

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

И 264

1-88-231
УДК 539.172.13

ИГНАТЕНКО
Михаил Анатольевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ СПЕКТРОВ
ПРОТОНОВ И ДЕЙТРОНОВ,
ИСПУСКАЕМЫХ С БОЛЬШИМИ ПОПЕРЕЧНЫМИ
ИМПУЛЬСАМИ В ДЕЙТРОН-ЯДЕРНЫХ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ 9 ГэВ/с**

Специальность: 01.04.01 - экспериментальная физика

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук**

Дубна 1988

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:
доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник

АХТИРЕЙ
Леонид Степанович

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник

ГЛАГОЛЕВ
Виктор Викторович

доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник

КОМАРОВ
Владимир Иванович

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Научно-исследовательский институт ядерной физики Московского государственного университета, Москва.

Защита диссертации состоится "___" _____ 1988 г.
в _____ час. на заседании специализированного совета Д047.01.02 при Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований, Дубна, Московская область, конференц-зал ЛВЭ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.

Автореферат разослан "___" _____ 1988 г.

Ученый секретарь
специализированного совета

С.Ф. Лихачев

М.Ф. ЛИХАЧЕВ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследований ядро-ядерных взаимодействий при релятивистских энергиях состоит прежде всего в возможности обнаружения и изучения эффектов, не проявлявшихся в адрон-адронных столкновениях. К ним относятся, например, выбивание из ядер протонами быстрых ядерных фрагментов* и кумулятивное рождение частиц**^{***}. Лежащие в основе этих явлений процессы разыгрываются на относительно малых расстояниях, и открывается возможность исследования особенностей ядерной структуры на межнуклонных расстояниях порядка радиуса конфайнмента, где кварковые эффекты должны играть определяющую роль.

Вопросы структуры ядер на малых расстояниях тесно переплетаются с проблемой существования дибарионных резонансов, предсказываемых рядом теоретических моделей. Внутри ядер эти малонуклонные системы являются виртуальными, и ядро-ядерные столкновения предоставляют разнообразные возможности для поисков этих гипотетических объектов.

И, наконец, только в опытах с ядрами удастся исследовать рождение и взаимодействие в ядерной среде нестабильных короткоживущих состояний, таких как, например, адронные резонансы, информация о параметрах взаимодействия которых с нуклонами необходима для проверки различных кварковых моделей.

Особое место в этих исследованиях отводится дейтрону. Являясь простейшим составным ядром, дейтрон представляется удобным объектом как для апробации различных подходов к описанию структуры и механизмов взаимодействий релятивистских составных адронных систем, так и для поиска новых явлений.

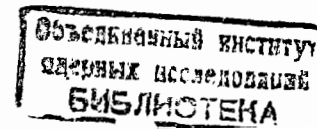
Цель работы - экспериментальное исследование импульсных спектров вторичных протонов и дейтронов, вылетающих под углом 0,139 рад при взаимодействии дейтронов с импульсом 9 ГэВ/с с ядрами водорода, дейтерия и углерода; анализ вкладов основных механизмов, приводящих к фрагментации релятивистских дейтронов на водороде; оценка параметров амплитуды упругого рассеяния нуклонных резонансов на нуклонах из данных по реакции $d+p \rightarrow d+N^*$.

Новизна работ

I. Впервые импульсные спектры вторичных протонов, образующихся

*Ахтирей Л.С. и др. ЖЭФ, 1957, т.33, с.1185; Комаров В.И. ЭЧАЯ, 1974, т.5, с.419.

**Балдин А.М. и др. ЯФ, 1975, т.21, с.1008.



с большими поперечными импульсами в процессе фрагментации дейтронов с импульсом 9 ГэВ/с на ядрах водорода, дейтерия и углерода, измерены с импульсным разрешением ~ 100 МэВ/с почти до кинематической границы их испускания.

2. Проведен совместный анализ основных механизмов, приводящих к фрагментации релятивистских дейтронов на водороде.

3. Впервые в интервале импульсов 5,5–9,0 ГэВ/с под углом $0,139$ рад измерены импульсные спектры вторичных дейтронов, испускаемых в результате взаимодействия дейтронов с импульсом 9 ГэВ/с с ядрами водорода, дейтерия и углерода.

4. На основании анализа полученных данных о сечениях возбуждения нуклонных резонансов в реакции $d+p \rightarrow d+N^*$ в рамках модели многократного дифракционного рассеяния сделаны оценки параметров амплитуд упругого рассеяния нуклонных резонансов на нуклонах.

Научная и практическая ценность. Получены новые экспериментальные данные о спектрах протонов, образовавшихся в процессе фрагментации релятивистских дейтронов в условиях, когда применимо импульсное приближение. Форма высокоимпульсной части спектра протонов, испускаемых с большими поперечными импульсами, определяется в основном внутренней структурой дейтрона. Анализ механизмов фрагментации с возбуждением пионных степеней свободы — основных фоновых процессов к импульсному приближению — показал, что их вклад превышает 30% только в узкой области импульсного спектра от 4,8 до 5,4 ГэВ/с. Поэтому полученные результаты могут быть использованы для проверки различных теоретических моделей, описывающих взаимодействие и структуру релятивистского дейтрона. В рамках релятивистской модели жестких столкновений из феноменологической структурной функции дейтрона найдено импульсное распределение нуклонов в дейтроне.

Получены новые экспериментальные данные о спектрах дейтронов от $d-p$, $d-d$ и $d-C$ взаимодействий. Проверена применимость модели многократного рассеяния в случае упругих $d-p$, $d-d$ и квазиупругого $d-d$ рассеяний в области значений квадрата переданного четырехимпульса $|t| \sim 1,4(\text{ГэВ}/c)^2$. Определены сечения возбуждения нуклонных резонансов в реакции $d+p \rightarrow d+N^*$ при 9 ГэВ/с.

Результаты, полученные в работе, могут быть использованы при планировании и проведении экспериментов в области релятивистской ядерной физики, а также для развития кварковых моделей адронов и ядер.

Автор защищает:

1. Результаты разработки, создания и экспериментального исследования характеристик системы пропорциональных камер магнитного спектрометра МАСПИК.

2. Измеренные с помощью магнитного спектрометра импульсные спектры протонов и дейтронов, испускаемых под углом $0,139$ рад во взаимодействиях дейтронов с импульсом 9 ГэВ/с с ядрами водорода, дейтерия и углерода.

3. Результаты анализа вкладов процессов с возбуждением пионных степеней свободы в импульсный спектр протонов от фрагментации дейтронов на водороде.

