

905974

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1-98-306

На правах рукописи
УДК 539.12.1

Л-157

ЛАДЫГИН
Владимир Петрович

ТЕНЗОРНАЯ АНАЛИЗИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ A_{yy}
В РЕАКЦИЯХ $A(d, p)X$ И $A(d, d)X$ ПРИ 9 ГэВ/с
И СТРУКТУРА ДЕЙТРОНА НА МАЛЫХ РАССТОЯНИЯХ

Специальность: 01.04.16 — физика ядра
и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1998

Общая характеристика работы.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий
Объединенного института ядерных исследований

Научные руководители:

кандидат физико-математических наук, Анатолий Григорьевич
старший научный сотрудник ЛИТВИНЕНКО
доктор физико-математических наук, Александр Иванович
старший научный сотрудник МАЛАХОВ

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, Владимир Иванович
профессор КОМАРОВ
кандидат физико-математических наук, Олег Октябрьевич
старший научный сотрудник ПАТАРАКИН

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ, г. Москва

Защита диссертации состоится "___" _____ 1998 года
в "___" часов на заседании диссертационного совета Д-047.01.02
в Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных
исследований, г. Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.

Автореферат разослан "___" _____ 1998 года

Ученый секретарь

Диссертационного совета  М.Ф. Лихачев
доктор физ.-мат. наук, профессор

Актуальность темы. Исследования ядерных реакций с участием релятивистских дейтронов являются важным источником получения информации о структуре дейтрона на малых расстояниях между нуклонами. 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. Так как спин дейтрона равен 1, это дает широкие возможности в проведении многочисленных поляризационных экспериментов, и следовательно, в получении принципиально новой информации о поведении независимых наблюдаемых, некоторые из которых чувствительны к деталям структуры дейтрона на малых расстояниях.

Исследование волновой функции дейтрона (ВФД) на малых межнуклонных расстояниях возможно в процессах с большими передачами импульсов к одиночному нуклону и может проводиться с использованием как электромагнитных, так и адронных пробников. Традиционно для этой цели используются реакции фрагментации дейтрона с вылетом протона под нулевым углом и дейтрон-протонного рассеяния на 180° в системе центра масс. Это обусловлено тем обстоятельством, наблюдаемые реакций фрагментации в рамках импульсного приближения (ИП) и dp -упругого рассеяния назад в рамках однонуклонного обмена (ОНО) достаточно просто выражаются через S - и D -компоненты волновой функции дейтрона.

Исследование реакций фрагментации дейтрона и dp -упругого рассеяния назад интенсивно проводилось в Дубне, Беркли, Гатчине и Сакле. В то время как сечения этих процессов достаточно хорошо описываются в рамках моделей, использующих стандартные волновые функции, вплоть до максимально измеренных внутренних импульсов, поляризационные данные находятся в сильном противоречии с предсказаниями этих моделей, уже при сравнительно небольших импульсах нуклона в дейтроне. Это, по-видимому, следствие того, что поляризационные данные более чувствительны как к деталям структуры дейтрона на малых расстояниях между конститuentами, так и к механизму реакции.

Наиболее интересным свойством поляризационных данных, полученных в Дубне, является то, что тензорные анализирующие способности T_{20} реакций $dA \rightarrow p(0^\circ)X$ и $dp \rightarrow pd$ показывают при больших внутренних

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

импульсах нуклона отрицательное значение $\sim -0.3 \div -0.5$, что находится в сильном противоречии со всеми расчетами, использующими волновые функции дейтрона, соответствующие известным реалистичным нуклон-нуклонным потенциалам.

Эксперимент по изучению тензорной анализирующей способности A_{yy} в инклюзивной реакции фрагментации дейтрона с испусканием протона с большими поперечными импульсами на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ был направлен на получение информации о спиновой структуре дейтрона на малых расстояниях. Данные измерения проводились в условиях, когда детектируемый протон испускается под углом 85 мрад в лабораторной системе координат, что соответствует области углов вблизи 90° в системе покоя дейтрона. В таком случае в этой системе импульс протона в основном поперечен по отношению к импульсу падающего дейтрона. При этом на эксперименте можно достичь более высоких внутренних импульсов нуклонов в дейтроне, чем в случае детектирования протона под нулевым углом.

Целью работы является исследование тензорных анализирующих способностей A_{yy} реакций фрагментации дейтрона в протоны, $A(d, p)X$, и неупругого рассеяния дейтрона, $A(d, d)X$, на ядрах с вылетом вторичных частиц с большими поперечными импульсами и изучение спиновой структуры дейтрона на малых расстояниях.

Научная новизна работы.

