

C-473

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1 - 8756

СЛЕПЕЦ
Людмила Андреевна

УПРУГОЕ π^- ^4He -РАССЕЯНИЕ НА МАЛЫЕ УГЛЫ
ПРИ 3,48 И 6,13 ГЭВ/С

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1975

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий
Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук Л.Н.Струнов.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук В.С.Мурзин,
кандидат физико-математических наук В.Г.Гришин.

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Институт физики высоких энергий, г. Серпухов.

Автореферат разослан " " _____ 1975 г.

Защита состоится " " _____ 1975 г. в " " час.
на заседании Ученого совета Лаборатории высоких энергий
Объединенного института ядерных исследований (г.Дубна,
Московской области).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
Объединенного института ядерных исследований.

Ученый секретарь Совета

кандидат физико-математических наук

М.Ф.Лихачев

1 - 8756

СЛЕПЕЦ
Людмила Андреевна

УПРУГОЕ π - ^4He -РАССЕЯНИЕ НА МАЛЫЕ УГЛЫ
ПРИ 3,48 И 6,13 ГЭВ/С

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Знание амплитуд упругих адронных процессов необходимо для проверки и дальнейшего развития теории сильных взаимодействий, а вместе с этим и для проверки и установления границ применимости фундаментальных физических принципов: причинности, унитарности, лоренц-инвариантности, аналитичности, на которых основываются и квантовая теория поля, и дисперсионные соотношения, и теория комплексных моментов. В настоящее время теоретические соотношения и утверждения принимают характер асимптотических теорем, точные критерии, как правило, указать не удается в силу невозможности пока полностью описать явления. Тем существеннее и важнее проявляется роль эксперимента в изучении взаимодействий элементарных частиц при высоких энергиях.

Информацию о структуре амплитуды упругого πN -рассеяния можно получить несколькими способами. Например, при малых энергиях это можно сделать методом фазового анализа. Он имеет много достижений, однако практически неприменим при высоких энергиях.

Можно описать амплитуду πN -рассеяния методом амплитудного анализа в результате проведения так называемого полного опыта, заключающегося в измерении дифференциальных сечений, поляризации, параметров вращения спина R и A в реакциях $\pi^{\pm}p \rightarrow \pi^{\pm}p$, $\pi^{-}p \rightarrow \pi^{0}p$. Однако путь этот сложен, точности измерения поляризационных параметров еще невысоки и поставленная цель не достигнута. Недостатком этого метода является невозможность определения общего фазового фактора для всех составляющих πN -амплитуды. Его можно определить в опытах по кулоновской интерференции, изучая упругое рассеяние пионов на протонах или ядрах, а также по интерференции кратных рассеяний пионов на нуклонах ядра.

Пожалуй, самый простой путь получения информации о модулях и фазах зависящей и не зависящей от спина частей πN -амплитуды — это совместный анализ данных по упругому $\pi^{\pm}p$ -рассеянию и рассеянию пионов на бесспиновых ядрах. Однако по этому пути пройдено самое короткое расстояние. Как один из первых шагов можно рассматривать результаты работ, представляемых в диссертации и содержащихся в публика-

циях^{1,2,3,4/}. В них изучалось рассеяние пионов на бесспиновом ядре ${}^4\text{He}$ с целью получения данных о бесспиновой части амплитуды упругого πN -рассеяния и эквивалентном радиусе ядра. В методическом смысле ядро ${}^4\text{He}$ удобно тем, что в связанном состоянии не имеет возбужденных уровней.

В первой главе коротко описывается дифракционная теория рассеяния Глаубера^{5/}, ее некоторые экспериментальные приложения и обзор экспериментальных работ по упругому рассеянию пионов на легких ядрах.

Модель Глаубера справедлива в области малых переданных импульсов и исходит из многократности соударений частицы внутри ядра, предполагая аддитивность разностей фаз упругих рассеяний на отдельных нуклонах. Амплитуды рассеяний разных кратностей интерферируют, образуя в угловых распределениях максимумы и минимумы, положение которых определяется радиусом ядра.

Эта модель дает описание рассеяния адронов на ядрах через параметры элементарных амплитуд и формфактор ядра. Таким образом, можно получить информацию об амплитудах адрон-адронных взаимодействий и о структуре ядра из данных по рассеянию адронов на ядрах.