4. Результаты проверки применимости модели многократного рассеяния для описания упругих $d-p$, $d-d$ и квазиупругого $d-d$ рассеяний при 9 ГэВ/с в области передачи $|t| \sim 1,4(\text{ГэВ}/c)^2$.

5. Полученные данные о сечениях возбуждения нуклонных резонансов с массами $I,4I$; $I,52$ и $I,68$ ГэВ/с в реакциях $d+p \rightarrow d+N^*$ при 8,9 ГэВ/с под углом $0,103$ рад и при 9 ГэВ/с под углом $0,139$ рад.

6. Оценку параметров амплитуды упругого N^*-N рассеяния из анализа сечений возбуждения N^* в реакциях $d+p \rightarrow d+N^*$ в модели многократного рассеяния.

Апробация работы и публикации. Основные результаты, изложенные в диссертации, докладывались на научных семинарах лабораторий ОИЯИ, на IX Европейской конференции по проблемам нескольких тел в физике, на Международном семинаре по проблемам физики высоких энергий (Дубна, 1986), на Всесоюзном симпозиуме по нуклон-нуклонным и адрон-ядерным взаимодействиям при промежуточных энергиях (Гатчина, 1986) и на сессиях Отделения ядерной физики АН СССР (Москва, 1986, 1987, 1988). По результатам выполненных исследований опубликовано 11 работ, список которых приведен в конце автореферата.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность исследований взаимодействий релятивистских дейтронов с ядрами. Рассматриваются теоретические модели, используемые для описания внутренней структуры релятивистских дейтронов и механизмов их взаимодействий с ядрами. Содержится обзор экспериментальных данных о фрагментации дейтронов в протоны и о когерентных взаимодействиях дейтронов с ядрами, полученных к моменту постановки экспериментов. Формулируются цели описанных в диссертации исследований.

В первой главе описаны постановка и методика проведения экспериментов по измерению импульсных спектров вторичных частиц, образующихся под углом $0,139$ рад во взаимодействиях дейтронов с импульсом 9 ГэВ/с с ядрами водорода, дейтерия и углерода. Измерения проводились на синхрофазотроне ОИЯИ с помощью магнитного спектрометра с проволоч-

ными пропорциональными камерами на линии с ЭВМ ЕС-1010. Схема эксперимента показана на рис.1.

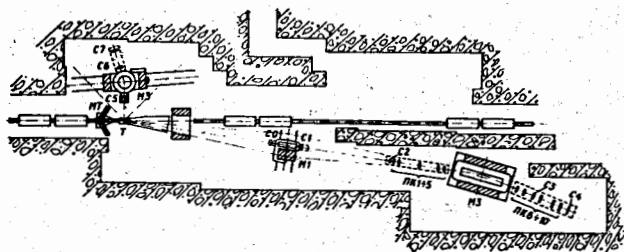


Рис.1. Схема эксперимента. Т - мишень, МТ - мониторы пучка, М1+М3 - магниты, СО+С7 - сцинтилляционные счетчики, ПК1+ПК10 - проволочные пропорциональные камеры.

Пучок выведенных из синхрофазотрона дейтронов падал на мишень из CH_2 , CO_2 и С, устанавливаемые поочередно в монопроводе медленного вывода пучка. Относительное мониторирование интенсивности дейтронного пучка производилось в помощь двух телескопов сцинтилляционных счетчиков, направленных на отдельную мониторинговую мишень.

Вторичные частицы, испущенные под углом 0,139 рад, регистрировались сцинтилляционными счетчиками СО-С4 и пропорциональными камерами ПК1-ПК10. Телесный угол основного плеча спектрометра определялся размерами сцинтилляционных счетчиков СО и С4. Сигналы от сцинтилляционных счетчиков использовались для выработки "триггера" установки и в измерениях времени пролета регистрируемых частиц.

Импульсы вторичных частиц определялись по значениям координат, зарегистрированных пропорциональными камерами спектрометра, и данным о поле в зазоре анализирующего магнита. Измерения охватывали импульсный интервал вторичных частиц от 3,3 до 9 ГэВ/с и проводились в неизменных геометрических условиях при нескольких значениях тока возбуждения анализирующего магнита. Эти величины выбирались таким образом, чтобы части спектра, полученные при соседних значениях тока, имели перекрывающиеся участки, измеренные со 100%-ной геометрической эффективностью спектрометра. Это было необходимо, чтобы обеспечить правильное "сшивание" различных частей спектра в условиях быстрого измерения выхода частиц с импульсом.

Основные характеристики спектрометра приведены в таблице.

Таблица
Основные характеристики спектрометра

Толщина мишени	$\sim 2 \text{ г/см}^2$
Количество вещества на пути частиц	$\sim 9 \text{ г/см}^2$
Телесный угол основного плеча	$2,9 \times 10^{-5} \text{ ср}$
Горизонтальный угловой аксептанс	0,005 рад
Число каналов ПК	~ 3000
Точность определения импульса	$\sim 0,2\%$
Импульсное разрешение	$\pm 0,5\%$
Разрешение по времени пролета	$\pm 200 \text{ пс}$

Окончательная обработка данных производилась на ЭВМ CDC-6500. Она включала в себя отбор событий по выработанным критериям, определение импульса частицы по алгоритму, позволяющему выразить в аналитической форме величину, обратную импульсу, через параметры ее траектории, а также идентификацию частицы по вычисленному значению импульса и данным о времени пролета.

Для абсолютной нормировки полученных в относительных единицах дифференциальных сечений $d^2\sigma/d\Omega dp$ в специальных опытах производилось измерение наведенной активности ядер ^{24}Na в тонких алюминиевых фольгах, облученных в месте расположения мишеней.

В результате измерений вносились поправки, связанные с ядерным поглощением и многократным рассеянием регистрируемых частиц в веществе установки, а также с примесью случайных совпадений.

Спектры зарегистрированных частиц от водородной и дейтериевой мишеней находились по разности спектров, полученных с мишенями CH_2 , CO_2 и С. Возможная систематическая ошибка абсолютных значений измеренных дифференциальных сечений оценивается в $\pm 15\%$.

Во второй главе дано описание конструкции, технологии изготовления и характеристик пропорциональных камер (ПК) магнитного спектрометра.

