

H-648



**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

1-91-228

**НИОРАДЗЕ**

**Михаил Сергеевич**

**УДК.539.17**

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ ЯВЛЕНИЙ  
В ПРОЦЕССАХ РАЗВАЛА ЛЕГЧАЙШИХ ЯДЕР**

**Специальность: 01.04.16 - физика ядра  
и элементарных частиц**

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

**Дубна 1991**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Работа выполнена в Институте физики высоких энергий Тбилисского государственного университета им. И. Джавахиди и Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований.

официальные опоненты:

доктор физико-математических наук,  
старший научный сотрудник

Леонид Степанович  
Ажгирей

доктор физико-математических наук,  
профессор

Валерий Константинович  
Лукьянов

доктор физико-математических наук,  
профессор

Сандибех Байтемирович  
Нурушев

Ведущее научно-исследовательское учреждение:  
Институт ядерных исследований АН СССР, г. Москва

Защита диссертации состоится "19" сентября 1991 года в 10<sup>30</sup> часов на заседании специализированного совета Д#047.01.02 при Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна, Московской области, Лаборатория высоких энергий ОИЯИ, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.  
Автореферат разослан "11" июня 1991 г.

Учённый секретарь  
специализированного совета

*М.Ф. Лихачёв*

М.Ф. Лихачёв

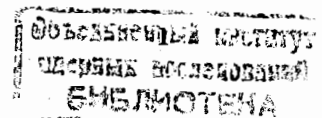
**Актуальность проблемы.** Исследования процессов взаимодействия релятивистских ядер с протонами являются важным шагом на пути понимания динамики сильного взаимодействия. В настоящее время общепризнано, что квантовая хромодинамика (КХД), в основу которой положен принцип локальной цветной симметрии, является кандидатом точной теории сильного взаимодействия. Однако, практически в рамках КХД возможно последовательно описать только жесткие процессы, связанные с взаимодействием частиц на малых относительных расстояниях  $r \ll 1/M$ , где  $M$  - характерная адронная масса. Описание явлений на больших расстояниях тесно связано с проблемой конфайнмента.

Для развития теории сильных взаимодействий неопределимую роль играют эксперименты при промежуточных энергиях. Именно при этих энергиях в физике элементарных частиц за последнее десятилетие произошел качественный скачок, связанный с обнаружением кумулятивного эффекта и наблюдением дибарионных резонансов, которые интерпретируются как проявление кварковых степеней свободы ядерной материи.

В настоящее время сделаны достаточно весомые заявки на наблюдение богатого спектра дибарионных резонансов, но к сожалению пока не ясен один из основных вопросов, что такое дибарион: обычная ядерная система типа квазидейтрона или шестикварковое состояние. Наиболее явно выраженный  ${}^3F_3$ -резонанс соответствует прицельному параметру двух протонов равному 0.9 фм, что меньше, чем размер дейтрона и больше совпадает с размерами обычного барионного резонанса. Качественно это указывает на то, что  ${}^3F_3$ -резонанс скорее шестикварковое состояние, чем ядерная система. Но это нуждается в количественном подтверждении.

Очевидно, что необходимым условием на этом пути является не только совершенствование теории, но и дальнейшее накопление новых экспериментальных данных, повышение достоверности и точности полученных результатов. Это позволило бы, во-первых, решить вопрос о существовании дибарионных резонансов и, во-вторых, если они существуют, то понять их природу и установить хотя бы феноменологическую систематику.

Взросший интерес к релятивистской ядерной физике обусловлен также обнаружением кумулятивного эффекта, когда вторичные адроны испускаются в кинематически запрещенную для взаимодействия на свободном нуклоне область. Эксперименты по кумулятивному



образованию адронов в ядерных реакциях проводились преимущественно на ядрах с  $A > 3$ . Основные закономерности инклюзивного образования кумулятивных адронов в ядерных реакциях подтверждают предсказание А.М.Балдина о том, что свойства спектров вторичных частиц высокой энергии определяются локальными свойствами адронной материи, а не геометрическими характеристиками сталкивающихся объектов. Эти же закономерности позволили сформулировать гипотезу предельной фрагментации ядра (ядерный скейлинг). Выполнимость ядерного скейлинга широко проверялась для достаточно тяжелых ядер ( $A > 12$ ). Что же касается легчайших ядер  $d$  и  ${}^4\text{He}$ , то здесь информация намного беднее, а к началу наших исследований она практически отсутствовала.

Изучение этих принципиально новых с точки зрения классической ядерной физики явлений возможно лишь при очень хорошем понимании механизма ядерной реакции. Процессы с участием легчайших ядер позволяют более надежно, чем для тяжелых ядер, выявлять на фоне "традиционных" механизмов (здесь имеется принципиальная возможность их учета) механизмы, требующие включения нуклонных степеней свободы (пионов,  $\Delta$ -резонансов и кварковых эффектов). Поэтому изучая процессы развала легчайших ядер, можно установить границу применимости ряда существующих моделей, описывающих прямые ядерные реакции (полюсная модель, взаимодействие в конечном состоянии, образование промежуточной  $\Delta$ -изобары и т. д.).

Актуальным для понимания динамики взаимодействия релятивистских ядер является исследование вылета составных фрагментов (дейтрон, тритий и т.д.). Интерес к этой проблеме обусловлен и тем, что сечения выхода легких ядер могут быть связаны с размерами высоковозбужденной системы, излучающей вторичные частицы. До наших исследований данные о механизме образования дейтронов в реакциях безрезонансного развала ядра  ${}^4\text{He}$  вообще отсутствовали.

Изучение механизмов взаимодействия адронов с легкими релятивистскими ядрами является актуальным в поляризованных экспериментах, поскольку в них наиболее глубоко проявляется зависимость не только от механизмов взаимодействия, а также от спиновой структуры ядра, что весьма важно для построения волновой функции ядра. Актуальность изучения поляризованных явлений связана еще и с тем, что экспериментально такие явления для нуклон-дейтронного рассеяния мало изучены. Практически открытым остается вопрос о поляризации "спектаторов" (передача поляризации),

которые по определению должны иметь ту же степень поляризации (без учета  $D$ -волны), что и дейтрон до развала. Прямые опыты с поляризованными дейтронами могут пояснить такие вопросы, как связь обмена заряда с обменом спина, которая может проявиться через обмен валентным кварком, что поможет разобраться с различием между истинной перезарядкой и рассеянием назад.

Целью диссертационной работы явился систематический, в рамках единой методики, анализ основных эксклюзивных каналов в  $d\text{p}$ ,  ${}^4\text{He}\text{p}$  и  ${}^3\text{He}\text{p}$ -взаимодействиях при промежуточных энергиях, чтобы исследовать резонансные явления в процессах развала легчайших ядер, для решения следующих проблем: 1. существование дибарионных резонансов, 2. вылет адронов в кинематически запрещенную область для нуклон-нуклонного взаимодействия и применимость гипотезы ядерного скейлинга для легчайших ядер, 3. экспериментальное исследование механизма развала легчайших ядер, а также 4. изучение поляризационных явлений в  $d\text{p}$ -взаимодействиях.

Для осуществления поставленной цели необходим прибор, который дает возможность получить абсолютные полные сечения ядерных реакций с погрешностью не выше 5-7%, детектировать частицы в  $4\pi$ -геометрии, надежно идентифицировать заряженные вторичные частицы, с высокой точностью измерять импульсы продуктов фрагментации релятивистских ядер. Все эти возможности в области промежуточных энергий (1-3 ГэВ на нуклон) хорошо реализуются в экспериментах с релятивистскими ядрами, используя в качестве мишени-детектора водородную пузырьковую камеру достаточно больших размеров, помещенную в сильное магнитное поле, для получения хорошего импульсного разрешения.

Научная новизна проделанной работы заключается в следующем:

1. Впервые в рамках единой методики в пучке релятивистских ядер  $d$ ,  ${}^3\text{He}$  и  ${}^4\text{He}$  при значениях импульсов 1.65А, 2.15А, 3.4А и 4.5А ГэВ/с получены экспериментальные данные как по полным, так и по топологическим и дифференциальным сечениям основных эксклюзивных каналов. Впервые было проведено облучение камеры в пучке поляризованных дейтронов при импульсе 3.35 ГэВ/с и показана целесообразность использования водородной пузырьковой камеры в поляризованных исследованиях;

2. Впервые в полном фазовом объеме измерены импульсные и угловые спектры спектаторных частиц в реакциях развала ядер  $d$ ,  ${}^4\text{He}$  в области исследуемой энергии;

3. Впервые проведен последовательный анализ механизма реакции

развала легчайших ядер и исследованы вклады неполюсных механизмов резонансного характера (взаимодействие в конечном состоянии и образование промежуточного  $\Delta$ -резонанса или поглощение  $\pi$ -мезона на паре нуклонов).