Экспериментальная ситуация характеризуется большим методическим разнообразием, но наибольший удельный вес принадлежит электронным методам детектирования рассеянной частицы или частиц рассеянной и отдачи.

В области малых переданных импульсов экспериментальные данные практически отсутствуют. Пожалуй, только в одной работе Гобби и др.^{6/} изучалось рассеяние частиц на ${}^{12}\text{C}$ на малые углы, но из-за низкого энергетического разрешения не были идентифицированы процессы с возбуждением ядра.

Опыты по рассеянию пионов на дейтронах выполнены в области энергий $0,9 \pm 15$ ГэВ в диапазоне передач $0,165 \leq |t| \leq 2,28$ (ГэВ/с)^{2/7/}. В этих опытах наблюдается хорошее согласие с теорией Глаубера до значений $|t| \approx 0,7 + 0,8$ (ГэВ/с)², расхождение при $|t| > 0,8$ (ГэВ/с)² пока определенного объяснения не имеет. Все работы характеризуются абсолютной точностью измерений $15\% \pm 20\%$, статистические ошибки $3\% \pm 19\%$.

По упругому π - ${}^4\text{He}$ -рассеянию есть две работы: при $1,25$ ГэВ/с^{8/} и $7,76$ ГэВ/с^{9/}. Измерения проводились в области передач $0,15 \leq |t| \leq 0,5$ (ГэВ/с)² в^{8/} и при $0,05 \leq |t| \leq 0,5$ (ГэВ/с)² в^{9/}. Данным обеих ра-

бот присущи большие ошибки, и поэтому физические выводы носят качественный характер.

В заключение можно сказать, что модель Глаубера является оригинальным аппаратом для изучения свойств элементарных процессов и структуры ядра, представляющим иногда уникальные возможности, например, получение информации о спиновой зависимости амплитуды упругих процессов, ее фазе, зависимости фазы от t и т.д. Эти возможности, несомненно, надо реализовать, залогом успеха в этом направлении является повышение точности измерений.

Во второй главе речь идет об экспериментальной установке, ее работе и системе контроля.

Экспериментальная установка показана на рис.1. В качестве мишенно-детектора служила камера Вильсона $50 \times 50 \times 50$ см³, помещенная в магнитное поле. В работе использовалась методика детектирования частицы отдачи. Суть ее состоит в том, что камера, работая с пониженным коэффициентом расширения, регистрирует лишь сильноионизирующие α -частицы отдачи малой энергии и мало чувствительна к высокоэнергичным частицам, позволяя тем самым работать с пионным пучком большой интенсивности ($5 \cdot 10^4$ частиц/цикл.).

Альфа-частицы отдачи, явившиеся результатом упругого π - ${}^4\text{He}$ -рассеяния в камере, регистрировались фотографическим методом, а мониторинг пучка осуществлялся мониторирующей системой, состоящей из фотоэмульсий и электронного монитора.

Съемка треков производилась стереокамерой ЛИТМО с тремя объективами "Руссар-плазмат БВ" через толстое камерное стекло. Объективы были рассчитаны так, что преломления, испытываемые лучом света в камерном и прижимных стеклах, были взаимно скомпенсированы.

Как известно, при спектрометрировании быстрых рассеянных частиц для получения хорошего t -разрешения $\Delta t = 2K_0 \theta d \theta$ необходимы высокие точности измерения углов θ , возрастающие с ростом импульса K_0 . жестче становятся и требования к импульсному анализу.

При спектрометрировании же частицы отдачи, разрешение по t практически не зависит от энергии налетающей частицы. Импульс частицы отдачи довольно точно определяется по пробегу, обеспечивая в нашем случае разрешение $\Delta t \approx 1,5 \cdot 10^{-3}$ (ГэВ/с)². Явное преимущество этого метода проявляется в исследовании упругого рассеяния на ядрах, т.к. практически только так можно дискриминировать события с развалом ядра и его возбуждением.

Рис. 1.
Схема экспериментальной установки и камерный снимок с медленными альфа-частицами отдачи на фоне бледной туманной полосы пучка.

