

81
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ
СО АН СССР

Л.М.Барков, И.Б.Вассерман, В.Б.Голубев,
В.Н.Иванченко, И.А.Кооп, М.Ю.Лельчук,
В.Е.Панченко, Г.М.Тумайкин, В.А.Ушаков,
Ю.М.Шатунов

ИЗМЕРЕНИЕ СЕЧЕНИЯ $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$
ПРИ ЭНЕРГИИ 2x200 МЭВ

ПРЕПРИНТ ИЯФ 79 - 117

Новосибирск

ИЗМЕРЕНИЕ СЕЧЕНИЯ $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$ ПРИ ЭНЕРГИИ 2x200 МЭВ

Л.М.Барков, И.Б.Вассерман, В.Б.Голубев, В.Н.Иванченко,
И.А.Кооп, М.Ю.Лельчук, В.Е.Панченко, Г.М.Тумайкин,
В.А.Ушаков, Ю.М.Шатунов

А Н Н О Т А Ц И Я

На накопителе ВЭП-2М с помощью методики оптических искровых камер измерено сечение реакции $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$ при энергии пучков 2x200 МэВ. Полученное значение сечения 0.14 ± 0.04 мкбн соответствует квадрату модуля форм-фактора пиона 2.8 ± 0.9 , что не противоречит модели Гунариса-Сакураи.

Важность экспериментальных данных по измерению форм-фактора пиона при малых энергиях состоит не только в том, что они позволяют проверить правильность теоретических представлений о характере взаимодействия пионов в этой области энергий, но и в том, что их точные значения необходимы для решения ряда важных задач, например, расчета аномального магнитного момента мезона. К настоящему времени выполнен ряд работ (/1/ - /6/), посвященных измерению формфактора пиона при малых переданных импульсах, две из которых (/4/, /6/) проведены на накопителе ВЭШ-2М ИЯФ СО АН СССР. В работе /4/ для выделения $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$ событий при энергии 2×200 МэВ использовался время-пролетный спектрометр на основе искровых счетчиков с локализованным разрядом. В работе /6/ формфактор пиона измерялся при энергиях 2×200 и 2×220 МэВ на универсальном детекторе "Оля".

В настоящей работе приводятся результаты измерения формфактора пиона, также проведенного на накопителе ВЭШ-2М, с помощью системы оптических искровых камер при энергии 2×200 МэВ. Ливнево-пробегные плоские искровые камеры (рис.1), собранные в четыре блока по 14 искровых зазоров, окружали место встречи E^+E^- пучков. Первые два электрода каждого блока были изготовлены из алюминия (суммарная толщина 0.8 г/см^2). Остальные двенадцать одинаковых электродов содержали 52 г/см^2 свинца (8.2 радиационных длин) и 7 г/см^2 алюминия. Кроме того, вокруг места встречи имелись четыре цилиндрических искровых промежутка с тонкостенными алюминиевыми электродами. Запуск искровых камер осуществлялся двумя цилиндрическими пропорциональными камерами с проволочками, параллельными оси пучков и сгруппированными в каждой камере в 32 сектора для отбора коллинеарных событий. Для запуска требовалось четырехкратное совпадение сигналов с противоположащих секторов обеих пропорциональных камер при отсутствии сигналов с любых других секторов.

В ходе эксперимента было снято около 45000 кадров. Интеграл светимости составил $\sim 0.7 (\text{нбн})^{-1}$. При предварительном просмотре, выполнявшемся независимо дважды, отбирались двухчастичные события с двумя треками в цилиндрических искровых камерах и продолжениями каждого трека в ливнево-пробегных камерах. Разделение $\pi^+\pi^-$, $\mu^+\mu^-$ и e^+e^- событий основывалось на подробном прослеживании прохождения частиц через эти камеры.

При энергии 200 МэВ ионизационный пробег мюонов в пробежных камерах составляет $\sim 50 \text{ г/см}^2$ (12 зазоров), пионов $\sim 20 \text{ г/см}^2$ (от 3 до 6 зазоров), а электроны дают характерную картину ливня.

