

РАСПАД $\phi \rightarrow \eta'\gamma$

В.М.Аульченко, М.Н.Ачасов, А.В.Боженко, А.Д.Букин, Д.А.Букин,
С.В.Бурдин, И.А.Гапоненко, В.Б.Голубев, Т.В.Димова, С.И.Долинский,
В.П.Дружинин, М.С.Дубровин¹⁾, В.Н.Иванченко, П.М.Иванов, А.А.Король,
С.В.Кошуба, А.А.Мамуткин, Е.В.Пахтусова, С.И.Середняков, В.А.Сидоров,
З.К.Силагадзе, Ю.В.Усов, В.В.Шарый, Ю.М.Шатунов

Институт ядерной физики Сибирского отделения РАН
Новосибирский государственный университет
630090 Новосибирск, Россия

Поступила в редакцию 21 декабря 1998 г.

В эксперименте на e^+e^- -коллайдере ВЭПП-2М с детектором СНД проводился поиск процесса $e^+e^- \rightarrow \phi(1020) \rightarrow \eta'(958)\gamma$ в канале распада $\eta' \rightarrow \pi^+\pi^-\eta$, $\eta \rightarrow \gamma\gamma$. Проведенный анализ подтверждает наличие распада $\phi \rightarrow \eta'\gamma$ с вероятностью $B(\phi \rightarrow \eta'\gamma) = (6.7_{-2.9}^{+3.4}) \cdot 10^{-5}$.

PACS: 13.65.+i, 14.40.Cs

В последнее время в экспериментах, ведущихся на e^+e^- -коллайдере ВЭПП-2М [1] с детекторами СНД и КМД-2, стали доступны для изучения редкие распады ϕ -мезона с вероятностью $10^{-4} \div 10^{-5}$ [2–8]. Одним из таких процессов является редкий радиационный распад $\phi \rightarrow \eta'\gamma$. Кварковая модель предсказывает его вероятность в интервале $B(\phi \rightarrow \eta'\gamma) = (0.7 \div 1.0) \cdot 10^{-4}$. До настоящего времени распад $\phi \rightarrow \eta'\gamma$ наблюдался в единственном эксперименте с детектором КМД-2, с вероятностью $B(\phi \rightarrow \eta'\gamma) = (1.35_{-0.45}^{+0.55}) \cdot 10^{-4}$ [7,8]. В настоящей работе, на основе анализа данных детектора СНД, подтверждается существование этого распада.

Эксперимент проводился с детектором СНД на e^+e^- -коллайдере ВЭПП-2М в 1996–1997 г. Детектор СНД [9] представляет собой универсальный немагнитный детектор, основой которого является трехслойный сферический калориметр из 1630 кристаллов NaI(Tl). Энергетическое разрешение калориметра для фотонов описывается как $\sigma_E/E = 4.2\% \sqrt{E(\text{GeV})}$, угловое разрешение составляет $\sim 1.5^\circ$. Телесный угол калориметра – 90% от 4π . Для измерения углов заряженных частиц используется система двух цилиндрических дрейфовых камер с телесным углом 95% от 4π . Точность измерения азимутального угла составляет 0.4° , а полярного угла около 2° . Статистика e^+e^- -взаимодействий накапливалась при многократном сканировании энергетического интервала $2E_0 = 980 \div 1060$ МэВ в 14 точках по энергии. Соответствующая интегральная светимость составила $\Delta L = 4.4 \text{ пб}^{-1}$, число рожденных ϕ -мезонов – $8.3 \cdot 10^6$. Интегральная светимость измерялась по процессам $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ и $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$ на больших углах ($27^\circ < \vartheta < 153^\circ$) с точностью 3%.

Распад $\phi \rightarrow \eta'\gamma$ изучается в процессе

$$e^+e^- \rightarrow \phi \rightarrow \eta'\gamma, \quad \eta' \rightarrow \pi^+\pi^-\eta, \quad \eta \rightarrow \gamma\gamma \quad (1)$$

Фоновыми процессами, затрудняющими поиск распада $\phi \rightarrow \eta'\gamma$, являются:

$$e^+e^- \rightarrow \phi \rightarrow \eta\gamma, \quad \eta' \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0, \quad (2)$$

¹⁾ e-mail: M.S.Dubrovin@inp.nsk.su

$$e^+e^- \rightarrow \phi \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0, \quad (3)$$

$$e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0 \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0, \quad (4)$$

Основная проблема при анализе процесса (1) состоит в том, что реакция (2) дает похожее конечное состояние, а ее сечение на два порядка больше. Процессы (3), (4) также имеют похожее состояние и могут давать вклад в изучаемый процесс.