- Впервые получены данные о дифференциальном инвариантном сечении, тензорной и векторной анализирующих способностях A_{yy} и A_y реакций фрагментации дейтрона в протоны на углероде и неупругого рассеяния дейтрона на углероде при начальном импульсе дейтрона 9 ГэВ/с и угле регистрации вторичных частиц 85 мрад.
- Проведен теоретический анализ реакции дейтрон-протонного упругого рассеяния на 180° в системе центра масс в терминах 4-х независимых комплексных амплитуд. Получены предсказания для ряда поляризационных наблюдаемых реакций фрагментации дейтрона, $dp \rightarrow p(0^\circ) + p(180^\circ) + n$, в рамках ИП и дейтрон-протонного рассеяния назад, $dp \rightarrow pd$, в рамках ОНО.
- Проведен анализ реакции $dd \rightarrow {}^3He n$ под нулевым углом в рамках ОНО. Показано, что часть поляризационных наблюдаемых данной

реакции чувствительна к спиновой структуре 3He на малых расстояниях.

- Предложен эксперимент по изучению реакций $d\vec{p} \rightarrow {}^3He \pi^0$ и $d\vec{p} \rightarrow {}^3He \pi^+$ вблизи порога и в коллинеарной кинематике. Показано, что измерение спиновых корреляций может обеспечить информацию, необходимую для определения фундаментальных констант пионной физики, g_0 и g_1 , для понимания динамической роли $s\bar{s}$ -компоненты в волновой функции η -мезона, о возможности существования квазисвязанного η^3He -состояния.

Научно-практическая значимость работы. Результаты о дифференциальном инвариантном сечении, тензорной и векторной анализирующих способностях A_{yy} и A_y реакции фрагментации дейтрона при больших поперечных импульсах протонов существенно дополняют имеющиеся экспериментальные данные и дают фактический материал для развития теоретических моделей описания дейтрона на малых расстояниях.

Данные о дифференциальном инвариантном сечении, тензорной и векторной анализирующих способностях A_{yy} и A_y реакции неупругого рассеяния дейтрона на углероде, 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 ~ 2.2 ГэВ/с².

Проведенный теоретический анализ реакций $dp \rightarrow pd$, $dp \rightarrow p(0^\circ) + p(180^\circ) + n$, $dd \rightarrow {}^3He n$, $dp \rightarrow {}^3He \pi^0$ и $dp \rightarrow {}^3He \pi^+$ позволяет существенно расширить число поляризационных экспериментов на ускорительном комплексе ЛВЭ ОИЯИ.

Апробация работы и публикации. Результаты, лежащие в основе диссертации, были доложены на международных рабочих совещаниях коллаборации "СФЕРА" (Варна, Болгария, 1994, и Дубна, 1997), на международных симпозиумах "Дейтрон-95" (Дубна, 1995) и "Дейтрон-97" (Дубна, 1997), на международном рабочем совещании "SPIN-97" (Дубна, 1997), на XIII и XIV международных симпозиумах по проблемам физики высоких энергий (Дубна, 1996 и 1998), на XVI-ой Европейской конференции по проблемам малочастичных систем (Аутранс, Франция, 1998), на XIII-ом международном симпозиуме по спиновой физике высоких энергий (Протвино, 1998).

Основные результаты диссертации опубликованы в работах [1]-[12].

Объем и структура работы. Диссертационная работа изложена на 120 страницах, состоит из введения, четырех глав и заключения, содержит 34 рисунка, 3 таблицы и список цитируемой литературы из 147 наименований.

Автор защищает

1. Результаты измерения дифференциального инвариантного сечения, тензорной и векторной анализирующих способностей A_{yy} и A_y реакции фрагментации дейтрона на углероде при больших поперечных импульсах протонов (до 600 МэВ/с).
2. Результаты измерения дифференциального инвариантного сечения, тензорной и векторной анализирующих способностей A_{yy} и A_y реакции неупругого рассеяния дейтрона на углероде при начальном импульсе дейтрона 9 ГэВ/с и угле 85 мрад.
3. Результаты анализа поляризационных явлений для реакций $dp \rightarrow pd$, $dp \rightarrow p(0^\circ) + p(180^\circ) + n$, $dd \rightarrow {}^3\text{He}n$, $dp \rightarrow {}^3\text{He}\pi^0$ и $dp \rightarrow {}^3\text{He}\eta^0$.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ.

Во введении обоснована актуальность диссертации, сформулирована цель работы, приведено краткое содержание диссертации по главам.

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

В первом разделе главы описывается общая схема эксперимента на установке "СФЕРА", показанной на рис.1. Выведенный из ускорителя пучок дейтронов с импульсом 9 ГэВ/с направлялся на углеродную мишень, находившуюся в фокусе F5 канала VP1. Типичная интенсивность составляла от 10^9 до $2 \cdot 10^9$ дейтронов за цикл. Данные были получены при 6 настройках магнитных элементов установки для импульса вторичных частиц 4.57, 5.40, 5.88 6.11, 6.63 и 7.04 ГэВ/с. Вторичные частицы, испущенные под углом ~ 85 мрад из мишени, при помощи 3 отклоняющих магнитов (магнит M_0 был выключен) и 3 дублетов линз транспортировались в фокус F6, где располагалась детектирующая аппаратура. Аксептанс

установки был вычислен моделированием методом Монте-Карло. Угловой аксептанс установки составлял $\Delta\theta \approx \pm 8$ мрад, в то время как импульсный аксептанс в зависимости от импульса менялся между $\Delta p/p \approx \pm 0.02$ и ± 0.03 .

