

K-926

4886

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1 - 6413

А.В. Купцов

НАБЛЮДЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ
РЕАКЦИИ $\pi^- p \rightarrow e^+ e^- n$
ПРИ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ
ПИОНОВ 275 МЭВ

Специальность 040 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:
кандидат физико-математических наук Л.Л. Неменов

Официальные оппоненты:
доктор физико-математических наук С.М. Биленький,
доктор физико-математических наук В.А. Свиридов

Ведущее научно-исследовательское учреждение:
Ленинградский институт ядерной физики.

Автореферат разослан " " 1972 года.

Защита диссертации состоится " " 1972 года на заседании Ученого совета Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Объединенного института ядерных исследований.

Ученый секретарь Совета
кандидат физико-математических наук

Ю.А. Батусов

1 - 6413

А.В. Купцов

НАБЛЮДЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ
РЕАКЦИИ $\pi^- p \rightarrow e^+ e^- p$
ПРИ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ
ПИОНОВ 275 МЭВ

Специальность 040 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Объединенный институт
ядерных исследований
Библиотека

Важными характеристиками элементарных частиц являются электромагнитные формфакторы, которые позволяют количественно описывать взаимодействие частиц с электромагнитным полем. Если частицы находятся на массовой поверхности, то их формфакторы — функции только квадрата передаваемого 4-импульса k^2 . Эта величина равна квадрату массы виртуального фотона (в метрике $k^2 = k_0^2 - \vec{k}^2$), которым обмениваются частицы при электромагнитном взаимодействии.

Электромагнитная структура нуклонов хорошо изучена в области пространственноподобных передач ($k^2 < 0$) в опытах по рассеянию электронов на протонах и дейтонах /7/. Данные о формфакторе пиона при $k^2 < 0$ получены, главным образом, из экспериментов по электророждению заряженных пионов /8/.

В области времениподобных передач ($k^2 > 0$) данные о формфакторах пиона и нуклонов можно получить из экспериментов на встречных пучках и при изучении реакции обратного электророждения пионов (ОЭП):



Формфактор пиона на встречных пучках изучался /9,10/. Однако область передач $0 < k^2 < 4m_\pi^2$ для реакции $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$ кинематически недоступна. Формфакторы нуклонов при $k^2 > 0$ не изучены. Для реакции $e^+e^- \rightarrow N\bar{N}$ область передач $0 < k^2 < 4M^2$ также недоступна.

Практически единственным возможным источником экспериментальных данных по структуре пиона в области $0 < k^2 < 4m_\pi^2$ и по структуре нуклона в области $0 < k^2 < 4M^2$ является реакция ОЭП.

До настоящего времени реакция ОЭП изучалась только при остановках пионов и при высоких энергиях ($E_\pi > 3$ Гэв). Эксперименты при остановках пионов /11/ характеризуются малой величиной k^2 , поэтому влияние электромагнитных формфакторов на вероятность процесса мало. При высоких энергиях /12/ из-за резонансного механизма рождения (e^+e^-) - пар реакция доступна для измерения, но сечение оказывается нечувствительным к структуре нуклона.

Изучение реакции ОЭП при кинетической энергии пионов до 350 + 400 Мэв хотя и связано с большими трудностями вследствие малой величины сечения ($\frac{d^2\sigma}{d\Omega_1 d\Omega_2} \approx 10^{-33}$ см²/стер²) и большого уровня фона от реакций взаимодействия пионов с протонами, однако, безусловно, интересно по следующим причинам:

1. При этой энергии могут быть выделены события реакции с величиной k^2 , на порядок большей, чем при остановках.

2. При этой энергии из реакции ОЭП можно получить данные как о формфакторе пиона, так и о формфакторе нуклона в области k^2 , недоступной для экспериментов со встречными пучками.

3. Как следует из метода, основанного на аналитичности формфакторов, радиус пиона наиболее чувствителен к величине формфактора в окрестности $k^2 = 2t^{-2}$, доступной в этих экспериментах.

4. Из анализа ОЭП могут быть получены данные о механизме обратного фоторождения $\pi^-p \rightarrow \gamma^* n$, где γ^* - виртуальный фотон с времениподобным 4-импульсом.

Диссертация посвящена экспериментальному изучению реакции ОЭП при кинетической энергии пионов 275 Мэв и анализу выделенных событий реакции с целью определения формфакторов пиона и нуклона.

