

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

4586/2-80

22/9-80

P1-80-472

В.В.Ализаде, С.Ф.Бережнев, Т.Д.Блохинцева,
А.В.Демьянов, А.В.Купцов, В.П.Куручкин,
Л.Л.Неменов, Ж.П.Пустыльник, Г.И.Смирнов,
Д.М.Хазинс

ОПРЕДЕЛЕНИЕ

НУКЛОННОГО И ПИОННОГО ФОРМФАКТОРОВ

ИЗ АНАЛИЗА РЕАКЦИИ $\pi^- p \rightarrow e^+ e^- n$

ПРИ ЭНЕРГИИ ПИОНА $E_\pi = 164$ МэВ

Направлено в ЯФ

1980

Ализаде В.В. и др.

PI-80-472

Определение нуклонного и пионного формфакторов из анализа реакции $\pi^- p \rightarrow e^+ e^- \pi$ при энергии пиона $E_\pi = 164$ МэВ

Определены изовекторный нуклонный формфактор и формфактор пиона при значении квадрата переданного импульса $0,054$ /ГэВ/с². Получены величины сечений, соответствующие рождению виртуальных фотонов с поперечной и продольной поляризациями. Приведены все данные о F_1^V и F_π , полученные из анализа реакции $\pi^- p \rightarrow e^+ e^- \pi$, и определен среднеквадратичный радиус π -мезона.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1980

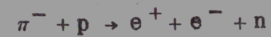
Alizade V.V. et al.

PI-80-472

Determination of Nucleon and Pion Form Factors by Analysing the $\pi^- p \rightarrow e^+ e^- \pi$ Reaction at $E_\pi = 164$ MeV

The isovector nucleon form factors and pion form factor

Анализ реакции обратного электророждения пионов /ОЭП/



/1/

дает возможность исследовать электромагнитную структуру нуклона и пиона в области времениподобных переданных импульсов ($k^2 > 0$), причем в допороговой области /т.е. при $k^2 < 4M_N^2$ и $k^2 < 4m_\pi^2$ / реакция /1/, по-видимому, является единственным реальным источником информации такого рода.

Как было показано ранее /1-3/, экспериментальные данные по реакции ОЭП при низких энергиях хорошо описываются дисперсионной моделью /4/, единственными параметрами которой являются формфактор пиона F_π и изовекторный нуклонный формфактор F_1^V . Их величины могут быть определены из сравнения экспериментальных и теоретических распределений по косинусу угла вылета виртуального фотона $\Theta^Y /2/$.

В предыдущих работах /1-3/ реакция /1/ изучалась при энергии π -мезонов $E_\pi = 276$ МэВ. Проведенный анализ позволил определить электромагнитные формфакторы F_π и F_1^V в области переданных импульсов от $0,058$ до $0,119$ /ГэВ/с².

В настоящей работе анализируются угловые распределения в процессе ОЭП при энергии π -мезонов $E_\pi = 164$ МэВ. Данные были получены на мезонном пучке синхроциклотрона Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ. Экспериментальная установка, критерии отбора и идентификация событий описаны в работе /5/. Для анализа было выделено $127+15$ событий, причем примесь фоновых событий составляла $/25+12/$. Среднее значение квадрата переданного импульса равнялось $/0,054+0,013/$ /ГэВ/с².

Для определения электромагнитных формфакторов адронов анализировалось распределение событий по косинусу угла вылета виртуального фотона Θ^Y /рис.1/. Именно это дифференциальное сечение является наиболее чувствительным к величинам F_1^V и F_π . Экспериментальное распределение аппроксимировалось теоретическим, рассчитанным в рамках дисперсионной модели /4/ с учетом конкретных условий эксперимента. Следует отметить, что благодаря квазипороговому поведению амплитуды процесса /1/ /6/ влияние Δ -резонанса незначительно, так что амплитуда практически полностью описывается полюсными диаграммами.

