

М-719

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1 - 6717

МКРТЧЯН

Гамлет Гегамович

ИЗМЕРЕНИЕ ФОРМФАКТОРОВ ПИОНА И НУКЛОНА  
ПРИ ВРЕМЕНИПОДОБНЫХ ПЕРЕДАНЫХ ИМПУЛЬСАХ  
 $1,72 \text{ f}^{-2}$ ,  $2,23 \text{ f}^{-2}$  И  $2,88 \text{ f}^{-2}$  ИЗ АНАЛИЗА РЕАКЦИИ  
ОБРАТНОГО ЭЛЕКТРОРОЖДЕНИЯ ПИОНОВ  
( $\pi^- p \rightarrow e^+ e^- n$ )

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна, 1972

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 Ю.М.Казаринов  
кандидат физико-математических наук Ф.Г.Требучава

Ведущее научно-исследовательское учреждение:  
Ленинградский институт ядерной физики

Автореферат разослан " " 1972 года

Защита диссертации состоится " 17 " *сентября* 1972 года  
в " 13 " часов 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

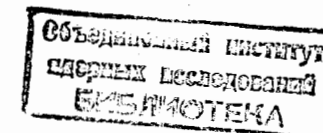
МКРТЧЯН  
Гамлет Гегамович

ИЗМЕРЕНИЕ ФОРМФАКТОРОВ ПИОНА И НУКЛОНА  
ПРИ ВРЕМЕНИ ПОДОБНЫХ ПЕРЕДАННЫХ ИМПУЛЬСАХ  
 $1,72 f^{-2}$ ,  $2,23 f^{-2}$  И  $2,88 f^{-2}$  ИЗ АНАЛИЗА РЕАКЦИИ  
ОБРАТНОГО ЭЛЕКТРОРОЖДЕНИЯ ПИОНОВ  
( $\pi^- p \rightarrow e^+ e^- n$ )

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

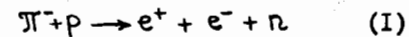
(Диссертация написана на русском языке)



Важными характеристиками элементарных частиц являются электромагнитные формфакторы, которые позволяют количественно описывать взаимодействие элементарных частиц с электромагнитным полем. Формфакторы — функции квадрата передаваемого четырехимпульса  $K^2$ .

Электромагнитная структура нуклонов хорошо изучена в области пространственноподобных передач ( $K^2 < 0$ ) в опытах по рассеянию электронов на протонах и дейтонах /1/. В области времениподобных передач данные о формфакторах нуклонов фактически отсутствуют.

Основные результаты по пионному формфактору при пространственноподобных передачах ( $K^2 < 0$ ) получены из экспериментов по электророждению пионов /2/. 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 в работах /3/, однако область  $K^2 < 8 \text{ ф}^{-2}$  не исследована. Более того, для встречных пучков при малых передаваемых импульсах существует кинематически недоступная область ( $0 < K^2 < 4m_\pi^2$  для реакции  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$  и  $0 < K^2 < 4M^2$  для реакции  $e^+e^- \rightarrow N\bar{N}$ ).

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.

Первые попытки оценить влияние структуры адронов на сечение реакции ОЭП при остановках были сделаны в работах /4/ с помощью пузырьковых камер. В работах /5/ та же проблема изучалась электронной методикой. Однако при остановках  $\pi^-$ -мезонов квадрат передаваемого четырехимпульса не может превышать величину  $K_{\text{max}}^2 \approx 0,5 \text{ ф}^{-2}$ ,

поэтому сечение процесса слабо зависит от электромагнитной структуры частиц. Выполненные при высоких энергиях ( $E_{\pi} > 3$  Гэв) эксперименты /16/ ограничивались областью  $K^2 = 15 + 25\zeta^{-2}$  и в основном связаны с физикой векторных мезонов.

О наблюдении  $63 \pm 18$  событий реакции ОЭП и их теоретическом анализе при кинетической энергии  $\pi^-$ -мезонов 275 Мэв сообщалось в работах /7,8/. Было показано, что сечение реакции при этой энергии в основном определяется борновскими членами и зависит от формфактора пиона  $F_{\pi}$  и изотопвекторного формфактора нуклона  $F_1^V$ . В предположении  $F_{\pi} = F_1^V$  при среднем значении квадрата переданного четырехимпульса  $K^2 = 2\zeta^{-2}$  было получено  $F_{\pi} = F_1^V = 1.07^{+0.14}_{-0.17}$ .