Перед анализирующим магнитом использовались двухкоординатные камеры с площадью регистрации $256 \times 256 \text{ мм}^2$, а после магнита - одно- и двухкоординатные камеры с размерами рабочих областей $448 \times 192 \text{ мм}^2$ и $608 \times 192 \text{ мм}^2$. Схематическое сечение блока проволочных электродов двухкоординатной камеры показано на рис.2. Блок имеет типовую разборную конструкцию, обеспечивающую при необходимости доступ к проволочкам любого электрода. Электроды камер наматывались на прямоугольные диэлектрические рамки проволокой из позолоченного вольфрама толщиной 20 мкм с шагом 2 мм и натяжением 50 г (сигнальные электроды) и из бериллиевой бронзы толщиной 0,1 мм с шагом 1 мм и натяжением 50 г (ка-

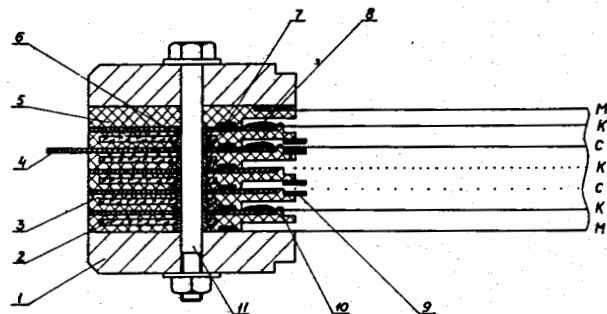


Рис.2. Схематическое поперечное сечение блока электродов двухкоординатной пропорциональной камеры с площадью регистрации 448×192 (608×192) мм^2 . 1 - металлическая рама, 2 - армирующее стекло, 3 - диэлектрическая рама, 4 - печатная плата сигнального электрода, 5 - рамка из текстолита, 6 - латунная втулка, 7 - резиновое уплотнение, 8 - припой, 9 - охранный кольцо, 10 - эпоксидная смола, 11 - стягивающий болт, М - майлар, К - катодная плоскость, С - сигнальная плоскость.

годные электроды). Диэлектрические рамки изготавливались из эпоксидного компаунда с наполнителем (кварцевый песок) по технологии литья под давлением. Перед сборкой камер электроды очищались ультразвуком в среде моющих растворов.

Для регистрации информации с ПК применялась аппаратура, разработанная на основе использования гибридных интегральных микросхем К405ХП^{*}. Структурная схема аппаратуры съема информации показана на рис.3. Все сигнальные нити камер разделены на группы по 16 нитей. Каждая группа обслуживается одной 16-канальной платой регистрации. В свою очередь, 16 плат регистрации группируются в модули, обслуживаемые индивидуальными буферными станциями. Внешняя магистраль передачи данных последовательно соединяет все буферные станции и оканчивается в приемном блоке, расположенном в крейте КАМАК. В спектрометре МАСПИК реализован вариант организации сбора данных, обеспечивающий высокое быстродействие за счет выделения и опроса в системе ПК только тех групп каналов, в которых содержится "ненулевая" информация.

*Афанасьев Ю.А. и др. ПТЭ, 1978, № 5, с.112.

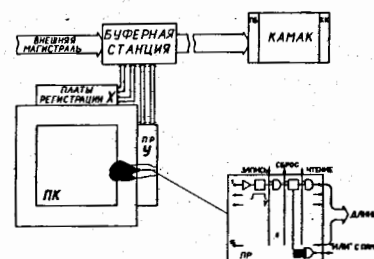


Рис.3. Структурная схема аппаратуры съема информации с пропорциональных камер. ПР - плата регистрации, ПБ - приемный блок, КК - контроллер крейта.

С целью выбора оптимального состава газовой смеси проводились исследования характеристик ПК на специальном автоматизированном стенде с помощью источника электронов ^{106}Ru . Характеристики измерялись:

- 1) с "магической" газовой смесью при разных концентрациях фреона;
- 2) со смесью $\text{Ar} + 30\% \text{CO}_2 + \text{фреон I3B}_I$ при разных концентрациях фреона;
- 3) со смесью $\text{Ar} + \text{Ne} + 30\% \text{CO}_2$ при разных концентрациях неона.

Кроме того, изучалось влияние гасящих добавок - бензола, этилового и изопропилового спиртов - к смеси $\text{Ar} + 30\% \text{CO}_2 + \text{фреон I3B}_I$. В конечном итоге предпочтение было отдано безопасной и недорогой газовой смеси $\text{Ar} + 30\% \text{CO}_2 + 0,2\% \text{фреона I3B}_I$.

На рис.4 показаны характеристики ПК, полученные с этой смесью. Плато эффективности по напряжению составляет 200-300 В, что является вполне достаточным для нормальной эксплуатации камер. Доля двойных кластеров в конце плато эффективности не превосходит 12%. Разброс напряжений, при которых разные камеры с одинаковыми конструктивными параметрами или разные плоскости одной и той же камеры "выходят" на плато, не превышает 50 В.

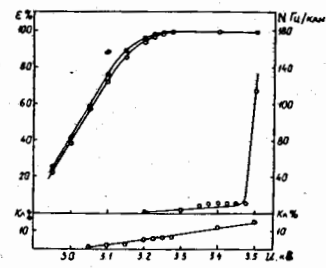


Рис.4. Эффективность, уровень шумов и доля двойных кластеров в зависимости от напряжения на катодных электродах для камеры с площадью регистрации $256 \times 256 \text{мм}^2$. Светлыми кружками показаны результаты, относящиеся к X-плоскости, темными - к Y-плоскости.

В зависимости от условий работы на пучке частиц эффективность ПК к запуску колебалась от 90% до 99%. Снижение эффективности в основном обуславливалось вкладом случайных совпадений в число запусков. Эффективность к треку не отличалась более чем на 3% от эффективности к запуску. Среднее количество кластеров для ПК, расположенных перед анализирующим магнитом, составляло $\sim 1,1$, а за магнитом — $\sim 1,05$. Точность регистрации координат камерами составила около 0,6 мм.

В третьей главе обсуждаются результаты измерений импульсных спектров протонов, испущенных под углом $0,139$ рад во взаимодействиях дейтронов с импульсом 9 ГэВ/с с ядрами водорода, дейтерия и углерода. Приводятся результаты поисков дибарионных резонансов в реакции $d+p \rightarrow p+d^*$. Анализируются вклады различных механизмов фрагментации дейтронов на водороде.

Полученные импульсные спектры протонов показаны на рис.5. Для импульсов, больших половины начального импульса дейтрона, измерения охватывают почти всю кинематически доступную для испускания протонов в реакции $A(d,p)X$ область. На протяжении исследованного импульсного интервала выходы вторичных протонов падают более чем на четыре порядка по отношению к их выходам в максимумах спектров. Максимумы спектров находятся при $4,3$ ГэВ/с; как раз такой импульс должен иметь протон с начальным импульсом $4,5$ ГэВ/с после упругого рассеяния на нуклоне на угол $0,139$ рад. Участки спектра левее максимумов обогащены протонами, потерявшими энергию в неупругих взаимодействиях с нуклонами мишени.