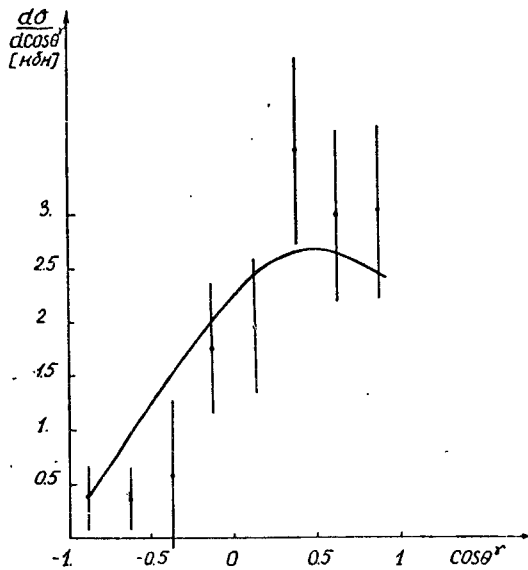


Рис.1. Распределение событий по косинусу угла вылета виртуального фотона $\Theta\gamma$. Сплошная кривая - расчет по дисперсионной модели с формфакторами, полученными в настоящей работе.

дели с использованием условия /2/, привела к следующему результату:

$$F_{\pi} = 0,88 \pm 0,10, \quad \chi^2 = 5,8$$

$$F_1^V = 0,94 \pm 0,10 \quad \chi^2 = 7,0.$$

Указанная здесь ошибка является статистической. Систематическая ошибка, связанная с учетом погрешности в абсолютном измерении сечения, также равняется 0,10.

На рис.1-3 приведены угловые распределения событий реакции /1/ и теоретические кривые, рассчитанные по дисперсионной модели с использованием полученных значений F_1^V и F_{π} . Видно, что модель хорошо описывает экспериментальные данные. На рис.4 и 5 представлены значения F_1^V и F_{π} , полученные в на-

Если формфакторы F_{π} и F_1^V варьировать независимо, то получающиеся значения имеют большие ошибки $\approx 100\%$. На основе имеющихся теоретических представлений формфакторы могут быть связаны в виде: $F_1^V = F_{\pi} + \delta$, /2/ где δ рассчитывается в соответствии с работами /7/ или /8,9/. При $k^2=0,054 \text{ ГэВ}^2/\text{с}^2$ оба расчета дают одинаковое значение, равное 0,06. Как уже указывалось /3/, использование разности имеет некоторое преимущество по сравнению с самими формфакторами, поскольку при вычислении δ некоторые модельно зависимые члены исчезают.

Конкретный вид минимизируемого функционала приведен в работах /3/. Аппроксимация экспериментального распределения по $\cos\Theta\gamma$ теоретической кривой, рассчитанной по дисперсионной модели

/3/

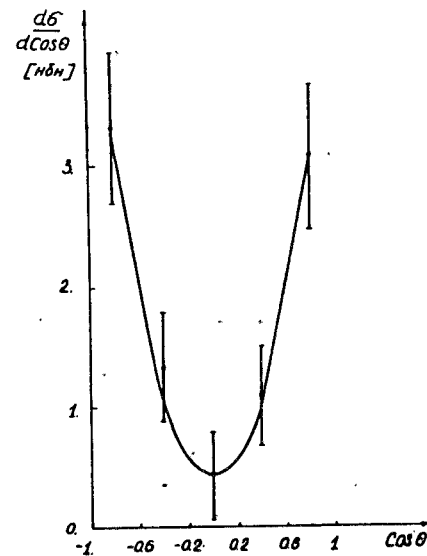


Рис.2. Распределение событий по косинусу угла Θ между электроном и нейтроном в (e^+e^-) -с.с.м. Сплошная кривая рассчитана по дисперсионной модели с формфакторами, полученными в настоящей работе.

стоящей работе и в предыдущих экспериментах /3/ по изучению реакции /1/, а также теоретические кривые, рассчитанные по работам /7/.

