

81601

Л-154



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1-2006-180

На правах рукописи

УДК 539.172.138.5

ЛАДЫГИН
Владимир Петрович

ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ДЕЙТРОНОВ С ПРОТОНАМИ
И ЯДРАМИ В ОБЛАСТИ ИМПУЛЬСОВ 0,7–9,0 ГэВ/с

Специальность: 01.04.16 — физика атомного ядра
и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук

С343г + С346.2г + С343и

Объединенный институт
ядерных исследований
Дубна 2006
БИБЛИОТЕКА

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий
Объединенного института ядерных исследований.

Научный консультант:

доктор физико-математических наук,
профессор

Леонид Степанович
АЖГИРЕЙ

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук,
профессор

Виктор Викторович
ГЛАГОЛЕВ

доктор физико-математических наук,
профессор

Алексей Борисович
КУРЕПИН

доктор физико-математических наук,
профессор

Людмила Ивановна
САРЫЧЕВА

Ведущее научно-исследовательское учреждение:
ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий, г.Протвино.

Защита состоится "15" апреля 2007 года в "11³⁰" часов на
заседании диссертационного совета Д 720.001.02 в Лаборатории высоких
энергий Объединенного института ядерных исследований, г.Дубна
Московской обл.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.

Автореферат разослан "25" января 2007 года

Ученый секретарь
диссертационного совета

кандидат физ.-мат. наук, старший научный сотрудник

 В.А.Арефьев

Общая характеристика работы.

Актуальность темы. Ядерные реакции с участием релятивистских дейтронов традиционно используются для изучения нуклон-нуклонного взаимодействия при высоких энергиях, структуры легких ядер на малых межнуклонных расстояниях, механизмов рождения мезонов и барионных резонансов.

Спиновая структура легких ядер широко исследовалась в течение последних десятилетий с использованием как электромагнитных, так и адронных пробников. Главной задачей этих исследований при промежуточных и высоких энергиях являлось получение информации о высокоимпульсных компонентах легких ядер с целью изучения проявления релятивистских эффектов и ненуклонных степеней свободы. Детальное изучение структуры легких ядер в процессах с большими передачами импульсов к одиночному нуклону может обеспечить получение важной информации о природе и свойствах ядерных сил, действующих между конститuentами ядер, и позволить сделать выбор между различными моделями этих сил.

Среди ядер дейтрон занимает особое место, так как в нерелятивистской физике он описывается как простейшая слабо связанная система двух нуклонов. Однако, в то время, как статические свойства дейтрона типа энергии связи, среднеквадратичного радиуса, магнитного и квадрупольного моментов хорошо известны, его структура на малых расстояниях изучена гораздо хуже. По мере увеличения энергии дейтрона и его нуклонов релятивистские эффекты играют все большую роль на малых межнуклонных расстояниях, а также в динамике взаимодействия. Другой вопрос состоит в том, как фундаментальные степени свободы сильного взаимодействия (кварки и глюоны) могут проявляться на расстояниях, сравнимых с размером нуклона. С точки зрения квантовой хромодинамики (КХД) на этих расстояниях происходит переход от традиционной нуклон-мезонной картины ядра к ситуации, когда нуклоны теряют свою индивидуальность и возможно проявление ненуклонных: кварк-глюонных или барион-барионных степеней свободы в ядрах. Следовательно, исследование структуры ядер на малых расстояниях необходимо для построения реалистичной теории сильных взаимодействий.

Так как спин дейтрона равен 1, это дает широкие возможности в проведении многочисленных поляризационных экспериментов с

участием дейтронов, и следовательно, в получении принципиально новой информации о поведении независимых наблюдаемых, некоторые из которых чувствительны к деталям структуры легких ядер на малых расстояниях. Это позволяет сделать выбор между различными моделями ядерных сил между конституэнтами.

С другой стороны, так как изоспин дейтрона равен нулю, реакция неупругого рассеяния дейтронов на водороде, $H(d, d')X$, селективна по отношению к недетектируемой системе с изоспином $1/2$, и данный процесс может быть использован для получения важной информации о формировании барионных резонансов $N^*(1440)$, $N^*(1520)$, $N^*(1680)$, $N^*(2190)$ и других.

Эксперименты по изучению тензорной и векторной анализирующих способностей, A_{yy} и A_y , в инклюзивной реакции фрагментации дейтрона на водороде и ядрах с испусканием протона с большими поперечными импульсами на синхрофазотроне ЛВЭВБ ОИЯИ и тензорной анализирующей способности T_{20} реакций $dd \rightarrow {}^3\text{He}n$ и $dd \rightarrow {}^3\text{He}p$ под нулевым углом при промежуточных энергиях на ускорительном комплексе RIKEN были направлены на получение новой информации, необходимой для развития моделей теоретического описания спиновой структуры дейтрона, ${}^3\text{He}$ и ${}^3\text{H}$ на расстояниях, сравнимых с размером нуклона. Полученные экспериментальные данные по тензорной и векторной анализирующим способностям, A_{yy} и A_y , в реакции неупругого рассеяния дейтронов высоких энергий на протонах и ядрах дополняют информацию о структуре дейтрона, извлеченную из других процессов, и важны для понимания механизмов рождения барионных резонансов.

Целью работы является исследование тензорных и векторных анализирующих способностей, A_{yy} и A_y , реакций фрагментации дейтрона в протоны, (d, p) , и неупругого рассеяния дейтрона, $(d, d')X$, на протонах и ядрах с вылетом вторичных частиц с большими поперечными импульсами для получения новой информации о спиновой структуре релятивистского дейтрона и механизмах возбуждения барионных резонансов; исследование тензорной анализирующей способности T_{20} реакций $dd \rightarrow {}^3\text{He}n$ и $dd \rightarrow {}^3\text{He}p$ под нулевым углом при промежуточных энергиях в области чувствительности к спиновой структуре ${}^3\text{He}$ и ${}^3\text{H}$ на малых межнуклонных расстояниях.

Научная новизна работы.

Предложен эксперимент и впервые получены систематические данные по тензорной и векторной анализирующим способностям, A_{yy} и A_y , в реакции фрагментации дейтрона с начальным импульсом 4.5–9 ГэВ/с на водороде и ядрах при больших поперечных импульсах протонов, чувствительные к спиновой структуре релятивистского дейтрона.

Впервые получены данные по тензорной и векторной анализирующим способностям, A_{yy} и A_y , в реакции неупругого рассеяния дейтрона с начальным импульсом 4.5–9 ГэВ/с на водороде и ядрах под ненулевыми углами вылета вторичного дейтрона в области возбуждения барионных резонансов.

Выполнен анализ поляризационных явлений для реакции неупругого рассеяния дейтрона в области возбуждения барионных резонансов в рамках импульсного приближения. Получены предсказания для набора поляризационных наблюдаемых реакции $(d, d')X$ и оценки отношения зависящей от спина к независимой от спина частей амплитуд элементарных процессов $NN \rightarrow NN^*$.

Предложен эксперимент и впервые получены данные по тензорной анализирующей способности T_{20} реакций $dd \rightarrow {}^3\text{He}n$ и $dd \rightarrow {}^3\text{He}p$ под нулевым углом при энергиях начального дейтрона 140–270 МэВ, чувствительные к спиновой структуре ${}^3\text{He}$ и ${}^3\text{H}$ на малых межнуклонных расстояниях.

Проведен анализ реакции $dd \rightarrow {}^3\text{He}n({}^3\text{He}p)$ в рамках одноструклонного обмена. Показано, что часть поляризационных наблюдаемых данной реакции чувствительна к спиновой структуре ${}^3\text{He}({}^3\text{H})$ на малых расстояниях.

Научно-практическая значимость работы.

Результаты по тензорной и векторной анализирующим способностям, A_{yy} и A_y , реакции фрагментации дейтрона на протонах и ядрах в широком диапазоне поперечных импульсов протонов существенно дополняют имеющиеся экспериментальные данные и дают фактический материал для развития теоретических моделей описания дейтрона на малых расстояниях.

Данные по тензорной и векторной анализирующим способностям, A_{yy}

и A_y , реакции неупругого рассеяния дейтрона на протонах и ядрах, полученные в тех же кинематических условиях, что и для реакции фрагментации дейтрона в протоны, дают новую важную информацию о механизмах возбуждения барионных резонансов в области масс ~ 1.4 – 2.6 ГэВ/ c^2 .

Данные по тензорной анализирующей способности T_{20} реакций $dd \rightarrow {}^3\text{He}n$ и $dd \rightarrow {}^3\text{He}p$ под нулевым углом при энергиях начального дейтрона 140–270 МэВ, полученные с высокой статистической и систематической точностью, дают необходимую информацию для развития моделей описания спиновой структуры трех-нуклонных систем.

В ходе реализации данной работы для измерения векторной поляризации пучка дейтронов в ЛВЭВБ был впервые использован поляриметр, основанный на квази-упругом протон-протонном рассеянии, исследованы возможности дальнейшего уменьшения систематических ошибок измерений поляризации пучка. Данные исследования важны для продолжения спиновой программы на Нуклотроне ЛВЭВБ и в других научных центрах.

