

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА  
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ им. М.В.ЛОМОНОСОВА

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

С346

С-57

Чжан Най-сэнь

799

ИЗУЧЕНИЕ ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ  
 $\pi^+$  - и  $K^+$  - МЕЗОНОВ  
С ИМПУЛЬСАМИ 2,5 - 5 БЭВ/С

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Научные руководители:

кандидат физико-математических наук

А.Л.Любимов

кандидат физико-математических наук

Ю.Н.Лобанов

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий  
Объединенного института ядерных исследований

Дубна 1961 год

С 346  
7-57

Чжан Най-сэнь

799

400 В  
ИЗУЧЕНИЕ ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ  
P<sup>+</sup>- и K<sup>+</sup>-МЕЗОНОВ  
С ИМПУЛЬСАМИ 2,5 - 5 БЭВ/С

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Научные руководители:

кандидат физико-математических наук

А.Л.Любимов

кандидат физико-математических наук

Ю.Н.Лобанов

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий  
Объединенного института ядерных исследований

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

Измерение сечений взаимодействия мезонов с нуклонами при высоких энергиях позволяет, во-первых, получать определенную информацию о природе этих взаимодействий, а также о структуре нуклона (поскольку длина волны мезонов с энергией порядка Бэв меньше размеров нуклона), и, во-вторых, служит для проверки некоторых общих положений теории, в частности, относящихся к предельному поведению процессов взаимодействия. Измерение сечений взаимодействия мезонов высоких энергий с ядрами позволяет получать некоторые сведения о структуре ядер, а также делать косвенные выводы о характере элементарных взаимодействий с нуклонами.

Теорема Померанчука<sup>/1/</sup>, основанная на дисперсионных соотношениях и предположении о постоянстве полных сечений при высоких энергиях, утверждает, что при больших энергиях сечения взаимодействия частиц и античастиц на одинаковых мишенях, в частности, сечения взаимодействия  $\pi^+$  и  $\pi^-$ -мезонов с протонами, сравниваются. Этот результат получается также на основании теории изотопической инвариантности, если учесть, что при больших энергиях сечение перезарядки стремится к нулю<sup>/2/</sup>. Данные о полных сечениях взаимодействия  $\pi^+p$  с импульсами большими 2 Бэв/с отсутствовали до 1959 года. Наши данные<sup>/3/</sup> при импульсе 2,9 Бэв/с и данные Лонго<sup>/4/</sup> при импульсах 1,4-4 Бэв/с по полному сечению взаимодействия  $\pi^+p$  показали, что полные сечения взаимодействия  $\pi^+p$  и  $\pi^-p$  сближаются, по-видимому, уже с импульса около 3 Бэв/с. Мы продолжили работы по измерению полных сечений взаимодействия  $\pi^+p$  в интервале импульсов 2,5-5 Мэв/с, чтобы проверить этот вывод.

Имеющиеся данные по взаимодействию  $K^+$  показали, что при 812 Мэв/с<sup>/5/</sup> неупругое сечение  $K^+$  составляет всего  $\sim 1$  мб и угловое распределение в с.п.м. упругого взаимодействия  $K^+$  остается изотропным. Из предварительного сообщения<sup>/6/</sup> следует, что при импульсах 1-2 Бэв/с угловое распределение упругого взаимодействия  $K^+$  оказалось не изотропным и неупругое сечение дает заметный вклад в полное сечение. Отсутствуют данные по упругому и неупругому

взаимодействию  $K^+p$  и  $\pi^+p$  при импульсах больших 2 Бэв/с. До сих пор экспериментально еще не установлено, есть ли множественное рождение  $\pi^-$ -мезонов при взаимодействии  $K^+$ -мезонов с протонами. Пока в статистической теории не определен объем взаимодействия для соударения  $K^+p$ . Изучение неупругого взаимодействия  $K^+p$ , а также  $\pi^+p$  при импульсах больших 2 Бэв/с представляет большой интерес.

В настоящее время имеются данные по взаимодействию  $\pi^-$ -мезонов и протонов при больших энергиях с ядрами<sup>17/</sup>. Данные же по взаимодействию  $K^+$ ,  $\pi^+$ -мезонов с ядрами при этих энергиях отсутствуют. Тонкая структура ядра мало сказывается на процессе взаимодействия частицы большой энергии с ядром. Свойства ядра можно описать моделью ферми-газа. В случае, когда длина волны частиц много меньше размеров ядер, применима оптическая модель. Из анализа данных по сечениям поглощения  $\pi^-$ -мезонов ядрами и полным сечениям взаимодействия  $\pi^-$ -мезонов с нуклонами можно получить сведения о размере и прозрачности ядер.