4. Впервые в эксклюзивной постановке исследованы безрезонансные реакции развала ядра  ${}^4\text{He}$  с выходом дейтронов. Показана малая вероятность dd-ассоциации в ядре  ${}^4\text{He}$ ;

5. Впервые были получены инклюзивные сечения образования нуклонов за кинематическим пределом, допустимым при соударении с отдельным нуклоном, в  $d\text{p}$  и  ${}^4\text{He}$ -взаимодействиях. Получена оценка отношения выходов протонов и нейтронов в этой области для реакции  $d\text{p} \rightarrow \text{ppn}$ ;

6. Впервые измерены дифференциальные сечения реакций безрезонансного развала ядер  ${}^3\text{He}$  и  ${}^4\text{He}$  и сопоставлены с предсказаниями модели многократного рассеяния Глаубера-Ситенко;

7. Наблюдены дибарионные резонансы с шириной около 20 МэВ в  $d\text{p}$  и  ${}^4\text{He}$ -взаимодействиях. Получены все зарядовые компоненты этих состояний;

8. Показана применимость выбранной методики в поляризационных исследованиях и обнаружено аномальное поведение азимутального распределения нейтронов отдачи в реакции безрезонансного развала дейтрона с перезарядкой. **Практическая ценность** полученных результатов состоит в следующем:

1. Статистически обеспеченные экспериментальные данные по эксклюзивным  $d\text{p}$ ,  ${}^3\text{He}$  и  ${}^4\text{He}$ -взаимодействиям при импульсах налетающих ядер 1.65А, 2.15А, 3.4А и 4.5А ГэВ/с позволяют проводить практически в полном фазовом объеме детальные сравнения с различными моделями адрон-ядерного взаимодействия;

2. Полученные в едином эксперименте данные как о рассеянии нуклонов вперед, так и о рассеянии назад несут новую информацию о структуре ядер  $d$  и  ${}^4\text{He}$ , а также налагают ограничения на вид волновой функции ядра и могут служить хорошим критерием для выбора NN-потенциала;

3. Экспериментальный материал (который по своей полноте и точности измерений в изучаемой области энергий не имеет аналогов) и проведенный теоретический анализ могут послужить основой для дальнейшего развития как экспериментальных (поиск дибарионных резонансов, изучение резонансных эффектов в реакциях развала легчайших ядер), так и теоретических (объяснение наблюдаемой аномалии в развале поляризованного дейтрона) исследований в области

релятивистской ядерной физики.

**На защиту выносятся** следующие результаты, полученные в диссертации:

1. Новый экспериментальный материал по полным и топологическим сечениям  ${}^3\text{He}$  и  ${}^4\text{He}$ -взаимодействий при импульсе налетающих ядер 8.6 и 13.5 ГэВ/с, а также по полным сечениям каналов в  ${}^4\text{He}$ -столкновениях при импульсе ядра 8.6 ГэВ/с;

2. Импульсные и угловые распределения спектров частиц практически в полном фазовом объеме для реакций развала легчайших ядер  $d$  и  ${}^4\text{He}$  и анализ полученных дифференциальных сечений в рамках импульсного приближения с учетом неполюсных механизмов резонансного характера (взаимодействие в конечном состоянии и образование промежуточного  $\Delta$ -резонанса);

3. Анализ механизма образования дейтронов в процессах безрезонансного развала ядра  ${}^4\text{He}$ ;

4. Инклюзивные сечения образования нуклонов, вылетающих в кинематически запрещенную для взаимодействия на свободном нуклоне область, в  $d\text{p}$  и  ${}^4\text{He}$ -соударениях и проведенный анализ инвариантных функций для разных угловых интервалов;

5. Наблюдение дибарионных резонансов, полученных при исследовании спектров эффективных масс двух нуклонов в  $d\text{p}$  и  ${}^4\text{He}$ -взаимодействиях;

6. Аномальное поведение азимутального распределения нейтронов отдачи, полученное при изучении реакции развала поляризованного дейтрона с перезарядкой.

**Апробация работы.** Материалы, изложенные в диссертации, докладывались на семинарах ИФВЭ ТГУ, ЛВЭ ОИЯИ, ИЯИ (Варшава), ЦЯИ(Страсбург), ИЭФ (Кошице), на международной конференции по физике высоких энергий в Версале (1981г.), на Всесоюзных семинарах "Кварки-84" и "Кварки-88" в Тбилиси (1984г., 1988г.), на VIII международном семинаре по физике высоких энергий в Дубне (1986г.), на VII международном семинаре по спиновым явлениям в физике высоких энергий (Протвино, 1986г.), на IV Всесоюзном проблемном семинаре по взаимодействию частиц и ядер высокой энергии с ядрами (Ташкент, 1989г.), а также на совещаниях международного сотрудничества по исследованиям на однометровой водородной камере.

**Публикации.** Результаты диссертационной работы представлены в двадцати двух публикациях в виде статей в журналах "Physical Review", "Nuclear Physics", "Fortschritte der Physik", "Ядерная физика", в трудах ТГУ, в материалах упомянутых международных

конференций и в виде препринтов ОИЯИ.

**Структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, шести глав и заключения. Объем диссертации: 183 страниц машинописного текста, включая 68 рисунков, 14 таблиц и список литературы, насчитывающий 240 наименований.

### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении сформулирована цель диссертационной работы и обоснована актуальность исследования резонансных явлений, для решения следующих проблем: существование дибарионных резонансов, вылет адронов в кинематически запрещенную область для нуклон-нуклонного взаимодействия и применимость гипотезы ядерного скейлинга для легчайших ядер, механизм развала легчайших ядер, а также показана важность изучения поляризационных явлений в  $d\bar{p}$ -взаимодействиях. Отмечено преимущество исследований перечисленных задач во взаимодействиях легчайших ядер с протонами, связанными как с малым числом нуклонов, участвующих в реакциях, так и с возможностью достаточно надежно выявлять на фоне "традиционных" механизмов механизмы, требующие включения ненуклонных степеней свободы (пионов,  $\Delta$ -резонансов и кварковых эффектов).

Каждая глава имеет введение, которое носит обзорный характер как в экспериментальном, так и в теоретическом плане исследуемой в этой главе проблемы.

В первой главе рассмотрены основные методические исследования, необходимые для получения экспериментального материала по изучаемым каналам реакций<sup>1-3/</sup>. Затронутые в работе вопросы основаны на статистике более 500 000 стереоснимков, полученных при облучении водородной однометровой камеры релятивистскими ядрами  $d$ ,  ${}^4\text{He}$  и  ${}^3\text{He}$  при импульсах 3.3, 8.6 и 13.5 ГэВ/с на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ. Описаны схема обработки стереоснимков и критерии отбора гипотез. Проводится анализ погрешностей, возникающих в камерной методике при определении импульсов и углов вылета заряженных частиц. Качество измерений, кинематического баланса и идентификации событий по каналам иллюстрируются на примере  $S(a_1)$ -функций и распределений по квадратам недостающих масс.

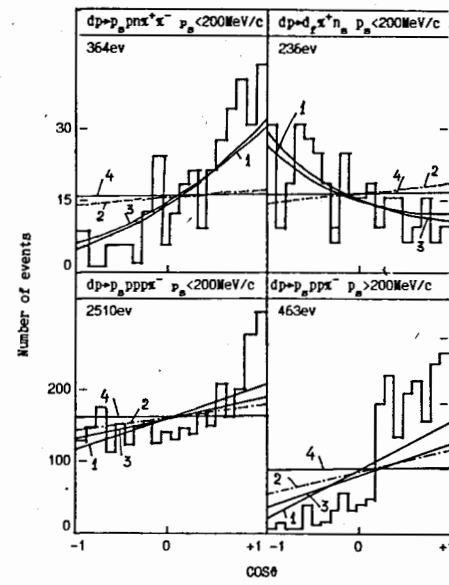
С учетом потерь в упругих взаимодействиях и эффективности просмотра (более 97%) были впервые определены полные и топологические сечения взаимодействия ядер  ${}^4\text{He}$  и  ${}^3\text{He}$  с водородной мишенью в исследуемой области энергий, а также сечения основных

эксклюзивных каналов  ${}^4\text{He}$ -взаимодействий при 8.6 ГэВ/с.