Апробация работы и публикации. Результаты, лежащие в основе диссертации, опубликованы в журналах "Ядерная Физика", "Краткие сообщения ОИЯИ", "Письма в ЭЧАЯ", "Phys.Lett.B", "Eur.J.Phys.A", "Few-Body Systems", "Nuovo Cimento A", "Nucl.Instr. and Meth. in Phys.Res. A" и др. Они докладывались и обсуждались на семинарах ОИЯИ, на XIV-ом (Осака, Япония, 2000), XV-ом (Лонг-Айсланд, США, 2002), XVI-ом (Триест, Италия, 2004) международных конференциях по спиновой физике; на XVI-ой международной конференции по проблемам физики малочастичных систем (Тайпей, Тайвань, 2000), на I-ой (Нода-Кашива, Япония, 1999) и II-ой (Шанхай, КНР, 2002) Азиатско-Тихоокеанских международных конференциях по проблемам физики малочастичных систем; на IX-ой международной конференции по спектроскопии адронов "HADRON-2001" (Протвино, 2001); на XV-ом, XVI-ом и XVII-ом международных симпозиумах по проблемам физики высоких энергий (Дубна, 2000, 2002 и 2004); на международных рабочих совещаниях по проблемам спиновой физики высоких энергий (Дубна, 2001 и 2003); на VI-ом (Варна, Болгария, 2001) и VII-ом (Стара Лесна, Словакия, 2003) международных рабочих совещаниях по релятивистской ядерной физике "RNP: from Hundreds of MeV to TeV";

на международной конференции по структуре адронов "Hadron Structure 2004" (Смоленице, Словакия, 2004) и др.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах [1]–[47].

Объем и структура работы.

Диссертационная работа изложена на 174 страницах, состоит из введения, шести глав и заключения, содержит 44 рисунка, 12 таблиц и список цитируемой литературы из 233 наименований.

Автор защищает

1. Процедуру и результаты измерения тензорной и векторной анализирующих способностей, A_{yy} и A_y , реакции фрагментации дейтрона на протонах и ядрах при больших поперечных импульсах протонов (до 900 МэВ/ c) и реакции неупругого рассеяния дейтрона на протонах и ядрах под ненулевыми углами вылета при импульсе начального дейтрона 4.5–9.0 ГэВ/ c на синхрофазотроне и установке "СФЕРА" ЛВЭВБ ОИЯИ.
2. Выводы из результатов изучения реакции фрагментации поляризованных дейтронов в протоны с ненулевыми поперечными импульсами о чувствительности полученных данных по A_{yy} к структуре релятивистского дейтрона.
3. Выводы из результатов изучения реакции неупругого рассеяния дейтронов о чувствительности полученных данных по A_{yy} и A_y к возбуждению барионных резонансов с массами $M_X \sim 1.4$ – 2.6 ГэВ/ c^2 .
4. Процедуру и результаты измерения тензорной анализирующей способности T_{20} реакций $dd \rightarrow {}^3\text{He}n$ и $dd \rightarrow {}^3\text{He}p$ под нулевым углом при энергиях начального дейтрона 140–270 МэВ на ускорительном комплексе RIKEN (Япония) на спектрометре SMART.
5. Выводы из результатов изучения реакций $dd \rightarrow {}^3\text{He}n$ и $dd \rightarrow {}^3\text{He}p$ о чувствительности поведения тензорной анализирующей способности T_{20} к спиновой структуре ${}^3\text{He}$ и ${}^3\text{H}$ на малых межнуклонных расстояниях.
6. Методику использования поляриметра, основанного на квази-упругом протон-протонном рассеянии, для измерения векторной

поляризации пучка дейтронов в ЛВЭВБ и дальнейшего уменьшения систематических ошибок измерений поляризации.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ.

Во введении обоснована актуальность диссертации, сформулирована цель работы, ее новизна и научно- практическая ценность, приведено краткое содержание диссертации по главам.

В первой главе дано краткое описание элементов установки "СФЕРА" и постановки экспериментов по измерению поляризованных наблюдаемых реакций взаимодействия релятивистских дейтронов с ядрами.

В первом разделе главы описывается общая схема эксперимента на установке "СФЕРА". Выведенный из синхрофазотрона пучок дейтронов с импульсом 4.5–9 ГэВ/с направлялся на водородную или ядерную мишень, находившуюся вблизи фокуса F5 канала VP1. Типичная интенсивность составляла от $5 \cdot 10^8$ до $2 \cdot 10^9$ дейтронов за цикл. Данные были получены при настройках магнитных элементов установки для импульса вторичных частиц, составлявшего ~ 0.5 – 0.9 от импульса начального дейтрона.

Во втором разделе первой главы описывается способ измерения и контроля поляризации пучка дейтронов. Тензорная поляризация дейтронов измерялась с помощью установки "СФЕРА" из реакции $A(d, p)X$ с детектированием протона, вылетающим под нулевым углом с импульсом $p_p \sim \frac{2}{3}p_d$, т.е. в кинематической области, где тензорная анализирующая способность T_{20} хорошо известна и имеет большую величину. При получении значений тензорной поляризации пучка были учтены эффекты мертвого времени для поляризационных измерений [43]. Векторная поляризация пучка измерялась с помощью поляриметра, основанного на измерении асимметрии квазиупругого pp - рассеяния на тонкой CH_2 мишени [44]. Данный поляриметр был предварительно прокалиброван при энергии $T_p \sim 810$ МэВ/нуклон методом CH_2 -С вычитания [45, 44]. Стабильность асимметрий рассеяния влево и вправо ϵ^\pm , полученные на поляриметре [44] при импульсе 4.5 ГэВ/с на нуклон при угле рассеяния протона 8° , показаны на рис.1. Систематические ошибки измерений векторной и тензорной поляризаций

пучка составляют $\sim 5\%$.

В третьем разделе кратко описывается триггер первого уровня и времяпролетная система для идентификации частиц. В качестве триггера первого уровня использовались совпадения сигналов со сцинтилляционных счетчиков. Сформированный сигнал триггера использовался в дальнейшей логике и в качестве строба для заряд-цифра преобразователей и входных регистров.

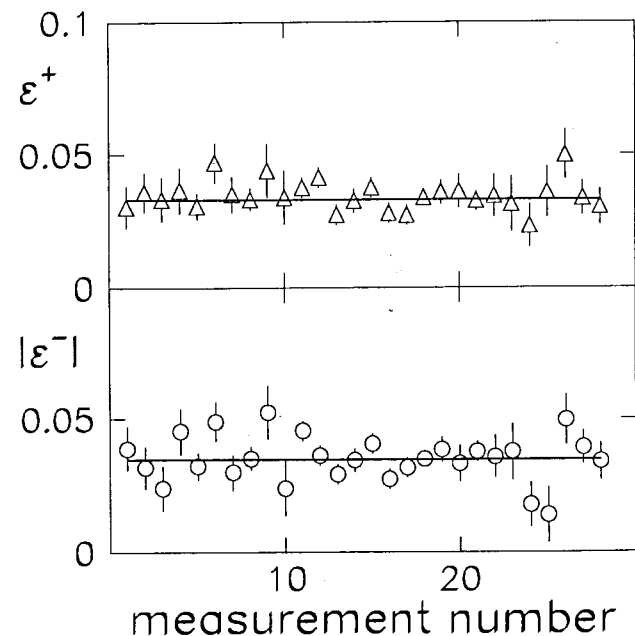


Рис.1 Асимметрии ϵ^\pm , полученные на поляриметре [44] при импульсе 4.5 ГэВ/с на нуклон при угле рассеяния протона 8° .

Процедура идентификации частиц по времени их пролета описана в четвертом разделе. Для этой цели в ходе эксперимента использовалась информация со 2-х сцинтилляционных счетчиков и сцинтилляционного годоскопа, состоящего из 8 индивидуальных счетчиков. Детекторы находились на расстоянии 34 и 28 метров от места расположения триггерных сцинтилляционных счетчиков. Разрешение времяпролетной системы составляло 0.2 нсек.

При отборе того или иного вида частиц фоновые события

полностью исключались условием, чтобы информация о времени пролета детектируемой частицы соответствовала одному типу частиц по крайней мере для 2-х из 3-х независимых время-пролетных спектров. Корреляция 2-х времен пролета частиц для настройки магнитных элементов установки на импульс 7.0 ГэВ/с продемонстрирована на рис.2. Видно надежное разделение дейтронов и протонов.

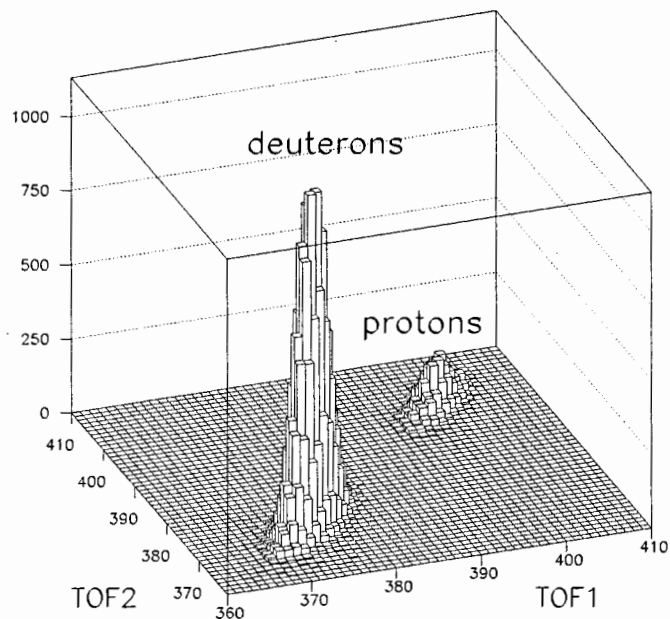


Рис.2. Корреляция 2-х независимых времен пролета частиц для настройки магнитных элементов на импульс вторичных частиц 7.0 ГэВ/с.