Во втором разделе первой главы описывается способ измерения и контроля поляризации пучка дейтронов.

Поляризация дейтронов определялась с помощью поляриметра "АЛЬФА", основанном на измерении асимметрии в упругом рассеянии дейтронов на водороде на угол 7.5° при начальном импульсе дейтрона 3 ГэВ/с. Тензорная и векторная поляризации пучка были соответственно:

$$\begin{aligned} p_{zz}^+ &= 0.624 \pm 0.029(stat) \pm 0.025(sys) & p_z^+ &= 0.162 \pm 0.017(stat) \pm 0.003(sys) \\ p_{zz}^- &= -0.722 \pm 0.022(stat) \pm 0.029(sys) & p_z^- &= 0.209 \pm 0.013(stat) \pm 0.004(sys) \end{aligned}$$

Стабильность векторной составляющей поляризации дейтронов контролировалась в течение набора данных on-line поляриметром, основанном на измерении асимметрии в квази-упругом pp -рассеянии, находившемся в фокусе F4 магнитного канала VP1. Средние значения асимметрий, полученных во время контрольных измерений и набора данных, находятся в хорошем согласии, что свидетельствует о стабильности векторной составляющей поляризации пучка.

Тензорная поляризация пучка измерялась несколько раз в процессе набора данных из реакции $A(d,p)X$ при нулевом угле вылета и импульсе протона ~ 6 ГэВ/с, где тензорная анализирующая способность T_{20} хорошо известна. Результаты этих измерений дали значение $T_{20} = -0.87 \pm 0.02$, что находится в хорошем согласии с существующими данными.

В третьем разделе кратко описывается триггер первого уровня и времяпролетная система для идентификации частиц, обсуждаются вопросы использования аэрогелевого черенковского счетчика.

В качестве триггера первого уровня использовались совпадения сигналов со сцинтилляционных счетчиков F_{61} , F_{62} и F_{63} . Сформированный сигнал триггера использовался в дальнейшей логике и в качестве строба для заряд-цифра преобразователей и входных регистров.

Идентификации частиц проводилась по их времени пролета. Для этой цели в ходе эксперимента использовалась информация со сцинтилляционных счетчиков $F_{561} - F_{562}$, $F_{563} - F_{564}$ и сцинтилляционного годоскопа HT , состоящего из 8 индивидуальных счетчиков. Детекторы находились на расстоянии 28 метров от фокуса F6. Разрешение времяпролетной системы составляло 0.2 нсек.

Для частичного подавления фоновых дейтронов при максимальном импульсе детектирования вторичных частиц в триггере дополнительно

использовался сигнал с азрогельного черенковского счетчика \check{C}_1 с радиатором, имеющим показатель преломления 1.033. Порог формирователя сигнала с черенковского счетчика был выбран таким образом, чтобы регистрировать протоны без потерь статистики. Коэффициент отбора триггера в этом случае составлял порядка ~ 2 .

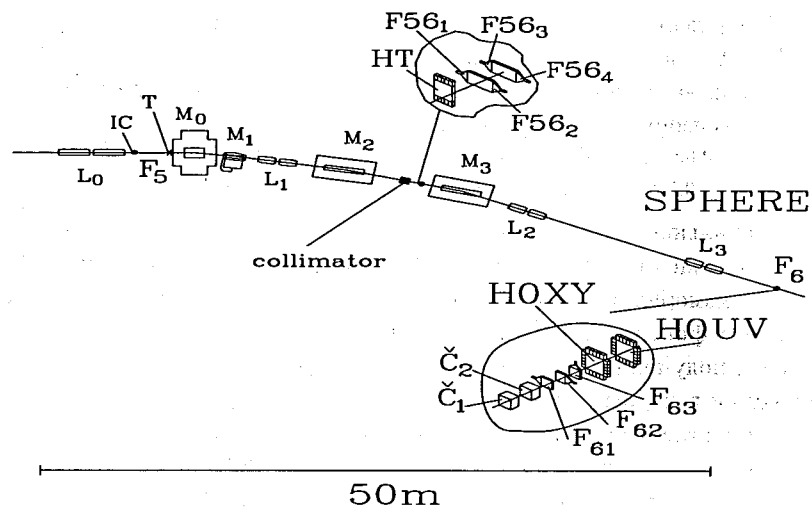


Рис.1. Схема установки "СФЕРА" с магнитным каналом VP1. M_i и L_i - магниты и линзы. IC - ионизационная камера; T - мишень; F_{61} , F_{62} , F_{63} - триггерные сцинтилляционные счетчики; \check{C}_1 и \check{C}_2 - пороговые черенковские счетчики; F_{561-4} - сцинтилляционные счетчики и HT - сцинтилляционный годоскоп для время-пролетных измерений; HOXY и HOUV - годоскопы профиля пучка.

Вторая глава посвящена описанию процедуры обработки экспериментальных данных и получения дифференциального сечения, тензорной и векторной анализирующих способностей A_{yy} и A_y .