Для определения среднеквадратичного радиуса пиона полученное значение F_{π} вместе с результатами предыдущих работ * аппроксимировалось функцией:

* Использовались 9 значений F_{π} , приведенных в табл.2, анализ III работы /3/. Для получения удовлетворительных значений χ^2 систематические ошибки в экспериментах /2/ и /3/ были увеличены в 1,5 раза.

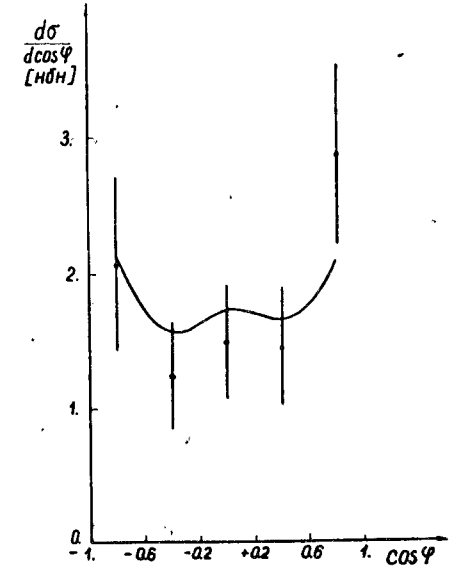


Рис.3. Распределение событий по косинусу угла ϕ между плоскостью реакции $\pi^-p \rightarrow \gamma^*\pi$ и плоскостью e^+e^- -пары. Сплошная кривая рассчитана по дисперсионной модели с формфакторами, полученными в настоящей работе.

$$F_{\pi} = \frac{A_i}{1 - B \cdot k^2} \quad /4/$$

Нормировочные параметры вводились для данных работы ^{13/}(A₁) и работы ^{12/}(A₂), для того, чтобы учесть ошибки абсолютных измерений. При аппроксимации использовались статистические ошибки в экспериментальных значениях формфакторов, а систематическая ошибка / ≈ 7%/, определяемая погрешностью в измерении сечения, приписывалась точке F_π(0) = 1. Результаты приведены в табл.1.

Таблица 1

Γ_{π} [Ф]	A ₁	A ₂	χ^2	$\sigma_{\Gamma_{\pi}} \cdot \sqrt{\chi^2 / \chi^2}$ [Ф]
0,71±0,07	0,88±0,05	0,83±0,05	16,0	0,10

Окончательно имеем:

$$\langle \Gamma_{\pi}^2 \rangle^{1/2} = (0,71 \pm 0,10) \text{ Ф.}$$

В табл.2 приведены имеющиеся данные о пионном радиусе.

В настоящей работе определялись также вклады в сечение процесса /1/ состояний с продольной и поперечной поляризацией виртуального фотона.

Сечение ОЭП можно представить в виде:

$$\Delta\sigma^* = \sum_{i=1}^4 R_i T_i = \sum_{i=1}^4 \Delta\sigma_i, \quad /5/$$

где R_i - легко вычисляемые функции кинематических переменных, а величины T_i характеризуют рождение виртуального фотона с различной поляризацией: T₁ описывает процесс πN → γ*N с поперечными неполяризованными фотонами, T₂ соответствует процессам с поперечно-поляризованными фотонами, T₄ - с продольно-поляризованными, а T₃ описывает интерференцию продольно- и поперечно-поляризованных фотонов; Δσ_i - соответствующие вклады в сечение процесса /1/.

Расчеты по дисперсионной модели и экспериментальные данные, полученные при энергии 276 МэВ ^{17/}, показывают, что суммарный вклад в дифференциальное сечение членов, определяемых T₂ и T₃, составляет несколько процентов.

* Δσ - та часть сечения процесса /1/, которая измеряется в настоящем эксперименте.