Для более точных измерений сечения реакции ОЭП была разработана новая экспериментальная установка /13,14/. Были изготовлены детекторы с большей апертурой и лучшими характеристиками по сравнению с описанными в работе /7/.

В настоящей диссертации описывается новый вариант экспериментальной установки, с помощью которой было выделено  $226 \pm 31$  событий реакции ОЭП /15/, и обработка статистического материала. Проведен теоретический анализ полученных результатов и определены значения пионного и нуклонного формфакторов при трех значениях квадрата передаваемого четырехимпульса /16/.

Диссертация состоит из четырех глав. В первой главе описывается экспериментальная установка и приведены основные характеристики детекторов. Во второй главе описывается методика обработки статистического материала. В третьей главе определены полное и дифференциальные сечения реакции ОЭП. В четвертой главе проводится теоретический анализ реакции ОЭП и получены значения пионного и нуклонного формфакторов.

Основные результаты, составившие содержание диссертации, были получены в 1970 + 1972 годах и изданы в виде сообщений и препринтов ОИЯИ, опубликованы в журнале "Ядерная физика" и доложены на XVI международной конференции по физике высоких энергий 1972 года в Батавии /13+17/.

## I.

Экспериментальная установка состоит из трех телескопов (рис.1) Мониторный телескоп ( $C_1, C_2, \bar{C}_3, \bar{C}_4$ ) выделяет взаимодействия пионов с протонами водородной мишени, а два идентичных боковых телескопа служат для регистрации электронов и позитронов реакции (I) и определения их энергий и углов вылета. Каждый из боковых телескопов состоит из сцинтилляционного счетчика ( $C_5$  и  $C_6$ ), водяного черенковского счетчика ( $\check{C}_1$  и  $\check{C}_2$ ), черенковского спектрометра ( $\check{C}_3$  и  $\check{C}_4$ ) и искровой камеры (ИК<sub>1</sub> и ИК<sub>2</sub>). Боковые телескопы располагались под углом  $\sim 90^\circ$  к пучку пионов. Эффективное произведение телесных углов составляло  $\bar{\Omega}_1 \bar{\Omega}_2 = 0.37$  стер.<sup>2</sup>.

Сцинтилляционные счетчики  $C_5$  и  $C_6$  применялись для отбора коррелированных во времени событий и для измерения ионизационных потерь заряженных частиц. Пороговые черенковские счетчики  $\check{C}_1$  и  $\check{C}_2$  использовались для подавления эффективности регистрации медленных частиц. В качестве радиатора применялась дистиллированная вода с добавкой амино-Г-кислоты /9/. Черенковские спектрометры полного поглощения  $\check{C}_3$  и  $\check{C}_4$  использовались для измерения энергии электронов и позитронов от реакции (I). Радиатор каждого спектрометра (стекло ТФ-1) просматривался девятью фотоумножителями ФЭУ-49.

Искровые камеры /17/ применялись для отбора взаимодействий, содержащих две заряженные частицы в конечном состоянии, и для

восстановления пространственной картины регистрируемых событий. Камеры наполнялись неоном и работали в трековом режиме до углов  $\sim 30^\circ$  с эффективностью  $\sim 98\%$ .

В эксперименте использовались жидководородные мишени с количеством водорода  $1,56 \text{ г/см}^2$  и  $2,61 \text{ г/см}^2$ .

На рис.2 приведена упрощенная блок-схема электроники. Коррелированные во времени события выделялись схемами совпадений  $CC_1+CC_5$ . Импульсы от детекторов боковых телескопов поступали на схемы совпадений через дискриминаторы. Пороги дискриминаторов в цепях черенковских счетчиков соответствовали  $99,5\%$  эффективности регистрации электронов, а в цепях черенковских спектрометров устанавливались на уровне, соответствующем энергии электронов  $40 \text{ Мэв}$ . Управляющие импульсы вырабатывались в том случае, когда имелись совпадения между тремя телескопами и суммарное энерговыделение в спектрометрах превышало  $170 \text{ Мэв}$ .