В первом разделе описывается алгоритм отбора полезных событий. Для идентификации частиц использовалась времяпролетная информация. В данном эксперименте использовались 3 независимых времени пролета частиц: $F_{561-2} - F_{61}$ (TOFF), $F_{563-4} - F_{61}$ (TOFA) и $F_{HT} - F_{61}$ (TOF0). Время пролета частиц TOF0 со сцинтилляционного годоскопа HT формировалось только в том случае, если срабатывала только одна палочка

годоскопа. События рассматривались как полезные только в том случае, когда они имели, по крайней мере, 2 скоррелированных времени пролета. В этом случае, фон от случайных срабатываний времяпролетных счетчиков практически полностью исключался. Корреляция 2-х времен пролета частиц для настройки магнитных элементов установки на импульс 7.04 ГэВ/с продемонстрирована на рис.2. Выход дейтронов частично подавлен использованием черенковского счетчика на уровне триггера.

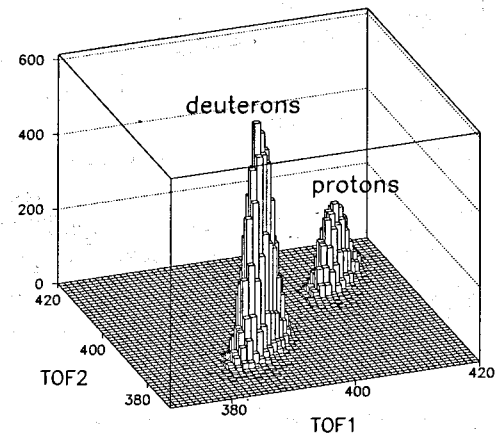


Рис.2. Корреляция между 2-мя независимыми временами пролета частиц при настройке магнитных элементов канала на ~ 7 ГэВ/с. Дейтроны частично подавлены использованием черенковского счетчика в триггере.

Во втором разделе главы описывается процедура получения инвариантного дифференциального сечения и анализирующих способностей.

Инвариантные дифференциальные сечения реакций $^{12}\text{C}(d,p)\text{X}$ и $^{12}\text{C}(d,d)\text{X}$ при начальном импульсе дейтрона 9 ГэВ/с и с испусканием вторичных частиц под углом 85 мрад в лабораторной системе были получены относительным способом, используя опубликованные данные для реакции $^{12}\text{C}(d,p)\text{X}$ для угла вылета протона 0° . Сечение определялось следующим образом:

$$\frac{E}{p^2} \frac{d^2\sigma}{dpd\Omega} = C_{cal} \cdot \frac{\bar{E}}{\bar{p}^2} \cdot \frac{n^0}{\Delta p \Delta \Omega},$$

где n^0 - число отобранных протонов (или дейтронов) при нулевом знаке поляризации пучка, нормированное на соответствующее значение монитора (показания ионизационной камеры IC). Δp и $\Delta \Omega$ соответственно импульсный и угловой акцептансы установки, полученные в результате моделирования. \bar{p} и $\bar{E} = \sqrt{m^2 + \bar{p}^2}$ - средний импульс и соответствующая ему энергия вторичной частицы с массой m . C_{cal} - калибровочная константа, определенная из данных по фрагментации дейтрона в протоны на углеводе под нулевым углом и измерений, дополнительно проведенных в данном эксперименте с детектированием протона с импульсом ~ 6 ГэВ/с под углом 0° . Систематическая ошибка в определении константы C_{cal} , которая складывается из ошибки калибровочных измерений и статистической ошибки сечения фрагментации при импульсе протона ~ 6 ГэВ/с, составляет $\sim 15\%$.

Анализирующие способности A_{yy} и A_y были получены из следующих выражений:

$$A_{yy} = 2 \left[\frac{p_z^-}{p_z^- p_{zz}^+ - p_z^+ p_{zz}^-} \left(\frac{n^+}{n^0} - 1 \right) - \frac{p_z^+}{p_z^- p_{zz}^+ - p_z^+ p_{zz}^-} \left(\frac{n^-}{n^0} - 1 \right) \right],$$

$$A_y = -\frac{2}{3} \left[\frac{p_{zz}^-}{p_z^- p_{zz}^+ - p_z^+ p_{zz}^-} \left(\frac{n^+}{n^0} - 1 \right) - \frac{p_{zz}^+}{p_z^- p_{zz}^+ - p_z^+ p_{zz}^-} \left(\frac{n^-}{n^0} - 1 \right) \right],$$

где n^+ , n^- и n^0 число отобранных протонов для различных знаков поляризации первичного пучка дейтронов, нормированных на соответствующую интенсивность пучка дейтронов.

В третьем разделе исследуются методические вопросы, связанные с конечной толщиной мишени и влиянием реального акцептанса установки "СФЕРА" на измеряемую величину тензорной анализирующей способности A_{yy} .