Реферлируемая работа посвящена исследованию ядерных взаимодействий  $\pi^+$  и  $K^+$ -мезонов при импульсах 2,5-5 Бэв/с. Она состоит из двух частей.

А) Измерены полные сечения взаимодействия  $\pi^+$ -мезонов с импульсами 2,72; 3,70 и 4,75 Бэв/с с протонами, а также сечения поглощения  $K^+$ -мезонов с импульсом 4,75 Бэв/с ядрами  $C, Al, Cu$ .  $\pi^+$ -мезонов с импульсами 2,72, 3,70, 4,75 Бэв/с с ядрами  $C, Al, Cu, Sn$  и  $p, v$ . Для проверки измерены одновременно сечения взаимодействия протонов с импульсом 2,72 Бэв/с с протонами и ядрами.

Б) Подготовлен опыт по изучению неупругого взаимодействия  $K^+$ - и  $\pi^+$ -мезонов с протонами. Разработана и налажена основная часть аппаратуры для измерения сечений неупругого взаимодействия  $K^+$  и  $\pi^+$ -мезонов с импульсами 2,5-5 Бэв/с с протонами.

Изложенная в диссертации работа является частью работы, выполненной автором совместно с А.С.Вовенко, Б.А.Кулаковым, М.Ф.Лихачевым, А.Л.Любимовым, Ю.А.Матуленко, Г.В.Мельниковым, И.А.Савиным, Е.В.Смирновым, В.С.Ставнским, С.Я.Юдн-чан, Хэ Юан-фу и товарищами из Бюро новых разработок Лаборатории высоких энергий. Приведенные результаты получены в 1959-61 г.г. Часть основных

результатов опубликована в работах<sup>18/,19/,10/,11/,12/</sup> и часть предварительных данных была доложена на IX и X Международных конференциях по физике высоких энергий в Киеве и в Рочестере.

Диссертация состоит из четырех глав. Первая глава содержит некоторые вводные сведения и краткий обзор материала по изучению взаимодействия  $K^+$ - и  $\pi^+$ -мезонов с протонами и ядрами. Во второй главе описывается установка, применявшаяся в опытах по измерению полных сечений и сечений поглощения, и установка, налаженная на пучке синхрофазотрона, для проведения опытов по неупругому взаимодействию  $K^+p$  и  $\pi^+p$  при импульсах 2,5-5 Бэв/с. В третьей главе дается описание работы по формированию пучка  $K^+$ - и  $\pi^+$ -мезонов и изложена постановка опытов. Результаты опытов и обсуждение результатов приводятся в четвертой главе.

### Эксперимент

Описанные в диссертации исследования были выполнены на пучке положительно заряженных частиц синхрофазотрона Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований.

А) Полные сечения и сечения поглощения измерялись электроникой методом выбывания частиц из пучка в условиях хорошей геометрии.

Мы имели возможность производить опыты с пучком положительных частиц с импульсами от 2,5 Бэв/с до 5,0 Бэв/с. Пучок состоял обычно из 2-1%  $\mu^-$ -мезонов, 40-25%  $\pi^+$ -мезонов,  $\sim 1\%$   $K^+$ -мезонов и 56-72% протонов. Выделение  $K^+$ ,  $\pi^+$ -мезонов из пучка осуществлялось путем определения импульса и скорости частиц.

Импульсы частиц определялись магнитной системой, состоящей из магнитных полей в ускорителе, в отклоняющем магните и в двух квадрупольных линзах. Скорость частиц определялась газовыми черенковскими счетчиками. Частицы регистрировались телескопом из счетчиков.

Телескоп состоял из двух сцинтилляционных счетчиков (S), двух угловых газовых черенковских счетчиков (Y) и одного порогового газового черенковского

счетчика (П). Импульсы от счетчиков подавались на быструю ( $5 \times 10^{-9}$  сек) схему совпадений и антисовпадений. Разными комбинациями включения счетчиков в схему совпадений и антисовпадений мы регистрировали либо отдельно  $\pi^+$ -мезоны, либо отдельно  $K^+$ -мезоны, либо отдельно протоны с импульсом 2,5 - 5 Бэв/с. Было обеспечено подавление фоновых частиц в  $10^4 - 10^5$  раз, что давало чистоту выделения  $K^+$ -мезонов  $\sim 99\%$ .

