

НАБЛЮДЕНИЕ ПРОЦЕССА $e^+ e^- \rightarrow \gamma\gamma\gamma$

*И.Б.Бассерман, В.Б.Голубев, С.И.Долинский, В.П.Дружинин,
М.С.Дубровин, В.Н.Иванченко, Е.В.Пахтусова, А.Н.Перышкин,
С.И.Середняков, В.А.Сидоров, Ю.В.Усов, Ю.М.Шатунов*

На электрон-позитронном накопителе ВЭПП-2М в интервале энергии $2E = 0,5 - 1,4$ ГэВ изучался квантовоэлектродинамический процесс $e^+ e^- \rightarrow \gamma\gamma\gamma$. Измерено интегральное сечение в кинематической области больших передач, угловые распределения фотонов, энергетические спектры и спектры эффективных масс пар фотонов.

Среди всех квантовоэлектродинамических (КЭД) процессов $e^+ e^-$ -аннигиляции можно выделить такие, в которых в конечном состоянии есть только фотоны. Особенностью этих процессов является наличие только фермионных пропагаторов в соответствующих диаграммах Фейнмана в низшем порядке теории возмущений. Проверка применимости КЭД для фермионного пропагатора в отличие от фотонного не требует учета поправок на поляризацию вакуума и учета вклада Z -бозона, что существенно упрощает сравнение с экспериментом. До сих пор изучались процессы только с двумя и тремя фотонами в конечном состоянии. В данной работе проведено первое наблюдение процесса

$$e^+ e^- \rightarrow \gamma\gamma\gamma, \quad (1)$$

который является КЭД процессом четвертого порядка по α . По сравнению с нашими предварительными результатами ¹ увеличена интегральная светимость и расширен диапазон энергии, что позволило выделить область, где фон к изучаемому процессу пренебрежимо мал.

Процесс (1) наблюдался на $e^+ e^-$ -накопителе ВЭПП-2М ² с нейтральным детектором (НД), ранее описанным в работе ³. Основной частью НД является калориметр, собранный из четырех слоев кристаллов NaI(Tl), покрывающих телесный угол 65% от 4π . Между слоями кристаллов расположены два слоя плоских пропорциональных камер для определения углов вы-

лета фотонов. Эксперимент проводился в интервале энергии $2E = 0,5 - 1,4$ ГэВ с интегральной светимостью $4,1 \text{ нб}^{-1} \text{ с}^{-1}$.

Фон к процессу (1) в различных областях энергии дают следующие реакции:

$$e^+ e^- \rightarrow \rho, \omega \rightarrow \eta \gamma, \quad \eta \rightarrow 3\pi^0, \quad (2)$$

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

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

$$e^+ e^- \rightarrow \omega \pi^0, \quad \omega \rightarrow \pi^0 \gamma. \quad (5)$$

Для выделения событий процесса (1) и подавления фона использовались следующие условия отбора:

- четыре фотона попали в телесный угол детектора,
- выполняются законы сохранения энергии-импульса с точностью до аппаратного разрешения,
- угол между фотонами превышает 30° ,
- энергия каждого фотона превышает $0,1 E$.

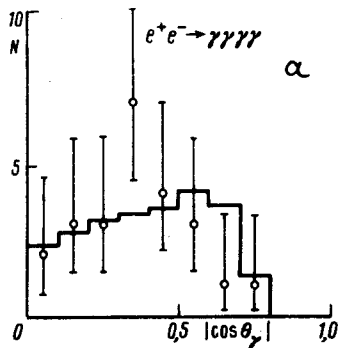


Рис. 1. Распределения для процесса $e^+ e^- \rightarrow \gamma \gamma \gamma \gamma$ при энергии $2E = 0,5 - 0,75$ ГэВ, гистограмма — моделирование, точки — эксперимент: а — по углам вылета фотонов, б — спектр фотонов, в — спектр эффективных масс пар фотонов

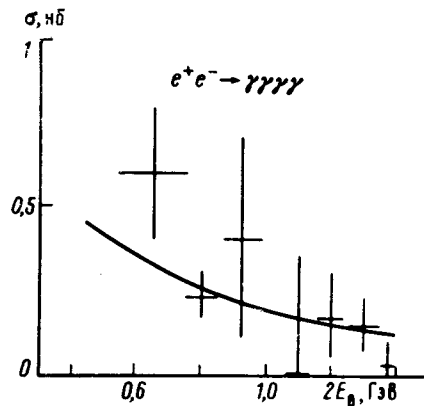
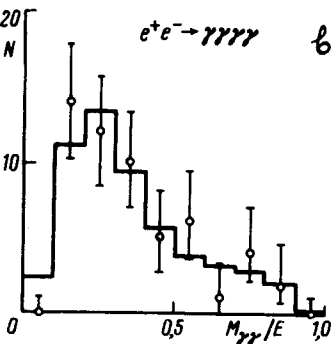
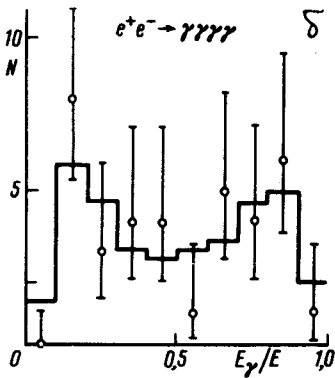


