

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1 - 8717

ФР-192

ФАЛОМКИН

Игорь Васильевич

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГОГО РАССЕЯНИЯ
ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ И ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ПИОНОВ
ПРИ ЭНЕРГИИ ОКОЛО 100 МЭВ НА ЯДРАХ ${}^3\text{He}$ И ${}^4\text{He}$
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТРИМЕРНОЙ КАМЕРЫ
ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

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 ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований (г. Дубна).

Научный руководитель: старший научный сотрудник кандидат физико-математических наук
Ю.А.Шербаков.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук В.Б.Беляев,
доктор физико-математических наук А.Б.Курепин.

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Московский инженерно-физический институт, г. Москва.

Автореферат разослан " " 1975 г.

Защита диссертации состоится " " 1975 г. в

" " часов на заседании Ученого совета Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Объединенного института ядерных исследований.

Ученый секретарь Совета
кандидат физико-математических наук

Ю.А.Батусов

I - 8717

ФАЛОМКИН

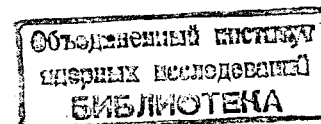
Игорь Васильевич

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГОГО РАССЕЯНИЯ
ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ И ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ПИОНОВ
ПРИ ЭНЕРГИИ ОКОЛО 100 МЭВ НА ЯДРАХ ${}^3\text{He}$ И ${}^4\text{He}$
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТРИМЕРНОЙ КАМЕРЫ
ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)



При исследовании процессов взаимодействия пионов с ядрами необходимо сконцентрировать внимание на изучении рассеяния пионов в районе резонансов и, в первую очередь, в районе первого барионного резонанса, т.е. при энергиях пионов от 100 до 300 МэВ. Группой Ж.Строта из ЦЕРНа /1/ было исследовано рассеяние пионов на ядрах углерода в указанном интервале энергий. Эти экспериментальные результаты стимулировали появление большого числа работ, посвященных этой проблеме.

Экспериментальных данных по рассеянию пионов средних энергий на других лёгких ядрах, например, на ядрах гелия, пока мало /2+6/. В то же время к проблеме упругого рассеяния пионов на ядрах гелия возник особый интерес в связи с предложением М.Штернхайма и Р.Хофштадтера /7/ - попытаться извлечь сведения об электромагнитном факторе пиона из сравнения дифференциальных сечений упругого рассеяния на ядрах гелия положительных и отрицательных пионов.

Экспериментальные данные по упругому рассеянию пионов на ядрах гелия-3 до сих пор вообще отсутствовали. Это большой пробел, т.к. ядро гелия-3 является совершенно самостоятельным ядром и отличается от гелия-4 как спиновым, так и изотоп-спиновым состоянием.

В диссертации описаны эксперименты по измерению дифференциальных сечений упругого рассеяния заряженных пионов при энергии 98 МэВ на ядрах гелия-3 и гелия-4, выполненные с помощью специально разработанной и созданной для этой цели гелиевой стримерной камеры высокого давления, и дан анализ результатов измерений.

Диссертация состоит из девяти глав. В первой главе - введении дан краткий обзор по двум темам. С одной стороны, рассмотрен прогресс экспериментальной техники стримерных камер, а с другой - вопросы упругого рассеяния пионов на ядрах гелия.

Во второй главе диссертации описана постановка Эксперимента по рассеянию пионов на гелии. В качестве основного элемента для исследования была использована гелиевая стримерная камера высокого давления. Она служила одновременно мишенью и детектором. Камеры такого типа разработаны в Дубне ^{18,9/}. Эти камеры работают без искусственного обрывания разряда. Введением незначительных добавок углеводородов (порядка 0,1%) в основной газ достигается такой эффект, что наиболее ярко светятся только центральные части стримеров. Этот метод позволяет получать хорошо локализованные следы значительно большей яркости, чем в обычных стримерных камерах.