В качестве мишени для измерения сечения взаимодействия частиц с протонами использовался жидкий водород в пенополистироловой мишени или же эффект определялся по разности измерений с полиэтиленом и графитом ( $CH_2-C$ ), при одинаковом количестве ядер углерода в мишени.

Б) Подготовка опыта по изучению неупругого взаимодействия  $K^+$ -,  $\pi^+$ -мезонов с протонами.

С целью выяснения поведения неупругого взаимодействия  $K^+p$ ,  $\pi^+p$  при импульсах 2,5-5 Бэв/с и сопоставления свойств взаимодействий  $K^+p$  и  $\pi^+p$  нами была разработана и налажена на пучке синхрофазотрона установка для измерения неупругого взаимодействия  $K^+p$  и  $\pi^+p$ . Она предназначена для определения числа и направлений вылета из мишени вторичных частиц от взаимодействия  $K^+p$  или  $\pi^+p$  или от распада рожденных при взаимодействии  $K^+p$  или  $\pi^+p$  частиц в большом телесном угле.

При импульсе 2,5-5 Бэв/с неупругие взаимодействия  $K^+p$  и  $\pi^+p$  имеют много возможных каналов, удовлетворяющих известным законам сохранения. Это требует, чтобы установка имела большое пространственное разрешение и хорошее разрешение по числу регистрируемых вторичных частиц, в связи с чем мы разработали сцинтилляционный годоскоп и многоканальную электронную схему.

Установка состоит из четырех частей. Блок-схема показана на рис. 1.

1) Телескоп из сцинтилляционных и газовых черенковских счетчиков и быстрой схемы совпадений и антисовпадений, с помощью которого выделялись случаи, когда частицы ( $K^+$ - или  $\pi^+$ -мезон) взаимодействуют с протоном в мишени жидкого водорода. Импульсы с быстрой схемы совпадений управляют 20-канальной электронной схемой.