В пятом разделе описывается процедура моделирования установки. Акцептанс установки был вычислен моделированием методом Монте-Карло с учетом параметров пучка начального дейтрона, ядерного взаимодействия и многократного рассеяния в мишени, в воздухе, на окнах ионопровода и детекторах, потерь энергии первичного и вторичного дейтронов и т.д. Импульсный акцептанс составлял $\Delta p/p \sim \pm 2\%$ Акцептанс по полярному углу составлял ± 8 или ± 18 мрад в зависимости от места расположения мишени.

В шестом разделе главы описывается процедура получения анализирующих способностей A_{yy} и A_y реакций $A(d, p)X$ и $A(d, d')X$.

Вторая глава посвящена описанию эксперимента по измерению тензорной анализирующей способности T_{20} реакций $dd \rightarrow {}^3\text{He}n$ и $dd \rightarrow {}^3\text{H}p$ под нулевым углом при энергиях 140–270 МэВ на установке "SMART" на ускорительном комплексе RIKEN (Япония).

В первом разделе главы описывается общая схема эксперимента на спектрометре "SMART". Пучок поляризованных дейтронов обеспечивался источником поляризованных ионов атомарного типа. Дейтроны ускорялись до требуемой энергии (140, 200 или 270 МэВ) посредством двух циклотронов. Измерение и контроль поляризации пучка осуществлялся двумя поляриметрами. Пучок ускоренных дейтронов направлялся на мишень, представляющую собой либо дейтерированный полиэтилен, либо углерод для оценки фона. Вторичные частицы (${}^3\text{He}$, ${}^3\text{H}$, протоны и т.д.) регистрировались спектрометром "SMART", состоящим из двух дипольных и трех квадрупольных магнитов и детектирующей системы. Идентификация частиц основывалась на анализе времени пролета частиц и величин ионизационных потерь в пластике сцинтилляционных детекторов. Точное значение угла рассеяния и импульса частиц определялись по информации многопроволочных дрейфовых камер и оптическим характеристикам магнитного спектрометра.

Второй раздел описывает процедуру измерения и контроля поляризации пучка дейтронов во время эксперимента с помощью двух поляриметров, основанных на измерении асимметрии упругого dp -рассеяния. События, соответствующие dp -упругому рассеянию, выделялись для каждой из спиновых мод источника по временной и амплитудной информации со сцинтилляционных детекторов. Систематическая ошибка экспериментальных данных, обусловленная измерением поляризации пучка, не превышала 2% для всех энергий.

Третий раздел посвящен описанию процедуры измерений и идентификации частиц. Интенсивность пучка в эксперименте измерялась цилиндром Фарадея и типично составляла от 1 до 2 нА. Дейтериевой мишенью служила тонкая пленка дейтерированного полиэтилена CD_2 . Для каждой настройки спектрографа проводились измерения на CD_2 и углероде для получения эффекта от дейтерия посредством CD_2 -вычитания.

Три сцинтилляционных счетчика были расположены в фокальной

плоскости спектрометра. Сигналы с них использовались в совпадениях для выработки сигнала триггера события и для получения временной и амплитудной информации, необходимой для идентификации частиц. Одинаковым импульсом по времени пролета. Для отбора частиц определенного сорта требовалось, чтобы амплитуды сигналов во всех трех сцинтилляционных детекторах соответствовали энерговыделению для данного типа частиц. Рис.3 демонстрирует корреляцию амплитуды сигнала в одном из сцинтилляционных счетчиков AMP_1 и разницы времени прихода высокочастотного сигнала циклотрона относительно срабатывания триггера. Видно надежное выделение ^3He от фона однозарядных частиц.

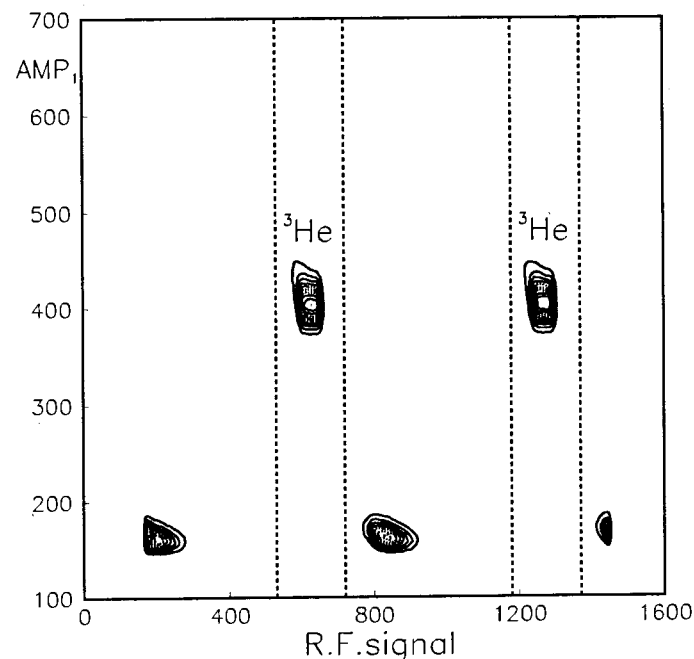


Рис.3. Корреляция амплитуды сигнала в одном из сцинтилляционных счетчиков AMP_1 и разницы времени прихода высокочастотного сигнала циклотрона относительно срабатывания триггера.

Многопроволочные дрейфовые камеры, MWDC, предназначенные для определения траектории частиц, были также расположены в фокальной плоскости. Эффективность восстановления трека частицы было

лучше 99%. Параметры трека с использованием оптической матрицы спектрографа позволяли определить импульс и углы вылета частицы из мишени. Энергетическое разрешение обеспечивалось магнитной и трековой системами и составляло ~ 300 кэВ.

В четвертом разделе продемонстрировано надежное выделение эффекта на дейтерии методом $\text{CD}_2 - \text{C}$ -вычитания. Импульсные спектры ^3He из реакции взаимодействия дейтрона с мишенью CD_2 при энергиях 270, 200 и 140 МэВ показаны на рис.4а-4в (левая часть). Заптрихованные области соответствуют измерениям на углеродной мишени. Спектры построены в зависимости от энергии возбуждения недетектируемой системы E_X .

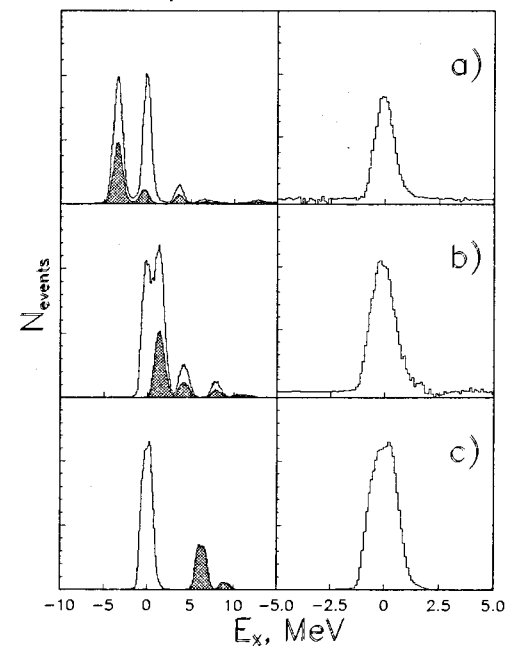


Рис.4. Процедура $\text{CD}_2 - \text{C}$ -вычитания для канала $dd \rightarrow ^3\text{He}(0^\circ)n$: а - 270 МэВ, б - 200 МэВ и с - 140 МэВ. Левая часть: светлые и заптрихованные гистограммы соответствуют выходам событий от CD_2 и углеродной мишени соответственно. Правая часть: гистограммы, демонстрирующие качество $\text{CD}_2 - \text{C}$ -вычитания.

Качество процедуры $\text{CD}_2 - \text{C}$ -вычитания для ^3He продемонстрировано на рис.4а-4с (правая часть). В случае детектирования ^3H выход от

углерода под пиком при $E_X = 0$ МэВ пренебрежимо мал.

В пятом разделе главы описывается процедура получения тензорной анализирующей способности T_{20} реакций $dd \rightarrow {}^3\text{He}n$ и $dd \rightarrow {}^3\text{He}p$ под нулевым углом. Показано, что "фальшивая" асимметрия, а также эффект искажения T_{20} , обусловленный конечным угловым акцептансом, в условиях данного эксперимента не превышали 1%.

В третьей главе обсуждаются полученные результаты по анализирующим способностям A_{yy} и A_y реакции фрагментации релятивистских дейтронов на водороде и ядрах при больших поперечных импульсах детектируемых протонов [1]-[15].

В первом разделе главы приводятся таблицы с данными по анализирующим способностям A_{yy} и A_y реакции фрагментации релятивистских дейтронов на водороде и ядрах при импульсе начального дейтрона 4.5–9.0 ГэВ/с.