Сплошные кривые на рис.5 представляют собой результат сплайн-интерполяции значений инвариантного дифференциального сечения для углеродной мишени, умноженный на коэффициенты $0,371$ и $0,243$. Как видно из рисунка, эти кривые в интервале импульсов от $4,6$ до $7,2$ ГэВ/с хорошо согласуются с данными для дейтериевой и водородной мишеней. Таким образом, в указанном интервале импульсов форма высокоимпульсных частей спектров протонов не зависит от ядра мишени и определяется в основном внутренней структурой дейтрона.

Импульсные спектры от всех мишеней представляют собой плавные спадающие распределения, на которых не наблюдается статистически значимых особенностей, указывающих на образование дибарионных резонансов. На основании данных, полученных с водородной мишени, была определена верхняя граница сечения образования дибарионных состояний в реакции $d+p \rightarrow p+d^*$ в области масс $2-2,5$ ГэВ/с² (рис.6).

Полученные экспериментальные данные анализировались в рамках модели релятивистских жестких столкновений, в которой выход вторичных протонов объясняется процессами столкновений конститuentов (нук-

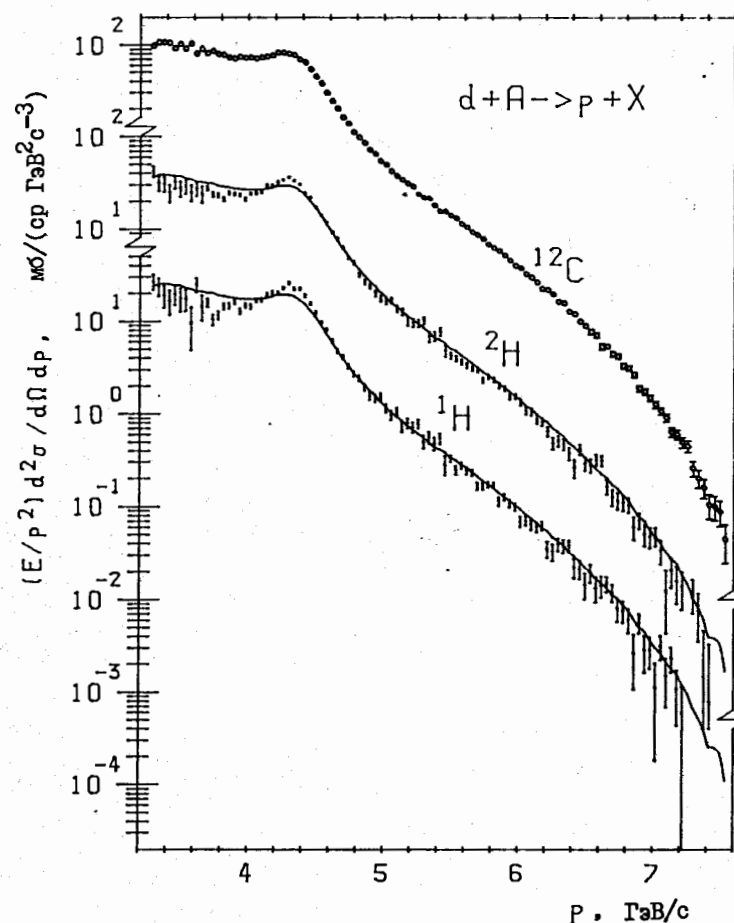


Рис.5. Импульсные спектры протонов, зарегистрированных под углом $0,139$ рад во взаимодействиях дейтронов с импульсом 9 ГэВ/с с ядрами водорода, дейтерия и углерода. Сплошные кривые — результат сплайн-интерполяции инвариантного дифференциального сечения для углеродной мишени, умноженный на коэффициенты $0,371$ и $0,243$.

лонов) налетающих дейтронов с протонами мишени. Импульсное распределение нуклонов в релятивистском дейтроне в этой модели задается с помощью структурной функции $G_{n/d}(y, L_T)$, которая характеризует вероятность обнаружить в дейтроне нуклон с поперечным импульсом L_T и долей y продольного импульса дейтрона в системе его бесконечного им-

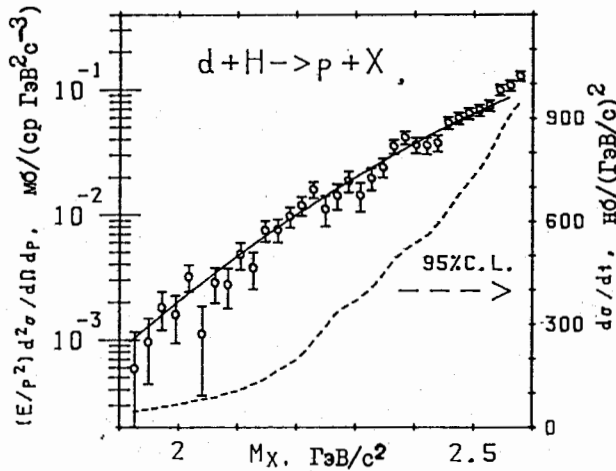


Рис.6. Спектр недостатков масс в реакции $d + p \rightarrow p + X$ при начальном импульсе дейтронов 9 ГэВ/с и угле регистрации 0,139 мрад. Сплошная кривая - результат аппроксимации экспериментальных данных плавной зависимостью. Штриховая кривая - зависимость оценки верхней границы сечения образования дибарионных состояний, отвечающей 95% уровню достоверности.

пульса. В работе^ж был проведен анализ различных способов определения вида структурной функции. Основные результаты этого анализа сводятся к следующему:

- 1) экспериментальные данные можно удовлетворительно описать в модели жестких столкновений с феноменологической структурной функцией, являющейся функцией двух независимых переменных;
- 2) данные не удается описать с помощью структурных функций, выведенных из нерелятивистских волновых функций дейтрона;
- 3) подбор параметров феноменологической структурной функции может быть эквивалентен учету вкладов других механизмов фрагментации дейтронов, не охватываемых диаграммой импульсного приближения.

Основными фоновыми каналами по отношению к механизму жестких столкновений в реакции ${}^1\text{H}(d,p)X$ являются механизмы с возбуждением пионных степеней свободы. В процессе взаимодействия одного из нуклонов дейтрона с протоном-мишенью возможно рождение промежуточного

^жАжирей Л.С., Разин С.В., Юдин Н.П. ЯФ, 1987, т.46, с.1987.

π -мезона, который затем может поглотиться или перерассеяться нуклоном-спектатором, приобретающим вследствие этого дополнительный импульс. Диаграммы, соответствующие этим процессам, изображены на рис.7.