Диссертация состоит из четырех глав. В первой главе дается оценка эффективности регистрации фоновых реакций и описывается экспериментальная установка. Во второй главе приводятся результаты калибровок аппаратуры. В третьей главе описывается обработка статистического материала. В четвертой главе проводится анализ выделенных событий реакции ОЭП.

Основные результаты, составившие содержание диссертации, были получены в 1969+ 1971 годах и изданы в виде сообщений и препринтов ОИЯИ, опубликованы в журналах "Ядерная физика" и "Приборы и техника эксперимента", доложены на Киевской конференции по физике высоких энергий в 1970 году, зарегистрированы как изобретения.

1.

Электроны и позитроны от реакции ОЭП детектировались двумя телескопами (рис. 1), состоящими из синтилляционных

(C_6 и C_7) и черенковских (\check{C}_1 и \check{C}_2) счетчиков, черенковских спектрометров полного поглощения (\check{C}_3 и \check{C}_4) и искровых камер (ИК $_1$ и ИК $_2$). Детекторы располагались под углом 90° к пучку пионов. Произведение эффективных телесных углов составляло $\Omega_1 \Omega_2 = (0,186 \pm 0,007)$ стер 2 .

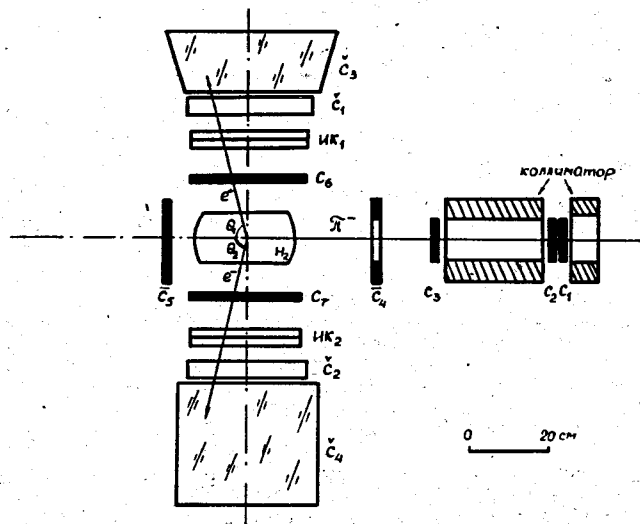


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: π^- -пучок пионов, падающий на водородную мишень H_2 ; $C_1 + C_7$ - сцинтилляционные счетчики; \check{C}_1 и \check{C}_2 - пороговые черенковские счетчики; \check{C}_3 и \check{C}_4 - черенковские спектрометры; ИК $_1$ и ИК $_2$ - искровые камеры.

Пороговые черенковские счетчики \check{C}_1 и \check{C}_2 использовались для подавления фона пионов малой энергии. В качестве радиатора счетчиков применялась дистиллированная вода с добавкой аминокислоты Г $^+$. Черенковскими спектрометрами измерялась энергия электронов и позитронов. Искровые камеры /13/ применялись для восстановления пространственной картины регистрируемых событий. Камеры работали в трековом режиме. Количество водорода в мишени составляло $1,57$ г/см 2 .

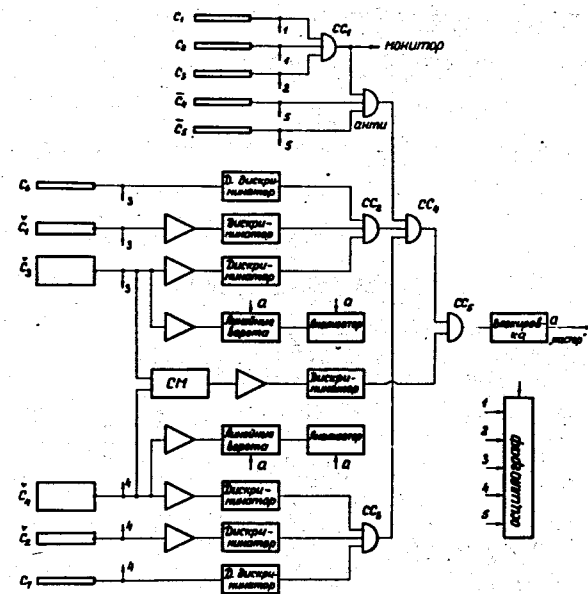


Рис. 2. Блок-схема электроники: $C_1 + C_7$ - сцинтилляционные счетчики; \check{C}_1 и \check{C}_2 - черенковские счетчики; \check{C}_3 и \check{C}_4 - черенковские спектрометры; $CC_1 + CC_5$ - схемы совпадений; "анти" - схема антисовпадений; Д - усилители; СМ - линейный смеситель.