Вся установка расположена на пучке пионов от мезонного тракта Лаборатории ядерных проблем (рис. 1). Для поворота пучка пионов в камеру-мишень и для дополнительного анализа частиц на выходе мезонного тракта находится отклоняющий и анализирующий магнит МС-4-2. В зазоре магнита расположена гелиевая стримерная камера при атмосферном давлении находящегося в ней газа. Эта камера служит для измерения импульсов частиц в пучке. Далее на пути пучка расположены дополнительная фокусирующая квадрупольная линза МЛ-9 и основная камера-мишень, т.е. стримерная камера высокого давления (СКВД). Для формирования и мониторинга пучка пионов и для управления камерой используется система сцинтилляционных счетчиков, в том числе - кольцевой годоскоп из счетчиков, окружающих камеру. Рассеянные в газе камеры и попавшие в один из счетчиков годоскопа пионы дают полезные запуски. За камерой СКВД расположен черенковский счетчик, служащий для анализа состава пучка.

Электронная система обеспечивает работу установки. В случае совпадения сигналов от соответствующих счетчиков, что свидетельствует о возможности полезного события, происходит следующее: сигнал совпадения направляется через систему блокировки на систему запуска, после чего запускается высоковольтный генератор импульсных напряжений, срабатывает стримерная камера, событие фотографируется, и дальнейшее прохождение сигналов блокируется на регули-

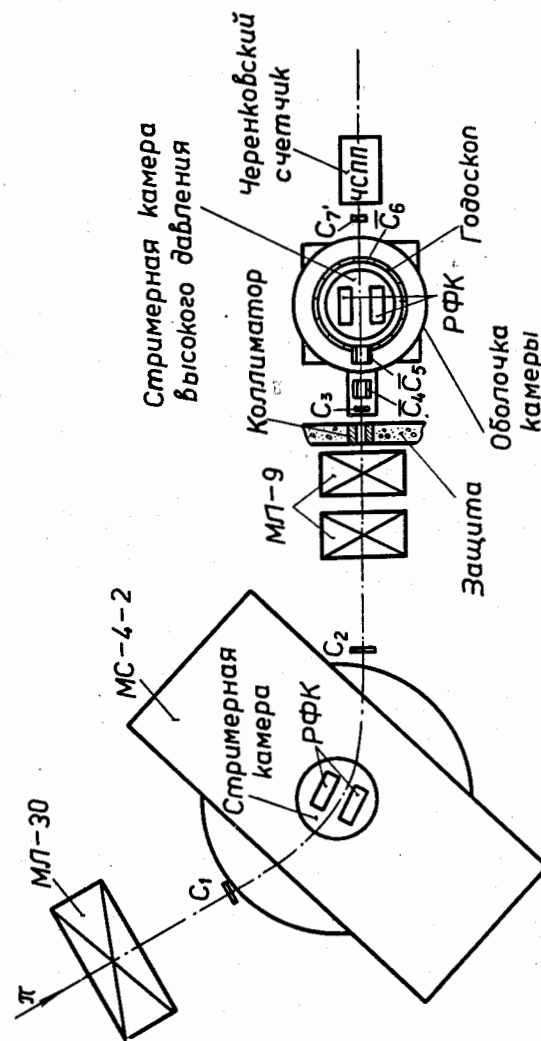


Рис. 1. Расположение аппаратуры на пучке частиц.

емое время от 0,1 до 1 сек, в течение которого происходит перетяжка пленки и система приходит в состояние готовности. Запуск и фотографирование двух стримерных камер, используемых в установке, производится независимо.

В третьей главе детально описывается используемая экспериментальная аппаратура. Стремление увеличить давление в камере-мишени связано, очевидно, с тем, что при этом возрастает плотность наполняющего газа и появляется возможность увеличить число взаимодействий, происходящих в газе камеры. В то же время эта управляемая, быстродействующая, обладающая малым временем памяти и соответственно высоким временным разрешением (наряду с хорошим пространственным разрешением) камера позволяет наблюдать следы ядер отдачи даже при небольших энергиях пионов и затем измерять все угловые корреляции. Камера СКВД работает при давлении 4 атм/10,11/. Собственно камера представляет собой плексигласовый сосуд с тонкими стенками, закрытый сверху оптическим стеклом. Внутренний диаметр её - 450 мм, высота - 120 мм. Объем между этим сосудом и стальной оболочкой камеры заполняется азотом, имеющим большее пробивное напряжение, чем гелий. Фотографирование камеры производится сверху двумя фотоаппаратами РК-5, смонтированными на общей плите. Камера вместе с нижним, высоковольтным электродом устанавливается на плексигласовом изоляторе, конструкция которого позволяет заливать высоковольтный электрод конденсаторным маслом для предотвращения коронирования с этого электрода. Для питания камеры был сконструирован и изготовлен высоковольтный генератор импульсных напряжений с максимальным выходным напряжением 800 кВ/12/. Применение гелия-3 для заполнения камеры сопряжено с решением определенных технических вопросов, связанных с необходимостью обеспечить сохранность этого ценного изотопа и возможность его очистки для повторных циклов использования/13/.

