

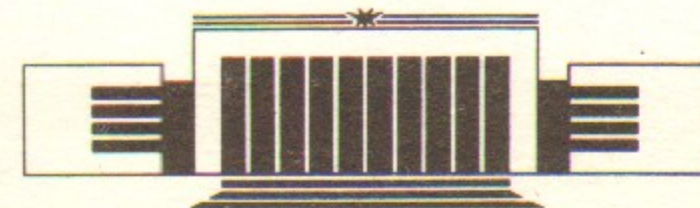


15
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СО АН СССР

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

НАБЛЮДЕНИЕ РАСПАДА $\rho \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma$

ПРЕПРИНТ 87-120



НОВОСИБИРСК

Наблюдение распада $\rho \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma$

И.Б.Вассерман, В.Б.Голубев, С.И.Долинский, В.П.Дружинин,
М.С.Дубровин, П.М.Иванов, В.Н.Иванченко, Е.В.Пахтусова,
А.Н.Перышкин, Ц.И.Середняков, В.А.Сидоров, Ю.Н.Шатунов

Институт ядерной физики
630090, Новосибирск 90, СССР

АННОТАЦИЯ

В эксперименте с Нейтральным детектором на электрон-позитронном накопителе ВЭПП-2М обнаружен редкий распад $\rho \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma$ с относительной вероятностью $B(\rho \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma) = (1.11 \pm 0.14) \cdot 10^{-2}$ для энергии фотона больше 50 МэВ. Величина вероятности распада и форма энергетического спектра фотонов согласуется с тормозным механизмом распада. Установлено ограничение на вероятность структурного излучения: $B(\rho \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma)_c < 5 \cdot 10^{-3}$ на 90% уровне достоверности.

В. сечение реакции

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

в области энергии ρ -мезонного резонанса дают вклад два процесса: распад ρ -мезона в реакции

$$e^+ e^- \rightarrow \rho \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma \quad (2)$$

и процесс

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

в котором фотон излучается начальными частицами. C -четности $\pi^+ \pi^-$ -системы для процессов (2) и (3) различны, и, поскольку знаки пионов в эксперименте не различаются, интерференционный член не наблюдаем. Сечение реакции (3) вычисляется методами квантовой электродинамики [1, 2], с использованием хорошо изученного сечения реакции $e^+ e^- \rightarrow \pi^+ \pi^-$.

В радиационный распад $\rho \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma$ дают вклад два механизма: тормозное излучение пионов в распаде $\rho \rightarrow \pi^+ \pi^-$ и структурное излучение, связанное с перестройкой кварковой структуры в распаде ρ -мезона, например, возможный электрический дипольный переход $\rho \rightarrow \epsilon \gamma$ через скалярный мезон ϵ . Так как распад $\rho \rightarrow \pi^+ \pi^-$ является основным для ρ -мезона, тормозной механизм должен давать существенный вклад. Вероятность распада $\rho \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma$, вычисленная в работах [1, 3, 4] в предположении тормозного механизма, составляет около 10^{-2} при энергии фотона $E_\gamma > 50$ МэВ. Второй меха-

низм рассматривался в работе [4]. Для вероятности структурного излучения получено значение около $2 \cdot 10^{-4}$. В последнее время обнаружено значительное превышение сечения над борновским в реакции $\gamma\gamma \rightarrow \pi^+\pi^-$ [5], что вызвало появление теоретических работ, например, [6]. Было бы интересно связать реакцию $\gamma\gamma \rightarrow \pi^+\pi^-$ с распадом $\rho \rightarrow \pi^+\pi^- \gamma$, однако теоретические работы такого рода отсутствуют. Экспериментально структурное излучение в распаде ρ -мезона может наблюдаться, например, по отличию формы энергетического спектра фотона от спектра тормозного излучения.