Уже при визуальном просмотре все двухчастичные события четко разделялись на 4 класса: e^+e^- , $\mu^+\mu^-$, $\pi^+\pi^-$ и космика. Для конкретизации результатов просмотра были приняты следующие формальные определения и критерии отбора. Треком в пробежных камерах считалась группа не менее, чем из трех искр на главном направлении, при наличии не более одного несработавшего зазора или не более двух искр в стороне. Ливнем считалась группа не менее, чем из четырех искр не менее, чем в трех зазорах, не являющаяся треком. В соответствии с этими определениями события относились к следующим классам: $\pi^+\pi^-$ - два трека длиной от 3 до 6 зазоров, $\mu^+\mu^-$ - два трека от 7 до 12 зазоров, космика - хотя бы один трек длиной не более 12 зазоров. Остальные двухчастичные события, имеющие с каждой стороны ливень или трек в пробежных камерах, были отнесены к классу e^+e^- . Всего при предварительном просмотре было выделено 22 $\pi^+\pi^-$, 59 $\mu^+\mu^-$ и 335 e^+e^- событий. Среди e^+e^- событий оказалось лишь 4 с двумя треками, остальные имели хотя бы один ливень. Эти 416 кадров были обмерены на просмотрном полуавтомате с выводом информации на перфоленту и последующей записью на магнитную ленту. Для контроля половина массива кадров обмерялась дважды. Дальнейшая обработка производилась на ЭВМ "Минск-32".

На первом этапе производилась геометрическая реконструкция событий. По координатам искр в цилиндрических искровых камерах и в первых двух зазорах пробежных камер вычислялись углы вылета каждой частицы. Точность определения углов составила 1° . В окончательную обработку вошли события с углами расколлинearности $\leq 12^\circ$, в которых оба трека проходили внутри рабочего объема пробежных искровых камер. Границы рабочего объема отстояли от торцов камер на 2 см в направлении вдоль e^+e^- пучков и на 10 см в направлении, перпендикулярном пучкам. Этот геометрический отбор прошло 308 событий.

Хотя число искр в треке позволило разбить события на классы, для более надежного разделения $\pi^+\pi^-$, $\mu^+\mu^-$ и e^+e^- событий

следовало полностью использовать информацию о пробеге частиц, учитывая угол падения частиц на камеры и изгибы треков из-за многократного рассеяния. При наличии в электродах камер двух веществ с существенно различающимися средними ионизационными потерями (для свинца $\frac{dE}{dx} \min = 1.13 \frac{\text{МэВ}}{\text{г/см}^2}$, для алюминия $1.62 \frac{\text{МэВ}}{\text{г/см}^2}$) пробег данной частицы, измеренный в г/см^2 , не является лучшим параметром разделения. Поэтому по длине трека восстанавливалась начальная энергия, с которой частица вошла в искровые камеры. При этом путь частицы в каждом слое вещества разбивался на такие шаги, чтобы удельные ионизационные потери слабо изменялись в пределах шага - так же, как в расчетах пробегов при моделировании событий по методу Монте-Карло.

Распределения по восстановленной начальной энергии каждой частицы для экспериментальных и моделированных событий приведены на Рис.2. Для каждой частицы определялись два возможных значения энергии: одно в предположении, что данная частица - мюон, другое - пион. Среднеквадратичная погрешность $\sim 10 \text{ МэВ}$ в определении начальной энергии связана с неточностью восстановления пути частицы по искрам.

Вероятность имитации электронами $\pi^+\pi^-$ и $\mu^+\mu^-$ событий определялась методом корреляционных матриц [7]. В нашем случае картина ливня существенно отличалась от картины трека. Для совмещения информации о пробеге и о расположении искр для каждой частицы вычислялся обобщенный параметр W .

$$W = \frac{(E - \langle E \rangle)^2}{2S^2} + \frac{1}{2(N-1)} \sum_{i=2}^N \frac{\Delta X_i^2}{\sigma_i^2},$$

где E - восстановленная начальная энергия; $\langle E \rangle$ и S - средняя энергия и ее среднеквадратичное отклонение (получены из обработки моделированных методом Монте-Карло $\pi^+\pi^-$ и $\mu^+\mu^-$ событий); N - число искр; ΔX_i - отклонение i искры от трека; σ_i - пространственная точность с учетом многократного рассеяния.