Стримерная камера в магнитном поле (СКМП) служит в конечном счете для определения импульсов частиц в пучке по результатам измерения фотографий следов частиц в этой камере. Генератор высоко-

вольтных импульсов для питания камеры располагается в зазоре между катушками магнита.

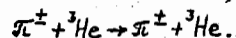
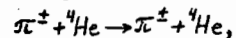
Эффективность работы всех сцинтилляционных счетчиков периодически контролировалась и измерялась на пучке частиц. Черенковский счетчик для анализа состава пучка имел радиатор из плексигласа.

В четвертой главе говорится о селекции пионов по времени пролета, мониторинговании числа пионов, прошедших через мишень, об амплитудных спектрах с черенковского счетчика и анализе этих спектров. Время-пролётный метод позволяет уменьшить число регистрируемых примесных частиц в пучке (т.е. мюонов и электронов). При этом используется тот факт, что пионы, мюоны и электроны проходят за различное время расстояние между базовыми счетчиками 1 и 3 (см. рис. 1). Подбирая задержку в счетчике 1, можно подавить регистрацию примесных частиц счетчиками, включенными на совпадения. Число частиц, прошедших через камеру-мишень, мониторируется системой сцинтилляционных счетчиков, включенных на совпадения-анти-совпадения $C_1C_2C_3C_4C_5C_6$ (см. рис. 1). С целью определения состава пучка в амплитудный анализатор записывается спектр импульсов с черенковского счетчика. В спектре наблюдаются три пика, соответствующие пионам, мюонам и электронам. Пики разделяются с помощью ЭВМ. В результате, зная отсчет монитора и процент пионов в пучке, можно определить поток пионов через мишень - величину, необходимую для измерения сечений.

В пятой главе описаны различные методы измерения импульсов частиц в пучке и разброса импульсов. В качестве средства измерения энергии частиц в пучке использовалась кривая пробег-энергия. Кстати, "пробегная" кривая давала также и предварительные сведения о составе пучка. Другой метод - сравнение измеренной длины пробега ядра отдачи в камере с расчетной длиной при определенной начальной энергии пиона. Это позволяло определить энергию пионов непосредственно в самой газовой мишени. И, наконец, основным средством измерения импульса частицы служила стримерная камера в магнитном поле. Следы, сфотографированные в СКМП, измерялись, и определялась их кривизна. Далее, исходя из величины магнитного поля, вычислялся импульс каждой частицы. Все методы позволили по-

лучить хорошо согласующиеся результаты, энергия и импульс пионов в пучке оказались следующими: $T=(98\pm 7)$ МэВ, $P=(192\pm 9)$ МэВ/с.

В шестой главе описана процедура обработки экспериментального материала и метод получения дифференциальных сечений упругого рассеяния заряженных пионов на ядрах гелия-4 и гелия-3. Указанные реакции упругого рассеяния можно записать в следующем виде:



При кинетической энергии пионов (98 ± 7) МэВ было получено 400.000 тысяч фотографий при работе с гелием-4 и 150.000 фотографий при работе с гелием-3. Фотография случая упругого рассеяния пиона на гелии представляет собой двухлучевую звезду (рис. 2). След рассеянного пиона и след ядра отдачи хорошо различаются. Ионизирующая способность ядра отдачи велика, и плотность его следа значительно превышает плотность следа рассеянного пиона. Итак, первая задача при обработке заключалась в том, чтобы просмотреть экспонированные фотопленки и отыскать все двухлучевые звезды. Просмотр производился дважды, эффективность двукратного просмотра составляла не менее 99%.

