

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



С346.48

A-50

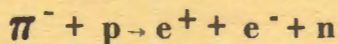
1428/2-76

19/16-76

P1 - 9478

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

РЕГИСТРАЦИЯ И ИЗМЕРЕНИЕ СЕЧЕНИЯ РЕАКЦИИ



ПРИ ЭНЕРГИИ ПИОНОВ 275 МЭВ

**1976**

P1 - 9478

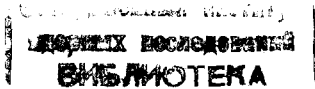
В.В.Ализаде\*, С.Ф.Бережнев,\* А.В.Демьянов,  
А.В.Купцов, В.П.Курочкин,\* Л.Л.Неменов,  
Ж.П.Пустыльник, Г.И.Смирнов, Д.М.Хазинс

РЕГИСТРАЦИЯ И ИЗМЕРЕНИЕ СЕЧЕНИЯ РЕАКЦИИ  
 $\pi^- + p \rightarrow e^+ + e^- + n$   
ПРИ ЭНЕРГИИ ПИОНОВ 275 МЭВ

*Направлено в ЯФ*

---

\*ЛЯИ НИИЯФ МГУ.



### 1. Экспериментальная установка

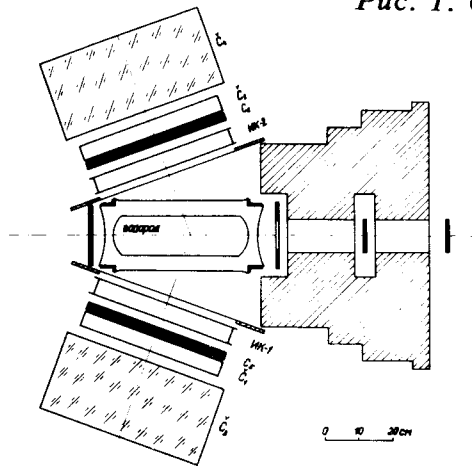
Эксперимент выполнен на мезонном канале синхроциклотрона Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ при кинетической энергии пионов 276 МэВ. Интенсивность пучка равнялась  $4 \pm 6 \cdot 10^5 \text{с}^{-1}$ .

Общий вид расположения детекторов показан на рис. 1. В установку входят три телескопа: мониторный телескоп  $T_1$ , выделяющий взаимодействия пионов с протонами жидководородной мишени, и два идентичных боковых телескопа,  $T_2$  и  $T_3$ , которые служат для регистрации электронов и позитронов, испущенных в реакции обратного электророжения пионов /ОЭП/



определения их энергии и углов вылета. Телескоп  $T_1$  состоит из счетчиков совпадений  $/C_1, C_2/$  и антисовпадений  $/C_3, C_4/$ . Каждый боковой телескоп расположен под углом  $70^\circ$  относительно направления пучка пионов и составлен из сцинтилляционного счетчика  $C_5(C_6)$ , водяного черенковского счетчика  $C_1(C_2)$ , черенковского спектрометра полного поглощения  $C_3(C_4)$  и широкозазорной искровой камеры ИК<sub>1</sub>/ИК<sub>2</sub>/ с оптическим съемом информации. Более подробно экспериментальная установка описана в работе /1/, а характеристики детекторов приведены в работе /2/. Жидководородная мишень имела диаметр 120 мм и эффективную длину 369 мм. Количество водорода по пучку было равно  $2,61 \text{ г/см}^2$ .

Рис. 1. Схема экспериментальной установки.



Импульсы от детекторов подавались на блоки наносекундной электроники, разработанные в отделе новых научных разработок Лаборатории ядерных проблем<sup>/3/</sup>. Порог регистрации электронов, испущенных в реакции /1/, составлял 30 МэВ. Коррелированные во времени события выделялись схемами совпадений. Управляющие импульсы вырабатывались в том случае, когда имелись совпадения сигналов с трех телескопов и суммарное энерговыделение в спектрометрах превышало 170 МэВ.

Амплитудно-временная информация с детекторов поступала на систему многомерного анализа<sup>/4-7/</sup>, работающую на линии с ЭВМ "Минск-22". При регистрации каждого события измерялись амплитуды сигналов со спектрометров и боковых сцинтилляционных счетчиков, а также временные интервалы между сигналами мониторингового счетчика  $S_2$  и детекторов боковых телескопов /шесть временных интервалов/. Два канала использовались для регистрации времени развития разрядов в искровых камерах. Вся информация через буферное накопительное устройство /амплитудный анализатор АИ-4096/ передавалась на ЭВМ "Минск-22", где записывалась на магнитную ленту и обрабатывалась по программе контрольной обработки статистического материала. В буферное накопительное устройство передавалась также информа-

ция с пересчетных устройств, выполненных в стандарте КАМАК. По окончании работы программы в буферное накопительное устройство передавались одномерные распределения регистрируемых параметров и средние значения и дисперсии этих распределений. По средним значениям контролировалась стабильность работы детекторов и спектрометрических трактов.

Искровые камеры<sup>/8/ИК/</sup> с размерами 45,0x38,0 см<sup>2</sup> и зазором 5 см применялись для регистрации и отбора событий, в которых образуются две заряженные частицы. Камеры работали в трековом режиме и имели эффективность, близкую к 100% в области углов  $0 \div 35^\circ$ . К камерам была подключена электроника, позволяющая регистрировать время формирования искрового канала<sup>/9/</sup>. Эта информация использовалась для контроля эффективности камер, степени чистоты газа в камерах, а также для предварительного отбора событий.

## 2. Предварительный отбор событий

В результате измерений на синхроциклотроне Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ в течение трех экспозиций, длившихся в сумме около 350 часов, было отснято 320 тысяч фотографий. Амплитудно-временная информация, соответствующая этим событиям, была записана на магнитные ленты ЭВМ "Минск-22".

В каждой из экспозиций систематически проводились калибровки аппаратуры путем регистрации событий упругого рассеяния пионов на водороде. Кроме этого, аппаратура калибровалась по световым датчикам, установленным на сцинтилляционных и черенковских счетчиках и на черенковских спектрометрах полного поглощения. В конце каждой экспозиции выполнялись измерения эффективности искровых камер, а также калибровки черенковских спектрометров полного поглощения на электронном пучке.

При анализе результатов калибровочных измерений определялись средние значения  $t_{cp}$  и дисперсии  $\sigma^2$  временных параметров, а также дрейф средних значений за время набора статистического материала. Полученные

цифры использовались для задания границ сверху:  $t_{cp} + 3\sigma$ , и снизу:  $t_{cp} - 3\sigma$ , в пределах которых проводился дальнейший отбор событий. В тех случаях, когда наблюдался дрейф средних значений, производилось расширение границ отбора.

Для подавления низкоэнергетического фона вводилось обрезание по энергии регистрируемых электронов:  $E_1, E_2 > 50 \text{ МэВ}$ , а также по суммарному энерговыделению:  $E_1 + E_2 > 170 \text{ МэВ}$ .

Введение выработанных таким образом критериев производилось на ЭВМ "Минск-22". При этом каждый из критериев отбрасывал следующее количество событий: 1/  $E_1, E_2 > 50 \text{ МэВ}, E_1 + E_2 > 170 \text{ МэВ}$  - 31%; 2/ время ИК - 19%; 3/ время сцинтилляционных счетчиков - 16%; 4/ время спектрометров - 0,3%; 5/ время черенковских счетчиков - 0,3%.

Номера событий, оставшихся после отбора по введенным критериям, печатались на бланках. Бланки передавались вместе с киноплёнкой на просмотр. Такой процесс обработки будет в дальнейшем называться "основным". Процесс "контрольной" обработки, отличающийся введением на ЭВМ "Минск-22" критерия по суммарному энерговыделению электронов в спектрометрах  $E_1 + E_2 > 250 \text{ МэВ}$ , проводился параллельно с "основным" процессом. Такой отбор уменьшает количество просматриваемых событий еще в 2,5-3 раза, практически не подавляя случаи исследуемой реакции. Сравнивая события, полученные в результате этих двух процессов обработки, можно определить эффективность просмотра и выявить грубые ошибки измерений, допущенные на сканирующих приборах.

### 3. Обработка फिल्मовой информации

Обработка событий производилась на сканирующем автомате на электронно-лучевой трубке АЭЛТ-1<sup>/10/</sup> и на полуавтоматических измерительных устройствах ПУОС-50<sup>/11/</sup>. Точность обработки, которую обеспечивают эти приборы, практически одинакова<sup>/12/</sup> и составляет

в каждой проекции в масштабе искровой камеры  $1^\circ$  по углу входа и 0,9 мм по координате точки входа частицы.

Вначале отобранная फिल्मовая информация проходила обработку на автомате АЭЛТ-1. Эффективность работы автомата в среднем равнялась 80% /на этапе измерения - 85%, на этапе опознавания - 94%/. Оставшиеся 20% событий, характеризующиеся, как правило, низкой контрастностью изображения одного из треков, отправлялись для повторных измерений на полуавтоматы ПУОС-50.

Скорость обработки на автомате АЭЛТ-1 и на полуавтомате ПУОС-50 составляла соответственно 1000 и 200 снимков в неделю. Полное число снимков, просканированных при обработке рассматриваемой части статистического материала, равно ~60 тыс.

### 4. Геометрическая реконструкция событий

Параметры треков, измеренные на сканирующих устройствах АЭЛТ-1 и ПУОС-50, поступали на магнитную ленту ЭВМ БЭСМ-4. Геометрическая реконструкция событий проводилась с помощью программы, в основе которой лежат программы, созданные в ЛВЭ ОИЯИ<sup>/13/</sup>. В ходе реконструкции вводились критерии на попадание частиц в мишень и детекторы, на координату вычисленной точки взаимодействия, на угол  $\phi$  разлета частиц  $\phi < 175^\circ$ .

Программным путем производилась сверка параметров, полученных в ходе геометрической реконструкции событий "обычного" и "контрольного" процессов обработки<sup>/14/</sup>. Те события, для которых различия в сверяемых параметрах превышали три стандартных отклонения, отправлялись на дополнительный просмотр, а затем измерялись на полуавтоматах ПУОС-50. Результаты этого третьего измерения позволяли обнаружить, в каком из первых двух допущена грубая ошибка.

После завершения геометрической реконструкции на магнитную ленту БЭСМ-4, содержащую геометрическую информацию о событиях исследуемого процесса, записывалась амплитудно-временная информация. Для этого

осуществлялась передача данных с ЭВМ "Минск-22" на ЭВМ БЭСМ-4. Совокупность этих данных позволяла программным путем провести на ЭВМ БЭСМ-4 коррекцию амплитудно-временных параметров событий. Программа коррекции вносила исправления в амплитудные параметры в соответствии со значениями угла и координатами точки входа частицы в сцинтилляционный счетчик, а также исправления во временные параметры, учитывающие: а/ траекторию движения частицы между мониторным счетчиком и счетчиком бокового телескопа, б/ координаты точки попадания в сцинтилляционный счетчик и в/ амплитуду сигнала этого счетчика. При выполнении коррекции временных параметров, регистрируемых черенковским спектрометром полного поглощения, учитывались траектория движения частицы и амплитуда сигнала спектрометра. В результате проведения коррекции ширина временных распределений сцинтилляционных счетчиков уменьшилась на 20-25% и оказалась равной  $\sim 2,4 \text{ нс} / 14\%$ .

##### 5. Подавление фона упруго рассеянных пионов

Распределение 7,6 тысяч событий по квадрату недостающей массы  $M_x^2$  показано на рис. 2. Здесь приведены те события, которые удовлетворяют как предварительным критериям отбора, проводившегося на ЭВМ "Минск-22", так и геометрическим критериям. Стрелкой на рис. 2 показано значение квадрата массы нейтрона. Кинематический анализ обнаружил, что примерно половина событий, характеризующихся большими /превышающими массу нейтрона/ значениями квадрата недостающей массы, является случаями процесса упругого рассеяния пионов:  $\pi^- p \rightarrow \pi^- p$ . События этого процесса с малой вероятностью могут регистрироваться установкой несмотря на то, что энергия протона отдачи недостаточна для прохождения им бокового телескопа. Регистрация происходит при наличии случайных сигналов в черенковском счетчике и спектрометре полного поглощения того телескопа, в который попал протон отдачи.

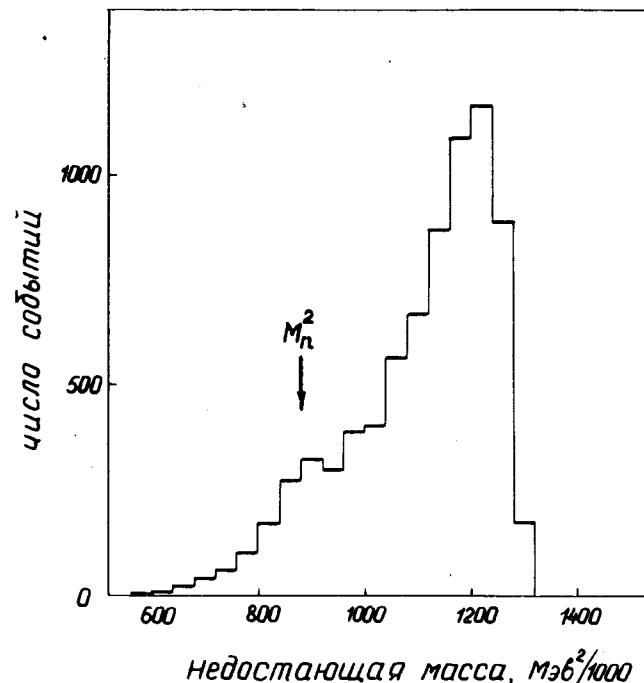
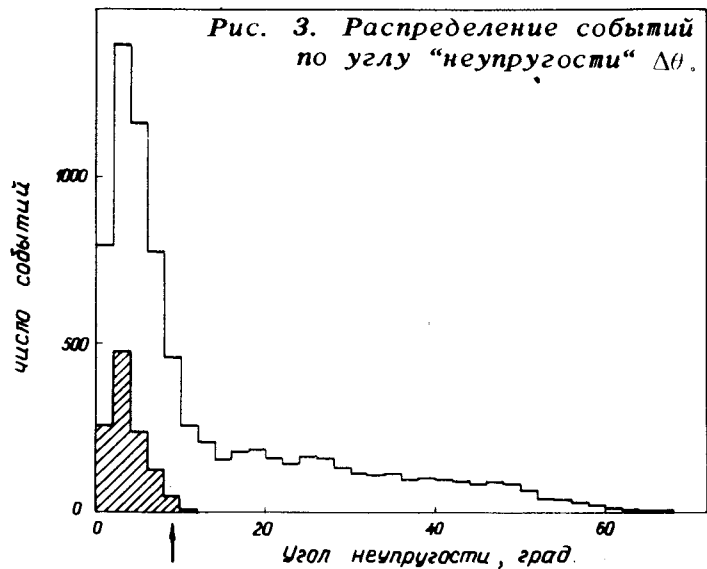


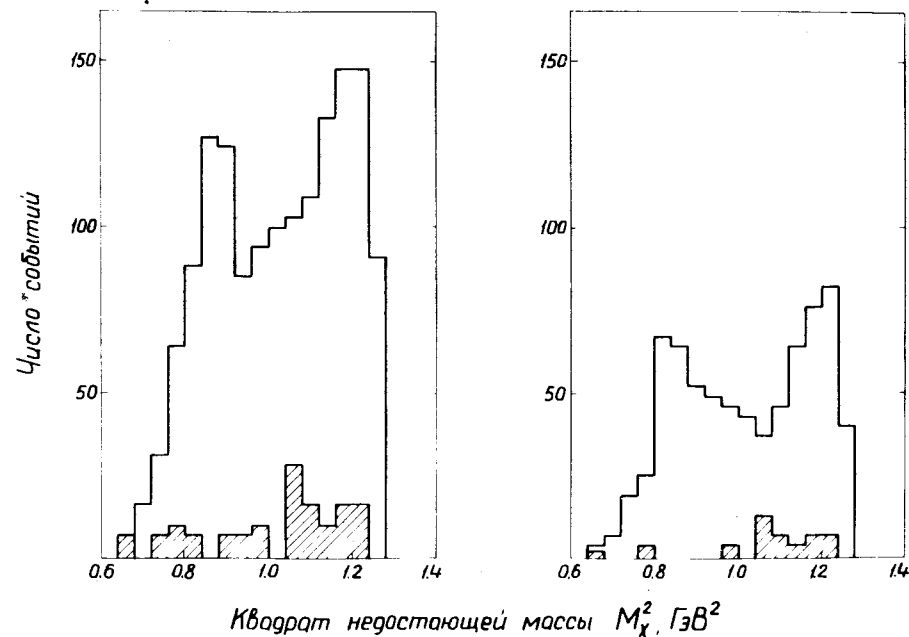
Рис. 2. Распределение событий по  $M_x^2$ , прошедших обработку по программе геометрической реконструкции.

При проведении кинематического анализа использовался тот факт, что при заданной энергии налетающего пиона углы вылета рассеянного пиона и протона отдачи однозначно связаны друг с другом. В соответствии с этим для каждого события делалось предположение о том, что один из треков указывает направление рассеянного пиона, и определялся пространственный угол между вычисленным направлением протона отдачи и направлением второго трека. Поскольку аппаратура не позволяет установить, в какой из телескопов рассеивается пион, то процедура повторялась в предположении, что второй из треков соответствует пиону. Минимальный из этих двух углов принимался в качестве "угла неупругости"  $\Delta\theta$ . Распределение событий процесса упругого



рассеяния по углу  $\Delta\theta$  при наличии ошибок измерения должно описываться функцией Релея. Заштрихованная гистограмма на рис. 3 представляет распределение по углу  $\Delta\theta$  событий упругого рассеяния, отобранных при калибровочных измерениях на упруго рассеянных пионах. На этом же рисунке приведено распределение 7,6 тысяч событий по углу  $\Delta\theta$ . Очевидно, что пик в области малых значений "угла неупругости" обусловлен событиями упругого рассеяния. Для подавления этого фона дальнейший анализ проводился лишь по той части событий, которая имеет угол  $\Delta\theta > 9^\circ$ . Такие события будут называться "кандидатами". Распределение "кандидатов" по квадрату недостающей массы  $M_x^2$  после введения критерия на амплитуду сигнала сцинтилляционного счетчика  $C_5(C_6) A < 2,6 A_{н.в.}$  \*показано на рис. 4. Две группы

\*  $A_{н.в.}$  - наиболее вероятная амплитуда ионизационных потерь релятивистского электрона в сцинтилляционном счетчике бокового телескопа. Введение критерия  $A < 2,6 A_{н.в.}$  отбрасывает не более 1% событий реакции  $/1/$ .



**Рис. 4. Распределение "кандидатов" по квадрату недостающей массы  $M_x^2$ . Фон от пустой мишени показан заштрихованной гистограммой.**

событий, приведенные на этом рисунке, получены при нескольких отличающихся условиях эксперимента.

#### 6. Вычитание фона

Измерения на пустой мишени проводились для каждой из двух рассматриваемых групп событий. Величина потока пионов  $J$ , прошедшего через мишень при этих измерениях, а также число зарегистрированных событий приведены в табл. 1.

Таблица 1

	I	II
Поток пионов J /монитор/	$1,62 \cdot 10^{10}$	$2,62 \cdot 10^{10}$
Отношение потоков $J_{\text{нап}}/J_{\text{пуст.}}$ через наполненную водородом и пустую мишень	12,0	4,43
Число событий N	19	31

Здесь N - "кандидаты" в события реакции /1/. Заштрихованная гистограмма на рис. 4 соответствует событиям, генерированным на пустой мишени.

Анализ событий, приведенных на рис. 4, показал, что они имеют временные распределения импульсов в детекторах, совпадающие с калибровочными. Вместе с тем события, расположенные на рис. 4 справа от нейтронного пика, характеризуются большими амплитудами импульсов в боковых сцинтилляционных счетчиках, что соответствует одновременному прохождению более чем одной частицы с минимальной ионизацией. Оказалось, что этот фон эффективно подавляется введением ограничения на эффективную массу  $\omega$   $e^+e^-$ -пары:  $\omega < 220$  МэВ, на величину ионизационных потерь A в сцинтилляционных счетчиках боковых телескопов:  $A < 2,2 A_{\text{н.в.}}$  и на величину недостающей массы  $M_x^2$ :  $M_x^2 < 1,0$  ГэВ<sup>2</sup>. Распределение "кандидатов" после вычитания фона от пустой мишени и после введения критериев  $\omega > 220$  МэВ,  $A < 2,2 A_{\text{н.в.}}$  дано на рис. 5.

Моделирование показало, что из трех возможных фоновых процессов:



основной вклад, обусловленный гамма-квантами, которые конвертируют в мишени<sup>/15/</sup>, дает реакция /2/.

Для определения числа событий эффекта /процесс ОЭП/ и фона /реакция /2// распределения "кандидатов" по квадрату недостающей массы  $M_x^2$ , полученные после вычитания фона от пустой мишени, и введения критерия  $A < 2,6 A_{\text{н.в.}}$ , подгонялись суммой двух распределений по  $M_x^2$ , полученных при моделировании процесса ОЭП и процесса /2/. Полное число событий в анализируемых распределениях может быть представлено в виде

$$F(M_x^2) = \alpha f_{\text{эф}} + \beta f_{\text{фон}}, \quad /5/$$

где  $f_{\text{эф}}$  - функция распределения моделированных событий реакции ОЭП;  $f_{\text{фон}}$  - функция распределения моделированных событий реакции /2/.

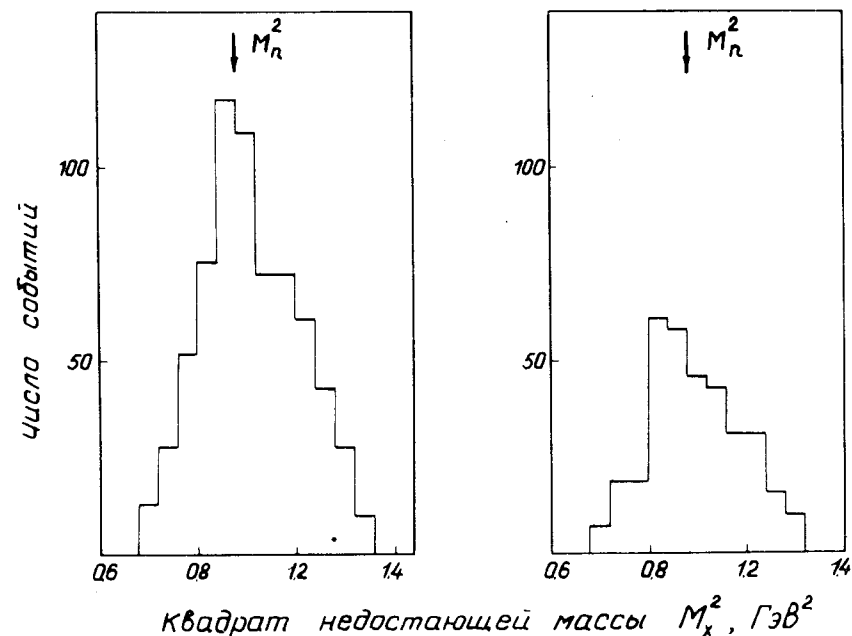


Рис. 5. Распределение событий, полученное после вычитания фона от пустой мишени, а также после введения критериев  $\omega > 220$  МэВ и  $A < 2,2 A_{\text{н.в.}}$ .



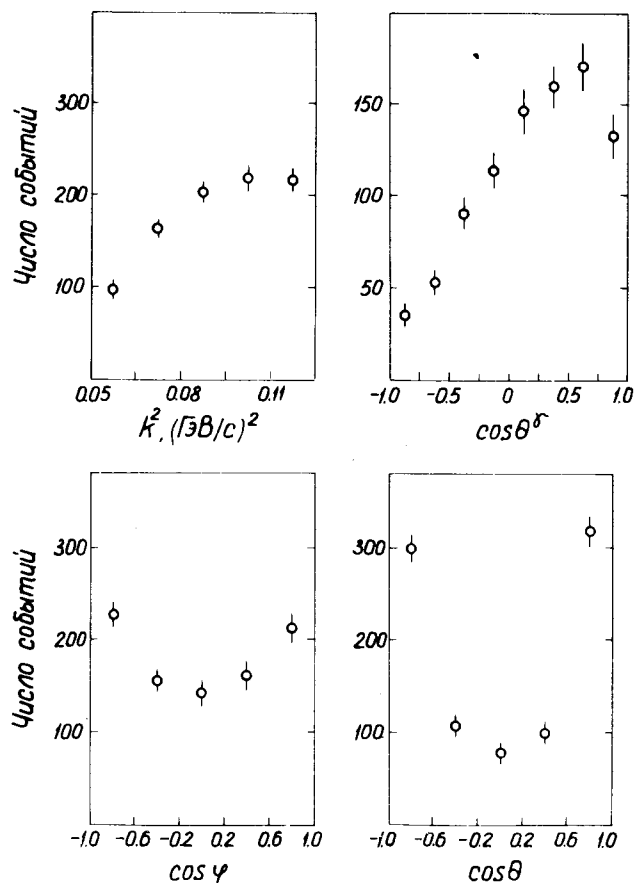


Рис. 6. Распределения событий процесса  $\pi^- p \rightarrow e^+ e^- n$  по кинематическим переменным.

Значения параметров  $a$  и  $\beta$  определялись из условия минимума величины  $\chi^2$ , вычисляющейся при сравнении экспериментальных и моделированных распределений. При проведении подгонки распределений, полученных с помощью изменения в широких пределах критериев по  $\omega$  и  $A$ , оказалось: 1/ функция  $F(M_x^2)$  хорошо описывает экспериментальные данные; 2/ оценка числа событий практически не зависит от величины вводимых критериев.

Число событий эффекта, полученное при введении критериев  $A < 2,2 A_{н.в.}$  и  $\omega < 200 \text{ МэВ}$  приведено в табл. 2. Величина фона от реакции /2/, вычитаемого при этих условиях, составляет 24% от общего числа анализируемых событий, а величина фона от пустой мишени - 10%. Примесь фона, обусловленного упругим рассеянием пионов среди выделенных событий, составляет 0,3%.

Введение ограничения на величину недостающей массы  $/M_x^2 < 1,0 \text{ ГэВ}^2/$  уменьшает величину вычитаемого фона от реакции /2/ до 11%, а фона от пустой мишени - до 9%.

Параметры экспериментальных событий фитировались в соответствии с разрешением экспериментальной установки по углам и энергиям. Требовалось, чтобы недостающая масса для события реакции ОЭП равнялась массе нейтрона. Процедура минимизации, выполняющаяся на ЭВМ БЭСМ-6, описана в работе /16/. Распределения событий по квадрату переданного 4-импульса  $k^2$ , углу между импульсами фотона и пиона  $\theta^Y$  в  $\pi^- p$  с.ц.м., по углу между плоскостью реакции обратного фоторождения и плоскостью распада фотона  $\phi$  и по углу между импульсами нейтрона и электрона  $\theta$  в  $e^+ e^- n$  с.ц.м. приведены на рис. 6. Угловые распределения событий реакции /1/ будут использованы в дальнейшем для определения формфакторов пиона и нуклона.

## 7. Определение сечения

Выражение для определения сечения реакции /1/ может быть записано в следующем виде:

$$\sigma = \frac{N_0}{Nt \cdot J_0 \cdot \epsilon_{\text{дет}} \cdot \epsilon_{\text{обр}}},$$

где  $N_0$  - число событий, зарегистрированных аппаратурой с эффективностью  $\epsilon_{\text{дет}}$ , и выделенное в процессе обработки, эффективность которой  $\epsilon_{\text{обр}}$ ;  $Nt$  - число протонов в мишени;  $J_0$  - величина потока пионов, прошедшего через жидководородную мишень. Значения этих величин приведены в табл. 2.

Таблица 2

	I	II
Число событий $N_0$	$515 \pm 32$	$277 \pm 21$
Поток пионов $J$ /монитор/	$1,94 \cdot 10^{11}$	$1,16 \cdot 10^{11}$
Поток пионов $J_0$ через мишень	$/1,354 \pm 0,052/ \cdot 10^{11}$	$/0,72 \pm 0,028/ \cdot 10^{11}$
Кол-во протонов в мишени	$1,573 \cdot 10^{24}$ протон/см <sup>2</sup>	

Значения эффективностей детекторов и обработки для двух групп событий приведены в табл. 3.

Таблица 3

	I	II
Эффективность детекторов, ε <sub>дет</sub>	$0,707 \pm 0,051$	$0,604 \pm 0,067$
Эффективность обработки фильмовой информации	$0,983 \pm 0,030$	$0,953 \pm 0,020$
Учет потерь при введении критериев отбора	$0,720 \pm 0,016$	$0,706 \pm 0,016$
Эффективность обработки, ε <sub>обр</sub>	$0,708 \pm 0,027$	$0,763 \pm 0,021$

Эффективность обработки фильмовой информации учитывает потери событий как при просмотре, так и при измерениях на приборах АЭЛТ-1 и ПУОС-50<sup>14</sup>. Величина потерь при введении критериев отбора включает в себя учет фона случайных совпадений, учет случайных наложений треков в искровых камерах, а также учет доли событий, сопровождающихся испусканием δ-электронов /такие события отбрасывались при просмотре пленок/.

Используя данные табл. 2 и 3, можно найти величину сечения реакции ОЭП по каждой из двух групп событий:

$$\Delta\sigma = /4,83 \pm 0,54/ \cdot 10 \text{ см}^2 \quad \text{I}$$

$$\Delta\sigma = /5,99 \pm 0,85/ \cdot 10^{-33} \text{ см}^2 \quad \text{II}$$

Среднее значение составляет:

$$\Delta\sigma = /5,16 \pm 0,52/ \cdot 10^{-33} \text{ см}^2.$$

Эта величина соответствует той части сечения реакции ОЭП, которая определяется геометрией нашей установки при дополнительном условии  $E_1, E_2 > 50 \text{ МэВ}$ . Произведение телесных углов боковых телескопов экспериментальной установки составляет  $0,750 \text{ ср}^2$ . Эта цифра может быть использована для оценки величины среднего дифференциального сечения исследуемого процесса при условии, что  $E_1, E_2 > 50 \text{ МэВ}$ :

$$\frac{d^2\sigma}{d\Omega_1 d\Omega_2} \approx \frac{\Delta\sigma}{\Omega_1 \Omega_2} = /6,90 \pm 0,69/ \cdot 10^{-33} \text{ см}^2 / \text{ср}^2.$$

В заключение авторы выражают благодарность В.Н.Шкунденкову, Е.С.Кузнецовой, а также сотрудникам сектора сканирующих автоматов на электронно-лучевой трубке и операторам полуавтоматов ПУОС-50 за обработку фильмовой информации. Авторы признательны Б.Понтекорво за поддержку и постоянное внимание к работе, Н.А.Владимировой, С.Г.Пластининой и В.Ф.Чуркиной за большую помощь при обработке экспериментального материала, а также Г.В.Покидовой, В.А.Смирнову и В.Б.Швецову за участие в наборе статистического материала.

#### Литература

1. А.В. Демьянов, А.В. Купцов, В.П. Курочкин, Л.Л. Неменов, В.И. Сидорова, Г.И. Смирнов, В.Л. Трифонов, Д.М. Хазинс. ОИЯИ, 13-7683, Дубна, 1974.
2. С.Ф. Бережнев, А.В. Демьянов, А.В. Купцов, А.В. Куликов, Г.Г. Мкртчян, Л.Л. Неменов, Ж.П. Пу-

- стыльник, Г.И.Смирнов, А.Г.Федунов, Д.М.Хазинс, Ю.М.Чиркин. ОИЯИ, 13-6192, Дубна, 1971.
3. В.Ф.Борейко, Ю.Г.Будяшов, Ю.М.Валуев, В.М.Гребенюк, В.Г.Зинов, Б.С.Краснобородов. ОИЯИ, 13-6396, Дубна, 1973.
  4. А.Н.Синаев, А.А.Стахин. ОИЯИ, 13-7656, Дубна, 1974.
  5. Б.Ю.Семенов, К.-Г.Херрманн. ОИЯИ, 13-6975, Дубна, 1973.
  6. В.А.Антюхов, Б.Ю.Семенов. ОИЯИ, 13-7085, Дубна, 1973.
  7. А.П.Кустов, С.В.Медведь, И.А.Панько, Н.А.Чистов. ОИЯИ, 10-7075, Дубна, 1973.
  8. В.В.Ализаде, А.В.Демьянов, Д.М.Хазинс. ПТЭ, №4, 33 /1975/.
  9. В.В.Ализаде, А.В.Демьянов, Д.М.Хазинс. ПТЭ, №4, 31 /1975/.
  10. A.S.Burov, A.I.Filippov, A.A.Karlov, E.D.Lapchik, M.G.Mescheryakov, E.V.Sharapova, V.N.Shigaev, V.N.Shkunderkov, I.I.Skryl, L.V.Tutyshkina and A.D.Zlobin. AELT-1 and AELT-2 CRT Scanning Devices. Proc. Oxford Conference on Computer Scanning, 2-5 April, 1974, England.
  11. В.Я.Алмазов, И.Г.Голутвин, В.Д.Инкин, Ю.А.Каржавин, В.Д.Неустроев, В.Д.Степанов. ОИЯИ, 1352, Дубна, 1963.
  12. Э.Д.Лапчик, Ж.П.Пустыльник, Л.В.Тутьшкіна, Д.М.Хазинс, Э.В.Шарапова, В.Н.Шкунденков. ОИЯИ, 10-8172, Дубна, 1974.
  13. М.С.Хвасунов. Автореферат диссертации. ОИЯИ, 1-5220, Дубна, 1970.
  14. В.П.Курочкин, Ж.П.Пустыльник, Г.И.Смирнов. Депонированная публикация ОИЯИ, Б1-10-8887, Дубна, 1975.
  15. А.В.Кравцов, А.В.Купцов, Л.Л.Неменов, Е.А.Старченко, Д.М.Хазинс. ЯФ, 20, 942 /1974/.
  16. С.Ф.Бережнев, Т.Д.Блохинцева, Г.И.Смирнов. ОИЯИ, Р1-9174, Дубна, 1975.

Рукопись поступила в издательский отдел  
21 января 1976 года.