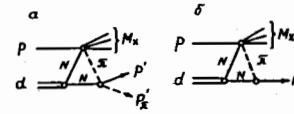


Рис.7. Механизмы реакции ${}^1\text{H}(d,p)X$ с возбуждением пионных степеней свободы.

Результаты вычисления вкладов различных механизмов фрагментации сравниваются с экспериментальными данными на рис.8. Видно, что роль механизмов с возбуждением пионных степеней свободы в целом невелика. Величина их суммарного вклада превосходит 30% от экспериментального сечения только в интервале импульсов от 4,8 до 5,4 ГэВ/с и достигает $\sim 37\%$ при импульсе 5,1 ГэВ/с.

Расчеты показали, что экспериментальные данные не удается описать с помощью структурных функций, полученных из нерелятивистских волновых функций дейтрона, и при добавлении вкладов от диаграмм рис.7.

Интересно сопоставить импульсное распределение нуклонов в дейтроне, которое следует из феноменологической структурной функции, с другими известными импульсными распределениями. Результаты вычисления $|\Psi(k)|^2$ для структурной функции с параметрами, при которых достигается удовлетворительное описание протонного спектра, показаны на рис.9. Там же представлены значения $|\Psi(k)|^2$, извлеченные из данных по электрорасщеплению дейтронов^ж. Из рисунка видно, что импульсное распределение нуклонов в дейтроне, вычисленное из структурной функции, в целом согласуется с распределением, полученным из данных по реакции ${}^2\text{H}(e,e)X$. Эти распределения также хорошо согласуются с распределением, полученным в опытах по фрагментации дейтронов с импульсом 9,1 ГэВ/с под углом 0° на водороде^{жж}.

^жBosted P. et al. Phys. Rev. Lett., 1982, v.49, p.1380.

^{жж}Запорожец С.А. и др. В кн.: Труды VIII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, ОИЯИ, ДП, 2-86-668, т.1, с.341, 1986.

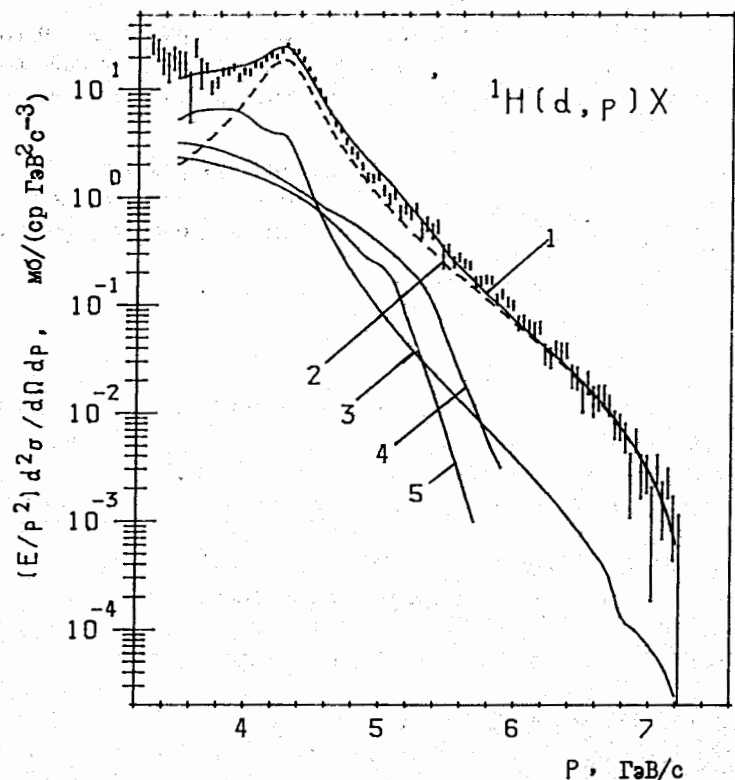


Рис.8. Импульсный спектр протонов, зарегистрированных под углом $0,139$ рад во взаимодействиях дейтронов с импульсом 9 ГэВ/с с ядрами водорода. Штриховая кривая 2 - вклад механизма жесткого перерассеяния, вычисленный с феноменологической структурной функцией в предположении, что в вершине взаимодействия происходит только упругое рассеяние, кривая 3 - вклад неупругих процессов в вершине взаимодействия, кривые 4 и 5 - вклады диаграмм рис.7а и 7б соответственно, кривая I - сумма всех указанных вкладов.

Таким образом, наблюдается согласие импульсных распределений нуклонов в дейтроне, полученных в трех различных экспериментах. В то же время эти распределения отличаются от распределений, отвечающих известным волновым функциям дейтрона. Различие это наиболее заметно в области импульсов от $0,15$ до $0,6$ ГэВ/с, где результаты экспериментов заметно превышают предсказания потенциальных моделей.

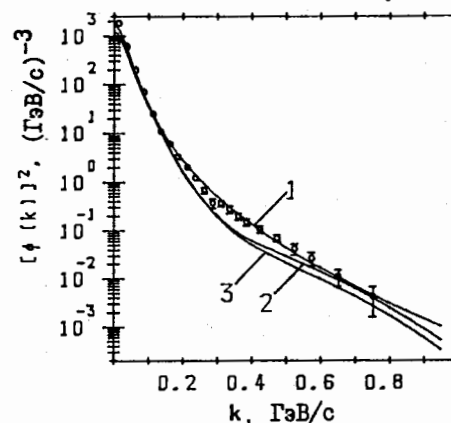


Рис.9. Значения квадрата волновой функции дейтрона, полученные из данных о реакции ${}^2\text{H}(\text{e},\text{e})\text{X}$ (кружки), из данных настоящего эксперимента по реакции ${}^1\text{H}(\text{d},\text{p})\text{X}$ (кривая 1), из потенциала Рейда (кривая 2) и из парижского потенциала (кривая 3).

В четвертой главе дано описание результатов измерений импульсных спектров вторичных дейтронов, испущенных под углом $0,139$ рад при взаимодействии дейтронов с импульсом 9 ГэВ/с с ядрами водорода, дейтерия и углерода. Определены сечения возбуждения нуклонных резонансов $N^*(1410)$, $N^*(1520)$ и $N^*(1680)$ в реакции $\text{d}+\text{p}-\text{d}+\text{N}^*$. Оцениваются параметры амплитуды упругого $\text{N}^*\text{-N}$ рассеяния.