Во второй главе рассмотрены реакции развала малонуклонных ( $d$ ,  ${}^4\text{He}$ ) ядер, с целью исследования вклада неполюсных механизмов резонансного характера<sup>4,5/</sup> (взаимодействие в конечном состоянии, промежуточная  $\Delta$ -изобара).

Упрощенная картина прямого взаимодействия частиц с ядром создается в простом импульсном приближении (спектаторная модель). На диаграммном языке спектаторная модель выражается полюсным приближением без учета немассовых эффектов, т.е. виртуальные обменные частицы считаются реальными.

Были изучены импульсные и угловые распределения спектаторных частиц в реакциях  $dp \rightarrow p_{sp} p \pi^+$ ,  $p_{sp} p \pi^+ \pi^-$ ,  $dx^+ n_{sp}^{4/}$  (1) и  ${}^4\text{He} \rightarrow {}^3\text{H}_{sp} p$ ,  ${}^3\text{He}_{sp} p n^{5/}$  (2). Исследования показали, что экспериментальные импульсные спектры спектаторных нуклонов до 200 МэВ/с в реакциях развала дейтрона описываются волновой функцией Хюльтена в импульсном представлении. Использование известных волновых функций слабо влияет на результаты анализа.



В угловых распределениях нуклонов-спектаторов наблюдается сильная асимметрия (рис.1), что не согласуется с предсказанием спектаторной модели (кривая 4). В случае реакции  $dp \rightarrow dx^+ n_{sp}$  имеется асимметрия противоположного знака.

Рис.1 Угловые распределения нуклонов-спектаторов.

Объяснение наблюдаемых асимметрий в угловых распределениях удалось получить при учете фактора потока и энергетической зависимости сечения квазинуклонного взаимодействия  $\sigma(s)$  (кривая 1), которые в простом импульсном приближении не рассматриваются. Они возникают как следствия ферми движения нуклонов в ядре. На рис.1 кривые 2 и 3 соответствуют учету только фактора потока или  $\sigma(s)$ . Видно, что кривые 1 и 3 описывают основные черты экспериментальных данных. Вклад фактора потока

составляет лишь (4÷5)% и основную роль играет  $\sigma(s)$ , поскольку в исследуемой области нуклон-нуклонные сечения сильно зависят от энергии.

В кинематической области импульсов спектаторов выше 200 МэВ/с экспериментальные импульсные и угловые спектры не описываются спектаторной моделью, что, в основном, связано с увеличением вклада неспектаторных (неполюсных) механизмов.

Что касается импульсных и угловых распределений спектаторных трехнуклонных систем в реакции развала ядра  ${}^4\text{He}$ , то удовлетворительное описание получается в области импульсов меньше 250 МэВ/с.

Для исследования доминантности полюсного механизма в реакциях безмезонного развала ядра  ${}^4\text{He}$  был применен критерий Треймана-Янга. Имеющаяся статистика позволила перейти от представления данных по углу Треймана-Янга к зависимости асимметрии от импульса спектаторных частиц. Наблюдена общая закономерность в ходе параметра асимметрии. С ростом импульса спектаторных частиц асимметрия возрастает и выходит на плато.

В рамках импульсного приближения подробно исследуется неполюсный механизм резонансного характера - взаимодействие в конечном состоянии (ВКС)<sup>6/</sup> для объяснения наблюдаемых асимметрии в распределениях по углу Треймана-Янга в случае развала дейтрона  $dp \rightarrow ppn$ . Влияние ВКС особенно сильно проявляется при малых относительных импульсах вторичных частиц и обусловливается резонансным поведением волновой функции этих частиц в конечном состоянии. Это, в основном, вызвано образованием квазисвязанного виртуального состояния, энергия связи которого намного меньше энергии связи дейтрона.

В прямом развале дейтрона  $dp \rightarrow (pp)n$  ВКС для  $pn$ -системы в  ${}^3S_1$ -состоянии может привести к коалесценции (к рекомбинации) в дейтрон, тем самым к переходу событий из реакции развала в упругий канал. В предложенной модели учет ВКС проводился методом несколько отличным от традиционного, а именно, для выражения волновой функции  $pn$ -системы в конечном состоянии использовался  $S$ -волновой изоскалярный сепарабельный потенциал, нуклоны рассматривались как нерелятивистские и пренебрегалось  $D$ -состоянием дейтрона. В качестве волновой функции дейтрона бралась функция Мак-Ги.

Для спин-независящих амплитуд упругих  $pp$  и  $pn$ -рассеяний в области малых  $|t|$  применялась следующая параметризация:

$$T_{pN} = \frac{i\sigma_{pN}(1-i\rho_{pN})}{4\sqrt{\pi}} \exp(-\frac{1}{2}\beta_{pN}^2|t|) \quad N=n,p$$

где параметры  $\sigma_{pN}$ ,  $\rho_{pN}$ ,  $\beta_{pN}$  определялись из существующих экспериментальных данных.

Окончательный вид сечения прямого развала дейтрона сводится к следующему выражению:

$$d\sigma_d = \frac{2\pi|T_d|^2 p_s^2 dp_s d\cos\alpha |dt| \theta(1-R^2) \theta(q-2p_s \cos\alpha)}{[1+(2p_s^2+q^2-2p_s q \cos\alpha) \cdot p_s \cos\alpha/2m^2q]}$$

Угол  $\alpha$  был предложен в теории Вилкиным и определялся как угол между направлением вылета нуклона-спектатора и переданным трехимпульсом от налетающего протона к дейтрону. Его поведение в широком диапазоне совпадает с углом Треймана-Янга.

На рис.2 приведены экспериментальные данные и результаты расчетов асимметрии по углу  $\alpha$ . Как видно из рисунка,

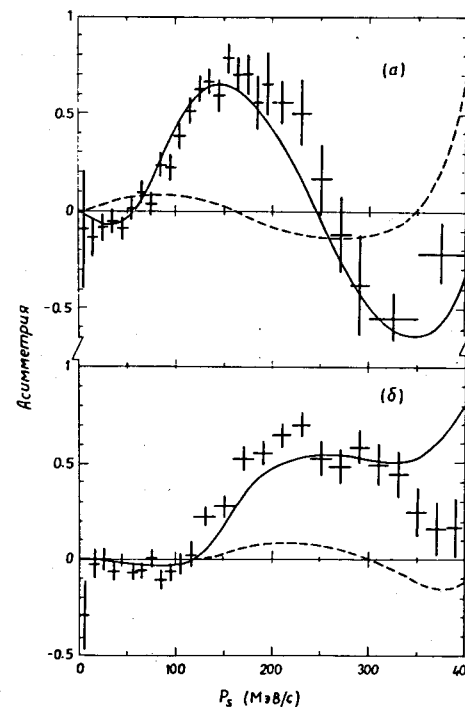


Рис.2 Асимметрия в угле  $\alpha$  для нуклонов-спектаторов: а)  $|t| < 0.1(\text{GeV}/c)^2$  и б)  $0.1 < |t| < 0.4(\text{GeV}/c)^2$ . Сплошная кривая - с учетом ВКС, пунктирная - без учета ВКС.

теоретические предсказания с учетом ВКС вполне хорошо воспроизводят наблюдаемый ход асимметрии, особенно для событий  $|t| < 0.1 (\text{ГэВ}/c)^2$  (рис.2а). Форма экспериментальных распределений для двух областей по  $t$  довольно похожа, однако, для больших  $t$  (рис.2б) место, где асимметрия становится отличной от нуля сдвинуто к большим значениям импульсов "спектаторов", что согласуется с теорией. В случае без учета ВКС отличные от нуля значения асимметрии обусловлены путаницей в выборе спектаторной частицы.

Показано, что наблюдаемая сильная импульсная зависимость асимметрии по углу  $\alpha$  в реакции прямого развала дейтрона вызвана

взаимодействием в конечном состоянии между нейтроном и протоном в  ${}^3S_1$ -волне, что приводит к коалесценции пр-пары в дейтрон и переходу части событий из реакции развала в упругий канал.

Следует отметить, что ВКС улучшает описание импульсного распределения спектаторных нуклонов, но не объясняет высокоимпульсную часть спектра.