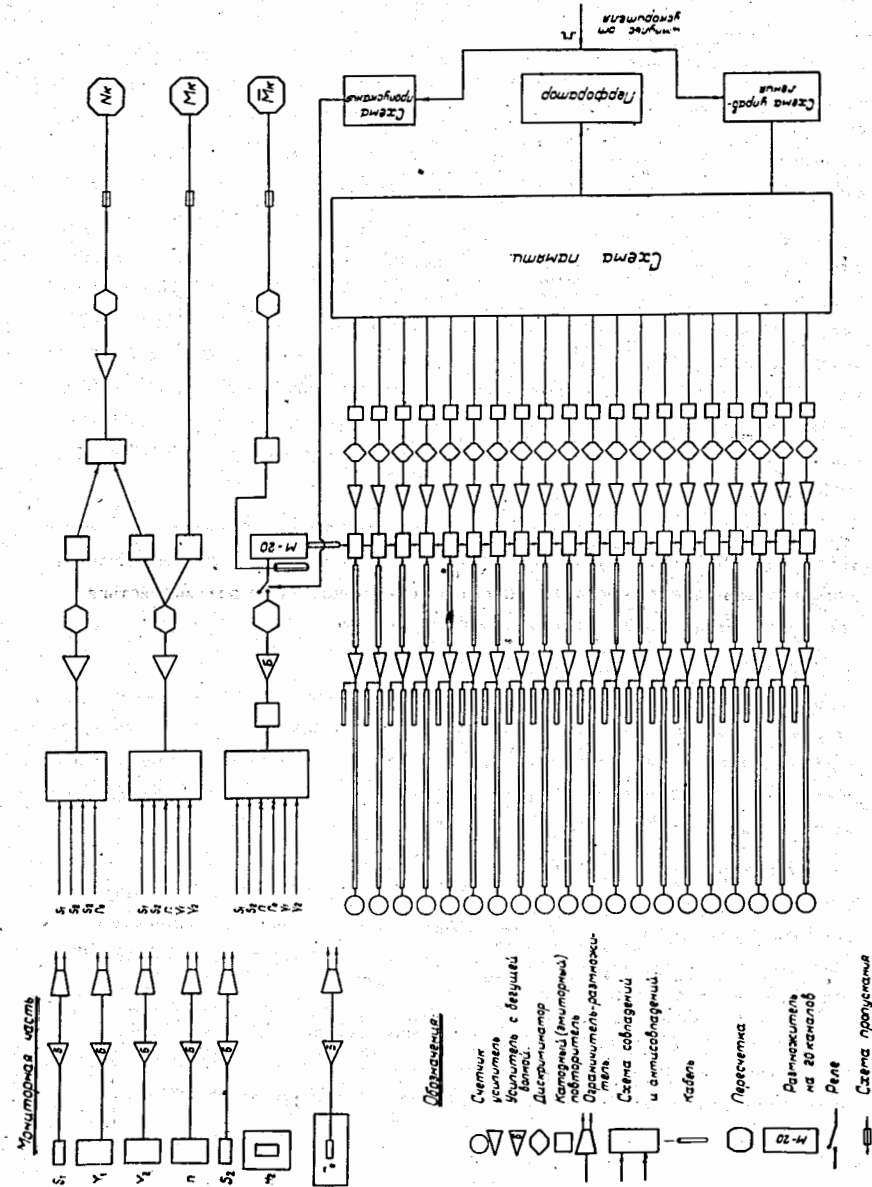


Рис. 1. Блок-схема многосчетчиковой системы.

2) 50 - сантиметровая мишень жидкого водорода (объем 22 литра), изготовленная из пенополистирола. В мишени содержится  $3,5 \text{ г/см}^2$  водорода на пучке. Для регистрации вторичных частиц из мишени, вылетающих на большие углы, мишень окружена 5 сцинтилляционными счетчиками размером  $\sim 500 \times 500 \text{ мм}$ . Свет от каждого сцинтиллятора собирается одним фотоумножителем типа ФЭУ-50.

3) Сцинтилляционный годоскоп с перекрывающейся системой сцинтилляторов. Этот годоскоп расположен за мишенью и предназначен для регистрации вторичных частиц из мишени, вылетающих вперед. 8 кольцевых и 16 секторных сцинтилляторов образуют около 100 ячеек для определения числа вторичных частиц и их пространственных координат. Самый большой кольцевой сцинтилляционный счетчик имеет диаметр 1 метр. Все сцинтилляторы просматривались фотоумножителями типа ФЭУ-33 или ФЭУ-24. На пучке синхрофазотрона проверялись эффективности регистрации частиц кольцевыми и секторными счетчиками. Они составляли  $\sim 95\%$ .

4) Электронная многосчетчиковая система, налаженная на пучке синхрофазотрона, имеет 20 каналов. Она работает вместе со сцинтилляционным годоскопом и дает информацию типа "да" и "нет" о том, какие из счетчиков в годоскопе сработали одновременно с управляющей группой счетчиков в телескопе.

Схема собрана на полупроводниковых диодах и триодах. Двадцать двойных схем совпадений после дискриминатора быстрой (5 нсек) схемы совпадений (см. рис.1) имеют разрешающее время 25-30 нсек и чувствительность, удовлетворяющую требованиям высокоэффективной работы с газовыми черенковскими счетчиками и большими (диаметр  $\sim 1$  метр) кольцевыми сцинтилляционными счетчиками.

Схема памяти собрана на полупроводниковых элементах. В качестве запоминающих ячеек в матрицах системы использованы ферритовые кольца с прямоугольной петлей гистерезиса типа МЭД-1. Схема памяти обеспечивает надежную запись 8 событий за цикл в каждом из двадцати каналов. Мертвое время регистрации не превышает 10 мксек.

Считывание информации с матриц производится в промежутки времени между циклами вывода пучка из синхрофазотрона (15 сек). Информация выводится на перфорированную пленку путем пробивания отверстий на последней.

На этой установке проводится опыт по изучению неупругих взаимодействий  $\pi^+p$  и  $K^+p$  на пучке синхрофазотрона. На первом этапе эксперимент проводится совместно с измерением полного сечения взаимодействия  $\pi^+p$  и  $K^+p$  с мишенью из жидкого водорода длиной 1,68 метра. Годоскоп стоит за мишенью и вырезает угол из центра мишени в лабораторной системе  $\theta = 12^\circ \begin{smallmatrix} +4,5^\circ \\ -3,5^\circ \end{smallmatrix}$ , соответствующий углу в с.ц.м.  $\theta^* = 38^\circ \begin{smallmatrix} +15^\circ \\ -13^\circ \end{smallmatrix}$  для упругого взаимодействия  $K^+p$  при импульсе 5 Бэв/с.

На втором этапе в опыте будет использоваться мишень жидкого водорода длиной 50 см, окруженная 5 сцинтилляционными счетчиками и годоскопом, которые будут регистрировать почти все вторичные частицы ( $\pi^+p$ ), вылетающие из мишени, что дает возможность увидеть полную картину неупругого взаимодействия.

Аппаратуру возможно также использовать для определения числа  $\pi^0$ -мезонов, рожденных при взаимодействиях  $\pi^+p$  или  $K^+p$ .