Основная масса измерений была проделана на просмотрно-измерительном столе. Измерялись координаты точки взаимодействия, углы рассеяния и пробег ядра отдачи (в тех случаях, когда след ядра отдачи заканчивался внутри камеры), а также определялся номер счётчика годоскопа, от которого произошел запуск камеры. Координаты системы задавали реперные кресты. Часть событий (около 400 случаев) была измерена на полуавтоматах. Сравнение результатов измерений на полуавтоматах и просмотрно-измерительных столах показало, что эти результаты вполне совместимы.

Для заданной начальной энергии пионов были составлены кинематические таблицы, т.е. вычислены значения угла рассеяния ядра отдачи в зависимости от угла рассеяния пиона и вычислены значения пробегов ядра отдачи также в зависимости от угла рассеяния пиона. Критерии отбора событий упругого рассеяния заключались в требова-

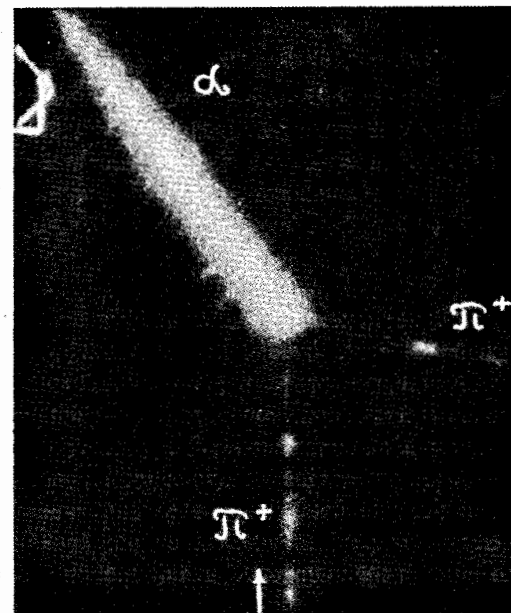


Рис. 2. Фотография события упругого рассеяния пиона на ядре гелия.

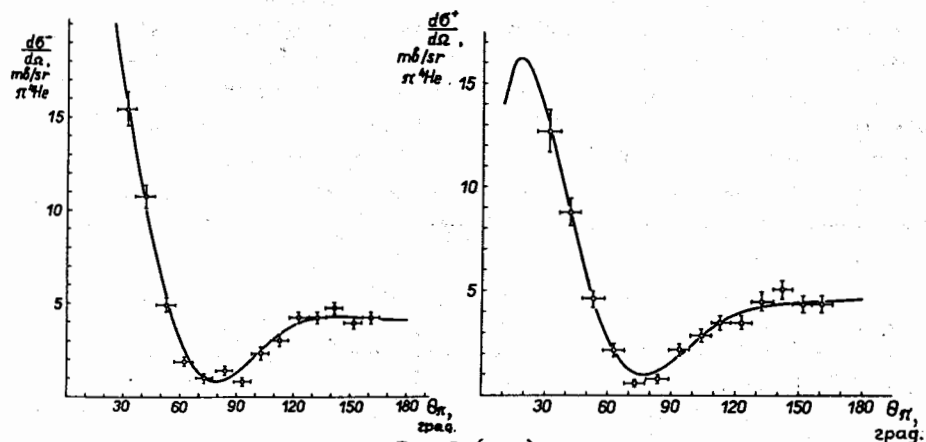


Рис.3 (а,б). Дифференциальные сечения в системе центра масс упругого рассеяния π^- - и π^+ -мезонов с энергией 98 МэВ на ядрах гелия-4, сплошные кривые - результат фазового анализа.

нии соответствия измеренных углов рассеяния и пробегов ядра отдачи расчётным значениям. При этом строились распределения отклонений измеренных значений от расчётных, которые затем аппроксимировались кривыми Гаусса. В качестве событий упругого рассеяния принимались случаи, для которых отклонение измеренного значения от расчётного не превышало 3σ , где σ — стандартное отклонение. Из полного числа найденных таким образом событий вычитался фон неупругих процессов, который определялся по интервалу, примыкающему к границе 3σ . Наиболее мощным критерием была угловая корреляция при упругом рассеянии, а критерий соответствия измеренного и расчётного пробегов ядра отдачи позволил отбросить только часть неупругих событий.