По параметру W были построены двумерные распределения, в которые вошли только те события, у которых энергии обеих частиц отличаются от $\langle E \rangle$ не более, чем на $3S$. Результаты разделения методом корреляционных матриц хорошо согласуются с результатами предварительного визуального просмотра при тех

из геометрических обрезаний (Таблица I).

Таблица I.

Классы событий	Результаты предварит. просмотра событий	Число событий, удовлетв. геометрич. критериям	Результаты разделения методом корреляцион. матриц	Радиц. поправка (/ 8 /), %
$\pi^+\pi^-$	22	14	13.6 ± 4.1 -3.5	-5.2
$\mu^+\mu^-$	59	31	25.7 ± 5.5	-3.5
e^+e^-	335	263	269 ± 17	-3.9

Эффективность регистрации вычислялась методом Монте-Карло. При моделировании учитывались ионизационные потери, многократное рассеяние (/ 9 /), распады пионов на лету и использовалось экспериментальное значение пространственного разрешения системы регистрации. Разыгранные таким образом события записывались на магнитную ленту, а затем обрабатывались по тем же программам, что и экспериментальные. Эффективность регистрации $\pi^+\pi^-$ событий составила $(14 \pm 1)\%$, $\mu^+\mu^-$ событий $(8.5 \pm 0.8)\%$. Сечение регистрации e^+e^- событий - 367 нбн.

Кроме основного захода, были проведены два контрольных: один с космикой (при отсутствии пучков), другой - фоновый (встреча e^+e^- в другом промежутке). Фоновый заход занял 10% времени основного и дал лишь 5 кандидатов в e^+e^- , которые, как выяснилось, не удовлетворяли геометрическим критериям; таким образом, на уровне статистики данного эксперимента космика и фон не могут имитировать пары e^+e^- , $\mu^+\mu^-$, $\pi^+\pi^-$.

Интеграл светимости, рассчитанный по числу e^+e^- событий, составил 0.73 ± 0.05 нбн⁻¹. Количество $\mu^+\mu^-$ событий в пределах статистики согласуется с ожидаемым согласно квантовой электродинамике.

Полное сечение рождения пар $\pi^+\pi^-$ при энергии 2x200 МэВ оказалось равным 0.14 ± 0.04 мкбн, а квадрат модуля формфактора пиона $|F_\pi|^2 = 2.8 \pm 0.9$. На рис.3 приведена сводка экспериментальных данных по формфактору пиона. Видно, что результат

этой работы не противоречит вычисленной по формуле Гунариса-Сакураи (/ 10 /) зависимости $|F_\pi|^2$ от энергии.

В заключение авторы выражают благодарность А.Д.Букину и С.И.Эйдельману за полезные обсуждения вопросов обработки экспериментальных данных.

Л и т е р а т у р а :