Рис. 2. Сечение КЭД процесса $e^+ e^- \rightarrow \gamma \gamma \gamma \gamma$ в кинематической области больших передач. Линией показано расчетное сечение, точки с ошибками соответствуют экспериментальным данным

В области энергии $2E < 0,75$ ГэВ, где вклад фона менее 10% , было зарегистрировано 9 событий процесса (1). Используя события только из этой области можно сравнить некоторые распределения с КЭД расчетом. На рис. 1 изображены измеренные распределения по ко-

синузу полярного угла вылета фотонов и их энергии, а также спектр эффективных масс пар фотонов в области энергии $2E = 0,5 - 0,75$ ГэВ. Наблюдается согласие эксперимента с расчетом по моделированию в пределах статистической точности.

В области энергии $2E = 0,75 - 1,4$ ГэВ для уменьшения вклада адронных процессов дополнительно требовалось, чтобы энергия самого энергичного фотона превышала $0,7E$, а самого мягкого была менее $0,3E$. Оставшийся вклад процессов (2) – (4) не превышал 30% и вычитался.

В области энергии выше 1,04 ГэВ рассматривались события, в которых найдено не более одной пары фотонов с инвариантной массой в интервале 90 – 180 МэВ, что соответствует массе π^0 -мезона. Из этих событий дополнительно отбрасывались такие, у которых масса отдачи " π^0 -мезона" или масса системы " π^0 " γ лежит в интервале $M \pm 120$ МэВ. Эти условия позволили подавить вклад процесса (5) на порядок, а процесс (4) полностью, но при этом эффективность регистрации процесса (1) уменьшилась примерно в три раза, оставшийся вклад от процесса (5) вычитался с использованием величины сечения, измеренного ранее на НД⁵. После наложения всех вышеописанных условий выделено 87 событий с четырьмя фотонами, вычитая фон от процессов (2) – (5) определяем число 43 ± 12 событий процесса (1).

Моделирование процесса (1) методом Монте-Карло проводилось с использованием дифференциального сечения⁶ в кинематической области

$$E_i > 20 \text{ МэВ}, \quad 140^\circ > \theta_i > 40^\circ, \quad (6)$$

где E_i – энергии фотонов, θ_i – углы между фотонами и осью пучков. По моделированию определялась эффективность, т. е. доля моделированных событий, удовлетворяющих описанным выше условиям отбора. Эффективность менялась от 4 до 10% в области энергии $2E = 0,5 - 1,4$ ГэВ. Для удобства сравнения с теорией и результатами других экспериментов измеренное в описанных выше условиях отбора сечение регистрации процесса (1) преобразовывалось в интегральное сечение (рис. 2) по кинематической области (6). Линией показано расчетное сечение в той же кинематической области. Следует отметить, что теоретическая кривая на рис. 2 не имеет ни одного подгоночного параметра. Из рисунка видно, что имеется согласие экспериментальных результатов с КЭД расчетом.

Сравнение с КЭД в виде ограничения на параметр Λ еще не проделано, так как для этого необходимо выполнить весьма трудоемкие расчеты дифференциального сечения процесса (1), аналогичные⁶, но с модифицированным фермионным пропагатором.

В заключение авторы выражают благодарность Э.А.Кураеву за многочисленные полезные обсуждения.

Литература

1. Долинский С.И., Дружинин В.П., Дубровин М.С. и др. Препринт ИЯФ 85-98, Новосибирск, 1985.
2. Тумайкин Г.М. X международная конференция по ускорителям заряженных частиц высоких энергий, стр. 443, Серпухов, 1977.
3. Golubev V.B., Druzhinin V.P., Ivanchenko V.N. et al. Nucl. Inst. Meth. 1984, 227, 467.
4. Аульченко В.М., Долинский С.И., Дружинин В.П. и др. Препринт ИЯФ 86-105, Новосибирск, 1986.
5. Dolinsky S., Druzhinin V.P., Dubrovin M.S. et al. Phys. Lett., 1986, 174B, 453.
6. Berends F.A., De Causmaecker P., Gastans R. et al. Nucl. Phys., 1984, B239, 395.