Показано, что максимум эффекта макроскопического двойного перерасеяния наблюдается при половинном импульсе дейтрона. Величина эффекта в этой области может достигать порядка 10 – 15% от сечения фрагментации. Однако, с ростом импульса регистрируемого протона эффект перерасеяния сильно падает и составляет менее процента, начиная с импульса протона 5.3 ГэВ/с.

Исследовано влияние конечного акцептанса установки "СФЕРА" на поведение тензорной анализирующей способности A_{yy} . Показано, что эффект конечного акцептанса может быть достаточно существенным, но не меняет принципиально поведение A_{yy} в условиях проведенного эксперимента.

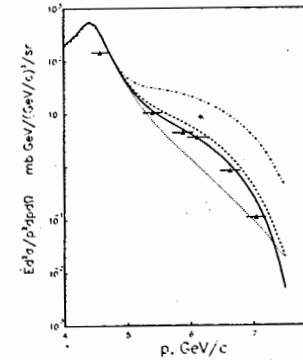


Рис.3. Дифференциальное сечение реакции фрагментации дейтронов с начальным импульсом 9 ГэВ/с на углеводе в протоны, испускаемых под углом 85 мрад, $^{12}C(d, p)X$. Сплошной, штриховой, пунктирной и штрихпунктирной линиями показаны результаты расчетов в модели жестких соударений с использованием парижской, рейдовской, боннской и московской ВФД, соответственно.

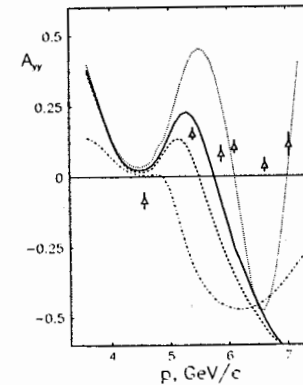


Рис.4. Тензорная анализирующая способность A_{yy} реакции $^{12}C(d, p)X$ при начальном импульсе дейтрона 9 ГэВ/с и угле испускания протонов 85 мрад. Линии соответствуют результатам расчетов в модели жестких соударений. Соответствие типа линии используемой ВФД то же, что и на рис.3.

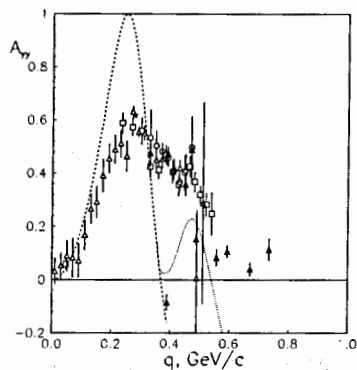


Рис.5. Сравнение данных об A_{yy} , полученных в этом эксперименте (заштрихованные треугольники), с данными, полученными под нулевым углом на углеродной мишени (светлые символы) в зависимости от импульса протона в системе покоя дейтрона q . Штриховая и пунктирная линии представляют результаты расчетов с использованием парижской ВФД для угла испускания протона 0 и 85 мрад, соответственно.

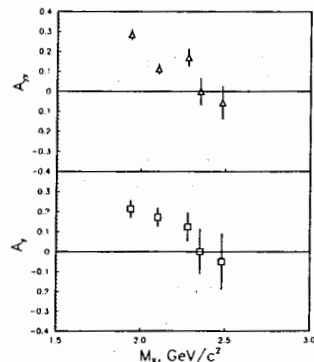


Рис.6. Тензорная и векторная анализирующие способности A_{yy} и A_y реакции $^{12}\text{C}(d,d)X$ в зависимости от массы недетектируемой системы M_X .

В третьей главе обсуждаются полученные экспериментальные результаты для реакций $^{12}\text{C}(d,p)X$ и $^{12}\text{C}(d,d)X$.

Первый раздел главы посвящен анализу данных о дифференциальном инвариантном сечении реакции фрагментации дейтронов с импульсом 9 ГэВ/с на углероде в протоны, испущенных под углом 85 мрад.

Сравнение полученных результатов с предсказаниями в рамках модели жестких соударений с использованием стандартных ВФД представлены на рис.3. Данные по сечению при угле испускания протона 85 мрад демонстрируют те же свойства, что и данные, полученные ранее при больших углах, и также могут быть теоретически описаны с использованием стандартных ВФД, т.е. рассматривая дейтрон как связанное состояние протона и нейтрона, без привлечения дополнительных (ненулевых) степеней свободы.

Во втором разделе главы данные о тензорной анализирующей способности A_{yy} реакции $^{12}\text{C}(d,p)X$ при больших поперечных импульсах протонов сравниваются с существующими данными, полученными под нулевым углом, и с предсказаниями различных моделей описания дейтрона. На рис.4 A_{yy} данные сравниваются с предсказаниями модели жестких соударений с использованием различных ВФД. Тензорная анализирующая способность A_{yy} положительна при больших импульсах протона и составляет приблизительно $0.1 \div 0.15$ по абсолютной величине. Результаты вычислений показывают сильную чувствительность к выбору ВФД, однако, расчеты не согласуются с данными по A_{yy} , особенно при больших импульсах протонов.