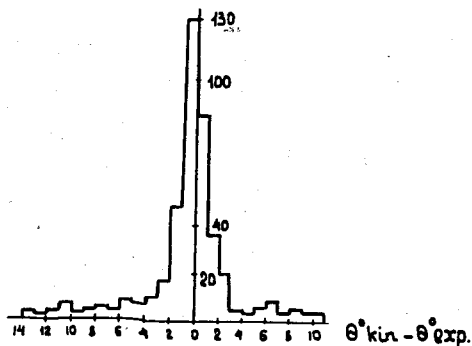
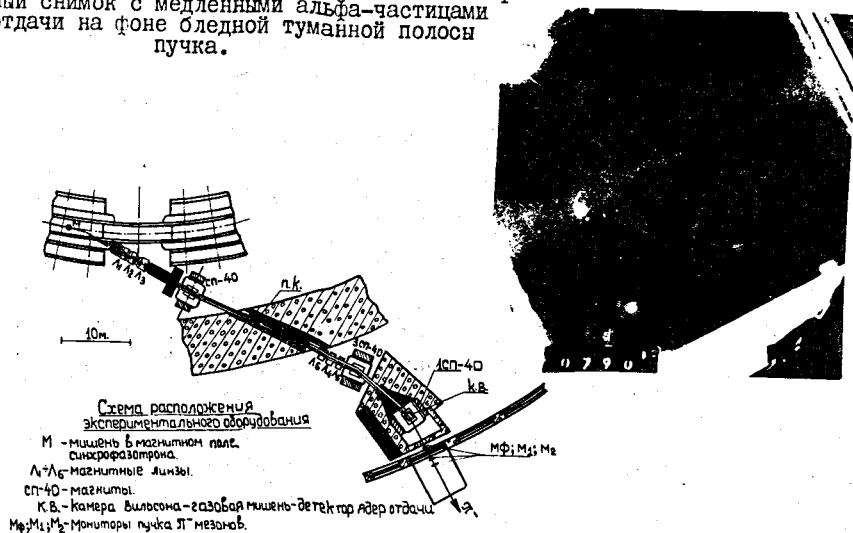


Рис. 2. Распределение разностей измеренных и кинематически соответствующих импульсу углов вылета альфа-частиц отдачи в интервале переданных импульсов 135-155 МэВ/с.

В главе третьей подробно излагается методика измерения потока пионов, абсолютная величина которого регистрировалась фотоэмульсиями. Для определения доли потока, приходящейся на нерабочие кадры, использовалась информация интегрального электронного монитора об интенсивности пучка в каждом отдельном импульсе. Подробно обсуждаются источники погрешностей и сделаны их оценки. Точность измерения потока при 3,48 ГэВ/с составляет менее 3%, при 6,13 ГэВ/с - 13,8%.

Одной из методических проблем было определение состава газовой смеси, наполнявшей камеру. Дело в том, что из-за диффузии воздуха через диафрагму и майларовые окна количественное соотношение между составными частями газовой смеси, состоявшей из гелия, паров воды и продифундировавшего воздуха, изменялось во времени. Эти изменения не привели к значительному изменению плотности гелия в камере, однако существенно отразились на тормозной способности газовой смеси. Поэтому весь полученный экспериментальный материал был поделен на несколько частей, для каждой из которых были определены свои тормозные параметры в зависимости от состава смеси.

Метод определения этого состава основан на пропорциональности количества звезд, имеющих более двух черных лучей, количеству атомов с $Z > 2$. Звезды на фотопленке свидетельствуют о неупругих соударениях пионов с ядрами типа ядер кислорода, приведших к развалу этих ядер.

Плотность гелия была определена с точностью 1,5% при 3,48 ГэВ/с и 2,1% при 6,13 ГэВ/с. Парциальное давление воздуха составляло $(2,7 \pm 0,4)\%$ при 3,48 ГэВ/с $(2,7 \pm 1,6)\%$ при 6,13 ГэВ/с.

В четвертой главе излагается методика обработки трекового материала. Описываются метод просмотра стереоснимков, критерии отбора следов остановившихся в камере частиц. Эффективность двукратного просмотра 99,5% - 100%.

Измерялись треки на полуавтомате ИУОС, данные измерений поступали на ЭВМ "Минск-2", а затем передавались на БЭСМ-4, где записывались на магнитную ленту.

В результате обработки треков на ЭВМ БЭСМ-4 по программе "Треки-2"/4/ мы получали информацию об импульсе P и угле вылета альфа-частицы отдачи θ относительно направления пучка пионов, их ошибки и ряд промежуточных дополнительных данных. Знание P и θ необходимо и достаточно для идентификации упругих событий по кинематике.