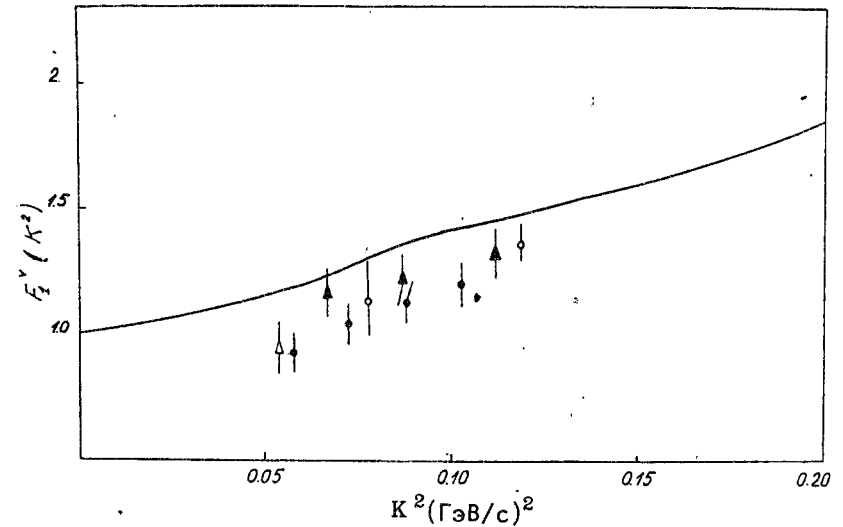


Рис.4. Формфактор F_π^γ. Δ - настоящая работа, ● - работа ^{13/}, ▲ - работа ^{12/}, ○ - работа ^{11/}. Сплошная кривая рассчитана в соответствии с ^{7/}.

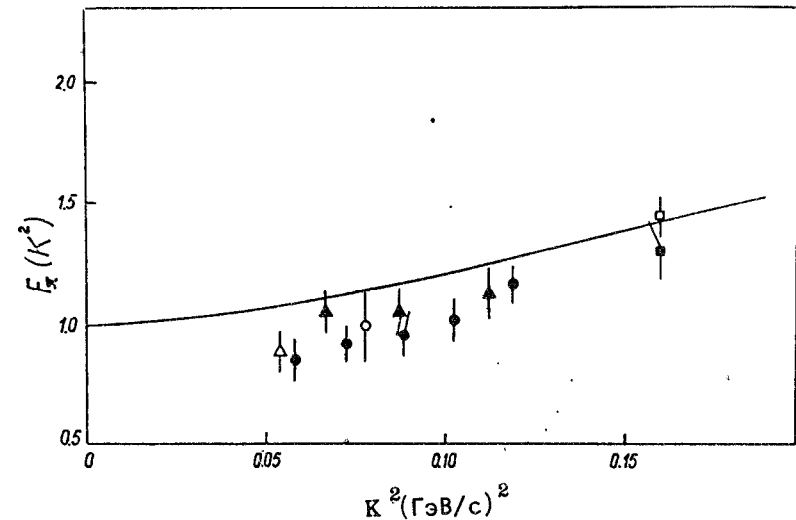


Рис.5. Формфактор F_π. Δ - настоящая работа, ● - работа ^{13/}, ▲ - работа ^{12/}, ○ - работа ^{11/}, □, ■ - работы ^{18,19/}. Кривая рассчитана в соответствии с ^{7/}.