На рис.5 данные по A_{yy} , полученные в этом эксперименте, представлены вместе с данными по тензорной анализирующей способности T_{20} , полученными с нулевым поперечным импульсом протона (под нулевым углом $T_{20} = -\sqrt{2}A_{yy}$) на углеродной мишени в зависимости от импульса протона в системе покоя дейтрона q . Величина A_{yy} для всех наборов данных положительна при больших q . Аналогичное поведение A_{yy} наблюдается и для реакции дейтрон-протонного упругого рассеяния на 180° в системе покоя дейтрона при больших внутренних импульсах. Схожесть поведения A_{yy} в данных процессах может указывать на то, что результаты этих экспериментов в сильной мере характеризуют внутренние свойства дейтрона на малых расстояниях.

В третьем разделе главы обсуждаются результаты о векторной анализирующей способности A_y реакции фрагментации дейтрона. Величина A_y мала, но не пренебрежима, что может быть интерпретировано, как заметная роль спин-зависимой части амплитуды нуклон-нуклонного рас-

сеяния.

В четвертом разделе обсуждаются полученные результаты для реакции неупругого рассеяния дейтронов на углероде при начальном импульсе 9 ГэВ/с и угле вылета 85 мрад. Показано, что редуцированное, т.е. деленное на квадрат формфактора дейтрона, сечение удовлетворительно согласуется с полученными ранее данными при больших массах недетектируемой системы M_X .

Результаты о тензорной и векторной анализирующим способностям A_{yy} и A_y представлены на рис.6 в зависимости от массы недетектируемой системы M_X . При меньших массах тензорная анализирующая способность A_{yy} положительна, что совпадает со знаком данных об A_{yy} , полученных под нулевым углом в этой же реакции. Величина векторной анализирующей способности A_y также положительна при относительно малых массах недетектируемой системы M_X . Обе наблюдаемые имеют значения близкие к нулю при массах $M_X \sim 2.2$ ГэВ/с². Ненулевое значение векторной анализирующей способности A_y может свидетельствовать о заметной роли спин-зависимой части амплитуды реакции $NN \rightarrow NN^*$ в области возбужденных масс $M_X \sim 2.2$ ГэВ/с².

Четвертая глава посвящена теоретическому анализу поляризационных явлений в реакциях $dp \rightarrow pd$, $dp \rightarrow p(0^\circ) + p(180^\circ) + n$, $dd \rightarrow {}^3\text{He}n$, $dp \rightarrow {}^3\text{He}\pi^0$ и $dp \rightarrow {}^3\text{He}\eta^0$.

В первом разделе обсуждается возможность измерения поляризаций протонов и дейтронов, $P_y(C_{0,0,N,0})$, и коэффициентов передачи поляризации от начального дейтрона к вторичным частицам, $K_y^y(C_{0,N,N,0})$, в реакциях

$$\vec{d} + A \rightarrow \vec{p} + X \quad \vec{d} + A \rightarrow \vec{d} + X$$

на установке "СФЕРА" с использованием широко-апертурного полприметра в широком диапазоне углов. Информация об этих наблюдаемых существенно дополнит имеющиеся экспериментальные данные о спиновой структуре дейтрона на малых расстояниях и механизмах реакций.

Второй раздел четвертой главы посвящен теоретическому анализу реакции дейтрон-протонного рассеяния на 180° в системе центра масс. Так как данный процесс описывается 4-мя независимыми комплексными амплитудами, то для полного восстановления матричного элемента необходимо измерить по крайней мере 7 наблюдаемых. Однако, в силу того, что наблюдаемые выражаются через билинейные комбинации амплитуд, число необходимых экспериментов возрастает.

В работе показано, что набор 10 наблюдаемых 1-го и 2-го порядка реализует полный опыт по восстановлению матричного элемента реакции dp -упругого рассеяния назад. В этот набор входят дифференциальное сечение; тензорная анализирующая способность ($C_{0,NN,0,0} = -T_{20}/\sqrt{2}$); коэффициент передачи поляризации от векторно-поляризованного дейтрона к протону ($C_{0,N,N,0} = 2/3\kappa_0$); три тензор-тензорные передачи поляризации $C_{0,NN,0,NN}$, $C_{0,NN,0,LL}$ и $C_{0,LN,0,LN}$; коэффициент спиновой корреляции $C_{N,N,0,0}$, связанный с поперечной поляризацией начальных частиц и три Т-нечетные поляризационные наблюдаемые: тензор-векторная спиновая корреляция $C_{N,LS,0,0}$; коэффициент передачи поляризации от тензорно-поляризованного дейтрона к протону $C_{0,LS,N,0}$ и коэффициент передачи поляризации от векторно-поляризованного дейтрона к тензорно-поляризованному конечному дейтрону $C_{0,N,0,LS}$.

Данный набор поляризационных наблюдаемых для полного восстановления матричного элемента представляется оптимальным, так как число экспериментов, которые могут быть реализованы в настоящее время с использованием существующей экспериментальной техники, сильно ограничено из-за того, что сечение процесса $dp \rightarrow pd$ мало при высоких энергиях, полприметры имеют небольшую эффективность и существует сильное ограничение по максимально-допустимому потоку заряженных частиц на поляризованную мишень. Поэтому, например, представляется реальным измерение поляризационных наблюдаемых 3-го порядка.