- При предварительном отборе событий были использованы следующие условия:
- число заряженных частиц $N_{cp} = 2$; число нейтральных частиц $N_\gamma = 3$;
 - параметр степени выполнения законов сохранения энергии и импульса $\chi_E^2 < 50$;
 - минимальный угол вылета частиц относительно пучков $\theta_{min} > 27^\circ$;
 - пространственный угол между треками $\alpha_{\pi\pi} < 145^\circ$;
 - полное энергосодержание, нормированное на энергию в с.ц.м., $E_{tot}/2E_0 < 0.8$;
 - нормированное энергосодержание для нейтральных частиц $E_{NPTot}/2E_0 > 0.4$.

Ограничение параметра $\alpha_{\pi\pi}$ позволяет сразу исключить фон от процесса $e^+e^- \rightarrow \phi \rightarrow K_S K_L$, $K_S \rightarrow \pi^+\pi^-$ ($K_L \rightarrow$ нейтральные частицы) и возможный фон от упругого e^+e^- -рассеяния и КЭД процессов высших порядков, например, $e^+e^- \rightarrow e^+e^-\gamma\gamma$. Всего было найдено 21103 событий, удовлетворяющих этим условиям.

Анализ кинематики реакции (1) показывает, что фотон отдачи всегда имеет наименьшую среди трех фотонов энергию $E_{\gamma 3} \simeq 60$ МэВ, тогда как энергии фотонов от распада $\eta \rightarrow \gamma\gamma$ находятся в интервале $170 \text{ МэВ} < E_{\gamma 1}, E_{\gamma 2} < 440 \text{ МэВ}$. Фотоны пронумерованы в порядке убывания энергии. В фоновом процессе (2) фотон отдачи имеет максимальную среди трех фотонов энергию $E_{\gamma 1} \simeq 362$ МэВ, а энергии фотонов от распада $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ находятся в интервале $12 \text{ МэВ} < E_{\gamma 2}, E_{\gamma 3} < 364 \text{ МэВ}$. Нужно заметить, что вероятность образования фотона с энергией, близкой к границам указанных интервалов, мала, в соответствии с фазовым объемом таких конфигураций событий. Поэтому комбинаторный фон для этих процессов практически полностью отсутствует, даже принимая во внимание конечное разрешение детектора.

Сначала анализировались распределения отобранных событий по массе отдачи наиболее энергичного фотона m_{rec1} и по инвариантной массе пары менее энергичных фотонов m_{23} . Было показано, что на фоне широкого распределения событий от процессов (3), (4) выделяется четкий пик при $m_{rec1} \sim m_\eta$ и $m_{23} \sim m_{\pi^0}$ от реакции (2). Оценка ожидаемого числа всех фоновых событий, рассчитанного моделированием [10], хорошо согласуется с экспериментальными данными. Из распределений была получена оценка относительной вероятности распада $B(\phi \rightarrow \eta\gamma) = 1.20 \pm 0.03\%$, где приведена только статистическая ошибка. Полученный результат всего на 5% меньше, чем табличное значение [11], что подтверждает отсутствие больших систематических ошибок при выполненном отборе событий и определении эффективности регистрации. Далее, для исключения событий процесса (2) используется условие

$$\left(\frac{m_{rec1} - m_\eta}{50}\right)^2 + \left(\frac{m_{23} - m_{\pi^0}}{35}\right)^2 > 1,$$

где в знаменателях стоят утроенные разрешения (3σ в МэВ) по соответствующим массам η - и π^0 -мезонов. Для того чтобы достичь более эффективного подавления фоновых событий, используются кинематические особенности изучаемого процесса:

сумма энергий трех фотонов превышает 607 МэВ; энергия каждого фотона от распада $\eta \rightarrow \gamma\gamma$ превышает 170 МэВ. Это позволяет применить условия

$$E_{NP\ tot}/2E_0 > 0.5, \quad E_{\gamma 2}/E_0 > 0.45,$$

которые более чем в 20 раз уменьшают вклад от процессов (3) и (4). Кроме этого, было применено условие, гарантирующее качество фотонных ливней в калориметре [12] на основе учета поперечного распределения энергии:

$$\zeta < 0.$$

После применения всех перечисленных условий, число событий сократилось до 367.