Для определения угла θ необходимо знать направление пучка в каждой точке рабочего объема камеры. Оно было определено модельным

способом с точностью $\pm 0,3^0$, для чего использовались траектории пионов, полученные при облучении камеры в обычном режиме работы пучком малой интенсивности.

Для вычисления параметров следа альфа-частицы программа "Треки-2" использует уравнение движения заряженной частицы в магнитном поле с учетом торможения, описываемого выражением Бете^{10/}. Однако частью работы этой программы по определению импульса не пришлось воспользоваться, т.к. формула Бете перестает быть правильной, когда скорость частицы сравнивается со скоростью электронов атомов среды. Если альфа-частица движется в ^4He , то это случается при ее импульсе $P_{min} \approx 55 \text{ МэВ/с}$, при котором ее пробег составлял 1 см в условиях нашего опыта*). Поэтому нам пришлось использовать эмпирически модифицированную формулу Бете^{11/}, хорошо описывающую тормозные потери и при малых энергиях. По техническим причинам ее нельзя было вставить в программу "Треки-2", поэтому дополнительно была написана программа для вычисления зависимости пробег-импульс по модифицированной формуле и импульс частицы отдачи переопределялся потом при помощи этой зависимости по пробегу, вычисленному программой "Треки-2". Неправильность вычисления импульса по этой программе практически не сказывалась на значениях угла и его ошибки.

При работе программы "Треки-2" на разных ее этапах вступала в действие вспомогательная, регулирующая и управляющая программа "Кинематический анализ". Она проверяла соответствующие критерии в процессе счета и в соответствии с выполнением или невыполнением их продолжала или прерывала обсчет события. В результате сократилось счетное время на ЭВМ более чем в 3 раза и существенно облегчилась обработка счетного материала.

В этой же главе приведен подробный анализ и оценки погрешностей определяемых параметров. Проанализирована зависимость точности определения импульса P альфа-частицы отдачи от погрешности измерения ее просега, проведено сравнение вычислений по обычной и модифицированной формулам Бете^{10, 11/}, оценено влияние точности последней на точность определения P , исследована зависимость пробег-импульс

*) Этой проблемы не существовало в опытах по упругому Π^-p -рассеянию^{12/}, т.к. при P_{min} протон в водороде имел пробег 1 мм, что меньше ошибки его измерения.

при различном процентном содержании воздуха в газовой смеси камеры и влияние погрешности в определении количества воздуха на ошибку импульса, оценены статистические флуктуации потерь энергии альфа-частицей.

Сделан анализ и оценки всех ошибок в определении угла альфа-частицы отдачи: ошибки измерений и неточности идентификации точки взаимодействия, погрешности, вызванной ошибкой импульса, ошибок, обусловленных однократным и многократным рассеянием. Учтена неопределенность направления пучковых пионов.

Разрешение по t составляет $0,8 \cdot 10^{-3} - 2,65 \cdot 10^{-3} (\text{ГэВ/с})^2$ в зависимости от переданного импульса при $3,48 \text{ ГэВ/с}$ и $1,15 \cdot 10^{-3} - 2,9 \cdot 10^{-3} (\text{ГэВ/с})^2$ при $6,13 \text{ ГэВ/с}$ *).

Среднеквадратичная ошибка угла вылета альфа-частицы составляет $2,5^0 - 1^0$ в зависимости от импульса. На рис.2 представлено одно из распределений разностей измеренных и кинематически соответствующих импульсу углов вылета альфа-частиц отдачи. Оно демонстрирует качество выделения упругих событий. Ширина пика, представляющего упругие события, находится в соответствии с оценками возможных ошибок в определении угла.

Пятая глава посвящена результатам исследования упругого $\Pi^- ^4\text{He}$ -рассеяния. Получены они на статистическом материале 2450 и 400 упругих событий при $3,48$ и $6,13 \text{ ГэВ/с}$ соответственно.

Измерения проводились в области квадратов переданных четырехмерных импульсов $0,0056 \leq |t| \leq 0,0087 (\text{ГэВ/с})^2$ при $3,48 \text{ ГэВ/с}$ и $0,0056 \leq |t| \leq 0,0462 (\text{ГэВ/с})^2$ при $6,13 \text{ ГэВ/с}$.

Качество выделения упругих событий показано на рис.2. Соотношение эффект-фон $\sim 13/1$. Фон изотропен. Обсуждаются его источники (нейтроны, испарительные процессы, когерентное рождение, квазиупругие процессы, примесь $\Pi^-p \rightarrow \Pi^-p$), делаются оценки и приведен метод учета фона.