Две из наблюдаемых, необходимых для восстановления матричного элемента реакции: коэффициент передачи поляризации от дейтрона к протону, $C_{0,N,N,0}$, и спиновая корреляция $C_{N,N,0,0}$ могут быть измерены на ускорительном комплексе ЛВЭ. $C_{0,N,N,0}$ и $C_{N,N,0,0}$ выражаются через амплитуды $A - D$ реакции $dp \rightarrow pd$ следующим образом:

$$C_{0,N,N,0} = 4N \cdot (\text{Re}(2A^* + B^* + D^*)C + C^2)$$

$$C_{N,N,0,0} = 4N \cdot (\text{Re}(2A^* + B^* - D^*)C - C^2),$$

где $N^{-1} = 2(3A^2 + 2\text{Re}AB^* + B^2 + 6C^2 + 4\text{Re}CD^* + 2D^2)$. Данные наблюдаемые необходимы для восстановления реальных и мнимых частей амплитуд C и D . В рамках модели ОНО $C_{0,N,N,0}$ и $C_{N,N,0,0}$ могут быть записаны как:

$$C_{0,N,N,0} = \frac{2u^2 - w^2 - uw/\sqrt{2}}{3(u^2 + w^2)}$$

$$C_{N,N,0,0} = \frac{2(u^2 - w^2 - uw/\sqrt{2})(u - \sqrt{2}w)^2}{9(u^2 + w^2)^2}.$$

где u и w - S - и D - волны дейтронной волновой функции.

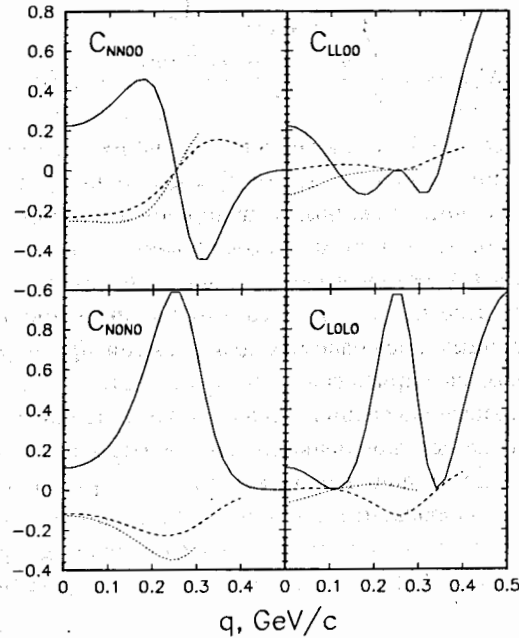


Рис.7. Спиновые корреляции $C_{N,N,0,0}$ и $C_{L,L,0,0}$, передачи поляризации от протона к протону $C_{N,N,0,0}$ и $C_{L,L,0,0}$ реакции $dp \rightarrow p(0^\circ) + p(180^\circ) + n$ при начальной энергии дейтрона 2.1 ГэВ (штриховая линия) и 1.25 ГэВ (точечная линия). Сплошными линиями показаны предсказания для наблюдаемых реакции $dp \rightarrow pd$. При расчетах использовалась парижская ВФД.

В третьем разделе главы проведены расчеты ряда поляризационных наблюдаемых реакции $dp \rightarrow p(0^\circ) + p(180^\circ) + n$ в рамках спекторного механизма. В данных кинематических условиях спин-корреляционные параметры $C_{N,N,0,0}$ и $C_{L,L,0,0}$ и коэффициенты передачи поляризации от протона к протону $C_{0,N,N,0}$ и $C_{0,L,L,0}$ в рамках ИП записываются следующим образом:

$$C_{N,N,0,0} = \frac{2(u^2 - w^2 - uw/\sqrt{2})}{3(u^2 + w^2)} \cdot A_{oonn}(0)$$

$$C_{L,L,0,0} = \frac{2(u + w/\sqrt{2})^2}{3(u^2 + w^2)} \cdot A_{ookk}(0)$$

$$C_{N,0,N,0} = \frac{1}{3} \frac{(u - \sqrt{2}w)^2}{u^2 + w^2} \cdot A_{oonn}(0)$$

$$C_{L,0,L,0} = \frac{1}{3} \frac{(u^2 - w^2 + 4\sqrt{2}uw)}{(u^2 + w^2)} \cdot A_{ookk}(0),$$

где u и w - S - и D - компоненты волновой функции дейтрона, $A_{oonn}(0)$ и $A_{ookk}(0)$ - спин-корреляционные параметры нейтрон-протонного рассеяния под нулевым углом, связанных с поперечной и продольной поляризациями сталкивающихся частиц, соответственно. Зависимость наблюдаемых от импульса протона в системе покоя дейтрона для начальных энергий дейтрона 1.25 и 2.1 ГэВ показаны на рис.4 вместе с результатами для аналогичных наблюдаемых для реакции $dp \rightarrow pd$. При расчетах использовалась парижская ВФД и результаты фазового анализа для нуклон-нуклонного рассеяния. Можно видеть, что поведение поляризационных наблюдаемых для реакции фрагментации, с одной стороны, существенно зависит от начальной энергии и, с другой, отличается от поведения данных наблюдаемых для реакции dp -упругого рассеяния назад. Это отличие связано с тем, что наблюдаемые реакции фрагментации зависят не только от ВФД, но также и от поведения нуклон-нуклонных амплитуд.