На рис. 2 приведена упрощенная блок-схема электроники. Коррелированные во времени события выделялись четырьмя схемами совпадений $CC_1 + CC_4$ /1/. Импульсы от детекторов поступали на схемы совпадений через цепи, назначение которых понятно из рисунка. Дифференциальные дискриминаторы включались для подавления импульсов с большой амплитудой. Пороги дискриминаторов в цепях черенковских счетчиков соответствовали $96 -$

процентной эффективности регистрации электронов, а в цепях черенковских спектрометров устанавливались на уровне, соответствующем энергии электронов 20 Мэв. Кроме того, мастер-импульс вырабатывался электронной схемой только в том случае, если суммарное энерговыделение в спектрометрах превышало 120 Мэв.

Импульсы от всех детекторов подавались на пятилучевой осциллограф. Амплитуды импульсов спектрометров измерялись блоками амплитудных преобразователей и в десятичном коде фотографировались вместе с экраном осциллографа.

Таким образом, аппаратура позволяла получать пространственную картину регистрируемых событий и амплитудно-временную информацию от всех детекторов.

Для измерения амплитуды импульсов от детекторов был разработан импульсный вольтметр, который позволяет находить медиану и дисперсию амплитудного распределения /2/.

2.

Чтобы выделить события реакции и определить сечение, нужно знать характеристики детекторов и число зарегистрированных пионов, прошедших через водород мишени. Для определения числа пионов были измерены просчеты аппаратуры /4/, отношение числа частиц, прошедших через мишень, к числу частиц, сосчитанных мониторным телескопом, а также определялся состав пучка.

Детекторы калибровались на пучках электронов и пионов. Во время набора статистики аппаратура периодически калибровалась на упруго рассеянных пионах. При этом фотографировались

искровые камеры и экран пятилучевого осциллографа. По снимкам с искровых камер определялась их эффективность. Для событий с одним треком в искровой камере проводилось измерение временных сдвигов между импульсами счетчика C_3 и остальных детекторов. Вычислялись средние значения временных сдвигов и дисперсии распределений. Измерялись также амплитуды импульсов. Результаты калибровок использовались при обработке статистического материала.

Периодические калибровки показали, что аппаратура длительное время работала стабильно.

На все измерения затрачено около 350 часов времени на синхроциклотроне ЛЯП. Через мониторный телескоп счетчиков было пропущено $3,3 \cdot 10^{11}$ частиц. Проведены также измерения с пустой мишенью, во время которых через мониторный телескоп пропущено $0,45 \cdot 10^{11}$ частиц.

3.

В результате измерений было получено 52000 фотографий с полной мишенью и 5000 фотографий с пустой.

Снимки с искровых камер обрабатывались на полуавтоматах ПУОС-50, затем по программе геометрической реконструкции /14/ восстанавливалась точка взаимодействия и определялась вероятность того, что треки исходят из одной точки. Проводились также измерения временного положения и амплитуд импульсов по снимкам с осциллографа.

На основе этой информации было выделено 125 кандидатов событий реакции ОЭП с полной мишенью и 2 кандидата с пустой мишенью, которые удовлетворяли следующим критериям: требова-

лось, чтобы в каждой искровой камере было только по одному треку, продолжения которых пересекаются в мишени; отбирались события с энерговыделением в спектрометрах E_1 и $E_2 > 40$ Мэв и $(E_1 + E_2) > 140$ Мэв и с углом между треками $\theta_{12} < 165^\circ$. Кроме того, были введены амплитудные и временные критерии на импульсы от всех детекторов. Критерии на энерговыделение и угол связаны с особенностями фона.

Было показано, что временные распределения кандидатов соответствуют калибровочным, распределение по минимальному расстоянию между треками соответствует расчетному. Фон случайных совпадений мал и одинаков с полной и пустой мишенью. Учитывая два события с пустой мишенью, можно сделать вывод, что из 125 кандидатов 110 ± 10 событий генерировано на водороде.