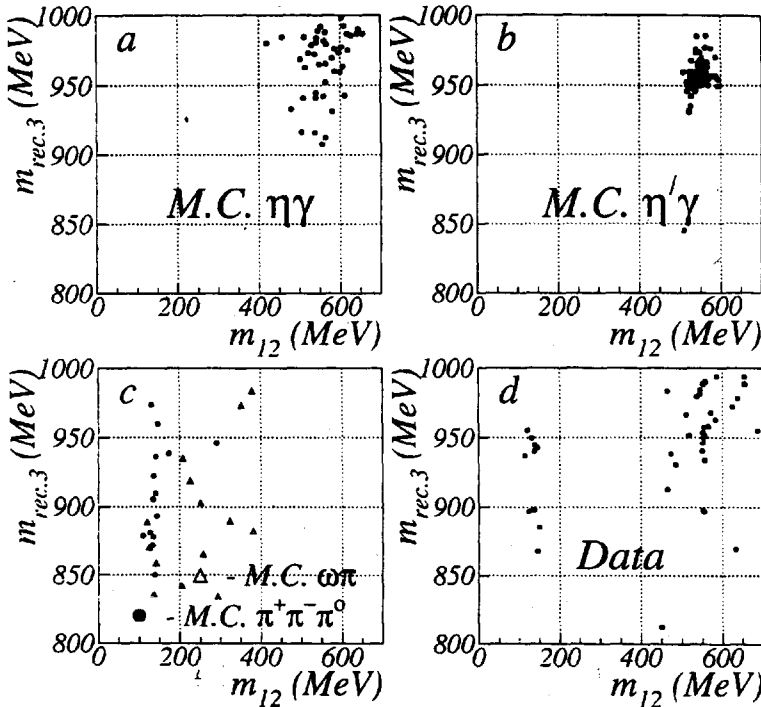


Рис.1. Двумерное распределение экспериментальных (d) и моделированных (a–c) событий по массе отдачи с наименьшей энергией $m_{rec.3}$ и по инвариантной массе пары фотонов с наибольшей энергией m_{12} при поиске распада $\phi \rightarrow \eta'\gamma$. Число моделированных событий не нормировано

Распределение событий по любой из инвариантных масс пар фотонов m_{13} , m_{23} и m_{12} показывает концентрацию событий вблизи массы π^0 -мезона, что подтверждает их фоновую природу. Для исключения таких событий применены условия

$$|m_{13} - m_{\pi^0}| > 35 \text{ МэВ}, \quad |m_{23} - m_{\pi^0}| > 35 \text{ МэВ}.$$

Второе из этих ограничений усиливает условие, использованное для подавления событий процесса $\phi \rightarrow \eta\gamma$.

Двумерное распределение 28 оставшихся событий по массе отдачи фотона с минимальной энергией – $m_{rec.3}$ и инвариантной массе пары наиболее энергичных фотонов

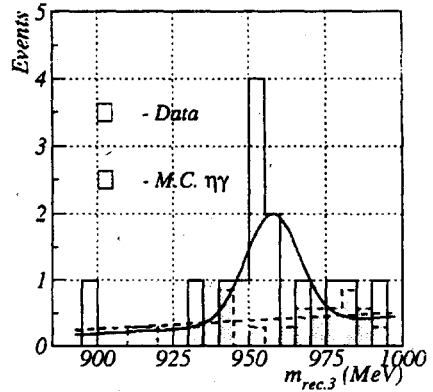
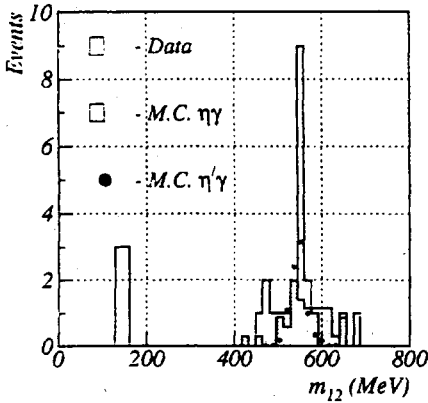


Рис.2. Распределение экспериментальных и моделированных по инвариантной массе пары фотонов с наибольшей энергией при поиске распада $\phi \rightarrow \eta'\gamma$

Рис.3. Распределение экспериментальных и моделированных событий по массе отдачи фотона с наименьшей энергией при поиске распада $\phi \rightarrow \eta'\gamma$. Закрашенная гистограмма и штриховая линия показывают расчетный вклад от фонового процесса $e^+e^- \rightarrow \eta\gamma, \eta \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ (2) и его аппроксимацию линейной зависимостью. Гистограмма и гладкая кривая показывают распределение экспериментальных событий и его оптимальную аппроксимацию