Информация о событиях регистрировалась по трем каналам: а) треки в искровых камерах фотографировались на кинолентку; б) импульсы со всех счетчиков подавались на пятилучевой осциллограф; в) основная амплитудно-временная информация поступала на систему многомерного анализа, работающую совместно с ЭВМ /I4/. В этой системе измерялись амплитуды импульсов спектрометров ( $E_1$  и  $E_2$ ) и боковых сцинтилляционных счетчиков ( $A_5$  и  $A_6$ ), а также временные интервалы между сигналами мониторингового счетчика  $C_2$  и боковых сцинтилляционных счетчиков ( $t_5$  и  $t_6$ ).

Всего за  $\sim 300$  часов измерений на синхrocиклотроне ДЯП через мишень было пропущено  $2 \cdot 10^{11}$  пионов. Проводились также измерения с пустой мишенью, во время которых было пропущено  $0,25 \cdot 10^{11}$  пионов.

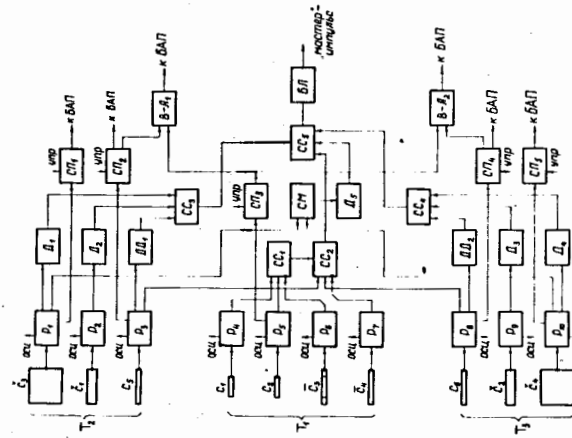


Рис.2. Блок-схема электроники.

$P_1+P_2$  -разветвители;  $CC_1+CC_5$ -схемы совпадений;  $D_1D_5$  - дискриминаторы;  $D_1$  и  $D_2$  - дифференциальные дискриминаторы;  $CC_1+CC_5$  -линейные схемы пропускания;  $SM$ -смеситель;  $B-A_1, 2$ -время-амплитудные конверторы.

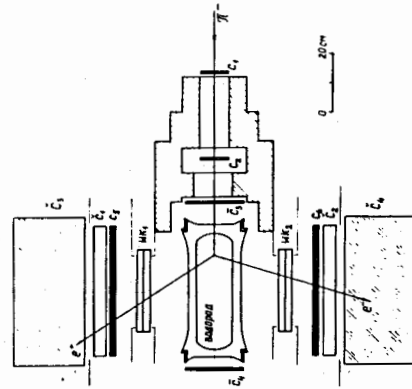


Рис.1. Схема экспериментальной установки.

$C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6$ -сцинтилляционные счетчики;  $C_1$  и  $C_2$ -пороговые черенковские счетчики;  $C_3$  и  $C_4$  -черенковские спектрометры полного поглощения;  $ИМ_1$  и  $ИМ_2$ -искровые камеры.

Аппаратура периодически калибровалась на упруго-рассеянных пионах. Калибровки проводились совместно с ЭВМ. При наборе статистики примерно через каждые 2 часа информация (1024 событий), накопленная в системе многомерного анализа, передавалась на ЭВМ и обрабатывалась по программе "контрольной обработки статистики". Определялись средние значения измеряемых параметров и их средне-квадратичные отклонения. Эта информация позволяла контролировать стабильность аппаратуры во время измерений.

## 2.

В результате измерений на пучке было получено 172 000 фотографий с полной мишенью и 3000 - с пустой.

Снимки с искровых камер обрабатывались на полуавтоматических устройствах ПУОС-50, затем по программе геометрической реконструкции /10/ восстанавливалась точка взаимодействия и определялась вероятность того, что треки исходят из одной точки.

При обработке было выделено 443 кандидата событий реакции ОЭП из статистического материала, набранного с полной мишенью, и 4 кандидата с пустой мишенью. Эти события удовлетворяли следующим критериям: требовалось, чтобы в каждой искровой камере было только по одному треку, продолжения которых пересекаются в мишени; отбирались события с энергосвыделением в спектрометрах  $E_1$  и  $E_2 > 60$  Мэв и  $E_1 + E_2 > 170$  Мэв и с углом между треками  $\Theta_{12} < 170^\circ$ . Кроме того, были введены временные критерии на импульсы от боковых сцинтилляционных счетчиков.