### Результаты

В таблицах I, II, III, IV приведены полученные данные по полному сечению взаимодействия  $\pi^+p$  и  $pp$  и данные по сечениям поглощения  $\pi^+$  и  $K^+$ -мезонов и протонов ядрами. Приведенные данные поправлены на "рассеяния вперед" по экспериментальным данным или по оптической теореме и на кулоновское рассеяние (с использованием результатов расчета Штернхаймера)<sup>14/</sup>. В данные о сечениях  $\pi^+$ -мезонов внесены также поправки на примесь  $\mu$ -мезонов в пучке. Доля  $\mu$ -мезонов в пучке измерялась экспериментально или оценивалась теоретически.

Таблица I

Полные сечения взаимодействия  $\pi^+$ -мезонов и протонов с протонами

Взаимодействие	Импульс Бэв/с	Полное сечение МБ
$\pi^+p$	2,72	$28,2 \pm 2,3$
$\pi^+p$	3,70	$30,0 \pm 1,2$
$\pi^+p$	4,75	$28,3 \pm 1,4$
$pp$	2,72	$44,7 \pm 1,7$

Таблица II

Сечения поглощения  $K^+$ -мезонов на ядрах

Взаимодействие	Импульс Бэв/с	Сечение погло- щения М.Б
$K^+C$	4,75	$136 \pm 21$
$K^+Al$	4,75	$254 \pm 33$
$K^+Cu$	4,75	$430 \pm 120$

Таблица III

Сечения поглощения  $\pi^+$ -мезонов на ядрах

Взаимодействие	Импульс Бэв/с	Сечение поглощения МБ
$\pi^+C$	2,72	$208 \pm 7$
$\pi^+Sn$	2,72	$1299 \pm 110$
$\pi^+Pb$	2,72	$1989 \pm 120$
$\pi^+C$	3,70	$201 \pm 12$
$\pi^+Al$	3,70	$368 \pm 19$
$\pi^+Cu$	3,70	$758 \pm 64$
$\pi^+Sn$	3,70	$1288 \pm 150$
$\pi^+Pb$	3,70	$1996 \pm 187$
$\pi^+C$	4,75	$187 \pm 8$
$\pi^+Al$	4,75	$358 \pm 12$
$\pi^+Cu$	4,75	$726 \pm 37$
$\pi^+Sn$	4,75	$1276 \pm 80$
$\pi^+Pb$	4,75	$1973 \pm 170$

Таблица IV

Сечения поглощения протонов на ядрах

Взаимодействия	Импульс Бэв/с	Сечения поглощения МБ
$P C$	2,72	$259 \pm 8$
$P Sn$	2,72	$1221 \pm 110$
$P Pb$	2,72	$1728 \pm 105$

## Обсуждение

А) На рис. 2 показаны данные по полному сечению взаимодействия  $\pi^+p$  и  $\pi^-p$  в интервале импульсов 1 - 5 Бэв/с полученные нами, а также другими авторами. Эти данные позволяют сделать следующие выводы:

1. В интервале импульсов 2,5 - 5 Бэв/с полное сечение взаимодействия  $\pi^+$ -мезонов с протонами равно  $\sim 29$  МБ и в пределах экспериментальных ошибок остается постоянным.

2. Из общих ходов полных сечений взаимодействий  $\pi^+p$  и  $\pi^-p$  (рис.2) видно, что в пределах экспериментальных ошибок полные сечения взаимодействия  $\pi^+p$  и  $\pi^-p$  в интервале импульсов 2,5 - 5 Бэв/с сближаются в соответствии с предсказаниями теорем (1) и (2) о равенстве сечений  $\pi^+p$  и  $\pi^-p$  при больших энергиях. Следует однако учесть, что здесь сравниваются между собой результаты различных опытов.

3. По теории изотопической инвариантности из предыдущего вывода следует, что при этих импульсах сечения перезарядки ( $\pi^-+p \rightarrow \pi^0+n$ ,  $\pi^+n \rightarrow \pi^0p$ ) становятся весьма малыми. И полное сечение взаимодействия  $\pi^0p$ , которое трудно измерять экспериментально, тоже сближается со значениями полных сечений  $\pi^+p$  и  $\pi^-p$ . Таким образом, в этом интервале импульса полные сечения взаимодействия  $\pi^+$ -мезон-нуклон уже мало зависят от изотопического спина системы.