Для вычисления сечений необходимо знать для каждого интервала углов рассеяния $\Delta\theta$, в какой телесный угол возможно рассеяние пионов с последующим запуском камеры (ведь запуск происходит в конечном счёте только в тех случаях, когда рассеянный пион попадает в один из окружающих камеру счётчиков годоскопа). Величина этого телесного угла характеризует геометрическую эффективность регистрации рассеянных пионов сцинтилляционным годоскопом:

$$\Delta\Omega = 2\pi \cdot \varepsilon(\theta) \cdot \sin\theta \cdot \Delta\theta,$$

где $\varepsilon(\theta)$ — геометрическая эффективность.

Газ камеры является существенно протяженной мишенью, и вычисление эффективности проводилось методом Монте-Карло /14/. Кольцевая форма управляющего годоскопа оказалась очень удачной, при этом телесный угол $\Delta\Omega$ мало меняется в широком интервале углов рассеяния.

Дифференциальные сечения упругого рассеяния в лабораторной системе координат вычислялись по формуле

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{\Delta N(\theta)}{N_\pi \cdot n \cdot L \cdot \Delta\Omega(\theta)},$$

где $\Delta N(\theta)$ — число случаев упругого рассеяния в интервале углов рассеяния $\Delta\theta$;

N_π — число пионов, прошедших через камеру;
 n — число ядер гелия в 1 см^3 камеры;
 L — длина выбранной эффективной зоны в камере, в сантиметрах;
 $\Delta\Omega(\theta)$ — телесный угол, характеризующий эффективность годоскопа, вычисленный методом Монте-Карло.

Полученные сечения затем переводились в систему центра масс.

В седьмой главе приводятся и обсуждаются полученные экспериментальные результаты /15,16/. На рис. 3 показаны дифференциальные сечения в системе центра масс упругого рассеяния π^- и π^+ мезонов с энергией 98 МэВ на ядрах гелия-4. Сплошные кривые — результат фазового анализа. Окончательная статистика составила 2354 случая $\pi^- \text{He}$ упругого рассеяния и 1447 случаев $\pi^+ \text{He}$ упругого рассеяния. На рис. 4 показаны аналогичные сечения в случае гелия-3. Здесь сплошные кривые — результат расчетов в импульсном приближении. Окончательная статистика — 757 событий $\pi^- \text{He}$ упругого рассеяния и 828 случаев $\pi^+ \text{He}$ упругого рассеяния.

В восьмой главе полученные экспериментальные результаты анализируются. В случае рассеяния пионов на ядрах гелия-4 выполнен фазовый анализ /17/, а расчеты в импульсном приближении проделаны для рассеяния пионов как на ядрах гелия-3, так и на ядрах гелия-4 /18,19/. Фазовый анализ выполнен с учетом S -, P - и D -волн. Парциальная амплитуда ядерного рассеяния записывалась в форме:

$$T_\ell = \frac{\eta_\ell \exp(2i\delta_\ell) - 1}{2i}, \text{ где}$$

δ_ℓ — реальный фазовый сдвиг (в радианах или градусах) волны с моментом ℓ ,

η_ℓ — безразмерный коэффициент неупругости процесса взаимодействия (если $\eta_\ell < 1$, то открыты неупругие каналы).

В таблице I приведены наборы фазовых сдвигов, полученных из наших экспериментальных результатов, и значения $\chi^2/n_{\text{д.с.}}$, где $n_{\text{д.с.}}$ — число степеней свободы.

Таблица 1

	δ_0 , град	η_0	δ_1 , град	η_1	δ_2 , град	η_2	$\chi^2/n_{ДФ}$
$\pi^-^4\text{He}$	-17,25 $\pm 2,41$	0,55 $\pm 0,08$	17,92 $\pm 1,27$	0,83 $\pm 0,05$	4,21 $\pm 0,31$	0,87 $\pm 0,02$	1,01
$\pi^+^4\text{He}$	-21,18 $\pm 2,42$	0,51 $\pm 0,08$	16,11 $\pm 1,29$	0,87 $\pm 0,04$	4,52 $\pm 0,63$	0,85 $\pm 0,02$	0,55

При вычислении амплитуд рассеяния в импульсном приближении /20/ также применялся метод частичных волн, при этом использовались фазы рассеяния пионов на свободном нуклоне и производилось усреднение по различным изотоп-спиновым состояниям системы пион-нуклон.