В процессе обработки проводилась коррекция амплитудно-временной информации. После коррекции ширины амплитудных и временных распределений импульсов боковых сцинтилляционных счетчиков уменьшились примерно на 35% и улучшилось разрешение по квадрату недостающей массы  $M_x^2$ .

Для выделения событий реакции ОЭП из 443 кандидатов было использовано ранее замеченное обстоятельство /7/, свидетельствующее о том, что события фоновых процессов характеризуются большими амплитудами импульсов боковых сцинтилляционных счетчиков. На рис. 3 показаны распределения по квадрату недостающей массы  $M_x^2$  двух групп кандидатов: а) события, для которых  $A_5$  и  $A_6 < A_0$  ( $A_0 = 2A_{\text{вер.}}$ , где  $A_{\text{вер.}}$  соответствует наиболее вероятному значению ионизационных потерь); б) остальные события. На рис. 3а выделяется пик, содержащий события реакции ОЭП, для которых недостающая масса равна массе нейтрона. Спектр, приведенный на рис. 3б, содержит небольшое количество событий реакции ОЭП и поэтому дает представление о распределении фоновых событий по  $M_x^2$ . Полагая, что распределение фоновых событий по  $M_x^2$  не зависит от величины ионизационных потерь, в счетчиках  $C_5$  и  $C_6$  можно определить число событий реакции ОЭП. Совместный анализ этих двух распределений дает для полного числа событий реакции ОЭП среди кандидатов величину  $266 \pm 25$ .

## 3.

Для определения сечения реакции ОЭП, кроме числа зарегистрированных событий, надо знать поток пионов, прошедший через мишень, фон случайных совпадений, фон от пустой мишени и эффективность детекторов и обработки.

После учета случайных совпадений и эффекта от пустой мишени осталось  $226 \pm 31$  событий реакции ОЭП.

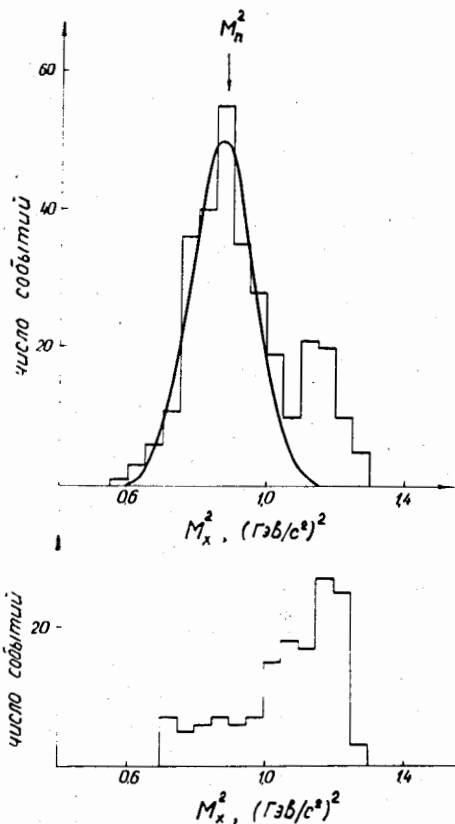


Рис.3. Распределения кандидатов событий реакций ОЭП по квадрату недостающей массы  $M_x^2$ : а) 300 событий с  $A_5$  и  $A_6 < A_0$  ( $A_0 = 2A_{\text{вер}}$ ); б) 143 события с  $A_5$  или  $A_6 > A_0$ .

Полное сечение реакции ОЭП оказалось равным:

$$\Delta\sigma = (1,40 \pm 0,22) \cdot 10^{-28} \text{ см}^2 \quad (2)$$

Эта величина соответствует той части сечения реакции, которая выделяется установкой при дополнительных условиях  $E_1, E_2 > 60 \text{ МэВ}$  и  $\theta_{12} < 170^\circ$ .

Отсюда было определено дифференциальное сечение реакции ОЭП для электронов с энергией  $E_1, E_2 > 60 \text{ МэВ}$ , испускаемых под углами  $\sim 90^\circ$  относительно направления пионов:

$$\frac{d^2\sigma}{d\Omega_1 d\Omega_2} = (4,0 \pm 0,6) \cdot 10^{-28} \text{ см}^2/\text{стер.}^2 \quad (3)$$

Для получения распределений по основным кинематическим переменным использовались 234 кандидата событий реакции ОЭП, удовлетворяющих условиям:  $M_x^2 < 1,05 \text{ (ГэВ/с}^2\text{)}^2$ ;  $A_5$  и  $A_6 < 2A_{\text{вер}}$ . Эта группа содержит основную массу событий реакции ОЭП, доля фоновых событий в ней мала ( $\sim 15\%$ ).