На следующем этапе обработки учитывалось то обстоятельство, что недостающая масса, определенная по параметрам данного события, должна равняться массе нейтрона. С этой целью для каждого случая составлялся функционал:

$$U = \sum_{i=1}^7 \frac{(p_i - \tilde{p}_i)^2}{\sigma_i^2}, \quad (2)$$

где p_i — измеренные параметры события (импульс пиона, энергии и углы вылета электронов), σ_i — ошибки измерения, а \tilde{p}_i — набор соответствующих параметров, удовлетворяющих требованию равенства недостающей массы массе нейтрона. Выбирался такой набор параметров \tilde{p}_i , который соответствует минимуму функционала U .

Для выделения событий реакции ОЭП использовалось распределение кандидатов по величине $W^2 = \chi_{kin}^2 + \chi_{sp}^2$, где $\chi_{kin}^2 = \min U$, а χ_{sp}^2 характеризует вероятность того, что треки исходят из одной точки.

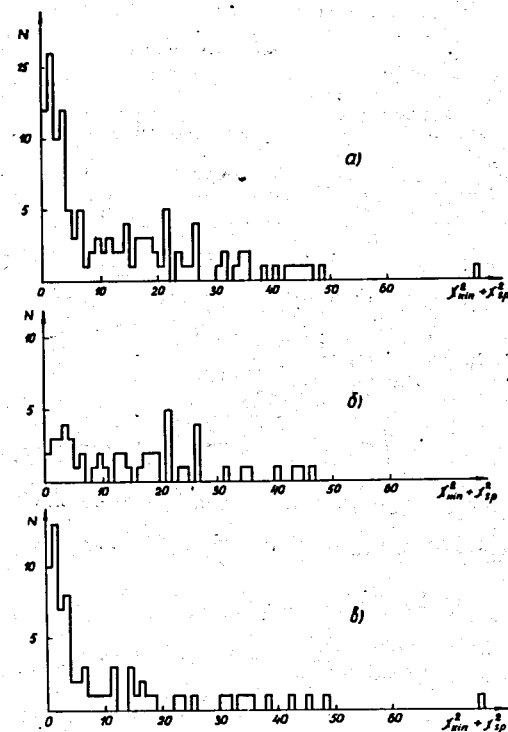


Рис. 3. Распределение событий — кандидатов по величине $W^2 = \chi_{kin}^2 + \chi_{sp}^2$: а) для всех кандидатов (125 событий); б) и в) для кандидатов, разделенных по критерию ионизационных потерь в счетчиках C_6 и C_7 ; б) 52 события с A_6 или $A_7 > A_0 = 1,6$; в) 73 события с A_6 и $A_7 < A_0$.

Распределение всех событий – кандидатов по величине W^2 приведено на рис. 3. Так как для событий реакции ОЭП распределение по величине W^2 должно соответствовать χ^2 -закону с тремя степенями свободы, то события, имеющие большие значения W^2 , заведомо фоновые.

Оказалось, что эти события характеризуются большой амплитудой импульсов в боковых сцинтилляционных счетчиках и, по-видимому, связаны с γ -квантами от реакций взаимодействия пионов с протонами.

Применив к кандидатам критерий на ионизационные потери в боковых сцинтилляционных счетчиках, удалось выделить события реакции (1). С учетом фона событий с пустой мишенью и случайных совпадений число зарегистрированных событий реакции ОЭП составляет $n_0 = 63 \pm 18$.

Используя эту величину, можно рассчитать сечение той части реакции, которая выделяется установкой при дополнительных критериях E_1 и $E_2 > 40$ Мэв и $\theta_{12} < 165^\circ$:

$$\Delta\sigma_{\Omega} = (5,2 \pm 1,6) \cdot 10^{-34} \text{ см}^2. \quad (3)$$

Дифференциальное сечение реакции для электронов с энергией E_1 и $E_2 > 40$ Мэв, испускаемых в интервале углов $70^\circ \leq (\theta_1, \theta_2) \leq 110^\circ$, равно:

$$\frac{d^2\sigma}{d\Omega_1 d\Omega_2} = (3,4 \pm 1,0) \cdot 10^{-33} \text{ см}^2/\text{стер}^2 \quad (4)$$

4.