Измеренные дифференциальные сечения показаны на рис.3 (систематические ошибки составляют $3,3\%$ при $3,48 \text{ ГэВ/с}$ и 14% при $6,13 \text{ ГэВ/с}$, статистические ошибки указаны на рисунке). Они хорошо согла-

*) худшее разрешение при $6,13 \text{ ГэВ/с}$ обусловлено большей неопределенностью содержания воздуха в газе камеры.

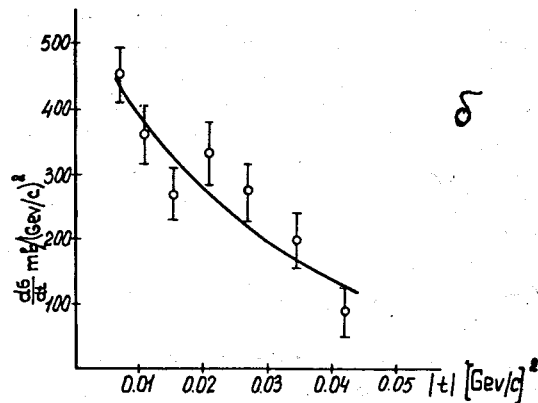
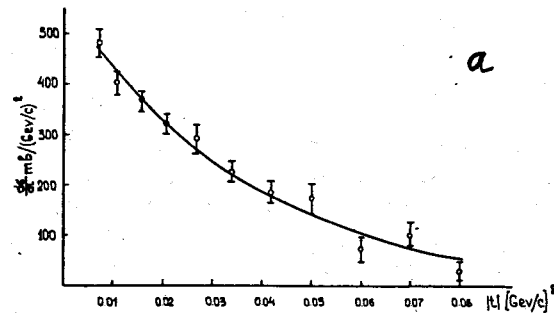


Рис.3. Дифференциальные сечения упругого π^- ^4He -рассеяния при 3,48 ГэВ/с (а) и при 6,13 ГэВ/с (б). Кривые рассчитаны по модели Глаубера.

суются с экспоненциальной аппроксимацией $d\sigma/dt = A \exp Bt$. При 3,48 ГэВ/с параметр наклона дифракционного пика π^- ^4He -рассеяния есть $B = (27,9 \pm 2,0) (\text{ГэВ/с})^{-2}$. Используя модель поглощающей черной сферы, мы получили эквивалентный радиус ядра ^4He $R_s = 2\hbar c\sqrt{B} = (2,08 \pm 0,07)F$, что находится в соответствии с данными по рассеянию электронов: $R_s = 1,31 A^{1/3} {}^4\text{He} = (2,079 \pm 0,042)F^{1/3}$. Это соответствие свидетельствует об одинаковом распределении в ядре плотности вещества и заряда. Измерено полное сечение упругого π^- ^4He -рассеяния при 3,48 ГэВ/с. Его величина $\sigma_{\text{tot}}^{\text{el}} = (20,2 \pm 1,8)$ мб хорошо согласуется с расчетами по модели Глаубера.

Анализируя дифференциальные сечения упругого π^- ^4He -рассеяния в рамках модели Глаубера^{/15/}, мы пришли к выводу о согласии экспериментальных данных с этой моделью. Впервые были получены значения параметра наклона бесспиновой части амплитуды упругого πN -рассеяния

$$b = (6,41 \pm 2,09) (\text{ГэВ/с})^{-2} \text{ при } 3,48 \text{ ГэВ/с } (\chi^2 = 7,43, n-1 = 8),$$

$$b = (12,9 \pm 6,2) (\text{ГэВ/с})^{-2} \text{ при } 6,13 \text{ ГэВ/с } (\chi^2 = 6,97, n-1 = 4).$$

В диссертации излагается теоретическая и экспериментальная ситуация, сложившаяся при изучении параметра наклона $b(E)$ дифракционного конуса в упругом πp -рассеянии, и делается сравнение полученного значения параметра наклона бесспиновой амплитуды упругого πp -рассеяния с имеющимися экспериментальными данными и теоретическими моделями.