С учетом имеющегося разрешения по квадрату четырехимпульса передачи и полученной статистики, события разбивались на три группы по  $K^2$  со средними значениями  $1,72 \text{ ф}^{-2}$ ;  $2,23 \text{ ф}^{-2}$  и  $2,88 \text{ ф}^{-2}$ . Число событий в этих группах соответственно равно 53, 83 и 98.

Анализ полного и дифференциального сечений проводился независимо для каждого интервала по  $K^2$ .

4.

Для описания процесса ОЭП были выбраны пять независимых кинематических переменных /II/:  $W$  - полная энергия в системе центра масс ( $\pi^-p$ ), (при кинетической энергии  $E_\pi = 276 \text{ МэВ}$ ,  $W = 1295 \text{ МэВ}$ );  $K^2$  - квадрат массы виртуального фотона;  $\theta'$  - угол между импульсом пиона и фотона в системе центра масс ( $\pi^-p$ ),

$\Theta$  - угол между импульсом нейтрона и электрона в системе центра масс ( $e^+ e^-$ ) и  $\varphi$  - угол между плоскостью реакции обратного виртуального фоторождения и плоскостью распада фотона.

Использовалось выражение для дифференциального сечения, полученное в работе /11/ в модели Фубини, Намбу и Ватагина /12/. При кинематических условиях данного эксперимента результаты теоретических расчетов слабо зависят от применяемой модели.

В настоящей работе для получения формфакторов пиона и нуклона в каждом из трех интервалов по  $K^2$  использовалось значение полного сечения и дифференциальное распределение событий по  $\cos \Theta^d$ . Дифференциальные сечения сравнивались с теоретическими, которые моделировались для набора формфакторов в пределах  $0 \leq F_\pi, F_1^V \leq 2$ .  $F_\pi$  и  $F_1^V$  варьировались с шагом 0,05.

При анализе пользовались критерием  $\chi^2$ . В каждом интервале по  $K^2$  для всех пар значений  $F_\pi$  и  $F_1^V$  вычислялась величина:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(N_i - N \cdot P_i)^2}{N \cdot P_i}, \quad (4)$$

где:  $N_i$  - число экспериментальных событий, попадающих в  $i$ -й интервал гистограммы;  $N \cdot P_i$  - теоретически ожидаемое число событий в этом интервале. Результаты обсчета представлялись в виде двумерной плоскости  $\chi^2$  в зависимости от  $F_\pi$  и  $F_1^V$ . Минимум величины  $\chi^2$  на этой плоскости соответствует наиболее вероятным значениям формфакторов.

В предположении о точности частиц ( $F_\pi = F_1^V = 1$ ) удовлетворительное согласие было получено для событий первой группы ( $\chi^2 = 2,7$  при 3-х степенях свободы); с ростом  $K^2$  согласие ухудшается, что указывает на усиление влияния эффекта структуры частиц.

Для второй и третьей групп было получено  $\chi^2 = 9,1$  и  $\chi^2 = 32$ , соответственно, при числе степеней свободы 4.

В предположении  $F_\pi(K^2) = F_1^V(K^2)$  экспериментальные данные хорошо описываются моделью со следующими значениями параметров:

$$\begin{aligned} \bar{F}_\pi &= \bar{F}_1^V = 1,10 \pm 0,07; \quad \chi^2/\bar{\chi}^2 \approx 1,3 \quad \text{при} \quad \bar{K}^2 = 1,72 \text{ ф}^{-2} \\ \bar{F}_\pi &= \bar{F}_1^V = 1,14 \pm 0,06; \quad \chi^2/\bar{\chi}^2 \approx 0,9 \quad \text{при} \quad \bar{K}^2 = 2,23 \text{ ф}^{-2} \\ \bar{F}_\pi &= \bar{F}_1^V = 1,30 \pm 0,07; \quad \chi^2/\bar{\chi}^2 \approx 0,8 \quad \text{при} \quad \bar{K}^2 = 2,88 \text{ ф}^{-2}. \end{aligned} \quad (5)$$

Полученные значения формфакторов показаны на рис.4 совместно с имеющимися экспериментальными данными по пионному и нуклонному формфакторам в пространственноподобной области передач. При определении формфакторов учитывались только статистические ошибки. Изменения полного сечения на одну ошибку (16%) приводит к изменению величины формфакторов на 8%.