Для описания процесса ОЭП были выбраны пять кинематических переменных: полная энергия в π^-p -системе центра масс w (при энергии $E = 275$ Мэв $w = 1295$ Мэв), квадрат массы виртуального фотона k^2 , угол между импульсом пиона и фотона в π^-p -системе центра масс θ^Y , угол между импульсом нейтрона и электрона в (e^+e^-) -системе центра масс θ и угол между плоскостью реакции и плоскостью распада фотона ϕ . Установкой регистрировались события в интервале $0,75 t^{-2} < k^2 < 3,0 t^{-2}$ со средним значением $k^2 = 2 t^{-2}$.

Выражение для дифференциального сечения было получено в работе /15/. Для конкретных расчетов использовалась амплитуда Фубини, Намбу и Ватагина /16/, полученная из одномерных дисперсионных соотношений в статическом пределе. Модель хорошо описывает экспериментальные данные в электророждении и согласуется с другими моделями.

В работе /15/, а также в работах /17,18/ указывается на малый вклад изобары Δ (1236) в сечение процесса ОЭП в окрестности резонанса. В рамках модели Фубини, Намбу и Ватагина нами был вычислен вклад в сечение борновских членов, изобары и интерференции изобары и борновских членов. Расчеты проводились методом Монте-Карло. Для розыгрыша событий реакции использовалась программа моделирования фазового объема " FOWL OMEGA " /19/. Из рис. 4 видно, что вклад изобары в дифференциальные сечения по переменным k^2 и $\cos \theta^Y$ мал и почти полностью компенсируется вкладом интерференции изобары и борновских членов, что позволяет, в принципе, дать теоретическое описание процесса с точностью не хуже -10%. Из-за малого

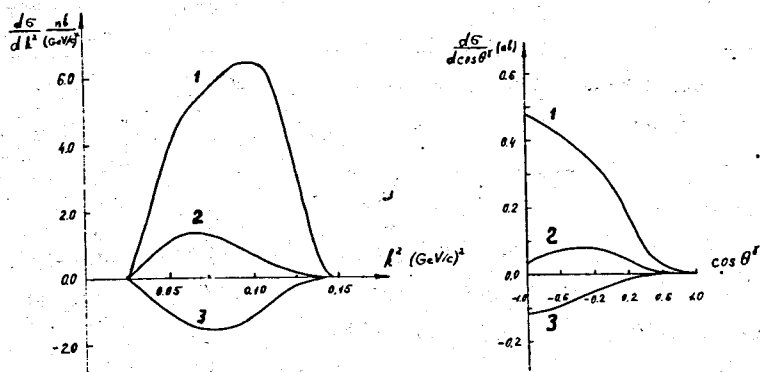


Рис. 4. Вклад в сечение реакции ОЭП борновских членов (1), изобары (2) и интерференции (3) в зависимости от k^2 и $\cos\theta^Y$.

вклада изобары сечение процесса ОЭП при $E_\pi = 275$ Мэв в модели Фубини, Намбу и Ватагина фактически зависит только от двух параметров: от электрического формфактора пиона F_π и изотопвекторного дираковского формфактора нуклона F_1^Y .

На рис. 5 приводятся экспериментальные распределения по четырем независимым переменным. Сплошные кривые вычислены при $F_\pi = F_1^Y = 1,0$ и хорошо согласуются с экспериментальными данными, что дает основание использовать модель для определения формфакторов. С этой целью было вычислено сечение $\Delta\sigma_T(F_\pi, F_1^Y)$. Значения F_π и F_1^Y варьировались в интервале от 0 до 2,0. Результаты вычислений представлены в виде таблицы на рис.6. Та область, где в пределах одной экспериментальной ошибки существует согласие между теорией и экспериментом, ограничена