Эксперимент был выполнен на электрон-позитронном накопителе ВЭПП-2М [7] с Нейтральным детектором [8] в диапазоне энергии пучков $2E_0 = 0.5 \div 1$ ГэВ. Нейтральный детектор представляет собой электромагнитный калориметр с телесным углом 65% от 4π на основе кристаллов NaI(Tl). Для измерения углов вылета заряженных частиц используется трехслойная цилиндрическая пропорциональная камера. Эксперимент проводился в 1986 году с набранной интегральной светимостью 4.5 пб^{-1} .

Для выделения процесса (1) отбирались события с двумя

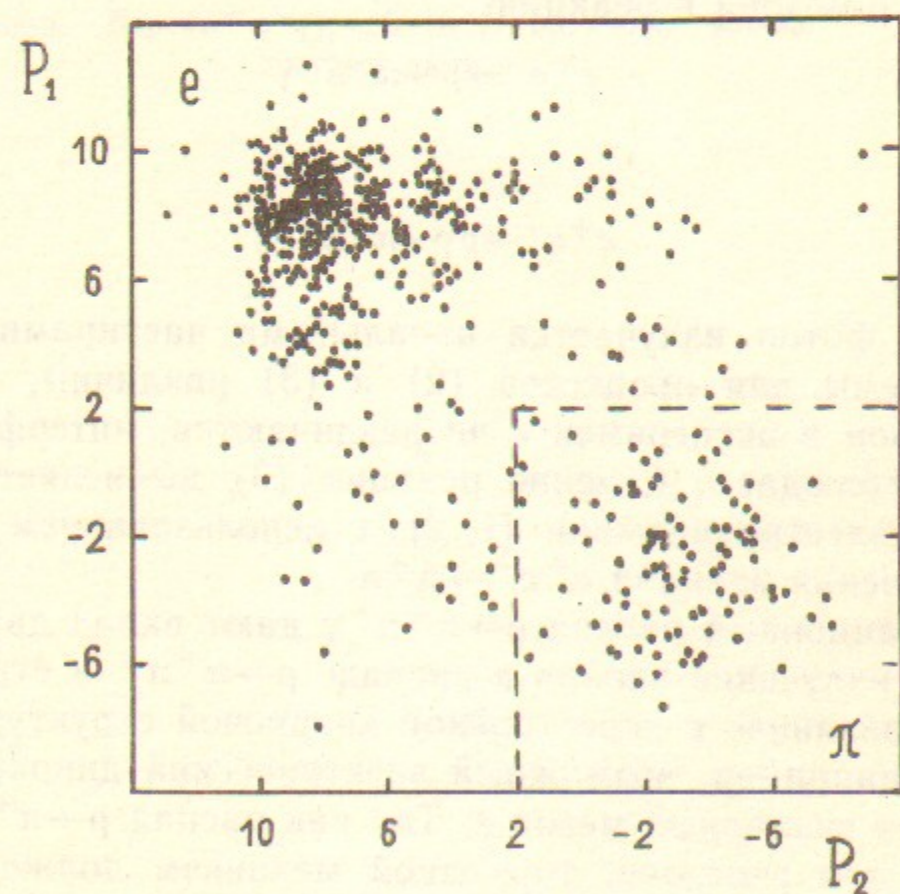


Рис. 1. Распределение событий по параметрам e/π -разделения. В левом верхнем углу события процесса $e^+e^- \rightarrow e^+e^- \gamma$, в правом нижнем — события процессов (1), (4), (5). Пунктиром показаны границы обрезания для выделения пионов.

заряженными частицами и одним фотоном с энергией больше 50 МэВ. Требовалось, чтобы в событии с аппаратурной точностью выполнялись законы сохранения энергии и импульса. Для подавления фона от процесса $e^+e^- \rightarrow e^+e^- \gamma$ использовалась процедура e/π -разделения [9]. Распределение по параметру разделения и границы обрезания для выделения пионов приведены на рис. 1. Число оставшихся событий процесса $e^+e^- \rightarrow e^+e^- \gamma$ оценивалось из этого же распределения и вычиталось.