4. Из сопоставления результатов измерения полных сечений взаимодействия  $\pi^+$ -мезонов с протонами с полными сечениями взаимодействия  $K^+$ -мезонов, полученными нашей группой /9/, /12/ и другими авторами /6/, /13/ видно, что полные сечения взаимодействия  $\pi^+p$  в интервале импульсов 2,5-5 Бэв/с остаются больше, чем сечения взаимодействия  $K^+p$ . Из анализа кривых зависимости полных сечений взаимодействия  $\pi^+p$  и  $K^+p$  от энергии можно думать, что соотношение  $\sigma_{\pi^+p} > \sigma_{K^+p}$  будет справедливым и в области импульсов, больших 5 Бэв/с.

Б) Анализ данных по сечениям поглощения ядрами  $\pi^+$ - и  $K^+$ -мезонов и протонов дает следующие закономерности.

1. Из данных для  $\pi^+$ -мезонов (таблица III) видно, что с увеличением

атомного веса ядер ( $A$ ) сечения поглощения  $\pi^+$ -мезонов ядрами растут медленнее, чем атомные веса. С увеличением атомного веса рост сечения поглощения становится более медленным и для ядер, начиная с олова, рост сечения происходит пропорционально  $A^{2/3}$ . Это означает, что при больших атомных весах ядра становятся полностью непрозрачными для  $\pi^+$ -мезонов и поэтому рост сечения поглощения пропорционален увеличению геометрического сечения ядра.

2. Из сравнения сечений поглощения для  $\pi^+$ -мезонов и протонов при импульсе 2,72 Бэв/с (таблица III, 1У) видно, что сечения поглощения углеродом протонов больше, чем  $\pi^+$ -мезонов. Это объясняется тем, что полное сечение взаимодействия с протонами протонов больше чем  $\pi^+$ -мезонов при этом импульсе (см. таблица 1) и поэтому для легких элементов ядра более прозрачны для  $\pi^+$ -мезонов, чем для протонов. Представлению о меньшей прозрачности легких ядер к протонам соответствует и тот факт, что область пропорциональности  $A^{2/3}$  сечений поглощения ядрами протонов захватывает и такие легкие ядра, как углерод, в отличие от того, что имеет место для  $\pi^+$ -мезонов. В соответствии с этим следует ожидать, что на тех ядрах, которые полностью непрозрачны для  $\pi^+$ -мезонов ( $S_n, p^b$ ) сечения поглощения протонов уже не должны превышать сечений поглощения  $\pi^+$ -мезонов. Это действительно наблюдается на опыте.

3. На рис. 3 приведены данные, характеризующие прозрачность ядер различного атомного веса для взаимодействий с  $\pi^+$  и  $K^+$ -мезонами с импульсом 4,75 Бэв/с. Величины радиусов ядер ( $R$ ) взяты из данных по рассеянию электронов на ядрах <sup>15/</sup>. Как видно из рис. 3, прозрачность ядер среднего атомного веса для  $K^+$ -мезонов меньше зависит от атомного веса, чем для  $\pi^+$ -мезонов.

4. Согласно оптической модели, сечение неупругого взаимодействия  $\pi^-$ -мезонов с ядрами для Гауссова распределения плотности нуклонов в ядрах

$$\rho(r) = A \pi^{-3/2} a^{-3} e^{-r^2/a^2}$$

имеет вид <sup>18/</sup>

$$\sigma_{in}(\pi, A^A) = \pi a^2 \left[ 0.577 + \ln \frac{A \bar{\sigma}_{\pi^+ N}}{\pi a^2} - E_i \left( -\frac{A \bar{\sigma}_{\pi^+ N}}{\pi a^2} \right) \right],$$

где  $E_i$  - интегральная экспонента,  $a$  - параметр распределения взят для разных ядер из работ Хофштадтера <sup>15/</sup>.

Если взять  $\bar{\sigma}_{\pi^+ N} = 29 \pm 2$  мб (см. таблица 1 и пункт А-3 этого раздела), то по этой формуле получаются следующие значения сечения неупругого взаимодействия  $\pi^+$ -мезонов с ядрами.

Таблица У.

Сечения неупругого взаимодействия  $\pi^+$ -мезонов с ядрами, рассчитанные по оптической модели

$\sigma_{in}(\pi^+, C)$	= 198 <sup>+8</sup> <sub>-10</sub> мб
$\sigma_{in}(\pi^+, Al)$	= 375 <sup>-13</sup> <sub>+12</sub> мб
$\sigma_{in}(\pi^+, Cu)$	= 755 <sup>-28</sup> <sub>+25</sub> мб
$\sigma_{in}(\pi^+, Sn)$	= 1172 <sup>+38</sup> <sub>-32</sub>
$\sigma_{in}(\pi^+, Pb)$	= 1800 <sup>+40</sup> <sub>-40</sub> мб

Из сравнения с таблицей III видно, что в пределах экспериментальных ошибок экспериментально измеренные величины сечений поглощения согласуются с рассчитанными по оптической теории значениями сечений неупругого взаимодействия.