Измеренные импульсные спектры дейтронов показаны на рис.10. В спектре от d-p взаимодействий при импульсе $8,21$ ГэВ/с расположен пик, отвечающий упругому d-p рассеянию. В спектре от d-d взаимодействий выделяются два пика, кинематически отвечающие упругим d-N и d-d рассеяниям. В спектре от углеродной мишени в области квазиупругого d-N рассеяния наблюдается максимум шириной ~ 700 МэВ. Слева от пиков d-p и квазиупругого d-N рассеяний простираются непрерывные распределения дейтронов, обусловленные когерентными неупругими процессами. Штриховые кривые на спектрах дейтронов от d-p и d-d взаимодействий аппроксимируют непрерывные участки этих спектров в интервале от $5,5$ до $7,0$ ГэВ/с и приведены для того, чтобы продемонстрировать проявление в импульсном интервале от $7,1$ до $7,8$ ГэВ/с особенностей, связанных с образованием первых возбужденных состояний нуклонов.

С целью проверки правильности абсолютной нормировки экспериментальных результатов и применимости модели многократного рассеяния для описания полученных данных были выполнены расчеты упругих d-p и d-d , а также квазиупругого d-d рассеяний в модели многократного рассеяния. На рис.11 и 12 полученные данные о сечениях процессов упругих d-p и d-d рассеяний сравниваются с расчетами и данными других экспериментов, а на рис.13 с расчетами сравнивается высокоимпульсная часть спектра дейтронов, образующихся в d-d взаимодействиях.

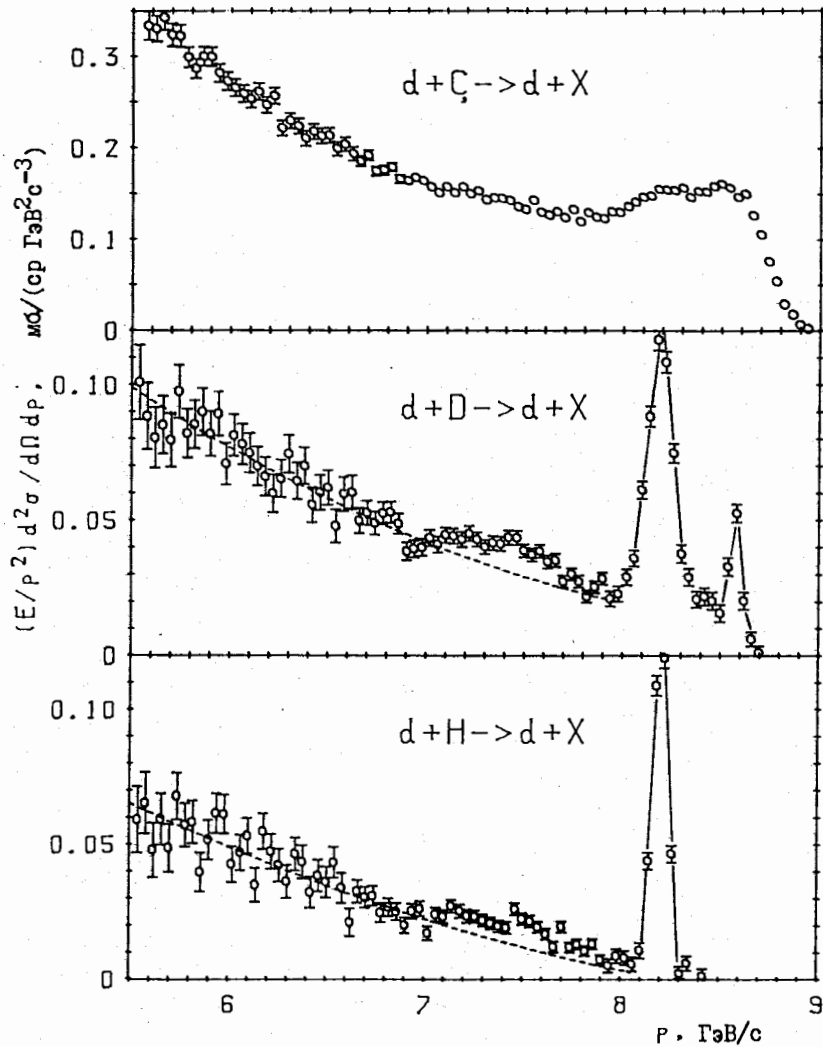


Рис.10. Импульсные спектры дейтронов, зарегистрированных под углом 0,139 рад во взаимодействиях дейтронов с ядрами водорода, дейтерия и углерода при 9 ГэВ/с. Штриховые кривые - результаты аппроксимации участков спектров от 5,5 до 7,0 ГэВ/с плавными кривыми.

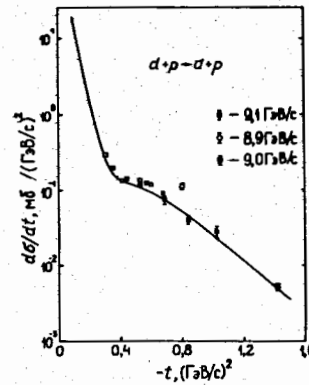


Рис.11. Инвариантное дифференциальное сечение упругого $d-p$ рассеяния вблизи 9 ГэВ/с в зависимости от квадрата переданного четырехимпульса. ϕ - данные, полученные в ^{238}U при импульсе протонов 4,55 ГэВ/с, ϕ - данные при импульсе дейтронов 8,9 ГэВ/с ^{238}U , ϕ - результаты настоящего эксперимента. Сплошная кривая - результат расчета согласно модели многократного нуклон-нуклонного рассеяния.

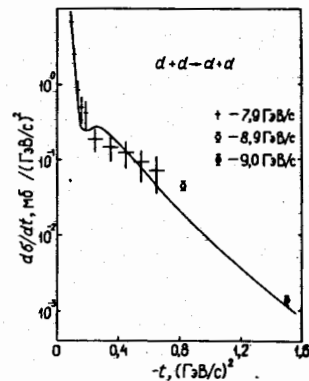


Рис.12. Инвариантное дифференциальное сечение упругого $d-d$ рассеяния вблизи 9 ГэВ/с в зависимости от квадрата переданного четырехимпульса. + - данные работы ^{238}U , ϕ - данные работы ^{238}U , ϕ - результаты настоящего эксперимента. Сплошная кривая - результат расчета согласно модели многократного нуклон-нуклонного рассеяния.

ях. В целом результаты расчетов, проведенных без каких-либо свободных параметров, находятся в разумном согласии с экспериментальными данными. Исключение составляют данные по упругим $d-p$ и $d-d$ рассеяниям при $|t| = 0,8$ (ГэВ/с) 2 . Наиболее вероятной причиной выпадения этих точек является наличие систематической ошибки, допущенной

^{238}U Friedes J.L. et al. Phys. Rev. Lett., 1970, v.24, p.677.