Было исследовано также взаимодействие в конечном состоянии в реакции развала дейтрона с перезарядкой  $dp \rightarrow (pp)n^{T'}$ . При теоретическом анализе реакции перезарядки нуклонов на дейтроне было обращено внимание на то, что дифференциальное сечение реакции  $dp \rightarrow (pp)n$  при малых четырехмерных передачах  $t$  определяется спин-обменным взаимодействием нуклонов и не исчезает при  $t=0$ . Если в конечном состоянии находятся два тождественных нуклона с малым относительным импульсом, то применение принципа Паули, или антисимметризация волновой функции этих нуклонов, приводит к разделению вкладов обменных нуклон-нуклонных сил, зависящих и независящих от спина. В основном происходят триплет-синглетные переходы, т.е. переход из начального триплетного  ${}^3S_1$ -состояния двух нуклонов (дейтрон) в конечное синглетное  ${}^1S_0$ -состояние. Поэтому ВКС двух протонов в синглетном  ${}^1S_0$ -состоянии может дать существенный вклад в реакции с перезарядкой.

Учет ВКС ( ${}^1S_0$ ) в импульсном приближении проводился аналогично случаю прямого развала. Как показал анализ, описание экспериментального распределения по импульсу спектаторного протона улучшается в случае учета ВКС, но ВКС дает малый вклад в высокоимпульсную часть спектра. Учет D-состояния дейтрона не улучшает согласия. В случае развала дейтрона с перезарядкой импульсная зависимость асимметрии по углу  $\alpha$  менее выразительна, чем в канале прямого развала. Тем не менее теоретические расчеты находятся в заметно лучшей согласии с экспериментом при рассмотрении ВКС.

В рамках изложенной модели была предпринята попытка описать экспериментальное дифференциальное сечение  $d\sigma/dt$  перезарядки на дейтроне, показанное на рис.3. В теоретическом предсказании с учетом ВКС (пунктирная кривая) наблюдается заметное различие с экспериментом, а именно, теоретическая кривая систематически ниже экспериментальных точек примерно на 25%. Измеренное значение сечения  $\sigma_{dp \rightarrow (pp)n}(|t| < 0.3 \text{ (ГэВ/с)}^2) = 4.34 \pm 0.09 \text{ мб}$ , тогда как теоретическое предсказание только  $3.3 \pm 0.2 \text{ мб}$ .

На рис.4 приведены экспериментальные распределения по энергии

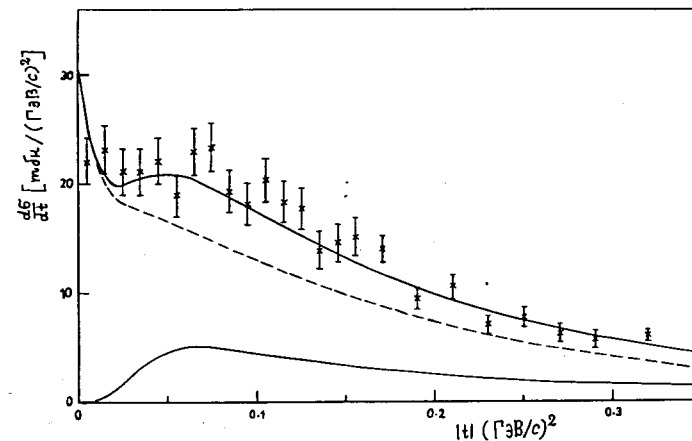
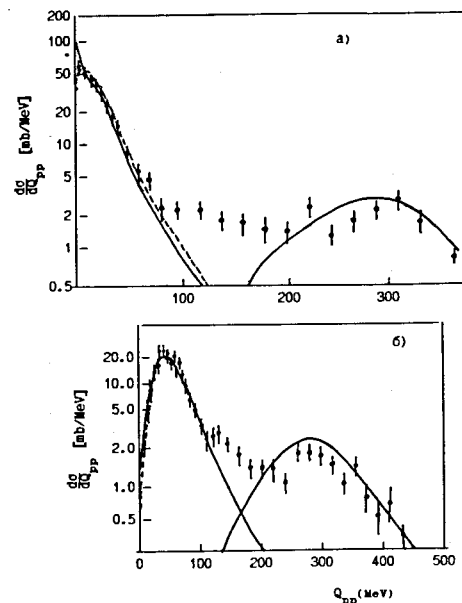


Рис.3 Дифференциальное сечение  $\frac{d\sigma}{dt}$  для перезарядки  $dp \rightarrow (pp)n$ . Кривые: пунктирная—с учетом ВКС, нижняя сплошная—предсказание модели виртуального  $\Delta$ -образования, верхняя сплошная—их некогерентная сумма.



возбуждения  $Q_{pp}$  системы двух протонов для двух областей по  $t$ . Видно, что теоретическая кривая для  $|t| < 0.1 \text{ ГэВ}^2$  при малых значениях  $Q_{pp}$  имеет пик.

Рис.4  $\frac{d\sigma}{dQ_{pp}}$  для перезарядки  $dp \rightarrow (pp)n$ : а)  $|t| < 0.1 \text{ (ГэВ/с)}^2$  и б)  $0.1 < |t| < 0.3 \text{ (ГэВ/с)}^2$ .

Расчетная кривая качественно близка к экспериментальным точкам с менее выраженным пиком. Это не удивительно, поскольку в расчетах пренебрегалось кулоновским отталкиванием протонов, которое подавляет амплитуду при малых значениях  $Q_{pp}$ . В области

$t \approx (0.1-0.3) \text{ (ГэВ/с)}^2$  проявляется пик квазиупругого рассеяния в районе 40 МэВ и наблюдается хорошее согласие с теорией в области

пика. Учет D-состояния дейтрона может повлиять только на ширину квазиупругого пика. Несомненно, учет ВКС в импульсном приближении в обеих областях по  $t$  описывает появление первого пика в районе малых  $Q_{pp}$ , но не в состоянии объяснить наблюдаемое возбуждение вблизи  $Q_{pp} \approx 300$  МэВ. Учет многократного рассеяния дает вклад в районе малых значений  $Q_{pp}$ .

Для описания экспериментальных распределений по  $p_{sp}$ ,  $t$  и  $Q_{pp}$  рассмотрен механизм образования промежуточной  $\Delta$ -изобары  $^{17}O$ . Обоснована важность привлечения этого механизма в реакции развала дейтрона с перезарядкой.

Вклад образования  $\Delta$ -изобары в промежуточном состоянии в дифференциальное сечение  $\frac{d\sigma}{dt}$  показан на рис.3 (нижняя сплошная кривая). Спад при малых  $t$  частично динамического характера, но и обусловлен тем, что минимальный переданный импульс для рождения  $\Delta$ -изобары на свободном нуклоне

$$|t_{min}| = |(M_{\Delta}^2 - m^2)/2k|^2,$$

который равен  $0.035$  (ГэВ/с) $^2$ , находится в пике резонанса. Предсказанное сечение падает сравнительно медленно с ростом  $|t|$ . Предполагая, что полученный результат можно складывать некогерентно с расчетами по импульсному приближению, получено хорошее согласие с экспериментом (верхняя сплошная кривая на рис.3). Воспроизводится как форма распределения, так и абсолютная величина дифференциального сечения.

О справедливости некогерентной суммы амплитуд импульсного приближения и данной модели можно судить по рис.4. Отчетливо видно, что оба механизма дают вклад в разных областях спектра. Учет возбуждения  $\Delta$ -изобары в промежуточном состоянии хорошо описывает наблюдаемые пики в районе  $Q_{pp} \approx 300$  МэВ (правые сплошные кривые на рис.4а,б).

Как показал анализ, механизм образования  $\Delta$ -изобары в промежуточном состоянии дает основной вклад в области импульсов нуклонов-спектаторов  $p_{sp} \geq 300$  МэВ/с.

В третьей главе рассмотрен механизм образования дейтронов в безмезонном развале ядра  $^4He^{8-10}$ . В безмезонном развале ядра  $^4He$  дейтроны могут рождаться в двух каналах  $^4He \rightarrow dppn$  и  $^4He \rightarrow ddp$ , которые полностью восстанавливаются по кинематике. Это позволило проследить за более сложным механизмом ядерной реакции, чем в случае безмезонного развала дейтрона. Исследовались события из реакции  $^4He \rightarrow dppn$ , в которых импульс дейтронов в системе покоя ядра  $^4He$  не превышал  $0.7$  ГэВ/с. Такое обрезание практически

обеспечивало исключение событий, в которых дейтроны могли образоваться за счет неспектаторных механизмов. Исследования показали, что характеристики дейтронов из этой группы событий оказались типичными для спектаторных частиц, о чем свидетельствуют импульсные и угловые распределения дейтронов. Импульсное распределение имеет характерный максимум для предсказаний полюсного приближения в районе  $120$  МэВ/с и быстро падает с ростом импульса. Угловое распределение также отвечает ожидаемому распределению ядра спектатора, т.е. близко к изотропному (асимметрия составляет  $0.02 \pm 0.02$ ).