1. В.Л.Ауслендер, Г.И.Будкер, Е.В.Пахтусова, Ю.Н.Пестов, В.А.Сидоров, А.Н.Скринский, А.Г.Хабахпашев, ЯФ 9, 114 (1969).
2. D. Benaksas, G. Cosme, B. Jean-Marie, S. Jullian, F. Laplanche, J. Lefrançois, A.D. Liberman, G. Patton, J.P. Repellin, G. Sauvage, Phys Lett 39B, 289 (1972)
3. С.Ф.Бережнев, Т.Д.Блохинцева, А.В.Демьянов, А.В.Кушцов, В.П.Курочкин, Л.Л.Неменов, Г.И.Смирнов, А.М.Хазинс, ЯФ 26, 547 (1977).
4. И.Б.Вассерман, П.М.Иванов, И.А.Кооп, А.П.Лысенко, Ю.Н.Пестов, А.Н.Скринский, Г.В.Федотович, В.Г.Шамовский, Ю.М.Шатунов, ЯФ 28, 968 (1978).
5. A. Quenzer et al, Phys Lett 76B, 512 (1978).
6. И.Б.Вассерман, Л.М.Курдадзе, В.А.Сидоров, А.Н.Скринский, А.Г.Хабахпашев, Ю.М.Шатунов, Б.А.Шварц, ЯФ 30, 999 (1979).
7. А.Д.Букин, Л.М.Курдадзе, Е.В.Пахтусова, В.А.Сидоров, А.Г.Хабахпашев, Б.А.Шварц. Препринт ИЯФ 77-92, Новосибирск (1977).
8. S. I. Eidelman, E. A. Kuznetsov, Phys Lett 80B, 94 (1979).
9. А.Д.Букин, С.И.Эйделман. Препринт ИЯФ 77-101, Новосибирск (1977).
10. G. J. Gounaris, J. J. Sakurai, Phys Rev Lett. 21, 244 (1968)

Рис.1 .

Схема экспериментальной установки.

- 1 - ливнево-пробежные камеры ;
- 2 - цилиндрические проволочные пропорциональные камеры;
- 3 - цилиндрические искровые камеры.

Рис.2.

Распределения по энергии одной частицы :

- а) для каждой частицы из событий классов $\pi^+\pi^-$ и $\mu^+\mu^-$ энергия вычисляется в предположении, что частица - мюон. Непрерывные кривые - результат моделирования методом Монте-Карло событий $\pi^+\pi^-$, штриховые кривые - моделированные $\mu^+\mu^-$ события;
- б) распределение для тех же событий в предположении, что все частицы - пионы;
- в) распределение для событий класса e^+e^- в предположении, что частица - мюон. Гистограмма событий, где обе частицы имеют энергию в пределах трех стандартных отклонений от средней, заштрихована. Величина стандартного отклонения получена методом Монте-Карло;
- г) те же гистограммы, что и на "в", но в предположении, что частицы - пионы.

Рис.3.

Экспериментальные данные по формфактору пиона.

