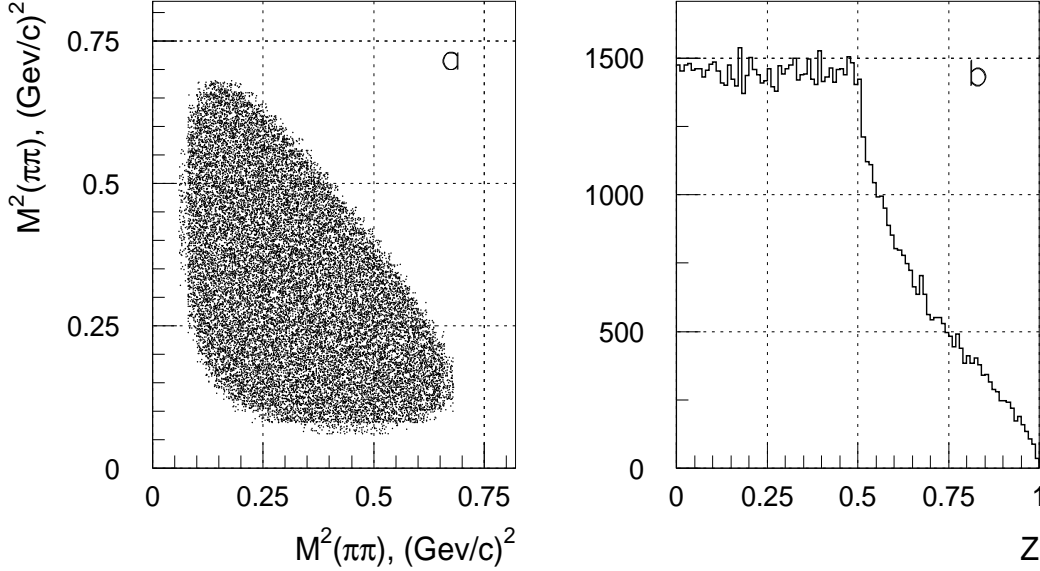


Рис. 3. Далитц-плот распада (2) — (a). Распределение по переменной Z — (b). (Монте-Карло события, постоянный матричный элемент.)

Функция $F(Z)$ строится следующим образом. Распад (2) разыгрывается методом Монте-Карло с постоянным матричным элементом, и для событий, прошедших отборы, создается набор гистограмм $F_i(Z)$, где каждое событие входит с весом w_i , $w_1 = 1$, $w_2 = Z_{tr}$, где Z_{tr} — истинное значение переменной Z до пропускания через установку. Как легко видеть, набор весов соответствует переменным в формуле (8). Такой способ позволяет уменьшить систематические ошибки [13]. Разрешение по переменной Z составляет $\sigma_Z = 0,022$.

При фитировании методом наименьших квадратов

$$\chi^2 = \sum_Z \frac{(N(Z) - F(Z))^2}{\sigma_N^2}, \quad (11)$$

где $N(Z)$ — число событий в бине (Z) экспериментальной гистограммы, $\sigma_N^2 = N(Z)$, получено следующее значение параметра матричного элемента ($\chi^2/NDF = 14,4/13$):

$$\beta = -0,59 \pm 0,18. \quad (12)$$

Экспериментальный спектр и фитурующая функция показаны на рис. 4b. Теоретические оценки, выполненные в рамках киральной теории [1], дают значение β в довольно большом диапазоне: от $\beta = 0,1 \pm 1,7$ до $-2,7 \pm 1,0$