Из этих данных был определен электромагнитный радиус  $r_\pi = r_{F_1^V}$ . При этом ошибка  $\pm 8\%$  приписывалась значению формфакторов  $F_\pi(0) = F_1^V(0) = 1$ . Полученное значение  $r_\pi = r_{F_1^V} = (0,75 \pm 0,14) \text{ ф}$  хорошо согласуется с  $r_{F_1^V} = 0,72 \text{ ф}$  из экспериментов по упругому ер-рассеянию.

На рис.5 показаны дифференциальные сечения для реакции ОЭП совместно с теоретическими кривыми, вычисленными в предположении о точности частиц и при вышеприведенных значениях формфакторов (5).

Экспериментальные данные позволяют определить формфакторы  $F_\pi$  и  $F_1^V$  без предположений о какой-либо связи между ними. В случае независимого определения получены следующие значения формфакторов:

$$\begin{aligned} \text{При} \quad \bar{K}^2 &= 1,72 \text{ ф}^{-2}; \quad 0,80 \leq F_1^V \leq 1,20; \quad 0,50 \leq F_\pi \leq 1,20; \\ \text{При} \quad \bar{K}^2 &= 2,23 \text{ ф}^{-2}; \quad 0,60 \leq F_1^V \leq 1,30; \quad F_\pi \leq 1,20; \\ \text{При} \quad \bar{K}^2 &= 2,88 \text{ ф}^{-2}; \quad F_1^V = 1,40^{+0,10}_{-0,20}; \quad F_\pi = 1,20^{+0,20}_{-0,30}. \end{aligned}$$



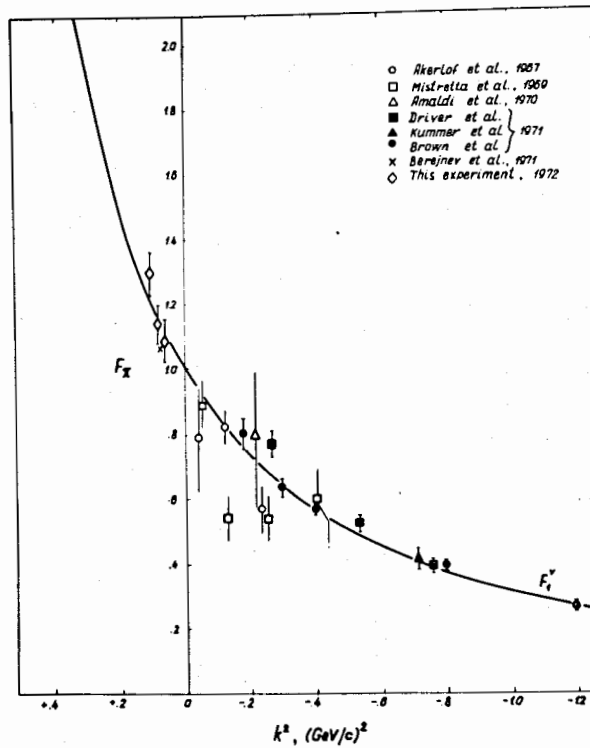


Рис.4. Данные по пионному формфактору в области времениподобных передач, полученные в настоящей работе, совместно со значениями, полученными из экспериментов по электророждению пионов. Сплошная кривая описывает зависимость изотопвекторного дираковского формфактора нуклона  $F_1^V$  от величины квадрата четырехимпульса передачи