Для тяжелых элементов это согласие хотя и несколько хуже, но тоже удовлетворительно. Поскольку в измеряемую на опыте величину сечения поглощения входят, вообще говоря, как сечения неупругого взаимодействия, так и сечение недифракционного упругого рассеяния, то сравнение данных таблицы 1У и У показывает, что возможный вклад упругого недифракционного рассеяния невелик.



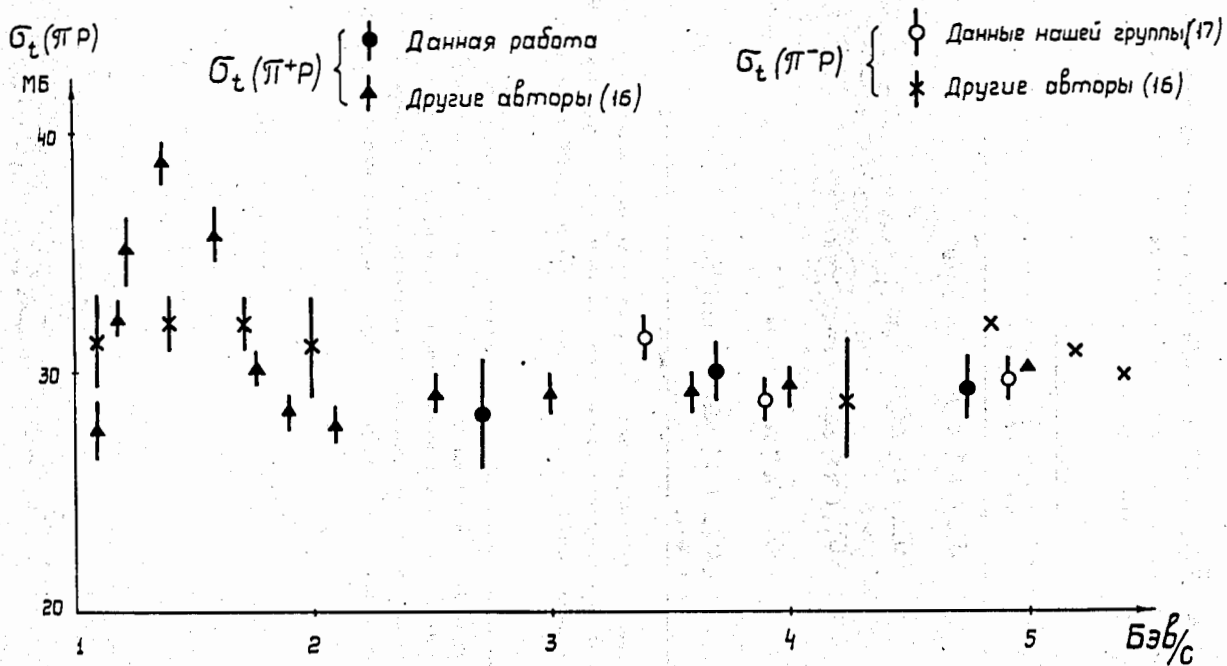


Рис. 2. Полные сечения взаимодействия  $\pi^+ p$  и  $\pi^- p$

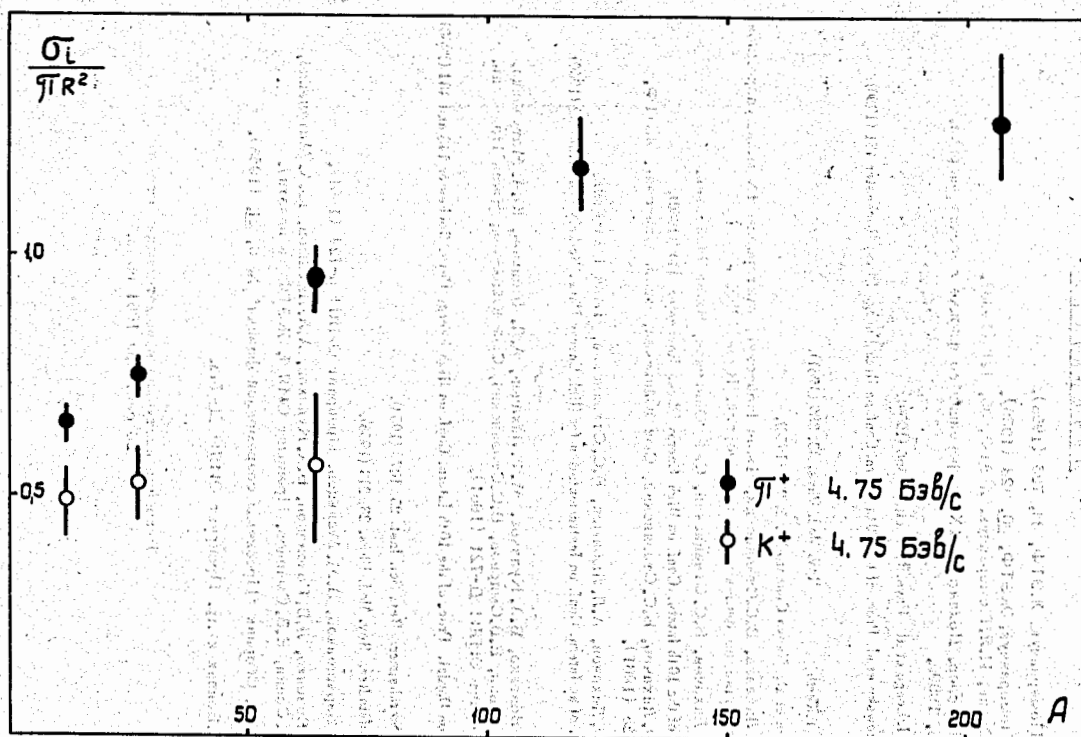


Рис. 3. Зависимости прозрачности ядер для  $\pi^+$ ,  $K^+$ -мезонов от атомного веса.

Л и т е р а т у р а

1. И.Я. Померанчук. ЖЭТФ, 34, 725 (1958).
  2. И.Я. Померанчук. ЖЭТФ, 30, 423 (1956),  
Л.Б. Окунь, И.Я. Померанчук. ЖЭТФ, 30, 421 (1958).
  3. В.И. Векслер. Доклад на IX конференции по физике высоких энергий,  
Киев, 1959г.
  4. Michel J. Longo et al. Phys. Rev. Lett. 3; 568 (1959).
  5. W. Chenowsky et al. Proc. of the 10th Intern. Conf. on High Energy Phys. Rochester 451 (1960).
  6. Lerou T. Kerth Rev. Mod. Phys. 33, 389 (1961).
  7. T. Bowen et al. Nuovo Cimento IX, 5, 908 (1958).
  8. М.Ф. Лихачев, В.С. Ставинский, Чжан Най-сэнь. Материалы IX международной  