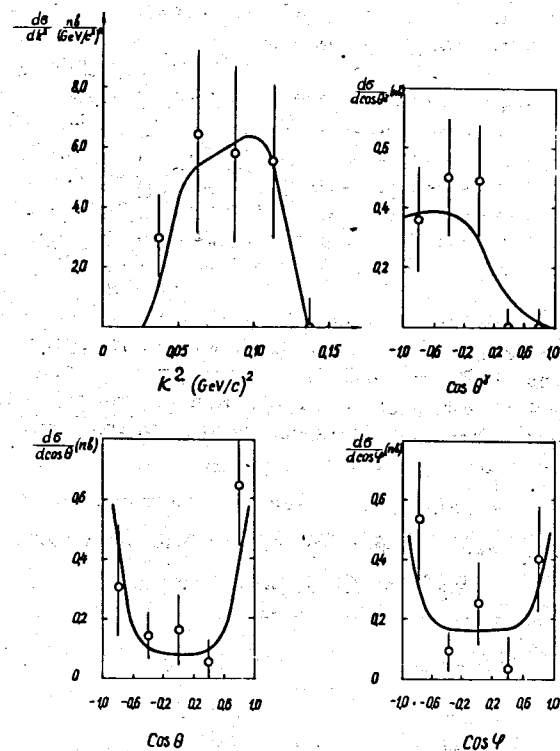


Рис. 5. Сравнение экспериментальных распределений по четырем независимым кинематическим переменным с теоретическими расчетами при $F_\pi = F_1^Y = 1$.

F_I^V	F_π	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2	0.0
2.0		1.84	1.66	1.57	1.59	1.69	1.90	2.20	2.59	3.09	3.68	4.36
1.8		1.74	1.49	1.33	1.27	1.30	1.44	1.66	1.99	2.41	2.92	3.53
1.6		1.73	1.41	1.18	1.04	1.00	1.06	1.21	1.46	1.81	2.25	2.79
1.4		1.81	1.41	1.11	0.90	0.79	0.77	0.85	1.03	1.30	1.67	2.14
1.2		1.97	1.50	1.13	0.85	0.66	0.57	0.58	0.68	0.88	1.18	1.57
1.0		2.23	1.68	1.23	0.88	0.62	0.46	0.39	0.42	0.52	0.77	1.09
0.8		2.57	1.95	1.43	1.00	0.67	0.43	0.29	0.25	0.30	0.45	0.70
0.6		2.99	2.30	1.71	1.21	0.80	0.49	0.28	0.17	0.14	0.22	0.32
0.4		3.51	2.74	2.07	1.50	1.02	0.64	0.36	0.17	0.07	0.08	0.17
0.2		4.11	3.27	2.53	1.88	1.33	0.88	0.52	0.26	0.09	0.02	0.04
0.0		4.80	3.89	3.07	2.35	1.73	1.20	0.77	0.43	0.19	0.05	0.00

$\Delta\sigma = 0.68$ $\Delta\sigma = 0.52$ $\Delta\sigma = 0.35$

Рис. 6. Сравнение сечения $\Delta\sigma_T$, вычисленного в зависимости от параметров F_π и F_I^V , с экспериментальным значением $\Delta\sigma = 0,52 \pm 0,16$ нбн. Та область, где в пределах одной экспериментальной ошибки существует согласие между теорией и экспериментом, ограничена сплошными линиями.

сплошными линиями. Как видно из таблицы, специфика поведения теоретического сечения такова, что можно установить только верхнюю границу для обоих формфакторов:

$$F_\pi < 1,25; \quad F_I^V < 1,3 \quad (5)$$

на уровне одной стандартной ошибки и

$$F_\pi < 1,36; \quad F_I^V < 1,44 \quad (6)$$

на уровне двух ошибок. Установление нижнего предела для формфакторов по полному сечению возможно либо при фиксации одного из них, либо при наличии связи между ними.

Если предположить, что $F_\pi = F_I^V$, что не противоречит экспериментальным данным из электророждения /8/, то формфакторы можно определить с лучшей точностью:

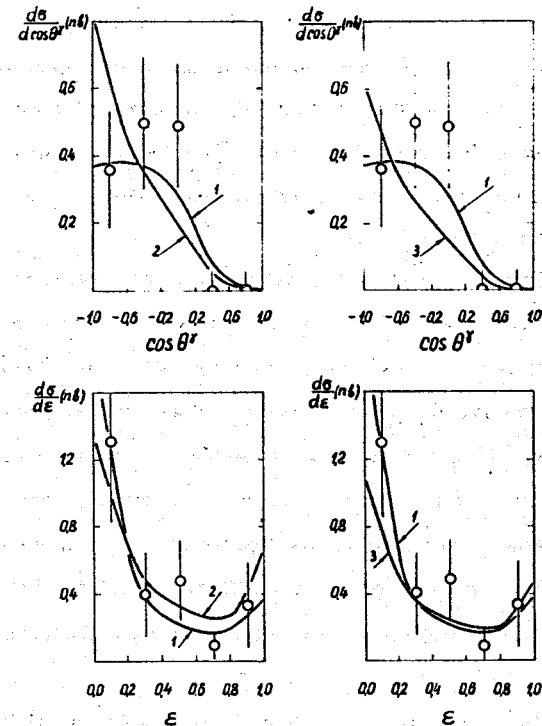


Рис. 7. Зависимость теоретических дифференциальных сечений от формфакторов: 1) $F_\pi = F_I^V = 1,0$; 2) $F_\pi = 0,8$; $F_I^V = 0,2$; 3) $F_\pi = 0$, $F_I^V = 0,6$.

$$F_{\pi} = F_1^{\nu} = 1,07 \begin{matrix} +0,14 \\ -0,17 \end{matrix} \quad (7)$$

Было показано, что некоторые из дифференциальных сечений процесса ОЭП (в особенности распределение по $\cos \theta^Y$) обладают сильной зависимостью от формфакторов (рис. 7).

Информация о форме дифференциальных распределений позволит при увеличении числа зарегистрированных событий определить формфакторы без предположений о наличии связи между ними.

Основные результаты диссертации можно сформулировать следующим образом:

1. Создана установка, состоящая из сцинтилляционных и черенковских счетчиков, черенковских спектрометров полного поглощения, искровых камер, пятилучевого осциллографа и водородной мишени. Изучены характеристики детекторов и проведены калибровки. Установка дает возможность регистрировать процессы с электронами и позитронами в конечном состоянии, дифференциальное сечение которых находится на уровне $\sim 10^{-33} \text{ см}^2/\text{стер}^2$.

2. Разработан ряд блоков быстрой электроники, а также приборы для измерения средней амплитуды импульсов от детекторов.

3. Наблюдалось 63 ± 18 событий реакции ОЭП при кинетической энергии пионов 275 Мэв.

4. Определено сечение той части реакции, которая выделяется установкой при регистрации электронов и позитронов с энергией E_1 и $E_2 > 40$ Мэв и с углом между ними $\theta_{12} < 165^\circ$:

$$\Delta \sigma_{\ominus} = (5,2 \pm 1,6) \cdot 10^{-34} \text{ см}^2.$$

Дифференциальное сечение реакции для электронов и позитронов с энергией E_1 и $E_2 > 40$ Мэв, испускаемых под углами, близкими к 90° относительно направления пионов, равно:

$$\frac{d^2 \sigma}{d\Omega_1 d\Omega_2} = (3,4 \pm 1,0) \cdot 10^{-33} \text{ см}^2 / \text{стер}^2$$

5. Проведены расчеты сечения реакции в рамках модели Фубини, Намбу и Ватагина. Расчеты показали, что в настоящем эксперименте основной вклад в сечение вносят борновские члены. Это обстоятельство позволяет сделать вывод, что описание процесса в рамках модели Фубини, Намбу и Ватагина возможно с точностью $\sim 10\%$.

6. Вычисленное полное сечение $\Delta \sigma_T = 4,6 \cdot 10^{-34} \text{ см}^2$ (в предположении $F_{\pi} = F_1^{\nu} = 1$) в пределах ошибок согласуется с экспериментальной величиной $\Delta \sigma_{\ominus} = (5,2 \pm 1,6) \cdot 10^{-34} \text{ см}^2$. Рассчитанные дифференциальные сечения (в предположении $F_{\pi} = F_1^{\nu} = 1$) хорошо описывают соответствующие экспериментальные распределения.

7. Получены независимые оценки верхних границ формфакторов F_{π} и F_1^{ν} при $k^2 = 2t^{-2}$:

$$F_{\pi} < 1,25; \quad F_1^{\nu} < 1,3$$

на уровне одной стандартной ошибки и

$$F_{\pi} < 1,36; \quad F_1^{\nu} < 1,44$$

на уровне двух ошибок.

8. В предположении равенства формфакторов F_{π} и F_1^{ν} , что не противоречит экспериментальным данным при $k^2 < 0$, значение для формфакторов получается с лучшей точностью:

$$F_{\pi} = F_1^{\nu} = 1,07 \begin{matrix} +0,14 \\ -0,17 \end{matrix}$$

Оценка для формфактора нуклона во времениподобной области получена впервые.