Соответствующее распределение для нуклонов сильно отличается от спектаторного. Импульсный спектр широкий, а угловое распределение вытянуто вперед.

В работе показано, что рассматриваемая реакция идет главным образом через двухкратное рассеяние. На рис.5 приведено импульсное распределение самого медленного нуклона в системе покоя  $d'$  (в представлении  $^4He(d, d')$ ), после исключения наблюдаемого в реакции дейтрона-спектатора. Сравнение

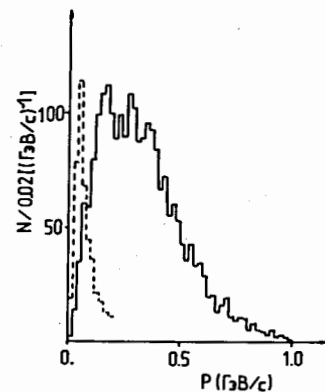


Рис.5 Импульсное распределение самого медленного нуклона в системе покоя  $d'$ . Пунктиром показан спектр нуклонов-спектаторов из реакции  $dp \rightarrow ppp$  при  $3.3$  ГэВ/с.

полученного спектра со спектром нуклонов-спектаторов из реакции развала дейтрона  $dp \rightarrow ppp$  подтверждает, что вклад квазидейтронного механизма (кластеризация ядра  $^4He$  на два дейтрона) мал и оба медленных нуклона являются участниками взаимодействия. Величина наклона дифференциального сечения по квадрату 4-импульса, переданного от падающего протона к лидирующему нуклону ( $b = 2.37 \pm 0.07$  (ГэВ/с) $^2$ ), также свидетельствует о двухкратном рассеянии лидирующей частицы на нуклонах ядра  $^4He$ .

Для выяснения механизма происхождения дейтронов неспектаторного характера в реакциях безмезонного развала ядра  $^4He$ , наряду с реакцией  $^4He \rightarrow dppn$ , был исследован канал  $^4He \rightarrow ddp$ . Он характерен тем, что всегда содержит спектаторный дейтрон. Об этом свидетельствуют импульсное и угловое распределения более медленного



дейтрона в системе покоя  ${}^4\text{He}$ . Импульсный спектр типичен для ядра спектатора, а угловое распределение изотропное (значение асимметрии  $0.05 \pm 0.05$ ).

Сравнение характерных распределений неспектаторных дейтронов из реакции  ${}^4\text{He} \rightarrow \text{dpp}$  и  ${}^4\text{He} \rightarrow \text{ddp}$  подтверждает предположение о том, что механизм образования неспектаторных дейтронов в этих реакциях безмезонного развала ядра одинаков и связан с коалесценцией нуклонов отдачи.

Проведенный анализ азимутальных корреляций вторичных нуклонов в реакциях безмезонного развала ядра  ${}^4\text{He}$  позволил проследить кинематическую связь между продуктами реакции и показал, что ослабление азимутальных корреляций в прямом канале реакции  ${}^4\text{He} \rightarrow \text{dpp}$  обусловлено коалесценцией скоррелированных пр-пар в дейтрон в результате взаимодействия в конечном состоянии и тем самым переходом в канал  ${}^4\text{He} \rightarrow \text{ddp}$ .

В четвертой главе проведен анализ одночастичных инвариантных распределений кумулятивных частиц в  $\text{dp}^{11-13/}$  и  ${}^4\text{He}$ -взаимодействиях<sup>13/</sup>.

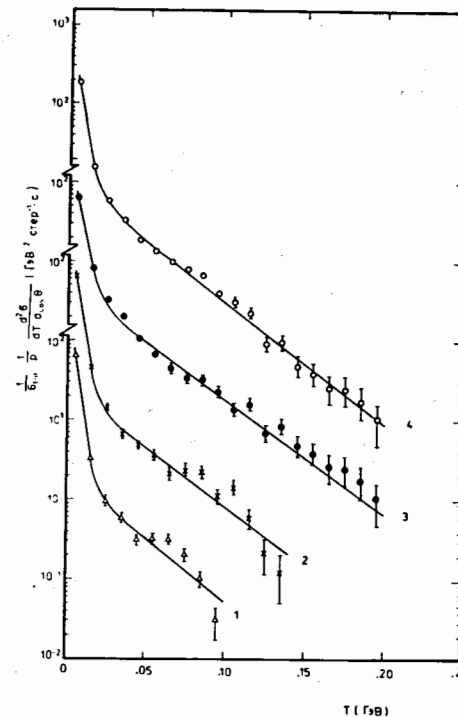
Были получены инклюзивные инвариантные одночастичные распределения адронов, вылетавших за кинематическим пределом, допустимым при соударении с отдельным нуклоном, в  $\text{dp}$ -взаимодействиях. Имеющаяся статистика позволила исследовать структурные функции  $f(T) = \sigma_{\text{tot}}^{-1} p^{-1} d\sigma/dT$  для трех разных угловых интервалов по косинусу угла вылета адронов в заднюю полусферу. На рис.6 представлены данные для протонов. Резкий излом в районе 30 МэВ демонстрирует различие механизмов реакций в области малых и больших значений  $T$ .

Полученные инвариантные инклюзивные сечения аппроксимировались суммой двух экспоненциальных функций

$$f(T) = A_1 \exp(-T/T_{01}) + A_2 \exp(-T/T_{02}).$$

Первая экспонента с большим значением параметров  $A_1$  (сечение при  $T=0$ ) и  $a_1=1/T_{01}$  (наклон экспоненты) соответствует полюсному механизму, когда в передаче импульса активно участвует только один из нуклонов дейтрона. Область же больших  $T$  может соответствовать механизмам, когда в реакции активно участвуют оба нуклона дейтрона.

Значения наклонов инвариантных инклюзивных сечений протонов в области больших  $T$  (>30 МэВ) хорошо согласуются с аналогичными данными, полученными в экспериментах с другими ядрами и при отличных от наших энергиях. Наблюдаемая независимость наклона от энергии и сорта начальных частиц указывает на справедливость



гипотезы предельной фрагментации для легчайших ядер.

Рис.6 Инвариантное сечение  $f(T)$  для инклюзивных протонов в  $\text{dp}$ -взаимодействиях. Кривые: 1- $\cos\theta \in [-1; -0.67]$ , 2- $\cos\theta \in [-0.67; -0.33]$ , 3- $\cos\theta \in [-0.67; 0]$ , 4- $\cos\theta \in [-1; 0]$ .

Далее подробно исследуется как область малых  $T$ , так и область больших  $T$ . Обсуждаются механизмы, которые дают наибольший вклад в этих областях. Показано, что низкоэнергетическая часть спектра согласуется с предсказаниями полюсного приближения. Для анализа высокоэнергетической части спектра исследовано кумулятивное

образование протонов и нейтронов из реакции безмезонного развала дейтрона. Полученные экспериментальные данные для отношения вероятностей выхода протонов и нейтронов от угла вылета в кумулятивной области согласуются с предсказаниями, сделанными на основе модели образования  $\Delta$ -резонанса в промежуточном состоянии. В рамках этой модели также удовлетворительно описывается спектр по масштабной переменной  $x=T/T_{\text{max}}$  в реакции  $\text{dp} \rightarrow \text{pp}$ .

Проведенный анализ образования протонов и нейтронов в кинематически запрещенной для нуклон-нуклонного взаимодействия области подтверждает предположение о существенной роли механизма образования  $\Delta$ -изобары в промежуточном состоянии.

В этой главе проводится также анализ измеренных дифференциальных сечений  $\frac{d\sigma}{dT}$  для суммарного безмезонного развала ядер  ${}^4\text{He}$  и  ${}^3\text{He}$  при импульсах 8.6 и 13.5 ГэВ/с в рамках модели многократного рассеяния Глаубера-Ситенко<sup>5,14/</sup>. Четырех-импульсная передача  $t$  вычислялась в лабораторной системе от протона-мишени к самому медленному протону в конечном состоянии. Дается краткое описание модели.

Проведенный анализ показал, что экспериментальные дифференциальные сечения  $\frac{d\sigma}{dt}$  безмезонного развала ядер  ${}^4\text{He}$  при импульсах 8.6 и 13.5 ГэВ/с, а также ядра  ${}^3\text{He}$  при импульсе 13.5 ГэВ/с согласуются с предсказаниями модели многократного рассеяния Глаубера–Ситенко вплоть до передаваемых четырех-импульсов  $0.40 \pm 0.45$  (ГэВ/с)<sup>2</sup>.