конференции по физике высоких энергий. Киев 1959.
  9. М.Ф. Лихачев, В.С. Ставинский, Сюй Юйнь-чан, Чжан Най-сэнь.  
Proc. of the 10th Intern. Conf. on High Energy Phys. Rochester 444, (1960).
  10. М.Ф. Лихачев, В.С. Ставинский, Сюй Юйнь-чан, Чжан Най-сэнь. ЖЭТФ,  
41, 38 (1961).
  11. М.Ф. Лихачев, А.Л. Любимов, В.С. Ставинский, Чжан Най-сэнь,  
Proc. of an Intern. Conf. on Instrumentation for High Energy Phys. Berkeley California 89 (1960).
  12. А.С. Вовенко, Б.А. Кулаков, М.Ф. Лихачев, А.Л. Любимов, Ю.А. Матуленко,  
И.А. Савин, Е.В. Смирнов, В.С. Ставинский, Сюй Юйнь-чан, Чжан Най-сэнь.  
Препринт ОИЯИ Д-721 (1961).
  13. G. Von Dardel. Proc. of the 10th Intern. Conf. on High Energy Phys. Rochester 148 and 484 (1960).
  14. R.M. Sternheimer. Rev. Sci. Inst. 25, 1070 (1954).
  15. R. Hofstadter. Rev. Mod. Phys. 28, 214 (1956).
  16. В.С. Барашенков, В.М. Мальцев. Препринт ОИЯИ р-724 (1961).
  17. А.С. Вовенко, Л.Б. Голованов, Б.А. Кулаков, А.Л. Любимов, Ю.А. Матуленко,  
И.А. Савин, Е.В. Смирнов. Препринт ОИЯИ, ЖЭТФ (в печати).
  18. Г. Бете. Сборник "Проблемы современной физики" № 6, 21 (1958).
- Б.П. Банник и др. Препринт ОИЯИ Д-743.

Рукопись поступила в издательский отдел  
28 сентября 1961 года.