9. Показано, что форма некоторых дифференциальных распределений (в особенности форма распределения $d\sigma/d\cos\theta^Y$) чувствительна к величине формфакторов, так что при увеличении статистического материала анализ дифференциальных распределений позволит повысить точность определения формфакторов.

Литература

1. Ю.К. Акимов, А.В. Купцов. Препринт ОИЯИ, 2434, Дубна, 1965.
2. А.В. Купцов, Сообщение ОИЯИ, 13-5139, Дубна, 1970.
А.В. Купцов. Автокомпенсационный импульсный вольтметр. Авторское свидетельство №303593. Бюллетень изобретений №15, с. 198, 1971.
А.В. Купцов. Автокомпенсационный импульсный вольтметр. Авторское свидетельство №310186. Бюллетень изобретений №23, с.135, 1971.
3. А.В. Купцов, Л.Л. Неменов, Ю.М. Чиркин. Препринт ОИЯИ, 1-5582, Дубна; 1971; ПТЭ, 4, 77 (1971).
4. А.В. Купцов, Д.М. Хазинс. Препринт ОИЯИ, P13-6018, Дубна, 1971.
5. Ю.К. Акимов, Л.С. Вертоградов, А.В. Демьянов, А.В. Купцов, Л.Л. Неменов, Д.М. Хазинс, Ю.М. Чиркин, Ю.Д. Прокошкин, Н.М. Агабабян, И.А. Керопян, Г.Г. Мкртчян, С.Ф. Бережнев, А.В. Куликов, Г.И. Смирнов. Препринт ОИЯИ, P1-5398, Дубна, 1970; ЯФ, 13, вып. 4, 748 (1971).
Yu.K.Akimov et al. 15th Intern.Conf. on High Energy Phys., Abstracts of Contributions... vol. 1, Kiev, 1970, p.328.
6. С.Ф. Бережнев, Л.С. Вертоградов, А.В. Демьянов, А.В. Купцов, А.В.Куликов, Г.Г.Мкртчян, Л.Л.Неменов, Г.И.Смирнов, Д.М.Хазинс, Ю.М.Чиркин. Препринт ОИЯИ, P1-6197, Дубна, 1971.
L.S.Vertogradov et al. 15th International Conf. on High Energy Phys., Abstracts of Contributions, vol. 1, Kiev, 1970, p.329.
Оценки пионного и нуклонного формфакторов приведены в раппортерском докладе Р. Вильсона на этой же конференции.

7. J.C.Rutherglen. Proc. of the 4th Symp. on Electron and Photon Interactions of High Energies. Liverpool, 1969.
8. K.Heinloth. Hamburg, DESY 71/35.
9. V.L.Auslander, G.I.Budker, Yu.N.Pestov et al., Phys.Lett., 25B, 433 (1967).
10. J.E.Augustin, J.C.Bizot, J.Buon et al..Phys. Lett., 28B, 508 (1969).
11. S.Devons, P.Nemethy, C.Nissim - Sabat, E.Di Capua and A.Lanzara. Phys.Rev., 184, 1356 (1969).
12. M.N.Khachatryan, M.A.Azimov, A.M.Baldin et al., Phys.Lett., 24B, 349 (1967).
13. А.В. Демьянов, Г.Г. Мкртчян. Сообщение ОИЯИ, 13-6200, Дубна, 1971.
14. А.В. Куликов, Г.И. Смирнов. Сообщение ОИЯИ, 10-5386, Дубна, 1970.
15. Ю.С. Суровцев, Ф.Г. Ткебучава. Сообщения ОИЯИ, P2-4561 и P2-4524, Дубна, 1969.
16. S.Fubini, Y.Nambu and V.Watagin. Phys.Rev., 113, 329 (1958).
17. А. В. Тарасов, Л.Г. Ткачев. ОИЯИ, P2-4970, Дубна, 1970.
18. M.Karatchentzeff, G.Cochard, P.Kessler, B.Roeher. College de France, P.A.M. 71-05 (1971).
19. С.Ф. Бережнев, Л.С. Вертоградов. Сообщение ОИЯИ, P11-6175, Дубна, 1971.

Рукопись поступила в издательский отдел
24 апреля 1972 года.