Пятая глава диссертации посвящается проблеме дибарионных резонансов /15–20/. Проведен краткий обзор современного статуса дибарионов и представлены результаты исследований по их поиску в  $dp$  и  ${}^4\text{He}$ -взаимодействиях.

Применяемая методика исследований дала возможность исследовать практически без потерь большинство реакций в эксклюзивном подходе, а малое число вторичных частиц позволило провести конкретные расчеты для проверки некоторых модельных соображений.

Для изучения спектра эффективных масс двух нуклонов были отобраны реакции:

$d p \rightarrow p p n$	47 298 событий	(3),
$d p \rightarrow p \pi^+ n n$	2 414 " "	(4),
${}^4\text{He} p \rightarrow d p r n$	2 783 " "	(5),
${}^4\text{He} p \rightarrow p r r r n \pi^-$	723 " "	(6).

Знание кинематической области, где преобладают простые механизмы, типа полюсного, позволило выделить класс взаимодействий, где образование двухнуклонных резонансов ожидается более вероятным. Аргументируется процедура выделения такой области. Для реакции (3) это соответствует отбору беспектаторных событий, методом выделения которых может служить обрезание снизу по импульсу самого медленного из наблюдаемых в реакции нуклонов.

На рис. 7 и 8 представлены распределения по эффективным массам медленных нуклонов для реакции перезарядки и прямого развала дейтрона соответственно с обрезанием  $p_s > 200$  и  $p_s > 350$  МэВ/с. В таблице 1 приведены параметры наблюдаемых особенностей, полученные при аппроксимации экспериментальных распределений функцией

$$\frac{dN}{dM} \approx \alpha \Phi(M) + \sum_i \beta_i BW_i(M),$$

представляющей собой сумму фонового распределения  $\Phi(M)$  (в качестве которого подбирался полином второй степени) и резонансных брейт-вигнеровских функции  $BW(M)$ . Для  $M_{pp}$ -спектра бралась сумма четырех функций Брейта-Вигнера, а для  $M_{pn}$ -спектра принималась трехрезонансная гипотеза. В таблице для каждого максимума указано также число стандартных отклонений от фона (S.D.).

Для поиска нейтрального дибариона ( $DB^0$ ), партнера

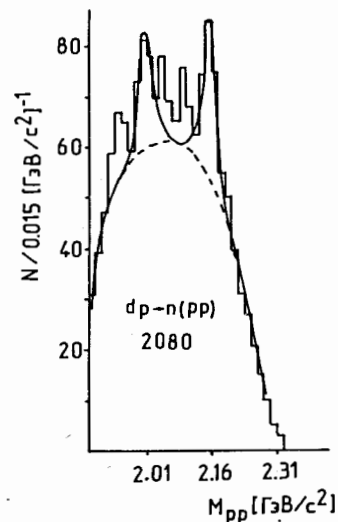


Рис. 7 Распределение по эффективной массе двух протонов из канала с перезарядкой  $dp \rightarrow (pp)n$ .

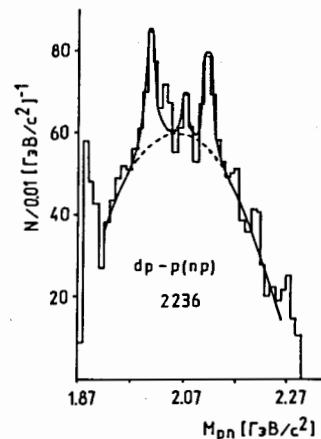


Рис. 8 Распределение по эффективной массе  $pn$ -системы из прямого канала  $dp \rightarrow (pn)p$ .

соответствующих заряженных состояний, исследовалась реакция  $dp \rightarrow p\pi^+(nn)$ . Поскольку сечение образования двух пионов в  $NN$ -взаимодействии при импульсе 1.66 ГэВ/с ( $\approx 50$ мкб) существенно меньше, чем полное сечение канала  $dp \rightarrow p\pi^+(MM)$  (20мб), то можно считать, что в качестве недостающей массы в данной реакции являются два нейтрона.

Таблица 1

$M_{pp}$ МэВ	$\Gamma_{pp}$ МэВ	S.D.	$M_{pn}$ МэВ	$\Gamma_{pn}$ МэВ	S.D.
$1939 \pm 15$	$27 \pm 13$	2.2			
$2007 \pm 15$	$39 \pm 17$	4.1	$2006 \pm 10$	$25 \pm 11$	5.1
$2090 \pm 15$	$10 \pm 12$	2.0	$2080 \pm 10$	$9 \pm 12$	1.7
$2154 \pm 15$	$31 \pm 11$	5.8	$2118 \pm 10$	$15 \pm 13$	4.3

Анализ этой реакции показал, что в распределениях по эффективной массе двух нейтронов для событий, в которых оба нейтрона принимали участие во взаимодействии, наблюдаются два отчетливых пика при значениях масс  $M_{nn} = 2020$  и  $2140$  МэВ.

Для более точного определения параметров статистически

обеспеченных состояний все спектры эффективных масс  $M_{pp}$ ,  $M_{pn}$  и  $M_{nn}$  аппроксимировались с учетом экспериментальных разрешений двумя функциями Брейта-Вигнера. Результаты аппроксимации приведены в таблице 2. Учет экспериментального разрешения позволяет понизить оценку верхней границы ширины резонансов до 20 МэВ.

Таблица 2.

реакция	Z	M МэВ	$\Gamma$ МэВ	S.D	M МэВ	$\Gamma$ МэВ	S.D	$\chi^2/ND$
$dp \rightarrow (pp)n$	++	2009±15	16±19	4.1	2145±15	7±11	5.8	9.6/21
$dp \rightarrow (pn)p$	+	2007±10	8±12	5.1	2118±10	6±9	4.3	6.2/32
$dp \rightarrow (nn)p\pi^+$	0	2027±20	16±18	6.3	2137±20	17±9	8.2	21.2/14

Как видно, в  $dp$ -взаимодействиях с высокой статистической значимостью наблюдаются два дибарионных состояния и получены все их зарядовые компоненты.

Распределения по эффективной массе двух медленных нуклонов из реакции  ${}^4\text{He} \rightarrow dppn$  приведены на рис.9. Видно, что для  $pn$ -системы в прямом канале

Рис.9 Распределение по эфф. массе двух медленных нуклонов для прямого канала (верхняя гист.) и канала с перезарядкой (нижняя гист.).

спектр имеет убывающую форму и описывается экспоненциальным законом с уровнем достоверности более 60%. Спектр эффективных масс двух протонов имеет иной характер и наилучшее описание достигается суммой экспоненциального фона и двух функций Брейта-Вигнера со следующими параметрами:

$$M_1 = 2035 \pm 15 \text{ МэВ} \quad \Gamma_1 = 30 \pm 23 \text{ МэВ};$$

$$M_2 = 2137 \pm 15 \text{ МэВ} \quad \Gamma_2 = 59 \pm 20 \text{ МэВ} \quad \chi^2/ND = 27/20.$$

Превышение первого пика над фоном составило 3.0, а второго 3.2 стандартных отклонений. Сечения, соответствующие пикам, были равны  $\sigma_1 = 0.12 \pm 0.04$  мбн и  $\sigma_2 = 0.20 \pm 0.04$  мбн.

Дибарионные состояния искались в реакции  ${}^4\text{He} \rightarrow pppn\pi^-$ . Анализ

экспериментального спектра по эффективной массе двух протонов дал примерно такие же значения масс, что и в реакции  ${}^4\text{He} \rightarrow dppn$ :

$$M_1 = 2036 \pm 15 \text{ МэВ} \quad \Gamma_1 = 27 \pm 25 \text{ МэВ} \quad \text{S.D.} = 4.2$$

$$M_2 = 2126 \pm 15 \text{ МэВ} \quad \Gamma_2 = 41 \pm 38 \text{ МэВ} \quad \text{S.D.} = 3.1$$

Была предпринята попытка объяснить найденные особенности без привлечения гипотезы о дибарионных резонансах. Так, например, в реакциях  $nA \rightarrow NN\chi$  внутри ядра могут происходить процессы типа  $\pi^+ NN \rightarrow NN$ , которые при малых энергиях пионов приводят к резонансным эффектам. В частности, сечение реакции  $\pi^+ d \rightarrow pp$  имеет максимум в области указанных значений масс.