^{238}U Ажгирей Л.С. и др. ЯФ, 1978, т.27, с.1027.

^{238}U Goshaw A.T. et al. Phys. Rev. Lett., 1970, v.25, p.249.

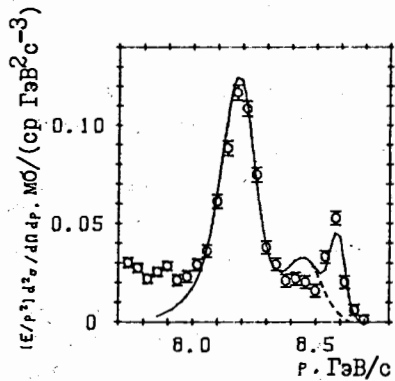


Рис.13. Высокоимпульсная часть спектра дейтронов, вылетающих под углом 0,139 рад в $d-d$ взаимодействиях при 9 ГэВ/с. Кривые - результаты расчетов по модели многократного нуклон-нуклонного рассеяния. Штриховой кривой показан вклад квазиупругого $d-N$ рассеяния в область пика от упругого $d-d$ рассеяния.

при абсолютной нормировке данных при начальном импульсе 8,9 ГэВ/с. Поэтому использованные в дальнейшем анализе данные, относящиеся к $|t| = 0,8$ (ГэВ/с)², были умножены на коэффициент 0,5; это значение получено из условия совпадения значений дифференциальных сечений упругих $d-p$ и $d-d$ рассеяний при $|t| = 0,8$ (ГэВ/с)² с результатами расчетов по модели многократного рассеяния.

С целью определения сечений возбуждения нуклонных резонансов $N^*(I410)$, $N^*(I520)$ и $N^*(I680)$ в реакциях $dp-dN^*$ экспериментальные данные аппроксимировались выражениями

$$\frac{E}{p^2} \frac{d^2\sigma}{d\Omega dp} = \sum_{k=0}^2 a_k M_x^k + \sum_{i=1}^3 b_i \frac{\Gamma_i}{(M_i - M_x)^2 + (\Gamma_i/2)^2}$$

Значения масс (M_i) и ширин (Γ_i) были выбраны такими, какими они получаются в опытах по возбуждению N^* протонами, и зафиксированы, а значения коэффициентов a_k и b_i находились по методу наименьших квадратов. Результаты аппроксимации экспериментальных данных приведены на рис.14.

Сечения возбуждения нуклонных резонансов в реакции $d+p \rightarrow d+N^*$ анализировались в модели многократного рассеяния. В этой модели сечение возбуждения N^* в области переданных импульсов $|t| > 0,4$ (ГэВ/с)² почти полностью определяется вкладом двукратных взаимодействий. Диаграммы, соответствующие членам двукратных столкновений, показаны на рис.15. Диаграмма рис.15а отражает ситуацию, когда N^* образуется во втором $N-N$ соударении, а диаграмма рис.15б - когда нуклонный резонанс, образовавшийся в первом $p-N$ взаимодействии, затем упруго рассеивается на втором нуклоне дейтрона.

В расчетах амплитуда $N-N$ рассеяния параметризовалась в виде

$$f(t) = k b i / 4\pi \exp(bt/2),$$

где k - импульс резонанса, t - квадрат переданного четырехимпульса, b - полное сечение $N-N$ взаимодействия, b - параметр наклона. Па-

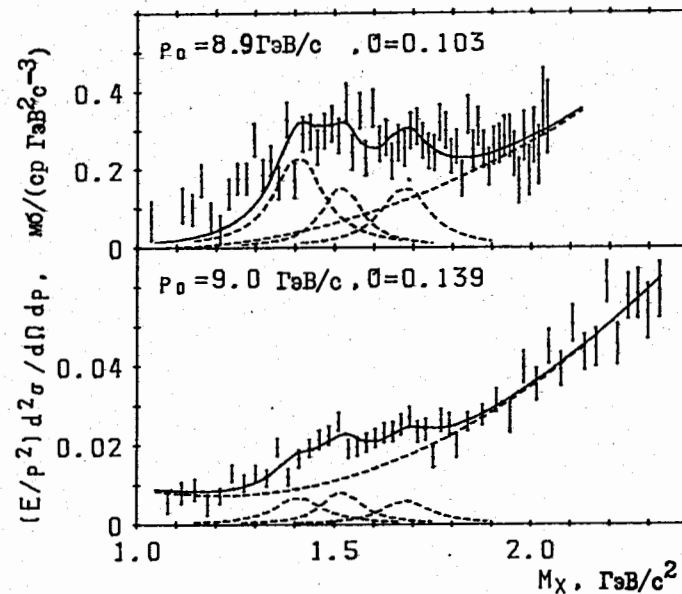


Рис.14. Спектры недостатков масс для процесса $dp-dX$, соответствующие углам регистрации дейтронов 0,103, 0,139 рад вблизи 9 ГэВ/с. Сплошные кривые - результаты аппроксимации данных, штриховые кривые - вклады отдельных резонансов.

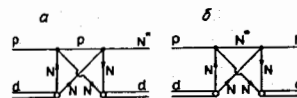


Рис.15. Диаграмма возбуждения нуклонных резонансов в реакции $dp-dN^*$ путем двукратных соударений.

раметры b и b находились из условия наилучшего согласия результатов расчетов с экспериментальными данными.

Результаты вычислений дифференциальных сечений возбуждения N^* в $d-p$ взаимодействиях приведены на рис.16.

Из рис.16 видно, что учет перерассеяния резонансов улучшает согласие с данными только в случае возбуждения $N^*(I410)$. Это согласие достигается при значениях параметров $b = 40$ мб, $b = 5$ (ГэВ/с)². В случае возбуждения $N^*(I520)$ и $N^*(I680)$ учет вкладов членов, описывающих рассеяние резонансов, не улучшает согласия с экспериментальными данными. Это может означать, что либо полные сечения взаимодей-

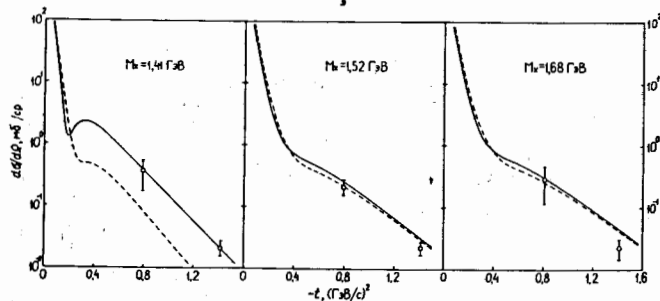


Рис.16. Зависимости дифференциальных сечений возбуждения нуклонных резонансов в реакции $d+p \rightarrow d+N^*$ при начальном импульсе дейтронов 9 ГэВ/с от квадрата переданного четырехимпульса. Штриховые кривые - результаты расчетов согласно модели многократного рассеяния, в которых пренебрегалось вкладом диаграммы рис.15б. Сплошные кривые - результаты расчетов со следующими значениями параметров амплитуды упругого N^*-N рассеяния: для $N^*(1410)$ $b = 40$ мб, $b = 5$ (ГэВ/с) $^{-2}$; для $N^*(1520)$ $b = 42$ мб, $b = 40$ (ГэВ/с) $^{-2}$; для $N^*(1680)$ $b = 42$ мб, $b = 40$ (ГэВ/с) $^{-2}$.