В отобранные таким образом события, кроме процесса (1), дают вклад также следующие фоновые процессы:

$$e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^- \gamma, \quad (4)$$

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

Процесс (5) доминирует в области ω -мезона и величина сечения определяется по кривой возбуждения ω -мезона. Для аппроксимации сечения процесса (5) использовалась кривая Брейта—Вигнера с учетом ω — Φ -интерференции [10], которая хорошо описывает сечение процесса (5) в нашей области энергии. Энергетическая зависимость эффективности регистрации определялась по моделированию методом Монте-Карло. Сечение регистрации отобранных событий после вычитания вклада процесса (5) приведено на рис. 2. Для аппроксимации этого сечения использовалась формула $\sigma_p = \alpha_2 \sigma_2 + \alpha_3 \sigma_3 + \alpha_4 \sigma_4$, где $\sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$, (рис. 2) — рассчитанные методом Монте-Карло сечения процессов (2), (3) и (4), соответственно; α_i — свободные параметры, характеризующие отличие экспериментальных сечений от расчетных. Для расчета сечения процесса (2) использован тормозной механизм. При аппроксимации для параметров получены следующие значения:

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= 0.93 \pm 0.05 \pm 0.12, \\ \alpha_3 &= 0.85 \pm 0.05 \pm 0.12, \\ \alpha_4 &= 1.12 \pm 0.10 \pm 0.12. \end{aligned} \quad (6)$$

Первые ошибки являются статистическими, вторые — систематическими и определяются неточностью моделирования, оцениваемой в 10%, ошибкой расчета сечений — 5%, а также статистикой моделирования процессов (2), (3), (4), (5). Результаты (6) свидетельствуют о том, что сечения процессов (3) и (4) согласуются с расчетом, а для процесса (2) доминирует тормозной механизм, и значительного вклада структурного излучения нет. Для сечения в