Проведенный расчет по эффективным массам двух протонов воспроизводит положение пиков, однако, не описывает ширины наблюдаемых резонансов. К тому же для получения первого максимума ( $M_{pp} = 2.01 \pm 2.02$  ГэВ) необходимо введение дополнительного предположения о наличии особенности в поведении внеэнергетической амплитуды реакции  $\pi d \rightarrow NN$  вблизи порога.

В шестой главе изложены результаты исследований в пучке поляризованных дейтронов <sup>21-22</sup>. Эксперимент был проведен в пучке векторно поляризованных дейтронов с импульсом 3.33 ГэВ/с в канале быстрого вывода синхрофазотрона. Импульс пучка выбирался из двух соображений: во-первых, в этой области энергий анализирующая способность водорода близка к максимальной и измерена с достаточно хорошей точностью, а во-вторых, был накоплен экспериментальный материал по  $dp$ -взаимодействиям при этом же значении импульса в пучке неполяризованных дейтронов.

Суммарная статистика  $d\uparrow p$ -взаимодействий составила 63 646 событий, на основе которых был проведен физический анализ.

Поскольку облучение камеры было проведено в канале быстрого вывода синхрофазотрона, где имеются заметные продольные компоненты магнитного поля, было опасение, что пучок может деполаризоваться. Поэтому была проведена оценка степени поляризации пучка в водородной камере.

Проведение такой оценки основывалось на предположении о том, что в основном состоянии дейтрона спины протона и нейтрона ориентированы по спину дейтрона. Расчеты, проведенные К.Вилкиным, показывают, что это действительно так в области ферми-импульсов до 200 МэВ/с, т.е. там, где можно избежать эффектов, связанных с D-волной. Как отмечалось, такому требованию удовлетворяет подавляющая часть событий реакции развала дейтрона  $dp \rightarrow ppp$ , которая, в основном, представляет квазиупругое  $pp$  или  $pn$ -рассеяние.

Оценка поляризации пучка проводилась по измерению азимутальной асимметрии вылета нуклонов отдачи в реакции  $dp \rightarrow pnp$ . Для определения поляризации необходимо знание анализирующей способности водорода, которую можно оценить с использованием данных о поляризации в упругом  $pp$  и  $rp$ -рассеянии. Для средней анализирующей способности водорода была получена  $\langle A \rangle = 0.33 \pm 0.04$ .

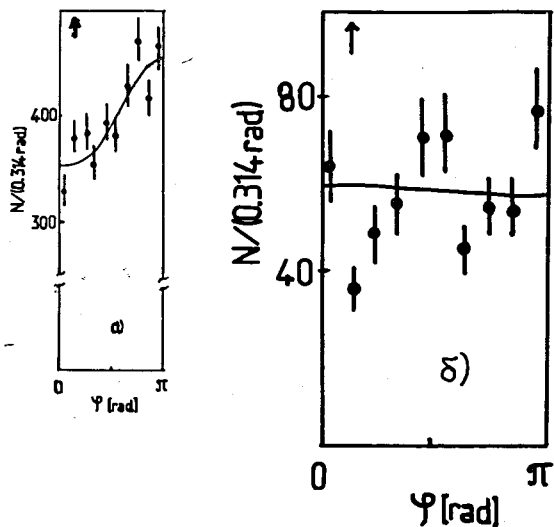
Предметом анализа явились распределения по азимутальному углу нуклонов отдачи в реакции развала  $dp \rightarrow pnp$ . Полученное угловое распределение для протонов отдачи из прямого канала  $dp \rightarrow (pn)p$  представлено на рис.10а. Оно аппроксимировалось выражением  $N(\varphi) = N_0(1 + B \cos \varphi + C \cos 2\varphi)$ , где коэффициент  $B$  определяет векторную поляризацию пучка  $P_z = B/\langle A \rangle$ ,  $\langle A \rangle$ -анализирующая способность водорода, а коэффициент  $C$  связан с выстроенностью дейтрона. Результаты аппроксимации сведены в таблицу 3 и изображены кривой на рис.10а.

Таблица 3.

Реакция	B	C	$\chi^2/ND$	$P_z$
$dp \rightarrow (pn)p$	$-0.13 \pm 0.03$	$0.02 \pm 0.03$	4.47	$-0.41 \pm 0.09$

Полученная оценка векторной поляризации пучка:  $P_z = -0.41 \pm 0.09$  в пределах ошибок хорошо согласуется с измеренным значением поляризации внутри камеры ускорителя  $P_z = -0.50 \pm 0.05$ , что свидетельствует о отсутствии заметной деполаризации дейтронов в процессе ускорения и быстрого вывода.

Рис.10 Азимутальные распределения нуклонов отдачи: а) прямой канал; б) канал с перезарядкой.



На эксперименте было обнаружено, что азимутальное

распределение нейтрона отдачи из канала перезарядки, приведенное на рис.10б, существенно отличается от такого же распределения для протонов отдачи из прямого канала (рис.10а). Для объяснения этого различия был проведен расчет с учетом ядерных эффектов в реакции перезарядки, а именно, с учетом принципа Паули и D-состояния дейтрона. Расчеты, проведенные в импульсном приближении с учетом D-волны и принципа Паули (кривая на рис.10б) не воспроизводят экспериментальные данные ( $\chi^2/ND=52/8$ ).

В заключении сформулированы основные результаты работы:

1. В рамках единой методики получен экспериментальный материал для исследования  $^4\text{He}$ -взаимодействий при двух значениях начальных импульсов ядер  $^4\text{He}$  8.6 и 13.5 ГэВ/с и  $^3\text{He}$ -столкновений при 13.5 ГэВ/с. Впервые было проведено облучение водородной пузырьковой камеры в пучке поляризованных дейтронов при импульсе 3.35 ГэВ/с и показана целесообразность использования камерной методики в поляризационных исследованиях;

2. Впервые определены полные сечения взаимодействия ядер  $^4\text{He}$  и  $^3\text{He}$  с водородом в исследуемой области энергий, сечения основных каналов реакций в  $^4\text{He}$ -взаимодействиях при импульсе 8.6 ГэВ/с, а также топологические сечения в  $^4\text{He}$  и  $^3\text{He}$ -столкновениях при 13.5 ГэВ/с;

3. Впервые получены импульсные и угловые распределения спектаторных частиц в реакциях развала легких ядер ( $^2\text{H}$ ,  $^4\text{He}$ ) при промежуточных энергиях. Показано, что импульсные спектры хорошо согласуются с предсказаниями спектаторной модели, а объяснение угловых распределений требует учета фактора потока и энергетической зависимости сечения соответствующего канала нуклон-нуклонного взаимодействия;

4. Показано, что наблюдаемая зависимость асимметрии по углу Треймана-Янга от импульса нуклона-спектатора в реакции прямого развала дейтрона описывается импульсным приближением с учетом взаимодействия в конечном состоянии нейтрон-протонной пары. В случае реакции развала дейтрона с перезарядкой учет взаимодействия в конечном  $^1S_0$ -состоянии двух протонов дает качественное объяснение экспериментального хода асимметрии;

5. Показано, что для описания совокупности экспериментальных данных  $dp$ -эксперимента, а именно дифференциальных сечений  $d\sigma/dt$ ,  $d\sigma/dQ$  и  $d\sigma/dp_{sp}$  для реакции развала дейтрона, необходимо учесть образование  $\Delta$ -изобары в промежуточном состоянии. Этот механизм

существенен в кинематической области, соответствующей импульсам "нуклонов-спектаторов" больше 300 МэВ/с;

6. Впервые в эксклюзивной постановке исследованы безмезонные реакции развала ядра  ${}^4\text{He}$  с выходом дейтронов. Механизм реакции  ${}^4\text{He} \rightarrow dppn$  таков, что в подавляющем большинстве случаев дейтрон является спектаторной частицей, а оставшиеся два нуклона ядра вовлечены во взаимодействие. Обнаружено, что неспектаторные дейтроны, в основном, формируются через коалесценцию нуклонов отдачи в результате взаимодействия в конечном состоянии. Найдена малая вероятность  $dd$ -ассоциации в ядре  ${}^4\text{He}$ ;

7. Обнаружено универсальное поведение азимутальных асимметрий в реакции  ${}^4\text{He} \rightarrow dppn$  при импульсе ядра 8.6 и 13.5 ГэВ/с. Ослабление азимутальных корреляций в прямом канале реакции  ${}^4\text{He} \rightarrow dppn$  обусловлено коалесценцией скоррелированных  $pn$ -пар в дейтрон в результате взаимодействия в конечном состоянии и тем самым переходом в канал  ${}^4\text{He} \rightarrow ddp$ ;