Во втором разделе главы кратко описывается релятивистская модель жестких соударений, в рамках которой основной вклад в выход протонов под ненулевыми углами относительно направления налетающего дейтрона дают прямая фрагментация дейтрона и процесс рассеяния нуклона дейтрона на нуклоне мишени.

Третий раздел посвящен анализу данных по тензорной анализирующей способности A_{yy} реакции ${}^9\text{Be}(d,p)X$, полученных при импульсе начального дейтрона 4.5 ГэВ/с и угле детектируемого протона 80 мрад [11, 12]. Сравнение полученных результатов с предсказаниями в рамках модели жестких соударений с использованием парижской ВФД (см.рис.5) показывает, что по мере увеличения импульса протонов результаты расчетов все больше расходятся с экспериментальными данными и зависимость A_{yy} от импульса все более определяется процессом прямой фрагментации дейтрона.

Хорошее согласие данных, полученных в настоящем эксперименте [11, 12], с данными, полученными под нулевым углом в той области внутренних импульсов k , где их значения определяются главным образом продольными импульсами протонов (см.рис.6), подтверждают сделанный ранее вывод о приближенной независимости A_{yy} от энергии дейтронов. Поэтому при малых p_T внутренний импульс k может быть использован в качестве универсальной переменной для описания структуры релятивистского дейтрона.

Сравнение данных по A_{yy} при малых поперечных импульсах протона (до 300 МэВ/с) с результатами различных подходов показывает, что ни одна из моделей не позволяет получить количественного согласия с поляризационными данными во всем диапазоне измеренных импульсов.

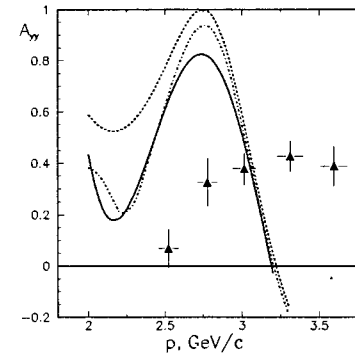


Рис.5. Зависимость тензорной анализирующей способности A_{yy} реакции ${}^9\text{Be}(d,p)X$ при 4.5 ГэВ/с с вылетом протонов под углом 80 мрад от импульса регистрируемых протонов. Штрих-пунктирная кривая – результат расчета в рамках модели жестких соударений с использованием волновой функции дейтрона для Парижского потенциала с учетом вклада только прямой фрагментации, штриховая кривая – суммарный вклад прямой фрагментации и жесткого рассеяния, а сплошная кривая – то же с учетом импульсного разрешения экспериментальной установки.

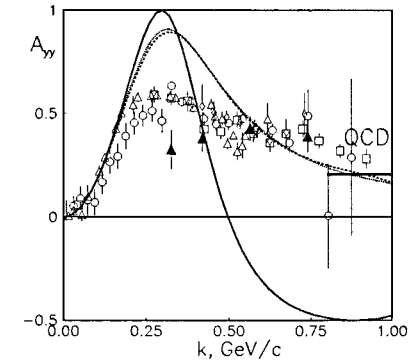


Рис.6. Сравнение поведения тензорной анализирующей способности A_{yy} реакции развала дейтрона при малых поперечных импульсах с предсказаниями различных моделей с учетом ненуклонных степеней свободы в дейтроне. Сплошная линия соответствует расчетам с использованием стандартной ВФД на основе Парижского нуклон-нуклонного потенциала. Штриховая и пунктирная линии – результаты расчетов с использованием гибридных ВФД [42]. КХД мотивированная асимптотика для A_{yy} показана жирной сплошной линией.

В четвертом разделе обсуждаются данные по тензорной анализирующей способности A_{yy} реакции, полученные при больших поперечных импульсах протона (более 500 МэВ/с). Получено хорошее согласие результатов измерения тензорной анализирующей способности A_{yy} реакции ${}^9\text{Be}(d,p)X$ при импульсе начального дейтрона 5.0 ГэВ/с и угле детектируемого протона 178 мрад [7, 9, 13, 14] с предсказаниями модели жестких соударений с использованием релятивистской ВФД, полученной в динамике на световом фронте.

Систематические измерения тензорной анализирующей способности A_{yy} реакции развала дейтрона на водороде и углероде были выполнены при начальном импульсе 9.0 ГэВ/с в широком диапазоне поперечных и

продольных импульсов протона [1, 2, 4, 8, 10, 15]. Показано, что данные, полученные как на водородной, так и на ядерной мишенях находятся в согласии в пределах достигнутой экспериментальной точности.

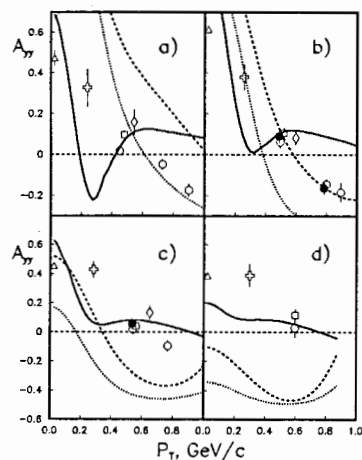


Рис.7. Зависимость тензорной анализирующей способности A_{yy} реакции развала дейтрона от поперечного импульса протона p_T при фиксированных величинах доли продольного импульса x в системе бесконечного импульса: а) $x \sim 0.61$, б) $x \sim 0.67$, в) $x \sim 0.72$ и д) $x \sim 0.78$. Сплошные линии – результаты вычислений в модели жесткого рассеяния с использованием релятивистской ВФД; штриховые и пунктирные линии – вычисления со стандартными ВФД.

Значения тензорной анализирующей способности A_{yy} при фиксированных величинах доли продольного импульса x в системе бесконечного импульса ~ 0.61 , ~ 0.67 , ~ 0.72 и ~ 0.78 представлены соответственно на рис.7а, б, в и д в зависимости от поперечного импульса протона p_T . Видно, что данные по A_{yy} при фиксированных значениях продольного импульса x зависят от поперечного импульса p_T следующим образом: величины A_{yy} положительны при малых p_T и монотонно уменьшаются с увеличением поперечного импульса для всех значений x . Данное поведение противоречит предсказаниям релятивистской модели жесткого рассеяния с использованием как

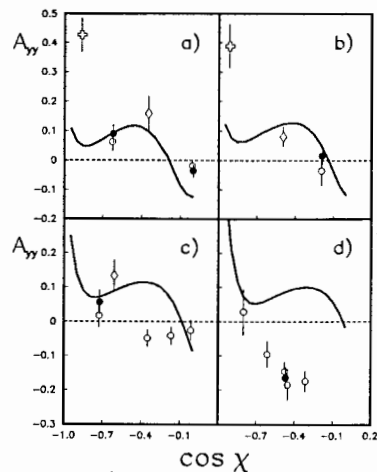


Рис.8. Зависимость тензорной анализирующей способности A_{yy} реакции развала дейтрона от переменной $\cos \chi = (\vec{n} \cdot \vec{k})/|\vec{k}|$ при фиксированных величинах внутреннего импульса протона k : а) ~ 600 МэВ/с, б) ~ 700 МэВ/с, в) ~ 800 МэВ/с и д) ~ 950 МэВ/с. Сплошные линии – результаты вычислений в модели жесткого рассеяния с использованием релятивистской ВФД.

стандартных ВФД, так и релятивистской ВФД Карманова.

Данные по A_{yy} , соответствующие среднему внутреннему импульсу нуклона $k \sim 600$ МэВ/с, ~ 700 МэВ/с, ~ 800 МэВ/с и ~ 950 МэВ/с, представленные в зависимости от переменной $\cos \chi = (\vec{n} \cdot \vec{k})/|\vec{k}|$, сравниваются с результатами расчетов с использованием ВФД Карманова на рис.8а, б, в и д. Видна сильная зависимость значений A_{yy} от переменной $\cos \chi$ и отличие от расчетов при больших внутренних импульсах нуклона. Особенности поведения тензорной анализирующей способности A_{yy} , а именно: сильная зависимость значений A_{yy} от поперечного импульса p_T при фиксированных значениях доли продольного импульса x или зависимость A_{yy} от переменной $\cos \chi$ при фиксированных значениях внутреннего импульса k , ясно демонстрируют, что адекватное описание полученных экспериментальных данных может быть достигнуто с использованием ВФД, зависящей от более чем одной переменной.

В пятом разделе главы обсуждаются результаты по векторной анализирующей способности A_y реакции фрагментации дейтрона. Величина A_y мала, но не пренебрежима, что может быть интерпретировано, как влияние спин-зависимой части амплитуды нуклон-нуклонного рассеяния.

Четвертая глава посвящена результатам по анализирующим способностям A_{yy} и A_y реакции неупругого рассеяния релятивистских дейтронов на водороде и ядрах при больших поперечных импульсах в области возбуждения барионных резонансов [17, 18, 19, 20, 21, 22].

В первом разделе главы приводятся таблицы с данными по анализирующим способностям A_{yy} и A_y реакции неупругого рассеяния дейтронов на водороде и ядрах при импульсе начального дейтрона 4.5–9.0 ГэВ/с. Указывается диапазон измеренных 4-х импульсов t и недостающих масс M_X для различных кинематических условий проведения эксперимента.

