

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

2/10-79

A-50

1 - 12074

1265/2-79

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

ИЗМЕРЕНИЕ

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ РЕАКЦИИ

ОБРАТНОГО ЭЛЕКТРОРОЖДЕНИЯ ПИОНОВ

$(\pi^- + p \rightarrow e^+ - e^- + n)$

ПРИ ЭНЕРГИИ ПИОНА  $E = 164$  МэВ

1979

1 - 12074

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

ИЗМЕРЕНИЕ

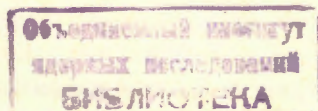
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ РЕАКЦИИ

ОБРАТНОГО ЭЛЕКТРОРОЖДЕНИЯ ПИОНОВ

( $\pi^- + p \rightarrow e^+ - e^- + n$ )

ПРИ ЭНЕРГИИ ПИОНА  $E = 164$  МэВ

*Направлено в ЯФ*



\* ЛЯИ НИИЯФ МГУ.

Ализаде В.В. и др.

I - 12074

Измерение дифференциального сечения реакции обратного электророждения пионов ( $\pi^- + p \rightarrow e^+ + e^- + n$ ) при энергии пиона  $E = 164$  МэВ

Проведено исследование реакции обратного электророждения пионов  $\pi^- + p \rightarrow e^+ + e^- + n$  при энергии пионов 164 МэВ. Приводятся основные характеристики аппаратуры, описывается процедура измерений и обработки, в результате которых выделено около 100 событий реакции. Определено дифференциальное сечение для электронов с энергией  $E_{1,2} \geq 50$  МэВ, испускаемых под углами  $\sim 70^\circ$  относительно направления пучка пионов:

$$\frac{d^2\sigma}{d\Omega_1 \cdot d\Omega_2} = (5,1 \begin{matrix} +1,1 \\ -1,4 \end{matrix}) \cdot 10^{-33}$$

Приводятся распределения событий реакции по кинематическим переменным.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований, Дубна 1979

Alizade V.V. et al.

I - 12074

On Measuring Differential Cross Section of Inverse Pion Electroproduction ( $\pi^- + p \rightarrow e^+ + e^- + n$ ) at the Pion Energy  $E = 164$  MeV

The reaction of the inverse pion electroproduction  $\pi^- + p \rightarrow e^+ + e^- + n$  has been studied at the 164 MeV pion energy. The main characteristics of apparatus, as well as measuring and processing procedures are described. As a result, about 100 events have been selected. Differential cross section of the reaction for electrons with energies  $E_{1,2} \geq 50$  MeV emitted at angles close to  $70^\circ$  with respect to the pion beam is

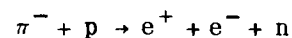
$$\frac{d^2\sigma}{d\Omega_1 \cdot d\Omega_2} = (5,1 \begin{matrix} +1,1 \\ -1,4 \end{matrix}) \cdot 10^{-33} \text{ cm}^2/\text{sr}^2$$

Event distributions versus four different kinematic variables are presented.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

## Исследование реакции обратного электророждения пионов



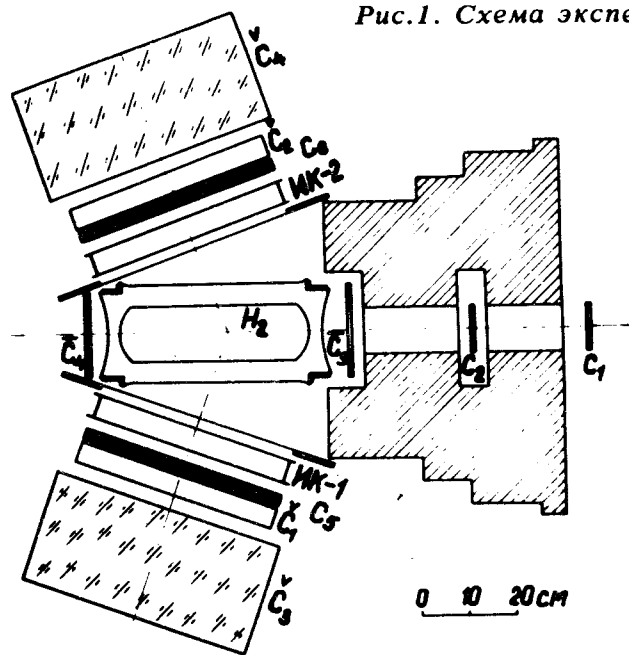
/1/

позволяет получить данные об электромагнитной структуре пиона и нуклона во времениподобной области передаваемых 4-импульсов. Детальный анализ<sup>/1-4/</sup> этой реакции показал, что ее сечение наиболее чувствительно к формфактору пиона, дираковскому изовекторному формфактору нуклона и, в значительно меньшей степени, к магнитному формфактору изобары. Последнее объясняется тем, что вклад изобары в сечение процесса обратного электророждения пионов даже в резонансе не превышает 20%. В предыдущих работах<sup>/1/</sup> реакция /1/ была подробно изучена при энергии  $\pi^-$ -мезона 276 МэВ /полная энергия в с.с.м.  $\pi p W = 1295$  МэВ/.

В настоящей работе, выполненной на мезонном канале синхроциклотрона Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ при энергии  $\pi^-$ -мезона 164 МэВ /  $W = 1196$  МэВ/ и интенсивности пучка  $5 \times 10^5$  1/с, определено дифференциальное сечение реакции /1/. Получены распределения зарегистрированных событий по кинематическим переменным.

Установка, на которой проводился эксперимент, была описана ранее<sup>/5/</sup>, поэтому ограничимся здесь только кратким перечислением ее узлов. На рис. 1 приведена схема установки. Мониторным телескопом ( $C_1, C_2, \bar{C}_3, \bar{C}_4$ ) выделялись взаимодействия пионов с протонами мишени, наполненной жидким водородом. Два идентичных боковых телескопа служили для регистрации электронов и позитронов изучаемой реакции и определения их энергии и углов вылета. Каждый боковой телескоп состоял из сцинтил-

Рис.1. Схема экспериментальной установки.



ляционного счетчика ( $C_5, C_6$ ), водяного черенковского счетчика ( $C_1, C_2$ ), черенковского спектрометра полного поглощения ( $C_3, C_4$ ) и искровой камеры /МК-1, МК-2/.

Боковые сцинтилляционные счетчики применялись для отбора коррелированных во времени событий и анализа их по ионизационным потерям. Водяные черенковские счетчики использовались для уменьшения эффективности регистрации медленных частиц. Черенковские спектрометры полного поглощения служили для измерения энергии электронов и позитронов.

Искровые камеры применялись для отбора взаимодействий, содержащих две заряженные частицы в конечном состоянии, и для восстановления пространственной картины регистрируемых событий.

Жидководородная мишень имела диаметр 120 мм и эффективную длину 369 мм. Количество водорода по пучку было равно  $2,612 \text{ г/см}^2 / 1,573 \times 10^{24} \text{ протонов/см}^2 /$ .

Информация о событиях регистрировалась по двум каналам:

а/ треки в искровых камерах фотографировались на кинопленку;

б/ основная амплитудно-временная информация об импульсах с детекторов поступала на систему многомерного анализа с последующей передачей в ЭВМ "Минск-22".

Поэтому дальнейшая обработка велась по этим двум направлениям. В процессе эксперимента проводилась первичная обработка амплитудно-временных данных, результаты этой обработки позволяли постоянно контролировать работу электроники и детекторов установки.

По выполненным в ходе эксперимента калибровкам аппаратуры на упруго рассеянных  $\pi^-$ -мезонах были выработаны критерии на разброс во времени импульсов с детекторов боковых телескопов и искровых камер. Отбрасывались все события, временной разброс импульсов для которых превышал  $3\sigma$ . Это позволило уменьшить количество информации для последующей обработки почти вдвое.

Первичный просмотр снимков с искровых камер позволил сократить количество полученной информации в 4,7 раза. При этом просмотре требовалось, чтобы в каждой искровой камере наблюдался только один трек. Отобранные снимки обрабатывались с помощью сканирующего автомата на электронно-лучевой трубке АЭЛТ-1<sup>76/</sup> и на полуавтоматических измерительных устройствах ПУОС-50<sup>77/</sup>. Полученная информация записывалась на магнитную ленту БЭСМ-4, и проводилась геометрическая реконструкция событий<sup>78/</sup>. В ходе реконструкции вводились критерии на попадание частиц в мишень и детекторы, на координату вычисленной точки взаимодействия, на угол  $\phi$  разлета частиц ( $\phi < 170^\circ$ ).

Затем проводилась стыковка данных геометрической реконструкции и амплитудно-временных данных<sup>79/</sup>. При этом амплитудная информация исправлялась в соответствии со значениями угла и координаты точки входа частицы в сцинтилляционный счетчик. Временные параметры исправлялись в соответствии с траекторией движения частицы между мониторным счетчиком  $C_2$  и сцинтилляционным счетчиком бокового телескопа, с координатой ее точки попадания в счетчик и амплитудой этого счетчика. Откорректированная амплитудно-временная информация вместе с данными о геометрии событий переписыва-

лась на магнитную ленту для дальнейшей обработки на ЭВМ БЭСМ-6.

В результате описанной процедуры из 112000 событий, полученных в результате ~ 90 часов экспозиции на ускорителе /при этом через водородную мишень было пропущено  $4,10 \times 10^{10}$  пионов/, было отобрано 338 кандидатов реакции обратного электророждения пионов. Эти события включали в себя как события исследуемой реакции, так и фоновые. Ранее проведенные исследования<sup>/1/</sup> реакции обратного электророждения пионов при энергии  $\pi^-$ -мезонов 276 МэВ показали, что фон состоит из двух частей: событий, обусловленных упругим рассеянием  $\pi^-$ -мезонов на протонах, и событий, обусловленных процессами:



Фон от реакции /4/ в анализируемых данных отсутствует, так как эксперимент проводился в допороговой для нее области / $P_{\text{пор}} = 290 \text{ МэВ}/c/$ .

Фон от упругого рассеяния  $\pi^-$ -мезонов на протонах подавлялся с помощью кинематического анализа событий<sup>/10/</sup>. При этом использовался тот факт, что при заданной энергии налетающего пиона углы вылета рассеянного пиона и протона отдачи однозначно связаны. Полагая, что один из треков указывает направление рассеянного пиона, мы определяли направление протона отдачи и пространственный угол  $\Delta\theta$  между ним и вторым треком. Так как неизвестно, в какой боковой телескоп рассеивается пион, угол  $\Delta\theta$  определялся и в предположении, что рассеянный пион имеет направление вдоль другого трека. Минимальный из этих двух углов считался "углом неупругости". Калибровочные измерения упругого рассеяния  $\pi^-$ -мезонов на водороде показали, что введение ограничения на "угол неупругости"  $\Delta\theta \geq 90^\circ$  снижает фон от упругого рассеяния до уровня ~ 1%, при этом теряется ~ 10% событий исследуемой реакции<sup>/10/</sup>.

Моделирование<sup>/11/</sup> реакций /2/ и /3/ показало, что фон в оставшиеся события вносит реакция /2/. Вклад от реакции /3/ в фоновые события составляет ~ 1%.

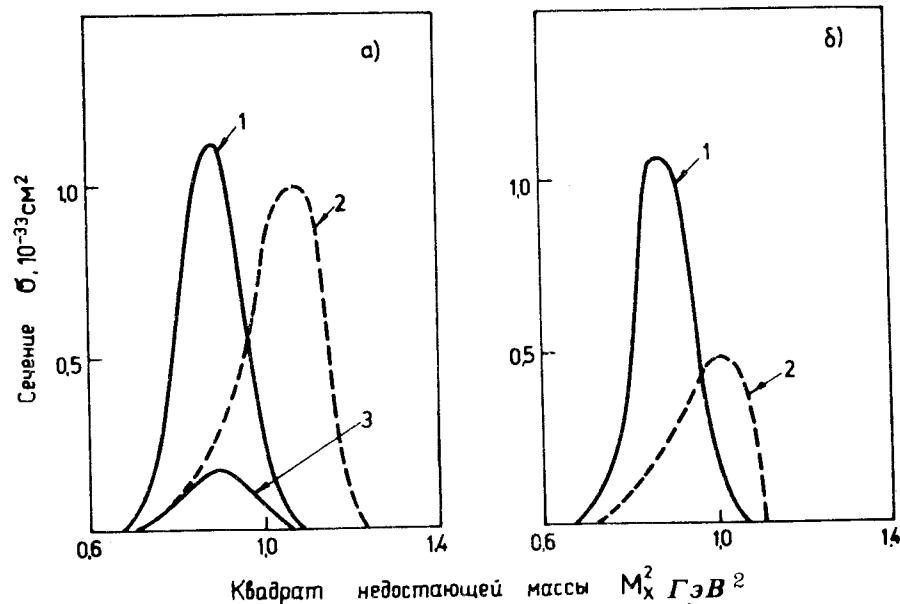


Рис.2. Моделированные распределения по квадрату недостающей массы для реакций /1/, /2/ и /3/; а/ - без введения критерия по  $\omega$ , б/ для событий с  $\omega \geq 160 \text{ МэВ}$ .

Для подавления фоновых событий, связанных с реакцией  $\pi^- + p \rightarrow \pi^0 + \gamma + n$ , вводился порог на амплитуду импульсов в боковых сцинтилляционных счетчиках:  $A \leq 2,2 A_{\text{н.в.}}$  \*. Он существенно снижал эффективность регистрации  $e^+e^-$ -пар, образованных  $\gamma$ -квантами реакции /2/, практически не подавляя событий исследуемой реакции. Введение ограничения снизу на эффективную массу  $e^+e^-$ -пары /критерий по  $\omega$ / также уменьшает количество фоновых событий, обусловленных реакцией /2/, при этом число событий реакции /1/ меняется незначительно.

На рис. 2 приведены результаты моделирования распределений по квадрату недостающей массы для реакций /1/, /2/ и /3/ как без введения критерия по  $\omega$  - а/, так и при  $\omega \geq 160 \text{ МэВ}$  - б/.

\*  $A_{\text{н.в.}}$  - наиболее вероятная амплитуда сигнала в сцинтилляционном счетчике, регистрирующем релятивистские электроны.

На рис. 3 показано распределение отобранных 338 событий по величине квадрата недостающей массы  $M_x^2$  /гистограмма 1/. Гистограмма 2 получена в результате отбрасывания событий, связанных с упругим рассеянием /165 событий/. Результат введения критериев на амплитуду  $A \leq 2,2 A_{н.в.}$  и  $\omega \geq 160$  МэВ показан на гистограмме 3 /131 событие/. Видно, что уже гистограмма 2 имеет максимум в районе величины  $M_x^2 = 0,88$  ГэВ<sup>2</sup>, который

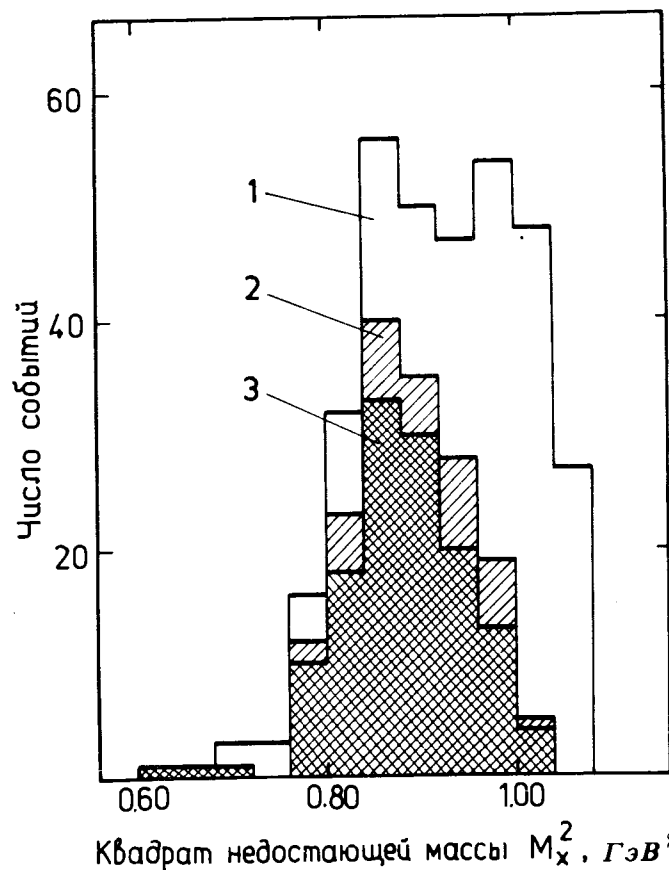


Рис.3. Распределения отобранных событий по квадрату недостающей массы  $M_x^2$ ; 1 - все события; 2 - подавлен фон от упругого рассеяния пионов; 3 - тоже, что на гистограмме 2, после введения критериев отбора  $A \leq 2,2 A_{н.в.}$  и  $\omega \geq 160$  МэВ.

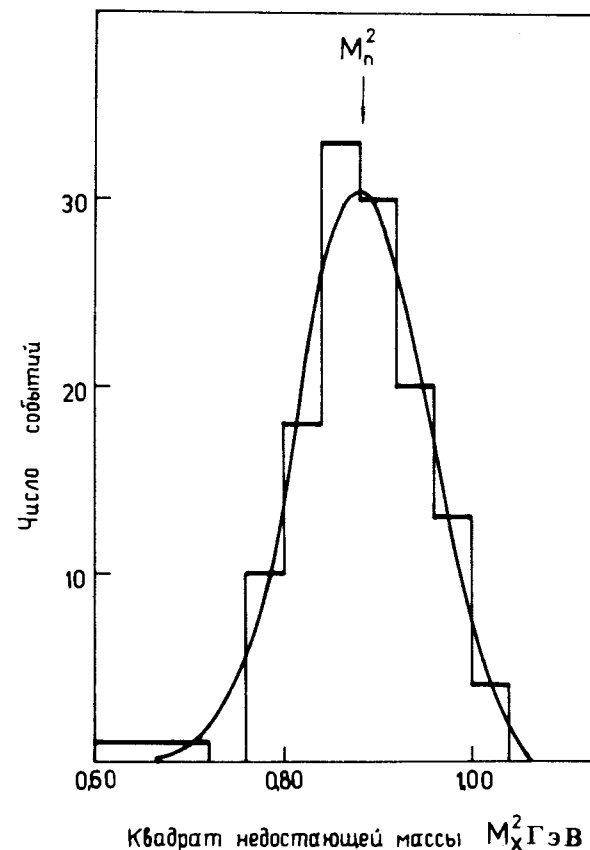


Рис.4. Распределение зарегистрированных событий по квадрату недостающей массы. Плавная кривая - результат подгонки суммы распределений, моделирующих исследуемую /1/ и фоновую /2/ реакции.

соответствует квадрату массы нейтрона. Введение критерия  $A \leq 2,2 A_{н.в.}$  отбрасывает не более 8% событий реакции /1/, а критерия  $\omega \geq 160$  МэВ - не более 0,7%.

Для определения числа событий исследуемой реакции /1/ и фона от реакции /2/ распределение событий статистики по квадрату недостающей массы  $M_x^2$ , полученное после введения критериев  $A \leq 2,2 A_{н.в.}$  и  $\omega \geq 160$  МэВ, аппроксимировалось по методу наименьших квадратов суммой двух теоретических распределений

по  $M_x^2$ , полученных при моделировании<sup>11,12/</sup> реакций /1/ и /2/. В результате этих расчетов, выполненных на ЭВМ БЭСМ-6, было получено, что в ходе эксперимента зарегистрировано  $103 \pm 15$  событий исследуемой реакции и  $27 \pm 13$  фоновых событий. На рис. 4 гистограммой показано экспериментальное распределение событий, а плавной кривой - результат моделирования.

Параметры экспериментальных событий фитировались в соответствии с разрешением экспериментальной установки по углам и энергиям. Требовалось, чтобы недостающая масса для событий реакции /1/ равнялась массе нейтрона<sup>11/</sup>. Распределения событий по квадрату переданного 4-импульса  $k^2$ , углу  $\theta^Y$  между импульсами фотона и пиона в  $\pi^-p$  с.д.м., по углу  $\phi$  между плоскостью реакции обратного фоторождения и плоскостью распада фотона и по углу  $\theta$  между импульсами нейтрона и электрона в  $e^+e^-$  с.д.м. приведены на рис. 5.

Чтобы найти вклад в исследуемую реакцию событий, обусловленных взаимодействием  $\pi$ -мезонов со стенками мишени, мы провели измерения на пустой мишени. При этом через нее прошло  $0,110 \pm 0,03 \cdot 10^{10}$   $\pi^-$ -мезонов. Из  $\sim 2000$  событий, полученных в ходе экспозиции с пустой мишенью, в качестве "кандидатов" в события реакции /1/ было отобрано только 3. После введения критериев по углам  $\phi$  и  $\Delta\theta$  - таких же, как и в ходе анализа "кандидатов", зарегистрированных на водороде, не осталось ни одного события. Поэтому вклад событий, связанных с взаимодействиями  $\pi$ -мезонов со стенками мишени, в реакции /1/ составляет  $0^{+13}_{-0}$  событий.

Зная поток пионов, прошедших через мишень, и введя поправки на эффективность детекторов и потери событий при обработке, можно вычислить сечение реакции обратного электророждения пионов. Его величина, определяемая геометрией нашей установки при дополнительном условии, накладываемом на энергии регистрируемых электронов:  $E_1, E_2 \geq 50$  МэВ, и вычисленная с учетом эффективности обработки и вклада от пустой мишени, составляет:

$$\Delta\sigma = (3,9^{+0,8}_{-1,0}) \cdot 10^{-33} \text{ см}^2$$

Произведение телесных углов боковых телескопов экспериментальной установки составляет  $0,750$  ср<sup>2</sup>. Эта цифра может быть использована для оценки величины

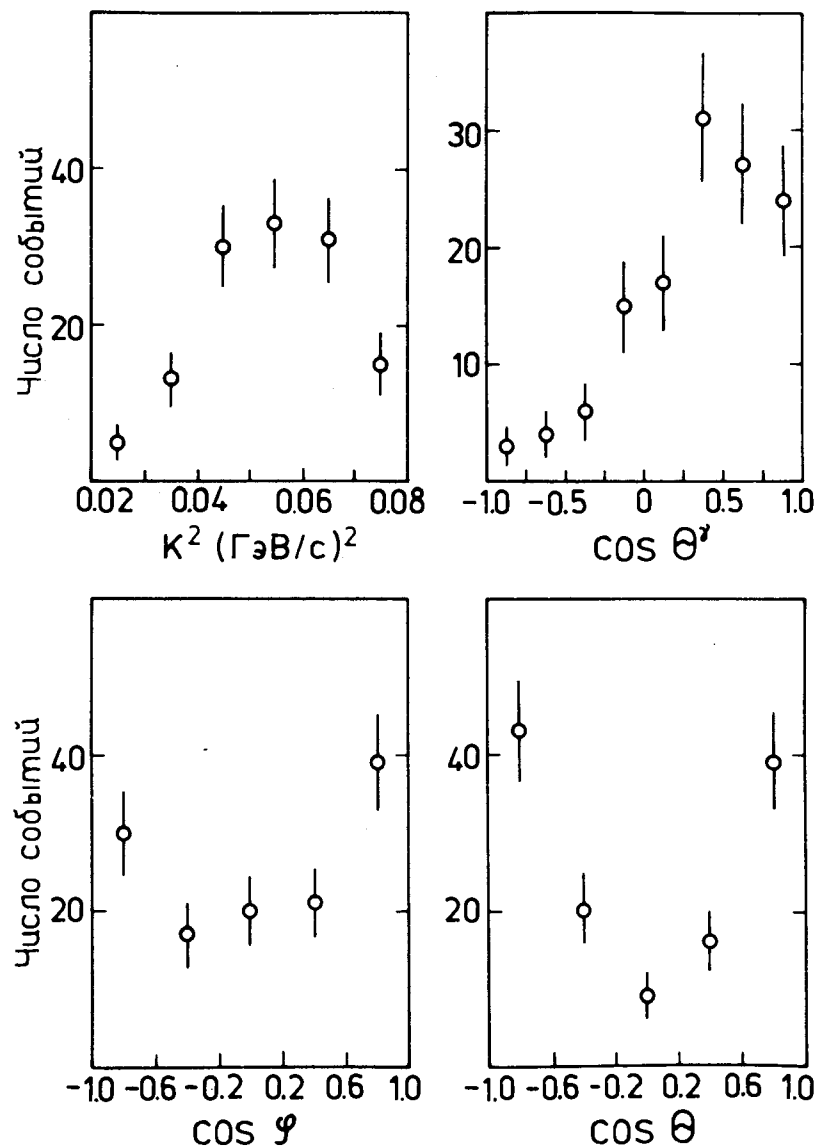


Рис. 5. Распределения зарегистрированных событий по кинематическим переменным.

среднего дифференциального сечения реакции обратного электророждения пионов для электронов с энергией  $E_1, E_2 > 50 \text{ МэВ}$ , испускаемых под углами, близкими к  $70^\circ$  по отношению к пионному пучку:

$$\frac{d^2\sigma}{d\Omega_1 \cdot d\Omega_2} = \frac{\Delta\sigma}{\Omega_1 \cdot \Omega_2} = (5,1^{+1,1}_{-1,4}) \cdot 10^{-33} \text{ см}^2 \cdot \text{ср.}$$

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 फिल्मовой информации. Авторы признательны Б.Понтекорво за поддержку и постоянное внимание к работе, Н.А.Владимировой, Г.В.Покидовой, В.Б.Швецову и В.Ф.Чуркиной за участие в наборе статистического материала, С.Г.Пластининой за помощь при обработке экспериментального материала.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бережнев С.Ф. и др. ЯФ, 1972, 16, с. 185; ЯФ, 1973, 18, с. 102; ЯФ, 1977, 26, с. 547.
2. Суровцев Ю.С., Ткебучава Ф.Г. ОИЯИ, P2-4561, Дубна, 1968.
3. Смирнов Г.И., Шумейко Н.В. ЯФ, 1973, 17, с. 1266.
4. Блохинцева Т.Д., Суровцев Ю.С., Ткебучава Ф.Г. ЯФ, 1975, 21, с. 850.
5. Демьянов А.В. и др. ОИЯИ, 13-7683, Дубна, 1974.
6. Vurov A.S., et al. AELT-1 and AELT-2 CRT Scanning Devices. Proc. Oxford Conference on Computer Scanning, 2-5 April, 1974, England.
7. Алмазов В.Я. и др. ОИЯИ, 1352, Дубна, 1963.
8. Куликов А.В., Смирнов Г.И. ОИЯИ, 10-5386, Дубна, 1970.
9. Курочкин В.П., Пустыльник Ж.П., Смирнов Г.И. Депониров. публ. ОИЯИ, Б1-10-8887, Дубна, 1975.
10. Ализаде В.В. и др. ОИЯИ, P1-9478, Дубна, 1976.
11. Бережнев С.Ф., Смирнов Г.И. ОИЯИ, P10-9845, Дубна, 1975.
12. Бережнев С.Ф., Блохинцева Т.Д., Смирнов Г.И. ОИЯИ, P1-9174, Дубна, 1975.

Рукопись поступила в издательский отдел  
11 декабря 1978 года.