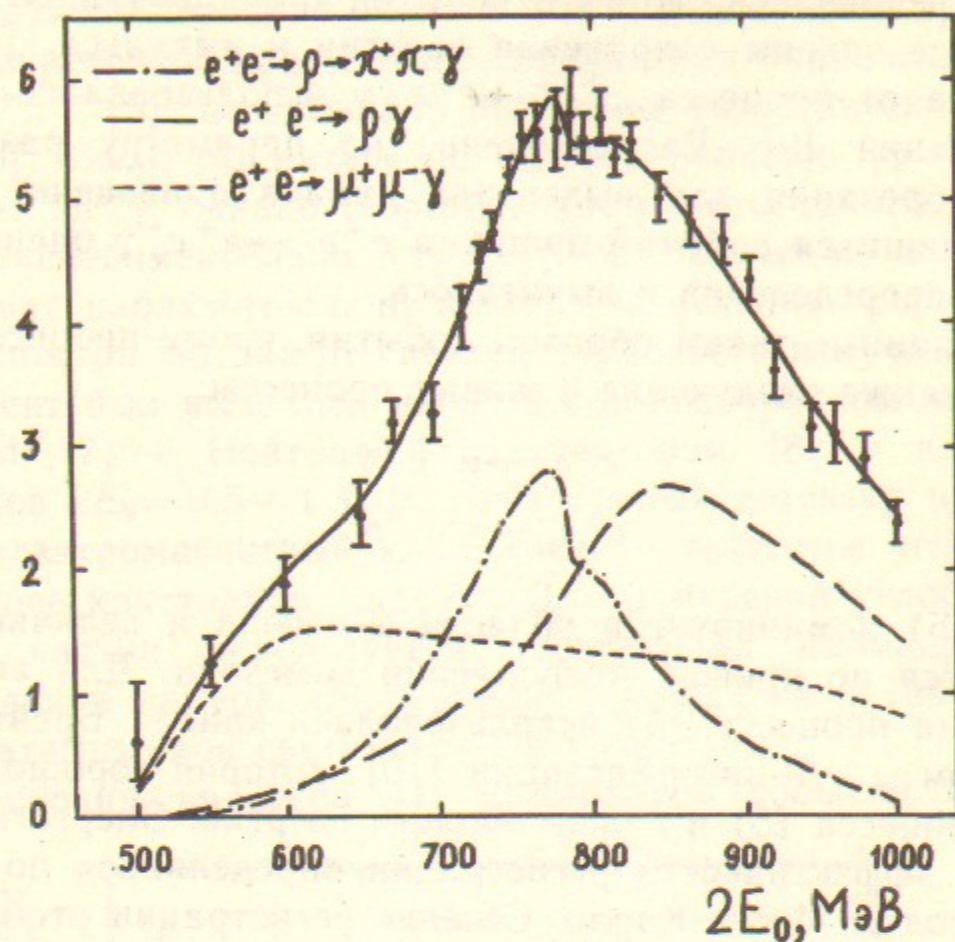


Рис. 2. Сечение регистрации отобранных событий. Точки с ошибками — эксперимент, сплошная линия — суммарное расчетное сечение. Показаны также вклады составляющих процессов.

максимуме ρ -мезонного резонанса и относительной вероятности распада $\rho \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma$ получены следующие значения:

$$\sigma(e^+e^- \rightarrow \rho \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma)^{\max} = 12.7 \pm 1.6 \text{ нб},$$

$$B(\rho \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma) = (1.11 \pm 0.14) \cdot 10^{-2} \text{ для } E_\gamma > 50 \text{ МэВ}.$$

Более детальный анализ механизма распада можно сделать по форме энергетического спектра фотонов. Для этого анализировались события вблизи максимума ρ -мезонного резонанса: $2E_0 = 720 \div 820$ МэВ. События разбивались на шесть групп в зависимости от энергии фотона E_γ , и в каждой группе вычитался фон от процессов (3), (4), (5). Полученный таким образом спектр фотонов изображен на рис. 3. Там же приведен расчетный спектр в предположении тормозного механизма распада ρ -мезона. Наблюдаемый спектр хорошо согласуется с расчетным, существенное отличие имеется только в последнем канале, где отношение экспери-

ментального числа событий к расчетному в модели тормозного механизма составляет 5.6 ± 2.5 , причем ошибка определяется в основном систематикой моделирования. Недостаточное понимание механизмов систематики, существенное особенно на малом уровне сечений в конце спектра, не позволяет нам трактовать это отклонение, как структурное излучение. Поэтому мы устанавливаем лишь верхний предел на величину структурного излучения.

Для получения верхнего предела на структурное излучение матричный элемент распада $\rho \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma$ записывался в виде суммы матричного элемента тормозного излучения M_t и матричного элемента структурного излучения M_c . Как указывается в работах [1, 3] M_c пропорционален первой степени импульса фотона k и, следовательно, может искажать спектр тормозного излучения в его жесткой части. Матричный элемент для $\pi^+ \pi^-$ -системы в S -волне можно записать в виде

$$M_c = H \times [(pk) g_{\mu\nu} - p_\nu k_\mu] e_\mu^{(\rho)} e_\nu^{(\gamma)},$$

где k - и p -импульсы фотона и ρ -мезона, а $e^{(\gamma)}$ и $e^{(\rho)}$ — их векторы поляризации; комплексная амплитуда H характеризует величину перехода и взаимодействие π -мезонов в конечном состоянии. Поскольку вклад структурного излучения мал, матричный элемент, записанный в этом виде, можно использовать для установления верхнего предела и для других промежуточных состояний $\pi^+ \pi^-$ -системы. Для амплитуды H использовалось следующее выражение:

$$H = \frac{A}{S_1 - M^2 + iM\Gamma},$$

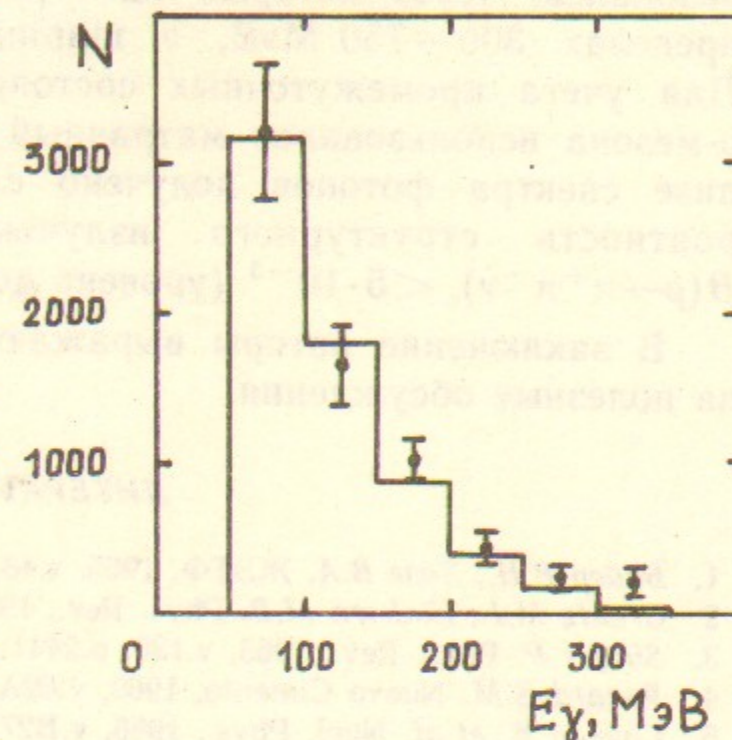


Рис. 3. Энергетический спектр фотонов для распада $\rho \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma$. Точки с ошибками — эксперимент, гистограмма — расчет методом Монте-Карло тормозного механизма распада.

где S_1 — инвариантная масса $\pi^+\pi^-$ -пары; M и Γ — масса и ширина резонанса, через который идет распад. Масса варьировалась в пределах 300—750 МэВ, а ширина — в пределах 50—500 МэВ. Для учета промежуточных состояний с массой большей массы ρ -мезона использовался матричный элемент с $H = \text{const}$. При анализе спектра фотонов получено следующее ограничение на вероятность структурного излучения в распаде $\rho \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$: $B(\rho \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma)_c < 5 \cdot 10^{-3}$ (уровень достоверности 90%).

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Байер В.Н., Хозе В.А. ЖЭТФ, 1965, т.48, с.1708.
2. Creutz M.J., Einhorn M.B. Phys. Rev., 1970, v.D1, p.2537.
3. Singer P. Phys. Rev., 1963, v.130, p.2441; Phys. Rev., 1967, v.161, p.1694.
4. Renard S.M. Nuovo Cimento, 1969, v.62A, p.475.
5. Courau A. et al. Nucl. Phys., 1986, v.B271, p.1.
6. Barnes T. et al. Phys. Lett., 1987, v.183B, p.210.
Morgan D., Pennington M.R. Preprint RAL-87-020, Chilton, 1987.
7. Тумайкин Г.М. Тр. X междунар. конф. по ускорителям частиц высоких энергий. Серпухов, 1977, с.443.
8. Golubev V.B. et al. Nucl. Instr. and Methods, 1984, v.227, p.467.
9. Голубев В.Б. и др. Тр. III междунар. конф. по методике экспериментов на встречных пучках. Новосибирск, 1984, с.77.
10. Aulchenko V.M. et al. Phys. Lett., 1987, v.186B, p.432.

И.Б.Вассерман, В.Б.Голубев, С.И.Долинский, В.П.Дружинин,
М.С.Дубровин, П.М.Иванов, В.Н.Иванченко, Е.В.Пахтусова,
А.Н.Перышкин, Ц.И.Середняков, В.А.Сидоров, Ю.Н.Шатунов

Наблюдение распада $\rho \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$

Ответственный за выпуск С.Г.Попов

Работа поступила 20 июля 1987 г.
Подписано в печать 20.08. 1987 г. МН 00458
Формат бумаги 60×90 1/16 Объем 0,9 печ.л., 0,8 уч.-изд.л.
Тираж 250 экз. Бесплатно. Заказ № 120

Набрано в автоматизированной системе на базе фото-
наборного автомата ФА1000 и ЭВМ «Электроника» и
отпечатано на ротапринтере Института ядерной физики
СО АН СССР,
Новосибирск, 630090, пр. академика Лаврентьева, 11.