Во втором разделе описываются поляризационные эффекты в $(d, d')X$ -реакции в области возбуждения барионных резонансов. Выполнен анализ поляризационных явлений неупругого рассеяния дейтронов на нуклоне в рамках импульсного приближения (ИП) [16]. Показано, что в данном подходе тензорная анализирующая способность A_{yy} определяется в основном спиновой структурой дейтрона, в то

время как векторная анализирующая способность A_y зависит также от отношения спин-зависимой и независимой от спина частей амплитуд элементарного процесса $NN \rightarrow NN^*$. Кратко описывается модель обмена ω -мезоном в t -канале, в которой поведение тензорной анализирующей способности реакции $(d, d')X$ чувствительно к свойствам барионных резонансов N^* .

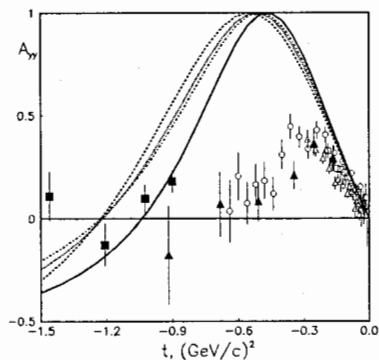


Рис.9. Тензорная анализирующая способность A_{yy} неупругого рассеяния дейтронов на бериллии на угол ~ 80 мрад при 4.5 ГэВ/с [19, 20] и на угол ~ 178 мрад при 5.0 ГэВ/с [21] (темные треугольники и квадраты, соответственно) и на водороде под нулевым углом при 4.5, 5.5 ГэВ/с и 9 ГэВ/с (светлые треугольники, квадраты и кружки, соответственно) в зависимости от 4-импульса t . Кривые вычислены в ИП [16] с использованием стандартных ВФД.

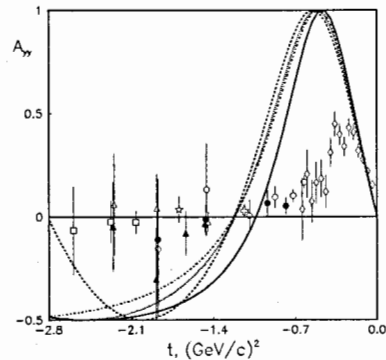


Рис.10. Тензорная анализирующая способность A_{yy} неупругого рассеяния дейтронов с импульсом 9.0 ГэВ/с на угледе и водороде при различных углах вылета в зависимости от t . Светлые ромбы – данные, полученные ранее под нулевым углом. Светлые и темные символы – данные, полученные в данном эксперименте на угледе и водороде [22]. Кривые те же, что и на рис.9.

В третьем разделе результаты по тензорной анализирующей способности A_{yy} реакции неупругого рассеяния дейтрона на водороде и ядрах сравниваются с предсказаниями моделей ИП [16] и обмена ω -мезоном в t -канале. Данные по A_{yy} , полученные в ходе данного эксперимента при импульсах начального дейтрона 4.5 ГэВ/с [19, 20] и 5.0 ГэВ/с [21] на бериллии, сравниваются на рис.9 с данными, полученными ранее на водороде под нулевым углом, в зависимости от 4-импульса t . Данные по A_{yy} , полученные при импульсе начального дейтрона 9 ГэВ/с [22], представлены на рис.10 совместно с данными, полученными ранее на водороде под нулевым углом. Кривые на рис.9 и рис.10 вычислены в ИП [16] с использованием стандартных ВФД.

Наблюдается независимость A_{yy} от атомного номера мишени, а также универсальность поведения в зависимости от переменной t . Отличие данных по A_{yy} от предсказаний ИП [16], также как и от поведения данных в процессах упругого dp - и ed - рассеяний, показывает чувствительность A_{yy} к возбуждениям барионных резонансов с массами $M_X \sim 1.4-2.6$ ГэВ/с². Данные по A_{yy} в области возбуждения легких барионных резонансов ($M_X \sim 1.4-1.7$ ГэВ/с²) не противоречат предсказаниям модели обмена ω -мезоном.

В четвертом разделе главы обсуждаются результаты по векторной анализирующей способности A_y реакции $(d, d')X$ на водороде и ядрах в области возбуждения барионных резонансов.

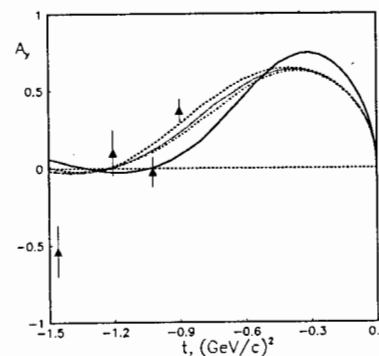


Рис.11. Векторная анализирующая способность A_y в неупругом рассеянии дейтронов на бериллии при 5.0 ГэВ/с на угледе и водороде при различных углах вылета в зависимости от 4-х импульса t . Кривые вычислены в ИП [16] с использованием стандартных ВФД.

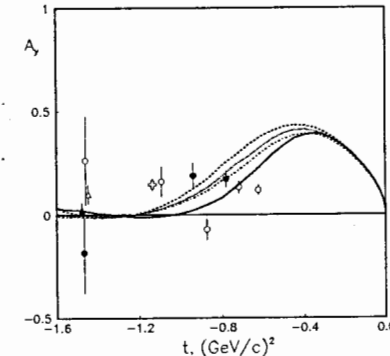


Рис.12. Векторная анализирующая способность A_y реакции $(d, d')X$ при 9.0 ГэВ/с [22] на угледе и водороде при различных углах вылета в зависимости от t . Кривые вычислены в ИП [16] с использованием стандартных ВФД.

На рис.11 данные по векторной анализирующей способности A_y реакции неупругого рассеяния дейтронов на бериллии при начальном импульсе 5.0 ГэВ/с и угле детектирования ~ 178 мрад [21] сравниваются с предсказаниями ИП [16] с использованием стандартных ВФД. Ненулевые значения A_y при $M_X \sim 1500$ МэВ/с² в рамках ИП [16] объясняется заметным вкладом зависящей от спина части элементарной амплитуды $NN \rightarrow NN^*$ реакции.

Данные по векторной анализирующей способности A_y $(d, d')X$ реакции, полученные при начальном импульсе 9.0 ГэВ/с в области

недостающих масс $M_X \sim 2.2-2.6 \text{ ГэВ}/c^2$ [22], представлены на рис.12 как функция t . Относительно большие значения A_y при $|t| \sim 1 \text{ (ГэВ}/c)^2$ можно интерпретировать как заметный вклад зависящей от спина части амплитуды элементарного процесса $NN \rightarrow NN^*$ в области масс барионов $M_X \sim 2.2-2.6 \text{ ГэВ}/c^2$.

В пятой главе представляются результаты по тензорной анализирующей способности T_{20} реакций $dd \rightarrow {}^3\text{He}n$ и $dd \rightarrow {}^3\text{H}p$ под нулевым углом при энергиях начального дейтрона 140–270 МэВ [28]–[41].

В первом разделе главы приводятся таблицы с данными по тензорной анализирующей способности T_{20} реакций $dd \rightarrow {}^3\text{He}n$ и $dd \rightarrow {}^3\text{H}p$ под нулевым углом. Величины T_{20} для обоих зарядово-симметричных каналов ${}^3\text{H}p$ и ${}^3\text{He}n$ при энергиях 140 и 200 МэВ, находятся в хорошем согласии при достигнутой экспериментальной точности. Таким образом, в условиях данного эксперимента для $dd \rightarrow {}^3\text{He}(0^\circ)n$ и $dd \rightarrow {}^3\text{H}(0^\circ)p$ процессов нарушения зарядовой симметрии не обнаружено.

Второй раздел посвящен анализу поляризационных явлений для реакции $dd \rightarrow {}^3\text{He}n$ под нулевым углом [23]. Показано, что в коллинеарной геометрии процесс $dd \rightarrow {}^3\text{He}({}^3\text{H}p)$ может быть записан в терминах 5 независимых комплексных амплитуд, зависящих от начальной энергии. Получено общее выражение для тензорной анализирующей способности T_{20} .

В третьем разделе поляризационные явления для реакции $dd \rightarrow {}^3\text{He}n$ под нулевым углом анализируются в приближении однонуклонного обмена (ОНО) [23, 24, 25]. Показано, что тензорная анализирующая способность T_{20} , обусловленная поляризацией налетающего (пучкового) дейтрона, в условиях данного эксперимента определяется исключительно спиновой структурой ${}^3\text{He}$. Таким образом, в рамках приближения ОНО положительный знак T_{20} в исследуемой области энергий (см.рис.13) отражает положительный знак отношения D/S - волн в ${}^3\text{He}({}^3\text{H})$ в импульсном пространстве. В этой связи можно заключить, что наши данные чувствительны к D -состоянию в ${}^3\text{He}({}^3\text{H})$. Кривые на рис.13 результаты нерелятивистских вычислений в рамках ОНО [25] с использованием стандартных волновых функций ${}^3\text{He}$. Результаты эксперимента находятся в качественном согласии с вычислениями, выполненными в рамках механизма ОНО [25].