На рис.4 приведены экспериментальные значения параметра наклона $b = (b_{\pi p} + b_{\bar{\pi} p})/2$, полученные в опытах по упругому πp -рассеянию, и определенный нами параметр наклона только бесспиновой части амплитуды этого процесса при 3,48 ГэВ/с. На этом же рисунке показана кривая, рассчитанная по модели Лазинского и др.^{/16/}.

Модель исходит из предположения о том, что амплитуды упругих процессов являются линейными суперпозициями резонансных и дифракционных амплитуд. Резонансы определяют структуру в поведении $b(E)$ при энергиях меньше 3 ГэВ, а дифракционный фон, возрастая с энергией, обеспечивает сужение дифракционного пика.

Кривая на рис.4 есть результат модельного расчета, не учитывающего спинового и резонансного вкладов. Наши данные согласуются с этим расчетом.

Качественное согласие получено и с трехпольной реджевской моделью Чу, Филлипса и Рарита^{/17/}.

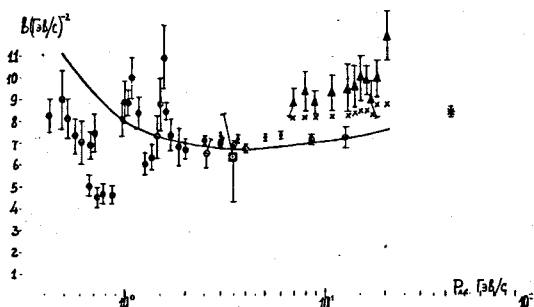


Рис.4

Зависимость параметра наклона амплитуды упругого πN -рассеяния $V = (V_{\pi p} + V_{\pi n})/2$ от импульса налетающего пиона $P_{л.с.}$. Кривая рассчитана по модели Лазинского и др.^{/16/} без учета спиновой зависимости и резонансных вкладов в амплитуду. \odot - данные из компиляции Лазинского и др.^{/16/}, \bullet - данные^{/18/}, \blacktriangle - данные группы Линденбаума^{/19/}, \times - данные^{/19/}, обработанные Хёллером и др.^{/20/}, \star - данные Серпухова^{/21/}, \square - данные нашей работы.

Сравнение полученного нами параметра наклона бесспиновой части амплитуды упругого πp -рассеяния с экспериментальными данными по параметру наклона всей амплитуды упругого πp -рассеяния показывает, что в пределах ошибок наклон бесспиновой амплитуды меньше наклона полной амплитуды или сравним с ним. Однако строгое количественное сравнение сделать не удалось, т.к. имеющиеся данные по упругому πp -рассеянию в области энергий нашего эксперимента, 3-4 ГэВ, относятся к интервалу несколько больших переданных импульсов.

Основные результаты и выводы диссертации могут быть сформулированы следующим образом:

1. Представлена методика обработки данных на всех этапах эксперимента по упругому $\pi^+ \text{He}$ -рассеянию на малые углы, выполненного с

помощью камеры Вильсона, работавшей в специальном режиме. Именно методика:

- просмотра стереоснимков, измерений, обсчета треков и идентификации упругих событий;
- определения потока пионов и состава наполнявшей камеру газовой смеси; оценок их погрешностей;
- определения импульса альфа-частицы отдачи по ее пробегу в смеси газов при помощи модифицированной формулы Бете^{/11/};
- анализа и оценок ошибок импульса и угла вылета альфа-частицы;
- оценок и учета фона;
- обработки полученных данных по методу наименьших квадратов с целью определения искомых физических параметров.

2. Измерены дифференциальные сечения упругого рассеяния отрицательно заряженных пионов на ядрах ^4He в области малых переданных квадратов четырехмерных импульсов $0,006 \leq |t| \leq 0,087$ и $0,006 \leq |t| \leq 0,046$ (ГэВ/с)² при 3,48 и 6,13 ГэВ/с с абсолютной точностью 3% и 14% соответственно.

3. Определены полное сечение σ_{tot}^{el} и параметр наклона V амплитуды упругого $\pi^+ \text{He}$ -рассеяния при 3,48 ГэВ/с: $\sigma_{tot}^{el} = (20,2 \pm 1,8)$ мб, $V = (27,9 \pm 2,0)$ (ГэВ/с)⁻². Определен эквивалентный радиус ядра ^4He , величина которого $R_3 = (2,08 \pm 0,07)F$ находится в хорошем соответствии с данными экспериментов по рассеянию электронов на ядрах. Величина полученной ошибки соизмерима с погрешностями в опытах с электронами. Соответствие величин эквивалентного радиуса, полученных в экспериментах двух типов, свидетельствует об одинаковом распределении в ядре плотности вещества и заряда.