ствия состояний $N^*(1520)$ и $N^*(1680)$ с нуклонами малы, либо параметры наклонов амплитуды N^*-N рассеяния для этих резонансов велики.

В приложении рассмотрена кинематика механизма фрагментации с перерассеянием нуклоном-спектатором промежуточного π -мезона, а также приводятся использованные в расчетах параметризации дифференциальных сечений упругого пион-нуклонного рассеяния и инклюзивного рождения π -мезонов в нуклон-нуклонных столкновениях.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертационной работы.

1. Создана система пропорциональных камер с размерами от 128x128 до 608x192 мм с общим числом каналов ~ 3000 . Эта система камер составила основу регистрирующей аппаратуры магнитного спектрометра, с помощью которого были проведены исследования импульсных спектров вторичных частиц, испускаемых во взаимодействиях релятивистских дейтронов с ядрами.

2. Выполнены измерения импульсных спектров протонов, образующихся под углом 0,139 рад в результате развала дейтронов с импульсом 9 ГэВ/с на ядрах водорода, дейтерия и углерода. Измерения проведены

в импульсном интервале от 3,3 ГэВ/с почти до кинематической границы испускания протонов.

3. Установлена верхняя граница сечения образования дибарионных резонансов в области эффективных масс от 1,9 до 2,5 ГэВ/с 2 в реакции $d+p \rightarrow p+d^*$ при 9 ГэВ/с под углом 0,139 рад.

4. Анализ спектров протонов показал:

а) начиная с импульсов $\sim 4,6$ ГэВ/с проявляется независимость формы спектров от ядра-мишени; это означает, что форма спектра протонов в основном определяется внутренней структурой дейтрона;

б) спектры удовлетворительно описываются в рамках релятивистской модели жестких столкновений со структурной функцией дейтрона, являющейся функцией двух независимых переменных;

в) полученное из структурной функции импульсное распределение нуклонов в дейтроне хорошо согласуется с распределениями, извлеченными из экспериментальных данных о реакциях $^1H(d,p(0^\circ))X$ и $^2H(e,e)X$, но расходится с импульсными распределениями, отвечающими нерелятивистским волновым функциям.

5. Исследована роль механизмов с промежуточными π -мезонами в процессе фрагментации дейтронов на водороде под углом 0,139 рад при 9 ГэВ/с. Вклад этих механизмов превышает 30% от измеренного сечения только в узком интервале импульсов от 4,8 до 5,4 ГэВ/с, а максимальный вклад составляет $\sim 37\%$ при импульсе 5,1 ГэВ/с.

6. Выполнены измерения импульсных спектров дейтронов, образующихся под углом 0,139 рад в процессах взаимодействия дейтронов с импульсом 9 ГэВ/с с ядрами водорода, дейтерия и углерода.

7. Полученные дифференциальные сечения упругих $d-p$ и $d-d$ рассеяний, а также высокоимпульсная часть спектра дейтронов от квазиупругих $d-d$ взаимодействий хорошо согласуются с результатами расчетов в модели многократного нуклон-нуклонного рассеяния, выполненных без каких-либо свободных параметров, а также с данными других экспериментов при близких значениях начальных импульсов.

8. Определены сечения возбуждения нуклонных резонансов $N^*(1410)$, $N^*(1520)$ и $N^*(1680)$ в реакции $^1H(d,d)N^*$ под углом 0,103 рад при 8,9 ГэВ/с и 0,139 рад при 9 ГэВ/с.

9. На основании анализа полученных сечений возбуждения N^* в рамках модели многократного нуклон-нуклонного рассеяния сделаны оценки параметров амплитуд упругого рассеяния нуклонных резонансов на нуклонах. Для состояния $N^*(1410)$ получены значения $b = 40$ мб и $b = 5$ (ГэВ/с) 2 . В случае возбуждения состояний $N^*(1520)$ и $N^*(1680)$ хорошее описание данных достигается и без учета взаимодействия резонанса со вторым нуклоном дейтрона.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

- I. Ажгирей Л.С.,... Игнатенко М.А. и др. В кн.: Мультикварковые взаимодействия и квантовая хромодинамика. Труды УШ Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. ОИЯИ, Д1,2-86-668, Дубна, 1986, с.334.
2. Ажгирей Л.С.,... Игнатенко М.А. и др. ЯФ, 1987, т.46, с.1134.
3. Ажгирей Л.С.,... Игнатенко М.А. и др. ОИЯИ, P2-87-417, Дубна, 1987.
4. Ажгирей Л.С.,... Игнатенко М.А. и др. В кн.: Нуклон-нуклонные и адрон-адронные взаимодействия при промежуточных энергиях. Труды симпозиума, 21-23 апреля 1986, ЛИЯФ, Гатчина, 1986.
5. Ажгирей Л.С.,... Игнатенко М.А. и др. В кн.: Нуклон-нуклонные и адрон-адронные взаимодействия при промежуточных энергиях. Труды симпозиума, 21-23 апреля 1986, ЛИЯФ, Гатчина, 1986.
6. Ажгирей Л.С.,... Игнатенко М.А. и др. ОИЯИ, P1-88-23, Дубна, 1988.
7. Ажгирей Л.С.,... Игнатенко М.А. и др. ОИЯИ, I3-84-700, Дубна, 1984.
8. Ажгирей Л.С.,... Игнатенко М.А. и др. ПТЭ, 1987, № 4, с.44.
9. Ажгирей Л.С.,... Игнатенко М.А. и др. ОИЯИ, IO-83-868, Дубна, 1983.
- IO. Ажгирей Л.С.,... Игнатенко М.А., Мицын Г.В. ОИЯИ, I3-84-652, Дубна, 1984.
- II. Ажгирей Л.С.,... Игнатенко М.А. и др. ОИЯИ, I3-86-52, Дубна, 1986.

Рукопись поступила в издательский отдел
II апреля 1988 года.