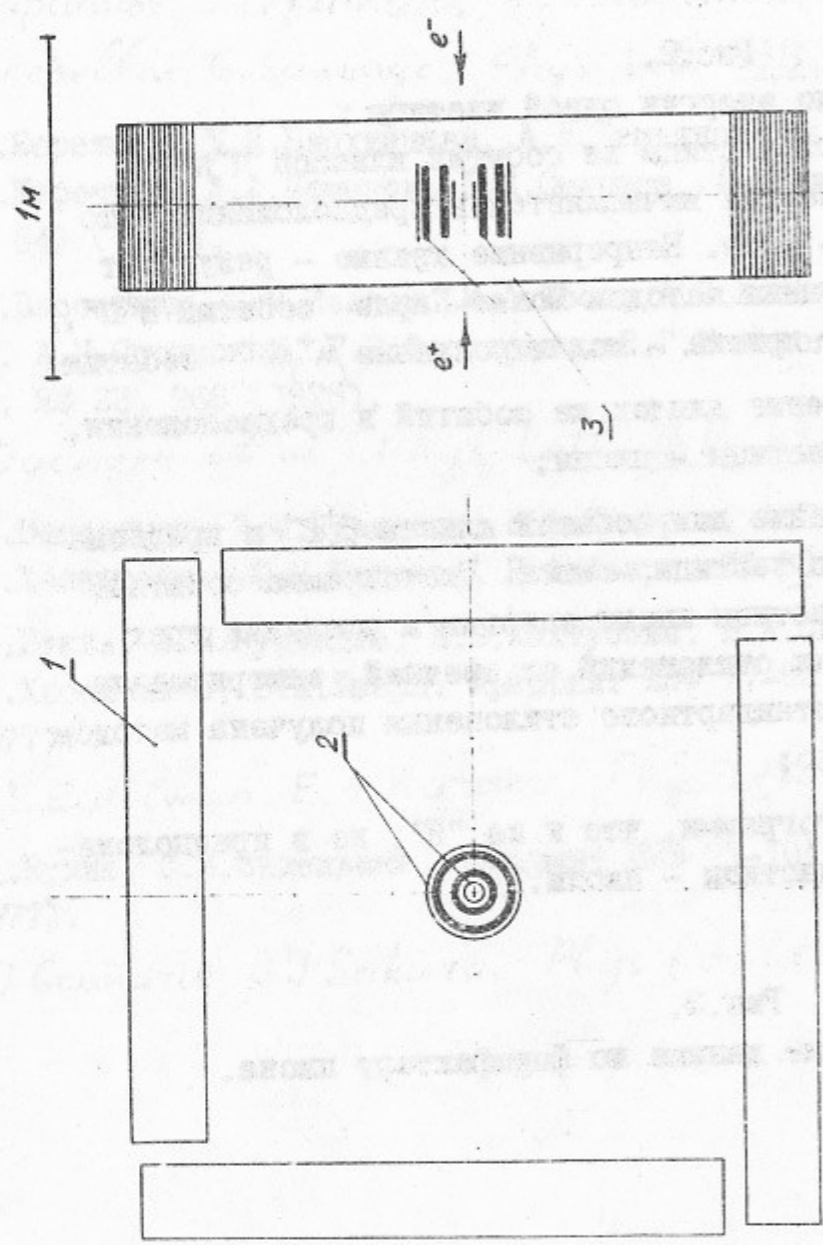


Рис. 1

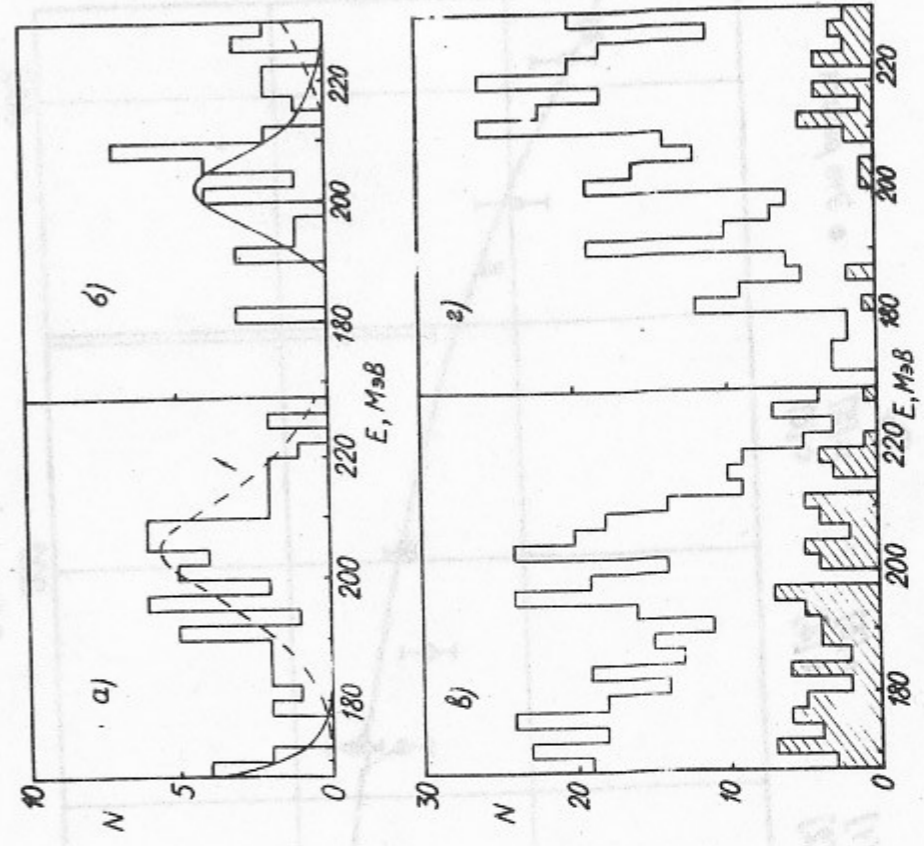


Рис. 2

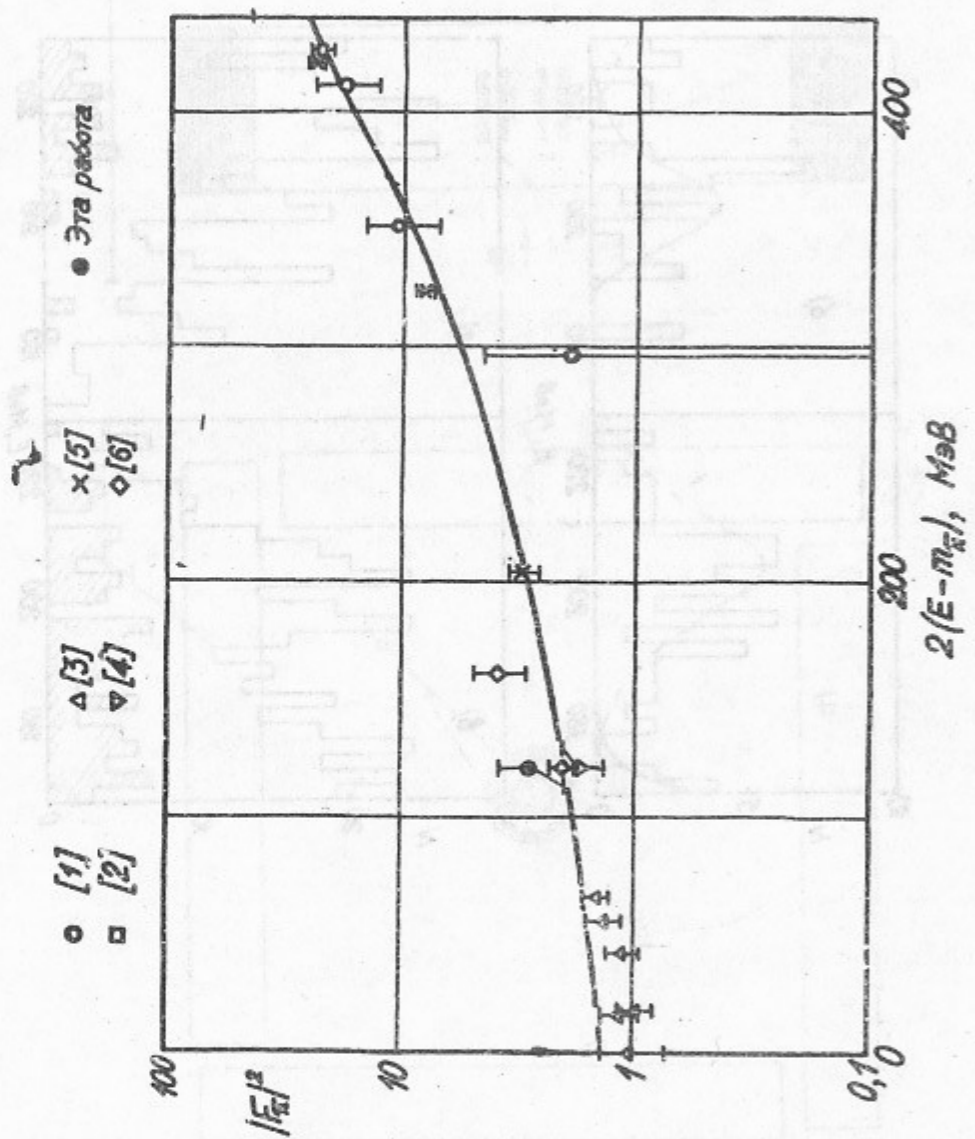


Рис. 3.

Работа поступила - 5 ноября 1979 г.

Ответственный за выпуск - С.Г. ПОПОВ
 Подписано к печати 21.XI-1979 г. МН 06788
 Усл. 0,6 печ.л., 0,5 учетно-изд.л.
 Тираж 250 экз. Бесплатно
 Заказ № II7.

Отпечатано на роталпринте ИЯФ СО АН СССР