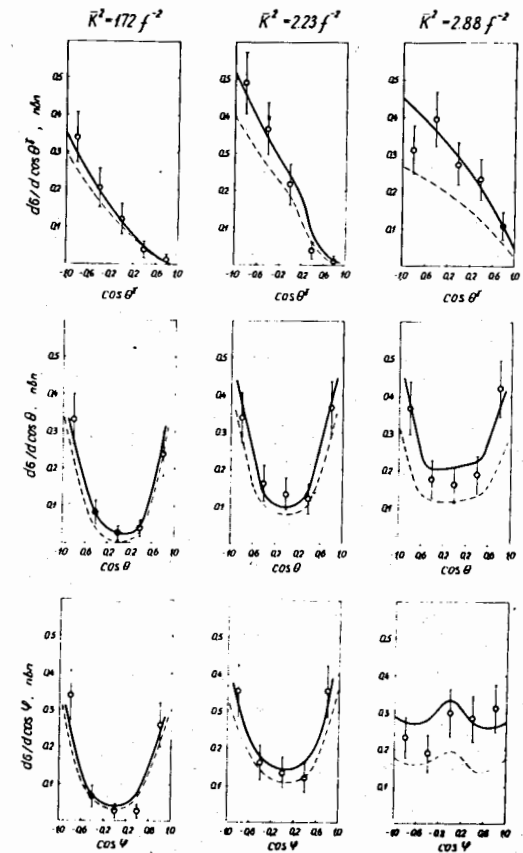


Рис.5. Дифференциальные распределения событий ОЭП по кинематическим переменным  $\cos \theta^Y$ ,  $\cos \theta$  и  $\cos \varphi$  для трех интервалов  $K^2$  со средними значениями  $1,72 \text{ f}^{-2}$ ,  $2,23 \text{ f}^{-2}$  и  $2,88 \text{ f}^{-2}$ . Пунктирные кривые соответствуют предположению  $F_T = F_1^V = 1$ ; сплошные кривые получены при значениях формфакторов, приведенных в (5).

Доверительные интервалы и верхние границы приведены на 68% уровне достоверности.

Основные результаты диссертации можно сформулировать следующим образом:

1. Создана установка, работающая на линии с ЭВМ, 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 и изучать процессы с электронами и позитронами в конечном состоянии, дифференциальное сечение которых находится на уровне  $10^{-33}$  см<sup>2</sup>/стер.<sup>2</sup>.

2. Разработана процедура измерений и обработки экспериментальных данных и выделено  $226 \pm 31$  событий реакции  $\pi^+ p \rightarrow e^+ e^- n$ .

3. Определено сечение той части реакции  $\pi^+ p \rightarrow e^+ e^- n$ , которая выделяется установкой при регистрации электронов и позитронов с энергиями  $E_1$  и  $E_2 > 60$  Мэв и с углами между ними  $\theta_{12} < 170^\circ$ :  

$$\Delta\sigma = (1.40 \pm 0.22) \cdot 10^{-33} \text{ см}^2.$$

Дифференциальное сечение реакции при регистрации электронов и позитронов с энергиями  $E_1$  и  $E_2 > 60$  Мэв, испускаемых под углами, близкими к  $90^\circ$  относительно направления пионов, равно:

$$\frac{d^2\sigma}{d\Omega_1 d\Omega_2} = (4.0 \pm 0.6) \cdot 10^{-33} \text{ см}^2/\text{стер.}^2$$

Получены дифференциальные сечения по независимым кинематическим переменным для трех интервалов переданных импульсов со средними значениями  $1.72 \text{ ф}^{-2}$ ;  $2.23 \text{ ф}^{-2}$  и  $2.88 \text{ ф}^{-2}$ .

4. Измеренные дифференциальные сечения хорошо описываются моделью, если предположить, что формфактор пиона равен изотоп-

векторному дираковскому формфактору нуклона. Тем самым для времени-подобных передач подтверждается справедливость соотношения  $F_\pi(k^2) = F_1^V(k^2)$ , наблюдавшегося в экспериментах по электророжению пионов.

В предположении равенства  $F_\pi(k^2) = F_1^V(k^2)$  получены следующие значения формфакторов:

$$\begin{aligned} F_\pi &= F_1^V = 1.10 \pm 0.07 & \text{при } k^2 &= 1.72 \text{ ф}^{-2} \\ F_\pi &= F_1^V = 1.14 \pm 0.06 & \text{при } k^2 &= 2.23 \text{ ф}^{-2} \\ F_\pi &= F_1^V = 1.30 \pm 0.07 & \text{при } k^2 &= 2.88 \text{ ф}^{-2}. \end{aligned}$$

5. Значения формфакторов, полученные на основании гипотезы  $F_\pi = F_1^V$ , хорошо описываются зависимостью  $F_\pi(k^2) = F_1^V(k^2) = 1 + \frac{1}{6} k^2 r^2$  при значении  $r_\pi = r_{F_1^V} = (0.75 \pm 0.14) \text{ ф}$ .