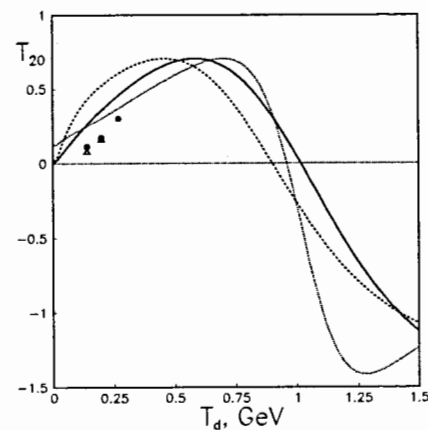


Рис.13. Тензорная анализирующая способность T_{20} в реакциях $dd \rightarrow {}^3\text{He}n$ (заштрихованные кружки) и $dd \rightarrow {}^3\text{H}p$ (открытые треугольники) в коллинеарной геометрии в зависимости от кинетической энергии начального дейтрона [40, 41]. Кривые – результаты вычислений в рамках ОНО для стандартных волновых функций ${}^3\text{He}$.

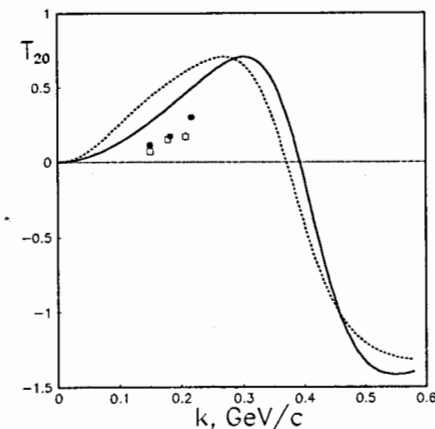


Рис.14. Тензорная анализирующая способность T_{20} в реакциях $dd \rightarrow {}^3\text{He}n$ (заштрихованные кружки) [40, 41] и $d{}^3\text{He} \rightarrow {}^3\text{He}d$ (открытые квадраты) в зависимости от внутреннего импульса k . Кривые – результаты вычислений в рамках ОНО для стандартных волновых функций ${}^3\text{He}$ с учетом релятивистских поправок.

В четвертом разделе данные, полученные для реакции $dd \rightarrow {}^3\text{He}(0^\circ)n$, сравниваются с данными для процесса $d{}^3\text{He} \rightarrow {}^3\text{He}d$ в зависимости от внутреннего импульса k (см.рис.14). Данные для обоих процессов демонстрируют универсальность поведения в зависимости от переменной k . Кривые – результаты вычислений в рамках ОНО для стандартных волновых функций ${}^3\text{He}$ с учетом релятивистских поправок.

Различие между данными и вычислениями может быть обусловлено как вкладом механизмов отличных от ОНО, так и неадекватным описанием структуры ${}^3\text{He}$ на малых расстояниях.

В шестой главе обсуждается возможное продолжение исследований структуры легких ядер на малых межнуклонных расстояниях и механизмов возбуждения барионных резонансов во взаимодействиях релятивистских дейтронов с протонами и ядрами.

В первом разделе обсуждаются продолжение эксперимента по измерению тензорной и векторной анализирующих способностей, A_{yy} и A_y , а также возможность измерения поляризации протона P_y и передачи поляризации от дейтрона к протону K_y^y реакции $A(d,p)X$ при больших

поперечных импульсах на установке "СФЕРА".

Второй раздел посвящен обзору возможных поляризационных экспериментов по изучению возбуждения барионных резонансов в реакции $(d, d')X$ [16] в ЛВЭВВ. Измерение тензорной поляризации вторичного дейтрона P_{yy} возможно с помощью существующего пучкового тензорного поляриметра. В случае использования начального пучка тензорно-поляризованных дейтронов возможно также измерение тензор-тензорной передачи поляризации K_{yy}^{yy} реакции $(d, d')X$. Размещение векторного поляриметра дейтронов на установке "СФЕРА" позволит измерить P_y и K_y^y реакции $(d, d')X$ в области возбуждения барионных резонансов в широком диапазоне поперечных импульсов.

В третьем разделе обсуждается дальнейшее исследование поляризационных наблюдаемых реакций $dd \rightarrow {}^3\text{He}n$ и $dd \rightarrow {}^3\text{H}p$. Измерения энергетической зависимости тензорной анализирующей способности T_{20} и вектор-векторной спиновой корреляции $C_{y,y}$ в коллинеарной геометрии представляют собой несомненный интерес для развития различных моделей описания структуры ${}^3\text{He}({}^3\text{H})$ на малых расстояниях.

В четвертом разделе обсуждаются возможности поляриметрии дейтронов высоких энергий в ЛВЭВВ. Уменьшение систематической ошибки в измерении поляризации может быть достигнуто путем проведения абсолютной калибровки векторной и тензорной поляризаций пучка дейтронов высоких энергий [47].

В заключении сформулированы основные выводы диссертации:

1. Предложен эксперимент и впервые получены систематические данные по тензорной и векторной анализирующим способностям, A_{yy} и A_y , реакции фрагментации дейтрона на водороде и ядрах при начальном импульсе дейтрона 4.5–9 ГэВ/с в широком диапазоне поперечных импульсов (до 900 МэВ/с) детектируемых протонов [1]-[15]. Данные демонстрируют чувствительность к спиновой структуре дейтрона на малых межнуклонных расстояниях.

- При малых поперечных импульсах ($p_T \leq 300$ МэВ/с) наблюдается хорошее согласие данных по A_{yy} , полученных в ходе выполнения настоящей работы, с данными, полученными ранее при различных энергиях под нулевым углом. Таким образом,

слабая зависимость A_{yy} от начальной энергии дейтрона и угла детектирования протона при малых поперечных импульсах протона указывает на то, что в данной кинематической области внутренний импульс k может быть использован в качестве универсальной переменной для описания структуры релятивистского дейтрона.

- Особенности поведения тензорной анализирующей способности A_{yy} , а именно: сильная зависимость значений A_{yy} от поперечного импульса p_T при фиксированных значениях доли продольного импульса x в системе бесконечного импульса или зависимость A_{yy} от переменной $\cos \chi = (\vec{n} \cdot \vec{k})/|\vec{k}|$ при фиксированных значениях внутреннего импульса k , ясно демонстрируют, что адекватное описание полученных экспериментальных данных может быть достигнуто с использованием ВФД, зависящей от более чем одной переменной. Однако, релятивистская функция дейтрона, полученная в динамике на световом фронте и зависящая от двух переменных, не дает количественного описания экспериментальных данных, в особенности, при больших внутренних импульсах нуклона в дейтроне.
- Отличное от нуля значение векторной анализирующей способности A_y реакции фрагментации дейтрона свидетельствует о вкладе зависящей от спина части амплитуды нуклон-нуклонного рассеяния.

2. Впервые получены данные по тензорной и векторной анализирующим способностям, A_{yy} и A_y , реакции неупругого рассеяния дейтрона на водороде и ядрах под ненулевым углом вылета вторичного дейтрона, чувствительные к возбуждению барионных резонансов с массами $M_X \sim 1.4\text{--}2.6$ ГэВ/ c^2 [17]-[22].

- Данные по A_{yy} демонстрируют универсальность поведения в зависимости от переданного 4-х импульса t и слабую зависимость от начального импульса, атомного номера A мишени и угла детектирования рассеянного дейтрона. При малых $|t|$ (≤ 0.3 (ГэВ/ c^2) 2) A_{yy} растет линейно до значения ~ 0.4 , затем плавно уменьшается до нуля при $|t| \sim 1.0\text{--}1.4$ (ГэВ/ c^2) 2 .
- Данные по A_{yy} , полученные в области $M_X \sim 1.4\text{--}1.7$ ГэВ/ c^2 , не противоречат предсказаниям модели обмена ω -мезоном. При

малых t наблюдается отличие от предсказаний ИП [16], что также говорит о чувствительности A_{yy} к возбуждениям легких барионных резонансов.

- Отличие данных по A_{yy} реакции $(d, d')X$, полученных при импульсе начального дейтрона 9 ГэВ/с, от предсказаний ИП [16] и от поведения данных в процессах упругого dp - и ed - рассеяний, показывает чувствительность A_{yy} к возбуждениям барионных резонансов в области масс недетектируемой системы $M_X \sim 2.0$ - 2.6 ГэВ/с².
- Отличное от нуля значение векторной анализирующей способности A_y в рамках ИП [16] интерпретируется как существенная роль зависящей от спина части амплитуд $NN \rightarrow NN^*$ процессов в области масс недетектируемой системы $M_X \sim 1.4$ - 2.2 ГэВ/с².

3. Предложен эксперимент [23]-[25] и впервые получены данные по тензорной анализирующей способности T_{20} реакций $dd \rightarrow {}^3\text{He}n$ и $dd \rightarrow {}^3\text{He}p$ под нулевым углом при энергиях начального дейтрона 140–270 МэВ [28]-[41].

- Данные для $dd \rightarrow {}^3\text{He}(0^\circ)n$ и $dd \rightarrow {}^3\text{He}(0^\circ)p$ процессов находятся в хорошем согласии при достигнутой экспериментальной точности, следовательно, нарушения зарядовой симметрии в данном эксперименте не обнаружено.
- Положительный знак величины T_{20} и ее увеличение с ростом энергии качественно объясняется поведением отношения D/S -волн в ${}^3\text{He}({}^3\text{H})$ в рамках механизма ОНО.
- Различие между данными по T_{20} и расчетами ОНО может быть связано с неадекватным описанием структуры ${}^3\text{He}({}^3\text{H})$ на малых расстояниях.