8. Впервые были получены инклюзивные сечения образования нуклонов в кинематически запрещенной области для свободного нуклон-нуклонного соударения в  $dp$  (1977г.) и  ${}^4\text{He}$ -взаимодействиях. В  $dp$ -столкновениях наблюдается изменение наклона одночастичных инвариантных спектров для протонов в районе  $T=30$  МэВ, указывающее на различные механизмы образования протонов в области малых и больших кинетических энергий. Низкоэнергетическая часть спектра согласуется с предсказаниями полюсного приближения;

9. Показано, что в реакции безмезонного развала дейтрона выход нуклонов за кинематическим пределом, допустимым при соударении с отдельным нуклоном, обусловлен механизмом взаимодействия промежуточных изобарных состояний с нуклоном. Такой механизм подтверждается анализом образования нуклонов в "кинематически запрещенной" области в реакциях развала ядра  ${}^4\text{He}$ ;

10. Определены дифференциальные сечения  $d\sigma/dt$  реакций безмезонного развала ядер  ${}^4\text{He}$  при импульсе 8.6 и 13.5 ГэВ/с и ядра  ${}^3\text{He}$  при импульсе 13.5 ГэВ/с. Показано, что эйконалная модель многократного рассеяния Глаубера-Ситенко хорошо описывает данные по дифференциальным сечениям реакции безмезонного развала ядер  ${}^4\text{He}$  и  ${}^3\text{He}$  в области передаваемых четырех-импульсов  $|t| < (0.4 \pm 0.45) (\text{ГэВ}/c)^2$ ;

11. Показано, что для поиска дибарионных состояний во взаимодействиях легких ядер с протонами принципиально важным является выделение кинематической области, где образование

двухнуклонных связанных состояний ожидается более вероятным;

12. Обнаружены узкие резонансоподобные пики с шириной 20 МэВ в области масс  $M_{NN} = 2.01 \pm 2.02$  и  $M_{NN} = 2.12 \pm 2.15$  ГэВ в  $dp$ -взаимодействиях при импульсе 3.3 ГэВ/с. Экспериментальные ширины наблюдаемых пиков ядерными эффектами не объясняются, что может служить как указание на наблюдение дибарионных резонансов. Получены все зарядовые компоненты ( $DB^{++}, DB^+, DB^0$ ) этих состояний;

13. В реакции  ${}^4\text{He} \rightarrow dppn$  обнаружены две особенности в спектре эффективных масс двух протонов при  $M_{pp} = 2035 \pm 15$  и  $M_{pp} = 2137 \pm 15$  МэВ. Усиление азимутальной корреляции в области пиков указывает на наблюдение дибарионных резонансов. При этих же значениях масс найдены нерегулярности в  $M_{pp}$ -спектре в случае реакции  ${}^4\text{He} \rightarrow pppn$ ;

14. На основе анализа азимутальных распределений протонов отдачи из прямого развала дейтрона определена векторная поляризация пучка  $P_z = -0,41 \pm 0,09$ . Показано, что существенная деполяризация пучка в процессе ускорения и быстрого вывода не имеет места;

15. Обнаружено аномальное поведение распределения по азимутальному углу нейтронов отдачи в реакции безмезонного развала дейтрона с перезарядкой.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

1. Glagolev V.V., ... Nioradze M.S. et al. Two-pronged events in  ${}^4\text{He}$  collisions at 8.56 GeV/c  ${}^4\text{He}$  incident momentum. Phys.Rev., c18 (1976) 1382.
2. Glagolev V.V., ... Nioradze M.S. et al. General features of  ${}^4\text{He}$  breakup reactions in  ${}^4\text{He}$  interactions at a  ${}^4\text{He}$  incident momentum of 8.56 GeV/c. Сообщение ОИЯИ, Е1-12943, Дубна, 1979.
3. Буздавина Н.А., ... Ниорадзе М.С. и др. Топологические сечения  ${}^3\text{He}$ -взаимодействий при импульсе  ${}^3\text{He}$  13.5 ГэВ/с. Сообщение ОИЯИ, 1-81-530, Дубна, 1981.
4. Aladashvili B.S., ... Nioradze M.S. et al. Asymmetry in the angular distributions of spectator-nucleons. Preprint JINR, E1-9814, Dubna, 1976.
5. Качарава А.К., Мирианшвили Д.Г., Ниорадзе М.С., Салуквадзе З.Р. Анализ реакции безмезонного развала ядра в  ${}^4\text{He}$ -взаимодействиях Труды Тбилисского гос. университета. 260 (1985) 122.
6. Aladashvili B.S., ... Nioradze M.S. et al. Final-state interaction in the high-energy proton-deuteron break-up reaction. Journal of Phys. G: Nucl, Phys.: 3 (1977) 7.

7. Aladashvili B.S., ... Nioradze M.S. et al. Final-state interaction in the high-energy proton-deuteron charge exchange reaction. *Journal of Phys. G: Nucl. Phys.*, 3 (1977) 1225.
8. Глаголев В.В., ... Ниорадзе М.С. и др. Выход дейтронов в  $^4\text{He}$ -взаимодействиях при 8.6 ГэВ/с. Сообщение ОИЯИ, 1-80-244, Дубна, 1980.
9. Зелински П., ... Ниорадзе М.С. и др. Азимутальные корреляции и дибарионные состояния в реакции  $^4\text{He} \rightarrow \text{dppn}$ . *ЯФ*, 40 (1984) 482.
10. Зелински П., ... Ниорадзе М.С. и др. Азимутальные корреляции и образование дейтронов во взаимодействиях протонов с легкими ядрами. *ЯФ*, 47 (1988) 744.
11. Аладшвили Б.С., ... Ниорадзе М.С. и др. Одночастичные распределения с большими передачами импульса в  $\text{dp}$ -столкновениях при импульсе падающих дейтронов 3.3 ГэВ/с. *ЯФ*, 27 (1978) 704.
12. Глаголев В.В., ... Ниорадзе М.С. и др. Пространственные корреляции в реакциях трехчастичного взаимодействия  $\text{pd} \rightarrow \text{ppn}$ . *ЯФ*, 30 (1979) 1569.
13. Собчак Т., ... Ниорадзе М.С. и др. Импульсные распределения нуклонов, вылетающих под большими углами в  $^4\text{He}$ -столкновениях. Сообщение ОИЯИ, 31-88-393, ДУБНА, 1988.
14. Glagolev V.V., ... Nioradze M.S. et al.  $\alpha$ -particle break-up in the interaction with protons at 8.6 GeV/c  $^4\text{He}$  momentum. *Nucl. Phys.*, A445 (1985) 572.
15. Glagolev V.V., ... Nioradze M.S. et al. Enhancements observed in the two proton effective mass distribution in the pionless deuteron breakup at 3.3 GeV/c. *JINR Rapid Communic.* 5, 1984.
16. Glagolev V.V., ... Nioradze M.S. et al. Possible dibarion states produced in  $^4\text{He}$ -proton interactions. *Z. Phys.*, A317 (1984) 335.
17. Зелински П., ... Ниорадзе М.С. и др. Возможное наблюдение дибарионных состояний в  $^4\text{He}$ -взаимодействиях. Материалы международного симпозиума "Кварки-84". *ИЯИ АН СССР*, 2 (1984) 274.
18. Dolidze M.G., ... Nioradze M.S. et al. Enhancement observed in the two-proton invariant mass distribution in the pionless deuteron breakup at 3.3 GeV/c. *Z. Phys.*, A325 (1986) 391.
19. Балгансурэн Я., ... Ниорадзе М.С. и др. Исследование дибарионных состояний в  $\text{dp}$ -взаимодействиях при импульсе 3.3 ГэВ/с. Сообщение ОИЯИ, P1-88-503, Дубна, 1988.
20. Глаголев В.В., ... Ниорадзе М.С. и др. Узкие дибарионные состояния в  $\text{dp}$ -взаимодействиях, *ЯФ*, 51 (1990) 736.
21. Balgansuren J., ... Nioradze M.S. et al. The  $\text{d}\uparrow\text{p} \rightarrow \text{ppn}$  reaction as

- an analyser of deuteron polarization. Труды VII международного симпозиума по спиновым явлениям в физике высоких энергий, ИФЭ, Протвино, 2 (1987) 146.
22. Глаголев В.В., ... Ниорадзе М.С. и др. Развал поляризованного дейтрона  $\text{d}\uparrow\text{p} \rightarrow \text{ppn}$ . Сообщение ОИЯИ, P1-88-6, Дубна, 1988.

Рукопись поступила в издательский отдел  
23 мая 1991 года.