Расчеты были выполнены с тремя свободными параметрами, в случае гелия-4 это были: R - радиус ядра, δ_{33}^1 - фаза волны P_{33} и ρ - введенная в S -волну мнимая часть, а в случае гелия-3: R_1 и R_2 - два радиуса, связанных с несимметричностью распределения протонов и нейтронов в этом ядре, и δ_{33}^1 - фаза волны P_{33} . В таблице 2 приведены полученные значения параметров и $\chi^2/n_{ДФ}$, где $n_{ДФ}$ - число степеней свободы.

Таблица 2

	R_1 , ферми	R_2 , ферми	δ_{33}^1 , град	ρ	$\chi^2/n_{ДФ}$
$\pi^-^4\text{He}$	1,70 \pm 0,03		14,0 \pm 0,5	0,16 \pm 0,04	2,4
$\pi^+^4\text{He}$	1,62 \pm 0,03		13,9 \pm 0,6	0,16 \pm 0,04	2,9
$\pi^-^3\text{He}$	1,81 \pm 0,03	2,24 \pm 0,08	17,0 \pm 0,5		1,6
$\pi^+^3\text{He}$	1,93 \pm 0,02	3,11 \pm 0,13	18,0 \pm 0,5		2,7

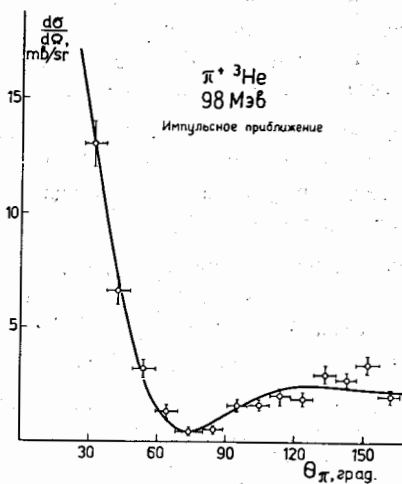
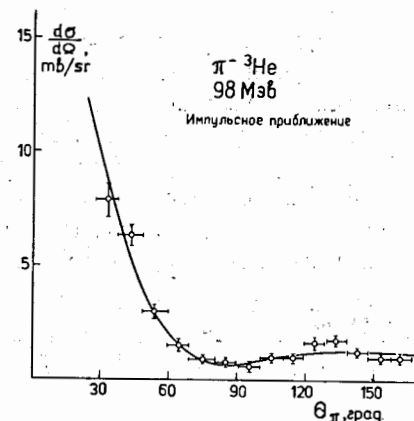


Рис. 4. (а, б).

Дифференциальные сечения в системе центра масс упругого рассеяния π^- - и π^+ -мезонов с энергией 98 МэВ на ядрах гелия-3, сплошные кривые - результат расчетов в импульсном приближении.

С помощью такого простого подхода удалось получить достаточно хорошее описание наших экспериментальных данных по упругому рассеянию пионов на ядрах гелия.

Основные результаты диссертационной работы сформулированы в последней главе-заключении.

1. Для изучения рассеяния пионов на гелии создана оригинальная установка с гелиевой струйной камерой высокого давления, в которой впервые реализован специальный режим работы, позволяющий получать ярко светящиеся следы ионизирующих частиц /8+13/.

Камера является одновременно мишенью и детектором, при этом повышение давления, т.е. повышение плотности мишени, позволяет увеличить число взаимодействий в камере, а возможность наблюдения следов ядер отдачи позволяет измерять пробеги и угловые корреляции.

2. Проведены экспозиции камеры с гелием-3 и с гелием-4 при давлении 4 атм. в лучках заряженных пионов с энергией 98 МэВ. На камере с гелием-3 получено 150000 фотографий и с гелием-4 - 400000 фотографий.

3. Проведены просмотр и измерение экспонированной фотопленки, рассчитана кинематика упругого рассеяния пионов на ядрах гелия, и введены критерии отбора, отобрано 1585 случаев рассеяния заряженных пионов на ядрах гелия-3 и 3801 случай - на ядрах гелия-4.