4. В ходе реализации данной работы для измерения векторной поляризации пучка дейтронов в ЛВЭВБ был впервые использован поляриметр, основанный на квази-упругом протон-протонном рассеянии [44, 45, 46], исследованы эффекты мертвого времени в поляризационных измерениях [43], предложен способ абсолютной калибровки поляризации пучка дейтронов высоких энергий [47]. Данные исследования важны для продолжения спиновой программы на Нуклотроне ЛВЭВБ.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

- [1] Ladygin V.P. et al., New data on A_{yy} in deuteron inclusive breakup at large transverse momenta and relativistic description of the deuteron at short distances. In: *Proc. of the 1-st Asia Pacific Conference on Few-Body Problems in Physics*, 23-25 August, 1999, Noda/Kashiwa, Japan, *Few-Body Systems Suppl.*, 2000, v.12, p.240.
- [2] Ladygin V.P. et al., Measurement of the tensor analyzing power A_{yy} in deuteron breakup at non-zero proton emission angle. In: *Proc. of the XV-th International Seminar on High Energy Physics Problems*, 25-29 September, 2000, Dubna, Russia, Eds. A.M. Baldin, V.V. Burov, A.I. Malakhov, *E1,2-2001-291*, 2001, Dubna, v.2, p.91.
- [3] Azhgirey L.S., ..., Ladygin V.P. et al., Measurements of the tensor analyzing power A_{yy} in the inelastic scattering of deuterons on nuclei at an angle of 80 mr at 4.5 and 9.0 GeV/c. In: *Proc. of the XV-th International Seminar on High Energy Physics Problems*, 25-29 September, 2000, Dubna, Russia, Eds. A.M. Baldin, V.V. Burov, A.I. Malakhov, *E1,2-2001-291*, 2001, Dubna, v.2, p.124.
- [4] Ladygin V.P. et al., Tensor analyzing power A_{yy} in deuteron breakup on hydrogen and nuclei at large transverse momenta of proton. In: *Proc. of the 14-th International Spin Physics Symposium*, 16-21 October, 2000, Osaka, Japan, Eds. K. Hatanaka, T. Nakano, K. Imai, H. Ejiri, *AIP Conference Proc.*, 2001, v.570, p.689.
- [5] Azhgirey L.S., Ladygin V.P. et al., Investigation of polarization observables in (d, d') and (d, p) reactions initiated by 4.5 GeV/c deuterons on ${}^9\text{Be}$ with secondaries emitted at 80 mrad. In: *Proc. of the International Workshop "Relativistic Nuclear Physics: from Hundreds of MeV to TeV" (RNP-2001)*, 10-16 September 2001, Varna, Bulgaria, *E1,2-2001-290*, 2001, Dubna, v.1, p.120.
- [6] Azhgirey L.S., Ladygin V.P. et al., Differential cross section, vector and tensor analyzing powers of 4.5 GeV/c deuteron breakup on ${}^9\text{Be}$ with proton emission at 80 mrad. In: *Proc. of the IX-th Workshop on High Energy Spin Physics (SPIN-01)*, 2-9 August, 2001, Dubna, Russia, Eds. A.V. Efremov and O.V. Teryaev, Dubna: JINR, 2002, p.324.
- [7] Azhgirey L.S., ..., Ladygin V.P. et al., Tensor analyzing power A_{yy} of the 5-GeV/c deuteron breakup on ${}^9\text{Be}$ with proton emission at 180 mr. In: *Proc. of the 7-th International Workshop "Relativistic Nuclear Physics: from Hundreds of MeV to TeV" (RNP-2003)*, 25-30 August 2003, Stara Lesna, Slovak Republic, *E1,2-2003-225*, 2003, Dubna, p.152; *Acta Physica Slovaca*, 2004, v.54, p.343.
- [8] Azhgirey L.S., ..., Ladygin V.P. et al., Investigation of the angular dependence of the tensor analyzing power of 9 GeV/c deuteron breakup. In: *Proc. of the XVII-th International Baldin Seminar on High Energy Physics Problems*, 27 September - 2 October, 2004, Dubna, Russia, Eds. A.N. Sissakian, V.V. Burov, A.I. Malakhov, *E1,2-2005-103*, 2005, Dubna, v.2, p.153.
- [9] Ladygin V.P. et al., Tensor A_{yy} and vector A_y analyzing powers of the (d, p) and (d, d) reactions at 5 GeV/c and 178 mr. In: *Proc. of the XVII-th International Baldin Seminar on High Energy Physics Problems*, 27 September - 2 October, 2004, Dubna, Russia, Eds. A.N. Sissakian, V.V. Burov, A.I. Malakhov, *E1,2-2005-103*, 2005, Dubna, v.2, p.241.

- [10] Ladygin V.P. et al., Tensor analyzing power A_{yy} in deuteron inclusive breakup at large P_T and spin structure of the deuteron at short internucleonic distances. In: *Proc. of the 16-th International Spin Physics Symposium and Workshop on Polarized Electron Sources and Polarimeters*, 10-16 October, 2004, Trieste, Italy, Eds. K. Aulenbacher, F. Bradamante, A. Bressan and A. Martin, World Scientific Publishing Co.Pte.Ltd., Singapore, 2005, p.661.
- [11] Ladygin V.P. et al., Measurement of the Tensor-Analyzing Power A_{yy} in Deuteron Breakup at 4.5 GeV/c and 80 mr. *Few-Body Systems*, 2002, v.32, p.121.
- [12] Ажгирей Л.С., ..., Ладугин В.П. и др., Измерение дифференциального сечения, тензорной и векторной анализирующих способностей реакции фрагментации дейтронов с импульсом 4.5 ГэВ/с на бериллии с испусканием протонов под углом 80 мрад. *ЯФ*, 2003, т.66, с.719.
- [13] Azhgirey L.S., ..., Ladygin V.P. et al., New data on the tensor analyzing power A_{yy} of the relativistic deuteron breakup as additional test of deuteron structure at small distances. *Phys.Lett.*, 2004, v.B595, p.151.
- [14] Ажгирей Л.С., ..., Ладугин В.П. и др., Тензорная анализирующая способность фрагментации релятивистских дейтронов как способ исследования структуры дейтрона в динамике светового фронта. *ЯФ*, 2005, т.68, с.2191.
- [15] Ladygin V.P. et al, Tensor analyzing power A_{yy} in deuteron inclusive breakup on hydrogen and carbon at 9 GeV/c and large proton transverse momenta. *Phys.Lett.*, 2005, v.B629, p.60.
- [16] Ладугин В.П. и Ладугина Н.Б., Поляризационные эффекты в неупругом рассеянии дейтронов (d, d')X в области возбуждения барионных резонансов. *ЯФ*, 2002, т.65, с.188 [*Phys.Atom.Nucl.*, 2002, v.65, p.182.]
- [17] Ladygin V.P. et al., Measurement of the tensor analyzing power A_{yy} in deuteron inelastic scattering off protons and nuclei in the vicinity of baryonic resonances excitation, In: *Proc. of the 16-th International Conference on Few-Body Problems in Physics (FB-16)*, 6-10 March, 2000, Taipei, Taiwan, China, Eds. C.-Y. Cheung, Y.K. Ho, T.-S.H. Lee and S.N. Yang, *Nucl.Phys.*, 2001, v.A684, p.423c.
- [18] Azhgirey L.S., Ladygin V.P. et al., Measurements of the vector and tensor analyzing powers of the inelastic scattering of deuterons on nuclei in the vicinity of baryonic resonances excitation. In: *Proc. of the 9-th International Conference on Hadron Spectroscopy (HADRON-2001)*, 25 August- 1 September, 2001, Protvino, Russia, Eds. D. Amelin, A.M. Zaitsev, *AIP Conf. Proc.*, 2002, v.619, p.819.
- [19] Ladygin V.P. et al., Measurement of the tensor analyzing power A_{yy} in the inelastic scattering of deuterons in the vicinity of excitation of baryonic resonances. *Eur.Phys.J.*, 2000, v.A8, p.409.
- [20] Ажгирей Л.С., ..., Ладугин В.П. и др., Измерения тензорной анализирующей способности A_{yy} в неупругом рассеянии дейтронов на бериллии на угол 80 мрад при 4.5 ГэВ/с. *ЯФ*, 2001, т.64, с.2046 [*Phys.Atom.Nucl.*, 2001, v.64, p.1961].
- [21] Azhgirey L.S., ..., Ladygin V.P. et al., Measurement of the tensor A_{yy} and vector A_y analyzing powers of the deuteron inelastic scattering off berillium at 5.0 GeV/c and 178 mr. *ЯФ*, 2005, т.68, с.1029 [*Phys.Atom.Nucl.*, 2005, v.68, p.991].