4. Установлено, что полученные угловые распределения и полное сечение упругого $\pi^+ \text{He}$ -рассеяния находятся в хорошем согласии с теорией Глаубера.

5. Впервые в области малых переданных импульсов определен параметр наклона бесспиновой части амплитуды упругого πN -рассеяния $V = (6,41 \pm 2,09)$ (ГэВ/с)⁻² при 3,48 ГэВ/с. Полученная величина согласуется в пределах ошибок с моделью Лазинского и др.^{/16/} и трехполосной реджевской моделью^{/17/}.

В диссертации указывается на важность проведения цикла экспериментов, включающего в себя опыты по рассеянию пионов на ядрах, с целью комплексного изучения свойств амплитуды упругого πN -рассеяния.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. A.A.Nomofilov, I.M.Sitnik, L.A.Slepets, L.N.Strunov. Third International Conference on High Energy Physics and Nuclear Structure, New-York, September, 1969, p.527.
2. A.A.Nomofilov, I.M.Sitnik, L.A.Slepets, L.N.Strunov. XY-th International Conference on High Energy Physics, Kiev, 1970, Abstracts of Contributions, v.I (1970), I4.
3. А.А.Номофилов, И.М.Ситник, Л.А.Слепец, Л.Н.Струнов. ЯФ, 18 (1973), \ 364; препринт ОИЯИ ЕИ-7024, Дубна, 1973.
4. Н.Н.Говорун, И.В.Попова, Л.А.Смирнова, Т.В.Рыльцева, В.А.Никитин, А.А.Номофилов, В.А.Свиридов, Л.А.Слепец, И.М.Ситник, Л.Н.Струнов. Препринт ОИЯИ 2036, Дубна, 1965; ПТЭ, 4 (1966), 44.
5. R.J.Glauber. Lecture in Theoretical Physics, ed W.E.Brittin et.al. (Interscience Publishers Inc, N.Y.,1959).
6. B.Gobbi et.al. Phys.Rev.Lett., 29 (1972), I278.
7. F.Bradamante et.al. Phys.Lett., 31B (1970), 87; F.Bradamante et.al. Nucl.Phys. B33 (1971), I65; M.Fellinger et.al. Phys.Rev. Lett., 22 (1969), I26.
8. J.Combe et.al. Nuovo Cim., 3A (1971), 663.
9. T.Ekelof et.al. Nucl.Phys. B35 (1971), 493.
10. Основные формулы физики, под редакцией Д.Мензела, ИЛ, Москва, 1957, стр. 460.
11. C.F.Williamson et.al. Tables of Ranges and Stopping Power of Chemical Elements for Charged Particles of Energy 0.05 to 500 MeV, Rapport CEA-R 3042, Sacley, 1966.
12. A.Nomofilov, I.Sitnik, L.Slepets, L.Strunov, L.Zolin. Phys. Lett., 22 (1966), 350; А.Номофилов, И.Ситник, Л.Слепец, Л.Струнов. ЖЭТФ, Письма в редакцию, 6 (1967), 546.

13. R.Hofstadter. Rev.Mod.Phys., 28 (1956), 214.
14. В.С.Барашенков, В.Л.Тонеев. Взаимодействие высокоэнергетических частиц и атомных ядер с ядрами. Москва, Атомиздат, 1972.
15. W.Czyz, L.Lesniak. Phys.Lett., 24B (1967), 227.
16. T.Lasinski et.al. Nucl.Phys. B37 (1972), I; Phys.Rev. I79 (1969), I426.
17. C.B.Chu, R.J.N.Phillips, W.Rarita. Phys.Rev., I53 (1967), I485.
18. I.Ambats et.al. Phys.Rev.Lett. 29 (1972), I4I5.
19. K.J.Foley et.al. Phys.Rev. I8I (1969), I775; Phys.Rev.Lett., II (1963), 425.
20. G.Höhler. Binary Reactions of Hadron at High Energy (Proceedings of the International Seminar, D-6004 (1971) 652); G.Höhler, Standenmair, TRP I9/72, Karlsruhe (1972).
21. A.N.Diddens. Proceedings of the XVII International Conference on High Energy Physics, London (1974), I-4I.

Рукопись поступила в издательский отдел
2 апреля 1975 г.