– m_{12} показаны на рис.1d. Аналогичные распределения для моделированных событий искомого и фоновых процессов показаны на рис.1a–c (число моделированных событий не нормировано). Моделирование демонстрирует (рис.2b), что ожидаемые события искомого процесса группируются при $m_{rec3} \simeq m_{\eta'}$, $m_{12} \simeq m_{\eta}$. События фонового процесса (2) распределены в более широком интервале масс (рис.1a). Чтобы показать ожидаемый вклад от процессов (3) и (4), события на рис.1c отобраны без ограничения параметра $E_{\gamma 2}/E_0$. Тем не менее, они лежат в области $m_{12} < 400$ МэВ и хорошо отделяются от изучаемых событий. Экспериментальное распределение на рис.1d хорошо согласуется с гипотезой суммы вкладов от процессов (1), (2), (3). Проекция двумерного распределения на ось m_{12} показана на рис.2. Расчетные вклады от искомого процесса (1) при $B(\phi \rightarrow \eta'\gamma) = 10^{-4}$ и основного фонового процесса (2) также показаны на рис.2. Кроме пика на массе η -мезона, фоновые события процесса (3) образуют пик на массе π^0 . На рис.3 показана вторая проекция двумерного распределения на ось m_{rec3} при дополнительном условии

$$|m_{12} - m_{\eta}| < 35 \text{ МэВ.}$$

Пик на массе η' -мезона подтверждает существование распада $\eta'\gamma$. Гистограмма и гладкая кривая на рис.3 показывают распределение 14 экспериментальных событий и их оптимальную аппроксимацию суммой линейной функции и гауссова распределения с фиксированными параметрами: $m_{\eta'} = 957.5$ МэВ и $\sigma_{m_{\eta'}} = 6.2$ МэВ, полученными при моделировании процесса (1). Закрашенная гистограмма и штриховая линия показывают расчетный вклад от процесса (2) и его аппроксимацию линейной зависимостью. Разница в оценке фона из экспериментальных данных и моделирования не превышает 0.6 событий в интервале $m_{\eta} \pm 20$ МэВ (2.6 и 3.2 события, соответственно). Число полезных событий в пике равно $N_{\eta'\gamma} = 5.2_{-2.2}^{+2.6}$. Эффективность регистрации конечного состояния равна $\epsilon_{\eta'\gamma} = 5.5 \pm 0.6\%$. Используя табличные

величины $B(\eta' \rightarrow \eta\pi^+\pi^-)$ и $B(\eta \rightarrow \gamma\gamma)$ [11], мы получили $B(\phi)$. Систематическая ошибка определяется точностью расчета эффективности регистрации для перечисленных условий отбора и составляет примерно 15%.

Полученное значение вероятности примерно в два раза меньше результата КМД-2 [7,8], но не противоречит ему ввиду больших ошибок измерений. Полученный результат согласуется с предсказаниями кварковой модели [13].

Эта работа частично поддерживается Российским фондом фундаментальных исследований (# гранты 96-02-19192; # 97-02-18563), а также STP Integretion (grant #274).

-
1. G.M.Tumaikin, *Proc. of the 10-th Intern. Conf. on High Energy Particle Accelerators*, Serpukhov, 1, 1977, p.443.
 2. S.I.Serednyakov, in: *Proc. of HADRON-97 Conf. 1997*, p.26.
 3. M.N.Achasov et al., *Phys. Lett.* **B438**, 441 (1998).
 4. M.N.Achasov et al., *Phys. Lett.* **B440**, 442 (1998).
 5. M.N.Achasov et al., Preprint Budker INP 97-78, Novosibirsk, 1997; hep-ex/9710017.
 6. M.N.Achasov et al., Preprint Budker INP 98-65, Novosibirsk, 1998; hep-ex/9809013.
 7. R.R.Akhmetshin et al., *Phys. Lett.* **B415**, 445 (1997).
 8. R.R.Akhmetshin et al., to be published in the *Proc. of the 29-th Intern. Conf. on High-Energy Physics (ICHEP 98)* 23-29 July 1998, Vancouver, Canada.
 9. V.M.Aulchenko et al., *Proc. Workshop on Physics and Detectors for DAΦNE*, Frascati, Italy, April 9-12, 1991, p.605.
 10. A.D.Bukin et al., Preprint BudkerINP 92-93 (1992).
 11. Particle Data Group, *Phys. Rev.* **D54**, 536 (1996).
 12. A.V.Bozhenok, V.N.Ivanchenko, and Z.K.Silagadze, *Nucl. Inst. and Meth.* **A379**, 507 (1996).
 13. P.J.O'Donnell, *Rev. Mod. Phys.* **53**, 673 (1981).