4. Измерены импульсы и разброс импульсов частиц в пучке, состав пучка и число пионов, прошедших через камеру, определена геометрическая эффективность управляющего запуском камеры годоскопа сцинтилляционных счётчиков /14/.

5. На основе выполненных измерений и расчётов получены дифференциальные сечения упругого рассеяния заряженных пионов с энергией 98 МэВ на ядрах гелия-3 и гелия-4. Измерения на ядре гелия-3 выполнены впервые в мировой практике.

В результате получены новые данные по рассеянию пионов на ядрах гелия-3 и гелия-4, находящиеся в различных спиновых и изотоп-спиновых состояниях /15,16/.

6. Впервые выполнен фазовый анализ рассеяния пионов на ядрах гелия-4 с учётом S , P - и D -волн, получен набор фазовых сдвигов /17/.

7. Для описания упругого рассеяния пионов на ядрах гелия-3 и гелия-4 использовано импульсное приближение, которое позволило получить достаточно хорошие результаты при наличии трёх свободных параметров /18,19/.

Работы, по которым написана диссертация, опубликованы /8+19/ и докладывались на XII Международной конференции по физике высоких энергий, Дубна, 1964 г.; на Международной конференции по аппаратуре в физике высоких энергий, Стэнфорд, 1966 г.; на Международном симпозиуме по ядерной электронике, Версаль, 1968 г.; на IV Международной конференции по физике высоких энергий и структуре ядра, Дубна, 1971 г.; на I Международной конференции по технологии струйных камер, Аргонн, 1972 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. F. Binon et al. Nucl. Phys. **B17**, 168 (1970); **B33**, 42 (1971).
2. М.С. Козодаев и др. ЖЭТФ **38**, 409 (1960).
3. Ю.А. Будагов и др. ЖЭТФ **42**, 1192 (1962).
4. M.E. Nordberg and E.F. Kinsey. Phys. Lett. **20**, 962 (1966).
5. M.M. Block et al. Phys. Rev. **169**, 1074 (1968).
6. K.M. Crowe et al. Phys. Rev. **180**, 1349 (1968).
7. M.M. Sternheim and R. Hofstadter. Nuov. Cim. **38**, 1854 (1965).
8. М.М. Кулюкин и др. ПТЭ № 6, 70 (1965); Труды XII Международной конференции по физике высоких энергий. Дубна, 1964. М., Атомиздат, 1966, т.2, стр.336.
9. I.V. Falomkin et al. Nucl. Instr. and Meth. **53**, 266 (1967). Proc. of the Intern. Conf. on Instrumentation for High Energy Physics, Stanford 1966, p. 72.
10. I.V. Falomkin et al. Proc. of the Intern. Symposium on Nucl. Electronics, Versailles, 1968, p. 9-1.

11. I.V.Falomkin et al. Bolletino della Societa Italiana di Fisica 79, 109 (1970).
12. М.М.Кулюкин и др. Препринт ОИЯИ PI3-6533, Дубна, 1972.
13. I.V.Falomkin et al. Lett. Nuov. Cim. 5, 757 (1972); Proc. of the First Intern. Conf. on Streamer Chamber Technology, Argonne 1972, p.121.
14. M.Albu et al. Preprint JINR E1-7567, Dubna, 1973.
15. М.М.Кулюкин и др. Препринт ОИЯИ PI-6131, Дубна, 1971; Аннотации докладов на IV Международной конференции по физике высоких энергий и структуре ядра, Дубна, 1971. ОИЯИ, Д-1-5988, стр.63.
16. I.V.Falomkin et al. Lett. Nuov. Cim. 5, 1121 (1972).
17. I.V.Falomkin et al. Preprint JINR E1-6535, Dubna 1972; Lett. Nuov. Cim. 5, 1125 (1972).
18. К.Георгеску и др. Препринт ОИЯИ PI-8235, Дубна, 1974.
19. К.Георгеску и др. Препринт ОИЯИ PI-8236, Дубна, 1974.
20. M.M.Block et al. Nucl. Phys. B5, 451 (1968); Phys. Lett. 26B, 464 (1968).

Рукопись поступила в издательский отдел
21 марта 1975 г.