- [22] Ladygin V.P. et al., Tensor A_{yy} and vector A_y analyzing powers in the $H(d, d')X$ and $^{12}C(d, d')X$ reactions at initial deuteron momenta of 9 GeV/c in the region of baryonic resonances excitation. *ЯФ*, 2006, т.69, с.832.
- [23] Ladygin V.P. and Ladygina N.B., The $dd \rightarrow {}^3He n$ reaction at 0° and 3He spin structure at short distances. *Nuovo Cimento*, 1999, v.A112, p.855.
- [24] Ladygin V.P. and Ladygina N.B., Angular dependences of the tensor analyzing powers in the $dd \rightarrow {}^3He n$ reaction at intermediate energies. *ЯФ*, 2002, т.65, с.1650.
- [25] Ladygin V.P., Ladygina N.B., Sakai H. and Uesaka T., *Part.and Nucl.Lett.*, 2000, v.3[100]-2000, p.74.
- [26] Ladygin V.P., Perspectives on the light nuclei structure investigation at LHE-JINR and RIKEN. In: *Proc. of the XV-th International Seminar on High Energy Physics Problems*, 25-29 September, 2000, Dubna, Russia, Eds. A.M. Baldin, V.V. Burov, A.I. Malakhov, *E1,2-2001-291*, 2001, Dubna, v.2, p.301.
- [27] Ladygin V.P. et al., Light nuclei spin structure investigation at intermediate energies at LHE-JINR, In: *Proc. of the International Workshop "Relativistic Nuclear Physics: from Hundreds of MeV to TeV" (RNP-2001)*, 10-16 September 2001, Varna, Bulgaria, *E1,2-2001-290*, 2001, Dubna, v.1, p.131.
- [28] Ladygin V.P. et al., Preliminary data on the tensor analyzing power T_{20} in the $dd \rightarrow {}^3He n$ and $dd \rightarrow {}^3He p$ reactions at 0° . In: *Proc. of the International Workshop "Relativistic Nuclear Physics: from Hundreds of MeV to TeV" (RNP-2001)*, 10-16 September 2001, Varna, Bulgaria, *E1,2-2001-290*, 2001, Dubna, v.1, p.136.
- [29] Ladygin V.P. et al., Tensor analyzing power T_{20} in the $dd \rightarrow {}^3He p$ and $dd \rightarrow {}^3He n$ reactions at intermediate energies in collinear geometry. In: *Proc. of the IX-th Workshop on High Energy Spin Physics (SPIN-01)*, 2-9 August, 2001, Dubna, Russia, Eds. A.V. Efremov and O.V. Teryaev, Dubna: JINR, 2002, p.312.
- [30] Ladygin V.P. et al., Measurement of the tensor analyzing power T_{20} in the $dd \rightarrow {}^3He n$ and $dd \rightarrow {}^3He p$ reaction at 0° . *RIKEN Accel. Prog.Rep.*, 2002, v.35, p.46.
- [31] Saito T., ..., Ladygin V.P. et al., Measurement of the analyzing powers in the $\bar{d}d \rightarrow {}^3He n$ and $\bar{d}d \rightarrow {}^3He p$ reactions at intermediate energies. In: *Proc. of the 2-nd Asia Pacific Conference on Few-Body Problems in Physics*, 27-30 August, 2002, Shanghai, China, *Mod.Phys.Lett.*, 2003, v.A18, p.294.
- [32] Saito T., Ladygin V.P. et al., Study of ${}^3He({}^3H)$ spin structure via $\bar{d}d \rightarrow {}^3He({}^3He)$ reaction, In: *Proc. of 15-th International Spin Physics Symposium*, 9-14 September, 2002, Long Island, USA, *AIP Conf.Proc.*, 2003, v.675, p.715.
- [33] Saito T., ..., Ladygin V.P. et al., Study of spin structure of ${}^3He({}^3H)$ via $\bar{d}d \rightarrow {}^3He({}^3He)$ reaction at intermediate energies. In: *Proc. of the Kyudai-RCNP International Mini-Symposium on Nuclear Many-Body and Medium Effects in Nuclear Interactions and Reactions (MEDIUM02)*, 25-26 October, 2002, Fukuoka, Japan, World Scientific, Singapore, 2003, p.169.
- [34] Ladygin V.P. et al., Recent results from RIKEN on the tensor analyzing power T_{20} in the $dd \rightarrow {}^3He({}^3He)$ reaction at intermediate energies. In: *Proc. of Workshop on*

- Proton-Deuteron Interaction Studies*, 8-9 July 2002, JINR, Dubna, Eds. A.Kacharava, V.Komarov and F.Rathmann, Forschungszentrum Jülich, Jül-4012, 2002, ISSN 0944-2952, p.345.
- [35] Ladygin V.P. et al., Tensor analyzing power T_{20} in the $dd \rightarrow {}^3\text{H}p$ and $dd \rightarrow {}^3\text{H}n$ reactions at 140, 200 and 270 MeV in collinear geometry. In: *Proc. of the XVI-th International Baldin Seminar on High Energy Physics Problems*, 10-15 June, 2002, Dubna, Russia, Eds. A.N. Sissakian, V.V. Burov, A.I. Malakhov, *E1,2-2004-76*, 2004, Dubna, v.1, p.224.
- [36] Janek M., Saito T., Ladygin V.P. et al., Recent results on spin structure of light nuclei from R308n experiment. In: *Proc. of the 7-th International Workshop "Relativistic Nuclear Physics: from Hundreds of MeV to TeV" (RNP-2003)*, 25-30 August 2003, Stara Lesna, Slovak Republic, *E1,2-2003-225*, 2003, Dubna, p.229; *Acta Physica Slovaca*, 2004, v.54, p.367.
- [37] Ladygin V.P. et al., Energy dependence of the tensor analyzing power T_{20} in the $dd \rightarrow {}^3\text{H}n$ and $dd \rightarrow {}^3\text{H}p$ reactions. In: *Proc. of the X-th Workshop on High Energy Spin Physics (NATO ARW DUBNA-SPIN-03)*, 16-20 September, 2003, Dubna, Russia, Eds. A.V. Efremov and O.V. Teryaev, *E1,2-2004-80*, 2004, Dubna, p.325.
- [38] Janek M. et al., Sensitivity of the polarization observables A_y , A_{yy} and A_{xx} for the $d d \rightarrow {}^3\text{H} p$ and $d d \rightarrow {}^3\text{H} n$ reactions at energy 270 MeV to the spin structure of deuteron, ${}^3\text{H}$ and ${}^3\text{He}$. In: *Proc. of the International Conference Hadron Structure 2004 (HS-2004)*, 30 August - 3 September, 2004, Smolenice Castle, Slovakia, Eds. S. Dubnička, A.Z. Dubničková, P. Striženec, J. Urbán, ISBN 80-7097-590-3, 2005, p.143.
- [39] Janek M., Saito T., Ladygin V.P. et al., Measurements of the tensor A_{xx} , A_{yy} , A_{zz} and vector A_y analyzing powers for the $d + d \rightarrow {}^3\text{H} + p$ and $d + d \rightarrow {}^3\text{He} + n$ reactions at 270 MeV. In: *Proc. of the XVII-th International Baldin Seminar on High Energy Physics Problems*, 27 September - 2 October, 2004, Dubna, Russia, Eds. A.N. Sissakian, V.V. Burov, A.I. Malakhov, *E1,2-2005-103*, 2005, Dubna, v.2, p.249.
- [40] Ladygin V.P. et al., Measurement of the tensor analyzing power T_{20} in the $dd \rightarrow {}^3\text{H}n$ and $dd \rightarrow {}^3\text{H}p$ at intermediate energies and at zero degree. *Phys.Lett.*, 2004, v.B598, p.47.
- [41] Ладыгин В.П. и др., Тензорная анализирующая способность T_{20} в реакциях $dd \rightarrow {}^3\text{H}n$ и $dd \rightarrow {}^3\text{H}p$ при энергиях 140, 200 и 270 МэВ под нулевым углом. *Препринт ОИЯИ P1-2005-57*, 2005, Дубна; *ЯФ*, 2006, т.69, с.1305.
- [42] Ladygin V.P., The $p(d, p)d$ and $p(d, p)pn$ reactions as a tool for the study of the short-range internal structure of the deuteron. *ЯФ*, 2000, т.63, с.2199 [*Phys.Atom.Nucl.*, 2000, v.63, p.2103].
- [43] Ladygin V.P., Dead-time distortions in polarization measurements, *Nucl.Instr.Meth. in Phys.Res.*, 1999, v. A437, p.98.
- [44] Azhgirey L.S., Ladygin V.P. et al., Intermediate-energy polarimeter for the measurement of the deuteron and proton beam polarization at the JINR Synchrotron. *Nucl.Instr. and Meth. in Phys.Res.*, 2003, v.A497, p.340.
- [45] Ажгирей Л.С., Жмыров В.Н., Ладыгин В.П. и Столетов Г.Д., Определение векторной компоненты поляризации пучка дейтронов синхрофазотрона ОИЯИ. *Краткие сообщения ОИЯИ*, 1999, т.3[95]-99, с.20.
- [46] Ladygin V.P., Analyzing power of pp - and np - elastic scattering at momenta between 2000 MeV/c and 6000 MeV/c and polarimetry at LHE. *Препринт ОИЯИ E13-99-123*, 1999, Дубна, 23 pp.
- [47] Ladygin V.P., On an absolute calibration of deuteron beam polarization at LHE. *Краткие сообщения ОИЯИ*, 1999, т.3[95]-99, с.12.

Получено 26 декабря 2006 г.