6. Определены формфакторы  $F_\pi$  и  $F_1^V$  без предположений о какой-либо связи между ними:

$$\begin{aligned} 0.50 \leq F_\pi \leq 1.20 &; & 0.80 \leq F_1^V \leq 1.20 & \text{при } k^2 = 1.72 \text{ ф}^{-2}; \\ F_\pi \leq 1.20 &; & 0.60 \leq F_1^V \leq 1.30 & \text{при } k^2 = 2.23 \text{ ф}^{-2}; \\ F_\pi = 1.20_{-0.30}^{+0.20} &; & F_1^V = 1.40_{-0.20}^{+0.10} & \text{при } k^2 = 2.88 \text{ ф}^{-2}. \end{aligned}$$

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Richard Wilson. Proc. 1971 International Symposium on Electron and Photon Interaction at High Energies, p. 97, Ithaca, 1971.
2. K. Heinloth. Hamburg, DESY 71/35.
3. J. E. Augustin, J. C. Bizot et al. Phys. Lett., **28B**, 508 (1969).
4. N. P. Samios. Phys. Rev., **121**, 275 (1961).  
H. Kobrac. Nuovo Cimento **20**, 115 (1961).
5. S. Devons, P. Menethy et al. Phys. Rev., **184**, 1356 (1969).  
Richard Garland. Nevis Report 188 (1971), Columbia University Ph.D. Thesis (Preprint).
6. S. C. Ting. XIV Int. Conf. on High Energy Physics, Vienna (1968).

7. 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.Миртчан, С.Ф.Бережнев, А.В.Куликов, Г.И.Смирнов. Ядерная физика, 13, 748 (1971).
8. С.Ф.Бережнев, Л.С.Вертоградов, А.В.Демьянов, А.В.Куликов, А.В.Купцов, Г.Г.Миртчан, Л.Л.Неменов, Г.И.Смирнов, Д.М.Хазинс, Ю.М.Чиркин. Ядерная физика, 16, 185 (1972).
9. А.В.Купцов, Л.Л.Неменов, Ю.М.Чиркин. ПТЭ, 4, 77 (1971).
10. А.В.Куликов, Г.И.Смирнов. Сообщение ОИЯИ, 10-5386, Дубна, 1970.
11. Ю.С.Суровцев, Ф.Г.Ткебучава. Сообщение ОИЯИ, P2-4561, Дубна, 1969.
12. S.Fubini, Y.Nambu, V.Wataghin. Phys.Rev., 111, 329 (1958).
13. С.Ф.Бережнев, А.В.Демьянов, А.В.Купцов, А.В.Куликов, Г.Г.Миртчан, Л.Л.Неменов, Ж.П.Пустыльник, Г.И.Смирнов, А.Г.Федунов, Д.М.Хазинс, Ю.М.Чиркин. Сообщение ОИЯИ, 13-6192, Дубна, 1971.
14. А.В.Купцов, С.В.Медведь, Г.Г.Миртчан, Е.Б.Озеров, А.Н.Синаев, А.А.Стахин, А.Г.Федунов, Д.М.Хазинс, Н.А.Чистов. Сообщение ОИЯИ, 13-6275, Дубна, 1972.
15. С.Ф.Бережнев, А.В.Демьянов, А.В.Куликов, А.В.Купцов, В.П.Курочкин, Г.Г.Миртчан, Л.Л.Неменов, Ж.П.Пустыльник, Г.И.Смирнов, А.Г.Федунов, Д.М.Хазинс. Препринт ОИЯИ, P1-6624, Дубна, 1972.  
Работа представлена на "XVI Международной конференции по физике высоких энергий". Батавия, 1972.
16. С.Ф.Бережнев, А.В.Демьянов, А.В.Куликов, А.В.Купцов, В.П.Курочкин, Г.Г.Миртчан, Л.Л.Неменов, Ж.П.Пустыльник, Г.И.Смирнов, А.Г.Федунов, Д.М.Хазинс. Работа представлена на "XVI Международной конференции по физике высоких энергий". Батавия 1972.
17. А.В.Демьянов, Г.Г.Миртчан. Сообщение ОИЯИ, 13-6200, Дубна, 1971.

Рукопись поступила в издательский отдел  
17 октября 1972 года.