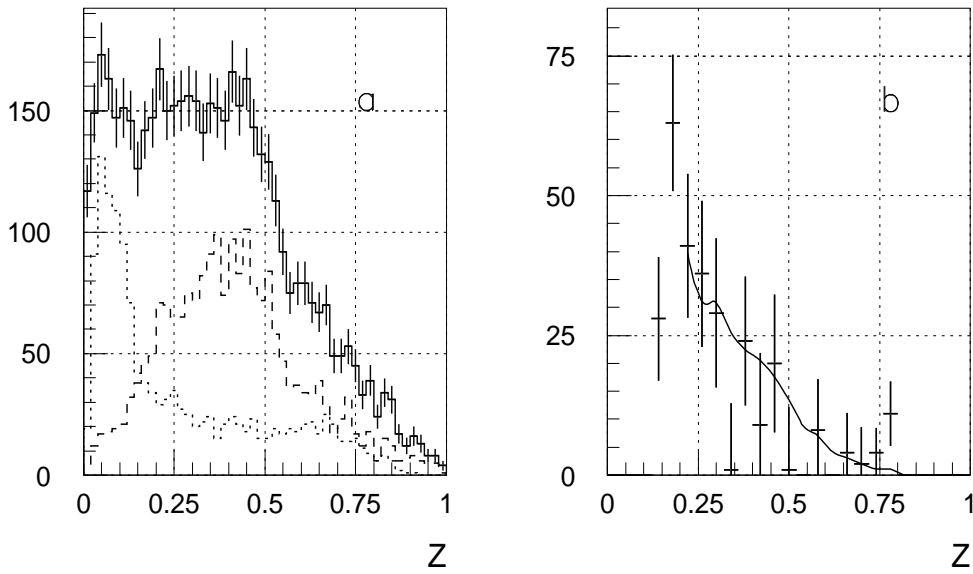


Рис. 4. Экспериментальное распределение по Z , когда масса $3\pi^0$ находится в интервале 920–1000 МэВ (сплошная линия) до удаления событий, отнесенных к $K_s^0\pi^0$ (пунктирная линия) и $\eta\pi^0\pi^0$ (прерывистая линия) системам — (а). Экспериментальное распределение по Z после всех отборов с фитирующей функцией — (б).

Заклучение

В работе измерены вероятность распада и параметр наклона квадрата матричного элемента распада (2).

Авторы благодарны В.Б.Аникееву и В.Ф.Образцову за полезные обсуждения.

Работа была выполнена в рамках проекта РФФИ 05-02-16861-а.

Список литературы

- [1] V.Borasoy and R.Niβler. e-Print Archive: hep-ph/0510384.
- [2] N.Beisert and V.Borasoy. e-Print Archive: hep-ph/0301058.
- [3] J.Vijnens. e-Print Archive: hep-ph/051176.
- [4] Ф.Бинон и др. Препринт ИВФЭ 1983-206, Притвино, 1983; ЯФ. Т.39 (1984) 1429; Phys.Lett.B. 140 (1984) 264.
- [5] Д.Алди и др. Препринт ИФВЭ 1987-88, Протвино, 1987.
- [6] Particle Data Group. Journal of Physics G 33 (2006).
- [7] H.Adam et al. e-Print Archive: nucl-ex/0411038.

- [8] A.Starostin. www.fz-juelich.de/ikp/hpc2005/Talks/
- [9] Блик А.М. и др. Препринт ИФВЭ 2005-47, Протвино, 2005; ЯФ. Т.70 (2007) 1.
- [10] Алди Д. и др. ЯФ. Т. 49 (1989) 1021; Phys.Lett.B. 216 (1989) 451.
Здесь же даны ссылки на предыдущие работы.
- [11] Бинон Ф. и др. Черенковские детекторы и их применение в науке и технике. – М.: Наука, 1990, с. 149.
- [12] Леднев А.А. Препринт ИФВЭ 1993-152, Протвино, 1993.
- [13] I.V.Ajinenko et al. Phys.Lett.B. 567 (2003) 159.
- [14] V.Dorofeev et al. e-Print Archive: hep-ph/0607044.

Рукопись поступила 23 ноября 2007 г.

А.М. Блик, С.В. Донсков, С. Инаба и др.
Изучение распада $\eta' \rightarrow 3\pi^0$ на установке ГАМС-4 π .

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы **Л^AT_EX**.

Редактор Н.В.Ежела.

Подписано к печати 26.11.2007. Формат 60 × 84/8.
Офсетная печать. Печ.л. 1,15. Уч.-изд.л. 0,9. Тираж 90. Заказ 122.
Индекс 3649. ЛР 020498 17.04.97.

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий
142284, Протвино Московской обл.