Таблица 2

Источник информации	$\langle r_{\pi}^2 \rangle^{1/2}$ [Ф]	Ссылка
Анализ данных по реакции $\pi^- p \rightarrow e^+ e^- \pi$	$0,71 \pm 0,10$	Настоящая работа
Эксперимент по $(\pi^- e^-)$ - рассеянию	$0,56 \pm 0,04$ $0,78 \pm 0,10$	/10/ /11/
Анализ данных по электро-рождению пиона	$0,711 \pm 0,009$ /стат/ $+0,016$ /сист/	/12/
Аппроксимация типа Гунариса-Сакураи данных по реакции $e^+ e^- \rightarrow \pi^+ \pi^-$	$0,63$	/9/
Дисперсионный анализ данных по F_{π}	$0,68 \pm 0,01$	/14/
Дисперсионный анализ данных по F_{π} с учетом $\pi\omega$ -состояния	$0,66 \pm 0,69$	/7/
Анализ данных по $e^+ e^- \rightarrow \pi^+ \pi^-$, полученных в Орсе	$0,678 \pm 0,004$ /стат/ $+0,008$ /модель/	/15/
Теоретический расчет с использованием суперпропагаторного метода	$0,65$	/13/
Теоретический расчет на основе геометрической модели адрон-адронных столкновений	$0,61 \pm 0,03$	/16/

В настоящей работе эти величины полагались равными их теоретическим значениям, так что в качестве свободных параметров оставались лишь T_1 и T_4 . Подробная процедура определения T_1 на основе двумерных угловых распределений описана в /17/.

Результаты настоящего анализа приведены в табл.3. Для сравнения в нижней строке таблицы приведены теоретические значения, рассчитанные по дисперсионной модели с использованием полученных в настоящей работе значений F_1^V и F_{π} .

Таблица 3

	$\Delta\sigma_1$ нб	$\Delta\alpha_2$ нб	$\Delta\sigma_3$ нб	$\Delta\sigma_4$ нб	χ^2/χ^2
Эксперимент	$3,4$ $\pm 0,7$			$0,41$ $\pm 0,52$	$6,8/7$
Теория	$3,05$	$-0,21$	$-0,05$	$0,73$	

Авторы признательны Л.И.Липидусу и Б.М.Понтекорво за постоянный интерес к работе, В.М.Будневу и Г.В.Федотовичу за полезные обсуждения и предоставление данных по F_{π} , полученных новосибирской группой.

Авторы выражают большую благодарность Н.А.Владимировой, С.Г.Пластининой и В.Ф.Чуркиной за помощь при оформлении работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акимов Ю.К. и др. ЯФ, 1971, 13, с.748.
2. Бережнев С.Ф. и др. ЯФ, 1973, 17, с.85; ЯФ, 1973, 18, с.102.
3. Бережнев С.Ф. и др. ЯФ, 1977, 26, с.547; ЯФ, 1976, 24, с.1127.
4. Блохинцева Т.Д., Суровцев Ю.С., Ткебучава Ф.Г. ЯФ, 1975, 21, с.850.
5. Ализаде В.В. и др. ЯФ, 1979, 30, с.142.
6. Суровцев Ю.С., Ткебучава Ф.Г. ЯФ, 1972, 16, с.1204.
7. Budnev N.M., Budnev V.M., Serebryakov V.V. Phys.Lett., 1976, 64B, p.307; ИМ СОАН, 1976, ТФ-92.
8. Hohler G. et al. Preprint TKP 76/1, 1976, Karlsruhe.
9. Hohler G., Pietarinen E. Nucl.Phys., 1975, B95, p.210.
10. Dally E. et al. Phys.Rev.Lett., 1977, 39, p.1176.
11. Adylov G. et al. Nucl.Phys., 1977, B128, p.461.
12. Bebec C.S. et al. Phys.Rev., 1978, D17, p.1693.
13. Волков М.К., Первушин В.Н. ЯФ, 1974, 19, с.652.
14. Dubnicka S., Meshcheryakov V.A. Nucl.Phys., 1974, B83, p.311.
15. Quenzer A. et al. Phys.Lett., 1978, 76B, p.512.
16. Chou T.T. Phys.Rev., 1979, D19, p.3327.
17. Бережнев С.Ф., Блохинцева Т.Д., Неменов Л.Л. ЯФ, 1977, 25, с.1240.
18. Вассерман И.Б. и др. ЯФ, 1979, 30, с.999.
19. Вассерман И.Б. и др. ЯФ, 1978, 28, с.968.

Рукопись поступила в издательский отдел
4 июля 1980 года.

ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники