

С. 376.48

24/1-72

К - 906  
СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P1 - 6131

187/2-72



6131

М.М. Кулюкин, В.И. Ляшенко, Ф.Никитиу,  
Г.Пираджино, Д.Б. Понтекорво,  
И.В.Фаломкин, Ю.А.Щербаков

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

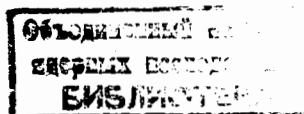
УПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ  $\pi^{\pm}$  -МЕЗОНОВ  
С ЭНЕРГИЕЙ 100 МэВ НА ГЕЛИИ

1971

P1 - 6131

М.М. Кулюкин, В.И. Ляшенко, Ф.Никитиу,  
Г.Пираджино, Д.Б. Понтекорво,  
И.В.Фаломкин, Ю.А.Щербаков

УПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ  $\pi^{\pm}$  -МЕЗОНОВ  
С ЭНЕРГИЕЙ 100 МэВ НА ГЕЛИИ



## S U M M A R Y

The ( $\pi^{\pm}, {}^4\text{He}$ ) elastic differential cross-sections have been measured at  $(97 \pm 6)$  MeV kinetic energy of pions. The experimental apparatus consists of two helium filled streamer chambers: the first one at atmospheric pressure in a bending magnet to measure the momenta of the incident pions, and the second one at 4 atm, surrounded by an hodoscope of scintillation counters (covering a solid angle of about 1.4 sr), is the target and detector. The trigger for the streamer chambers is given by the coincidence between the counters defining the pion beam and any one counter of the hodoscope. Fig.1 represents the diagram of the experimental set up and Fig.2 shows a photograph of a typical event. The contamination of muons and electrons in the pion beam is measured with a lucite Čerenkov counter. Time-of-flight technique is used to select the pions. About 50000 photographs have been taken with about 1250 events of elastic scattering in the  $25^{\circ} \leq \theta_{\pi} \leq 165^{\circ}$  angular region. Figs 3 and 4 show the elastic differential cross-sections for the ( $\pi^{-}, {}^4\text{He}$ ) and ( $\pi^{+}, {}^4\text{He}$ ) reactions, respectively. The dashed lines represent the result of the phase shift analysis taking into account the S,P,D wave contributions. The values of the 6 parameters are in Table I. Our results are compared with those obtained by other authors (5,6) and Figs 5 and 6 show the energy behaviour of the elastic scattering cross-sections for the ( $\pi^{-}, {}^4\text{He}$ ) and ( $\pi^{+}, {}^4\text{He}$ ) reactions. Figs 7 and 8 represent the energy behaviour of the phase shifts.

## Введение

В последнее время возрос интерес к рассеянию пионов с энергией порядка десятков и сотен Мэв на легких ядрах. Это связано, с одной стороны, со стремлением получить детальные сведения о взаимодействии мезонов с легкими ядрами при малых энергиях. В этом случае развивается теоретический метод анализа <sup>1,2/</sup>. С другой стороны, наблюдение упругого  $\pi$ -He рассеяния можно использовать, как это предложил Хофштадтер<sup>3/</sup>, для извлечения сведений об электромагнитном формфакторе пиона <sup>4,5,6/ x/</sup>.

К настоящему времени наблюдаются некоторые расхождения в результатах работ, посвященных измерению формфактора пиона. Необходимы дополнительные эксперименты, свободные от систематических ошибок.

В Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ разработана методика гелиевых стримерных камер высокого давления, сочетающих в себе свойства детектора и газовой мишени, пригодная для эффективного проведения такого типа опытов. В данной работе содержатся результаты первой серии намеренного цикла измерений дифференциальных сечений упругого рассеяния пионов на гелии, полученные при энергии пионов  $\sim 100$  Мэв.

---

<sup>x/</sup> Отдельные исследования в этом направлении <sup>7,8/</sup> имелись и до этого предложения.

## Постановка опыта

На рис. 1 показано расположение аппаратуры при постановке эксперимента на синхроциклотроне Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ. Основная стримерная камера диаметром 50 см, наполняемая гелием при давлении 4 атм, была окружена кольцевым годоскопом из сцинтилляционных счетчиков /9/. Годоскоп захватывал телесный угол  $\sim 1,4$  стерад. и перекрывал диапазон углов от 25 до  $170^\circ$ . Счетчики годоскопа размещались внутри оболочки камеры, и рассеянные мезоны проходили стенку камеры толщиной  $\sim 0,4$  г/см<sup>2</sup>. В магните МС-4-2 располагалась другая камера, наполненная гелием при атмосферном давлении, предназначенная для измерения импульса частиц в пучке. Обе камеры работали в специальном, разработанном нами режиме, обеспечивающем высокую яркость свечения следов /10/. Для наполнения камеры использовался гелий особой чистоты с примесями других газов ( $N_2$ ,  $H_2$ ), не превышающими 0,01%, а для стабилизации разряда в камеру вводились примеси углеводородов и  $CCl_4$ , также не превышающие 0,01%. Вклад в полное число "звезд" от ядер примесей не превышал 0,5%.

Сцинтилляционные счетчики  $C_1 + C_6$  составляли телескоп для формирования пучка и предварительного отбора событий, а также для мониторинга потока частиц, прошедших через камеру. Мониторный счет осуществлялся только в то время, когда камера не была заблокирована. Запуск камеры - мишени происходил при совпадении сигнала с телескопа с сигналом от одного из счетчиков годоскопа ( $C_1, C_2, C_3, \bar{C}_4, \bar{C}_5, \bar{C}_6, C_{год.}$ ), который появляется в идеальном случае при регистрации одним из годоскопических счетчиков пиона, рассеянного в газе камеры.

Камера экспонировалась в интенсивных мезонных пучках от мюонного тракта. Средняя интенсивность пучка мезонов, вводимых в камеру, составляла  $\sim 10^4$  пионов в секунду.

Средняя энергия пионов в газе камеры составляла 97 Мэв с разбросом  $\pm 6$  Мэв. Энергия определялась из кривых поглощения, а также по измерениям импульса в камере с магнитным полем. Для определения состава пучка использовался черенковский счетчик полного поглощения,

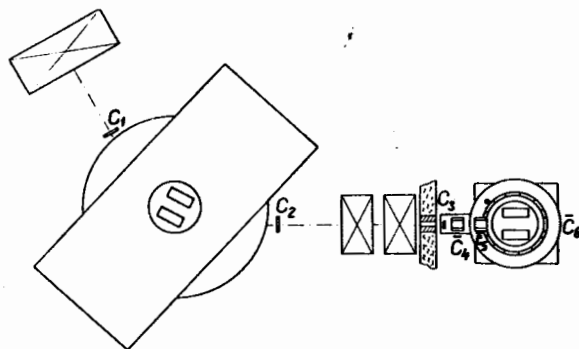


Рис. 1. Схема расположения аппаратуры на мюонном тракте.

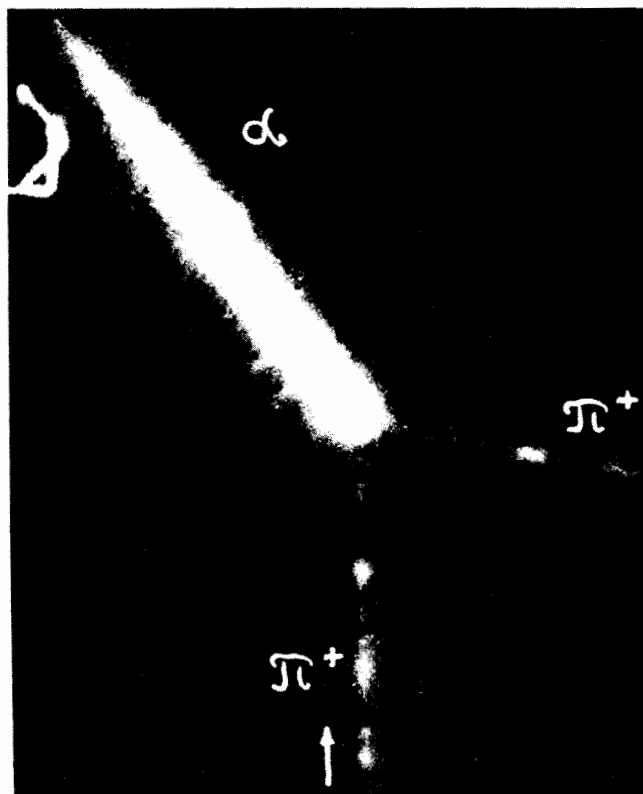


Рис. 2. Фотография случая упругого рассеяния пиона на ядре гелия.

расположенный за камерой. Он позволял непрерывно контролировать состав пучка. Для уменьшения примеси регистрируемых мюонов и электронов использовалась время-пролетная селекция на счетчиках  $C_1$  и  $C_3$ , расстояние между которыми составляло 4 м. Эффективность каждого из счетчиков годоскопа периодически проверялась в пучке пионов и поддерживалась на уровне 100%.

Один запуск приходился примерно на  $10^3$  проходящих частиц. Число пионов в камере составляло  $\sim 70 \div 80\%$  в различных экспозициях от полного потока частиц (после "обогащения" пучка пионами с помощью время-пролетного способа). В исходном пучке примесь мюонов и электронов составляла  $\sim 50\%$ .

### Просмотр и измерения

В нескольких экспозициях было получено  $\sim 40.000$  фотографий на отрицательных пионах и  $\sim 10.000$  фотографий на положительных пионах. В результате было получено около 1250 случаев упругого рассеяния  $\pi$ -He. (В среднем одно событие упругого рассеяния приходилось на 40 кадров). На рис. 2 показан типичный случай упругого рассеяния пиона на ядре гелия.

В процессе просмотра отбирались для измерений все двухлучевые звезды - без явного нарушения сохранения импульса. Эффективность двукратного просмотра составила  $\geq 99\%$ . Измерялись углы рассеяния пиона и ядра отдачи (след ядра отдачи всегда отличается по плотности почернения от следа рассеянного пиона), а при углах рассеяния пиона  $\leq 80^\circ$  измерялся также пробег ядра отдачи. Благодаря управлению от годоскопа зарегистрированные в камере события располагались в плоскостях, близких к горизонтальной, глубинный угол рассеянного луча не превышал  $20^\circ$ .

Отбор упругих событий проводился по соответствию измеренных углов и пробегов  $\alpha$ -частиц расчетным.

## Результаты

Измеренные угловые распределения были исправлены с учетом геометрии установки. Главную роль играл учет протяженности мишени-камеры.

Для большей надежности результатов выделялась самая эффективная центральная зона камеры, где в то же время величины геометрических поправок не сильно зависят от угла. В конечном счете в окончательные результаты вошло 800 случаев упругого рассеяния  $\pi^-He$  и около 200 случаев  $\pi^+He$ .

На рис. 3 и 4 показаны дифференциальные сечения упругого рассеяния  $\pi^-He$  и  $\pi^+He$  соответственно. Пунктиром на рис. 3 и 4 нанесены теоретические кривые, являющиеся результатом фазового анализа по этим предварительным данным. При этом анализе сечение бралось в форме:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = |f^N(\theta) + f^C(\theta)|^2, \quad \text{где}$$

$f^C(\theta)$  - кулоновская амплитуда рассеяния,  $f^N(\theta)$  - ядерная амплитуда рассеяния. Амплитуды были взяты в обычном виде /11/. В рассмотрение принимались три комплексные фазы упругого рассеяния, учитывались  $S$ ,  $P$ ,  $D$  - волны.

Результаты фазового анализа приведены в таблице, в которой указаны ядерные фазовые сдвиги  $\delta_l$ , которые соответствуют фазам  $\tau_l$  из работы /12/. Фазовый анализ производился по методу /13/.

## Обсуждение результатов

На рис. 5 и 6 показаны энергетические зависимости полного сечения упругого рассеяния в интервале углов  $25^\circ < \theta < 165^\circ$  для  $\pi^-He$  и  $\pi^+He$  - рассеяния соответственно. Результаты данной работы и всех работ /5,6,8/ были пересчитаны на указанный угловой интервал. Видно,



Таблица

	$\pi^-$	$\pi^+$
$Re \delta_0$	$-8.74 \pm 2.50$	$-8.69 \pm 5.47$
$Im \delta_0$	$5.04 \pm 3.43$	$4.12 \pm 9.42$
$Re \delta_1$	$20.05 \pm 0.52$	$17.73 \pm 1.00$
$Im \delta_1$	$8.35 \pm 5.02$	$6.32 \pm 10.30$
$Re \delta_2$	$6.38 \pm 0.99$	$5.74 \pm 1.86$
$Im \delta_2$	$0.1 \pm 27.14$	$0.1 \pm 45.33$
$\chi^2$	20.95	10.47

что существуют систематические расхождения между результатами различных работ, которые могут быть устранены только дальнейшими опытами.

На рис. 7 и 8 показаны энергетические зависимости фаз рассеяния. Сюда включены данные анализа результатов *К.М. Crowe*, полученные *С.Т. Mottershead* /14/. Наиболее точно определяется доминирующая фаза  $Re \delta_1$ . Здесь также имеются заметные разногласия. Желательны дополнительные измерения, свободные от систематических ошибок.

Авторы благодарны **В.П. Дзепелову** и **Л.И. Лалидусу** за постоянный интерес к данной работе и **И.Н. Силину** за полезные обсуждения.

#### Литература

1. G.B. West. Phys.Rev., 162, 1677 (1967).
2. E.H. Auerbach, D.M. Fleming, M.M. Sternheim. Phys.Rev., 162, 1683 (1967).
3. M.M. Sternheim, R. Hofstadter. Nuovo Cimento., 38, 1854 (1965).
4. N.E. Nordberg, K.F. Kinsey. Phys.Lett., 20, 692 (1966).
5. M.M. Block, I. Kenyon, J. Keren, D. Koetke, P. Malhotra, R. Walker, H. Winzeler. Phys.Rev., 196, 1074 (1968).
6. K.M. Crowe, A. Fainberg, J. Miller, A. Parsons. Phys.Rev., 180, 1349 (1969).
7. М.С. Козодаев, Р.М. Суляев, А.И. Филиппов, Ю.А. Шербаков. ЖЭТФ, 31, 701, 1956, 33, 1047, 1957.
8. Ю.А. Будагов, П.Ф. Ермолов, Е.А. Кушниренко, В.И. Москалев. ЖЭТФ, 42, 1191 (1962).
9. I.V. Falomkin, M.M. Kulyukin, V.I. Lyashenko, A.G. Petrov, G.B. Pontecorvo, Yu.A. Scherbakov, Int. Symp. on Nuclear Electron. Versailles. Sept. 1968, vol. 1, p. 16-1.
10. М.М. Кулюкин, Д.Б. Понтекорво, И.В. Фаломкин, Ю.А. Шербаков. ПТЭ, 6, 70, 1965. I.V. Falomkin, M.M. Kulyukin, G.B. Pontecorvo, Yu.A. Scherbakov, Nucl.Instr. and Meth., 53, 266 (1967).
11. L.I. Schiff. Quantum Mechanics. McGraw-hill company, 1955 (ch.V, p. 114).
12. G.C. Oades, G. Rasche. Nucl.Phys., 20B, 333 (1970).
13. С.Н. Соколов, И.Н. Силин. Препринт ОИЯИ Д-810 (1961).
14. С.Т. Mottershead. Preprint UCRL-19216 (1969).

Рукопись поступила в издательский отдел  
19 ноября 1971 года.

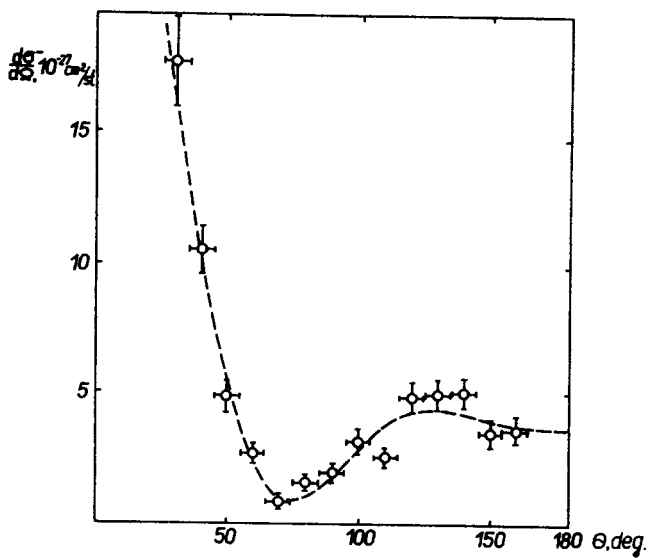


Рис. 3. Дифференциальные сечения упругого рассеяния  $\pi^-$  на He .

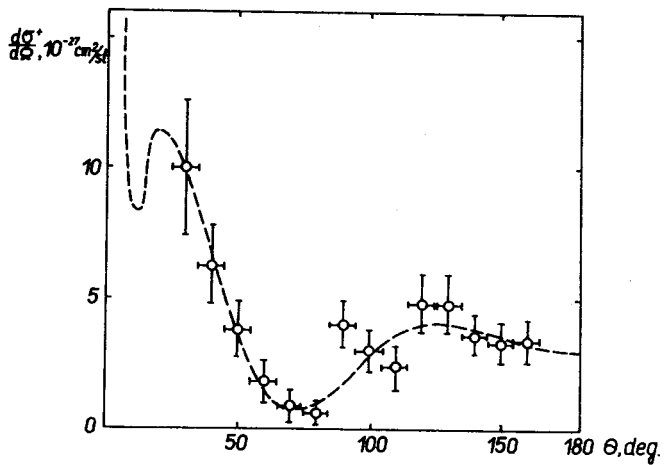


Рис. 4. Дифференциальные сечения упругого рассеяния  $\pi^+$  на He .

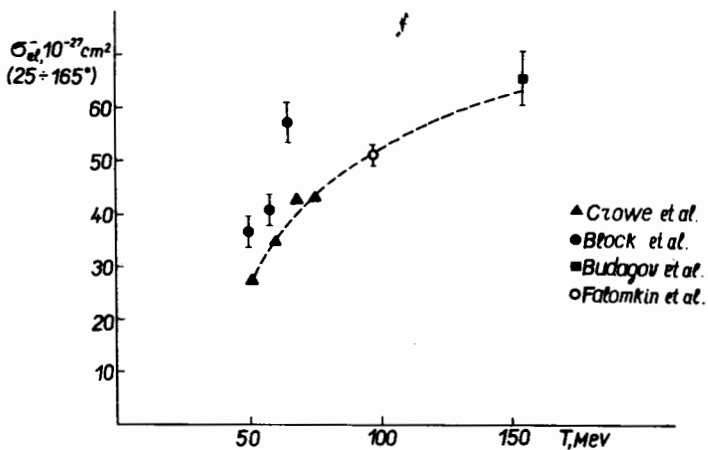


Рис. 5. Энергетическая зависимость полного сечения упругого рассеяния  $\pi^-$  на He в интервале углов  $25^\circ < \theta < 165^\circ$ .

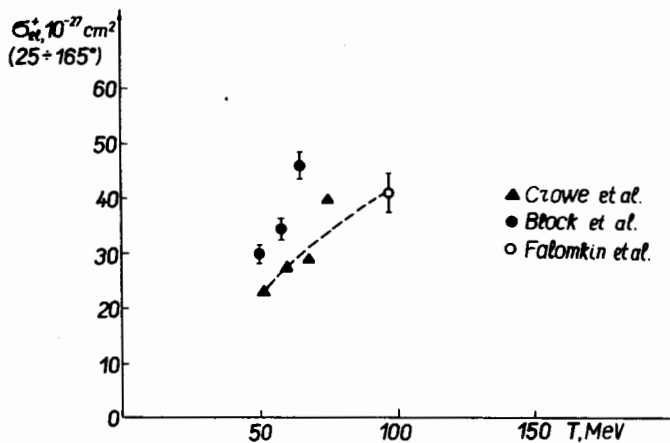


Рис. 6. Энергетическая зависимость полного сечения упругого рассеяния  $\pi^+$  на He в интервале углов  $25^\circ < \theta < 165^\circ$ .

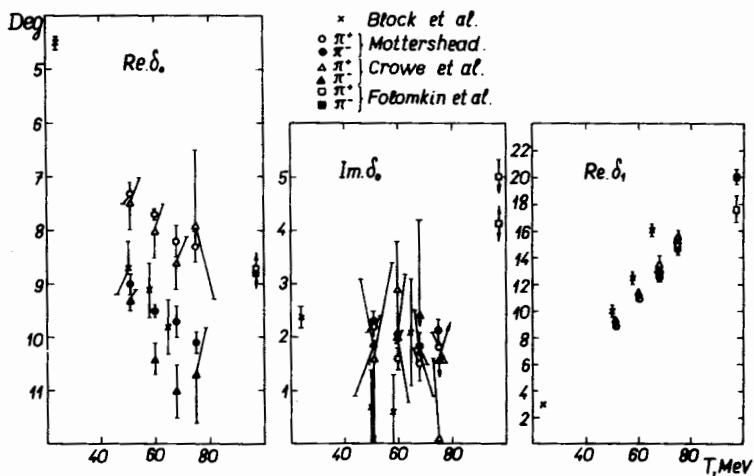


Рис. 7. Зависимость  $Re \delta_0$ ,  $Im \delta_0$ ,  $Re \delta_1$  от энергии пиона.

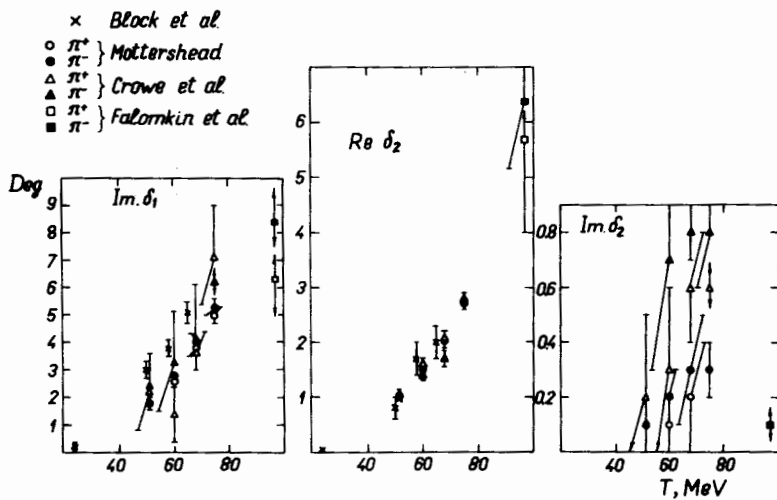


Рис. 8. Зависимость  $Im \delta_1$ ,  $Re \delta_2$ ,  $Im \delta_2$  от энергии пиона.