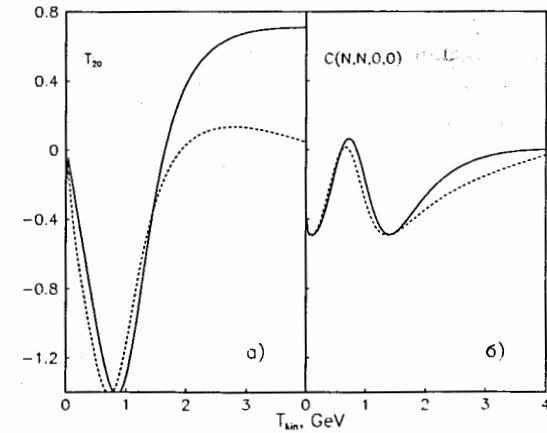


Рис.8. а) Тензорная анализирующая способность T_{20} и б) спин-корреляционный параметр $C_{N,N,0,0}$ реакции $dd \rightarrow {}^3\text{He}n$ в зависимости от кинетической энергии налетающего дейтрона. Сплошная и штриховая линии - расчеты с использованием различных параметризаций волновых функций ${}^3\text{He}$. Для описания дейтронной вершины использовалась парижская ВФД.

В четвертом разделе главы обсуждаются поляризационные явления в реакции $dd \rightarrow {}^3\text{He}n$ под нулевым углом. Показано, что в рамках ОНО при больших импульсах ${}^3\text{He}$ тензорная анализирующая способность T_{20} , связанная с поляризацией налетающего дейтрона, полностью определяется спиновой структурой ${}^3\text{He}$ и выражается через S - и D -волны следующим образом:

$$T_{20} = -\frac{1}{\sqrt{2}} \frac{w_1^2(q) - 2\sqrt{2}w_1(q)u_1(q)}{u_1^2(q) + w_1^2(q)},$$

где $u_1(q)$ и $w_1(q)$ – S - и D -компоненты волновой функции ${}^3\text{He}$, соответственно.

Спиновая корреляция $C_{N,N,0,0}$, связанная с поперечной поляризацией сталкивающихся частиц, зависит как от волновой функции ${}^3\text{He}$, так и от волновой функции дейтрона.

Поведение T_{20} и $C_{N,N,0,0}$ в зависимости от кинетической энергии налетающего дейтрона показано на рис.5а) и б) для различных параметризаций волновой функции ${}^3\text{He}$. Для описания дейтронной вершины использовалась парижская ВФД.

В пятом разделе главы предложен эксперимент по исследованию спин-корреляционных параметров $C_{N,N,0,0}$ в реакциях $\vec{d}\vec{p} \rightarrow {}^3\text{He}\pi^0$ и $\vec{d}\vec{p} \rightarrow {}^3\text{He}\eta^0$.

Показано, что в коллинеарной геометрии спин-корреляционный параметр $C_{N,N,0,0}$ определяется интерференцией двух амплитуд A и B , описывающих данные реакции в коллинеарной геометрии:

$$C_{N,N,0,0} = \frac{-2\text{Re}AB^*}{A^2 + 2B^2}$$

Измерение данных наблюдаемых в дополнение к уже полученным результатам о дифференциальных сечениях и тензорным анализирующим способностям позволит полностью восстановить матричные элементы реакций $d\vec{p} \rightarrow {}^3\text{He}\pi^0$ и $d\vec{p} \rightarrow {}^3\text{He}\eta^0$.

Особо интересным является изучение реакции $d\vec{p} \rightarrow {}^3\text{He}\pi^0(\eta^0)$ вблизи порога рождения мезона. Большое отрицательное значение T_{20} , измеренное вблизи порога реакции $d\vec{p} \rightarrow {}^3\text{He}\pi^0$, является прямым доказательством того, что поглощение пиона в ${}^3\text{He}$ происходит главным образом на паре нуклонов с изоспином 0 (квази-дейтроне), которое более, чем на порядок сильнее, чем поглощение на изовекторной паре нуклонов (с изоспином 1). Модули соответствующих амплитуд поглощения имеют следующие значения:

$$|g_0| = (6.5 \pm 0.6)10^{-2} fm^{-2} \quad |g_1| = (1.4 \pm 0.4)10^{-2} fm^{-2}$$

Используя эти значения констант g_0 и g_1 можно оценить величину спин-корреляционного параметра $C_{N,N,0,0}$ вблизи порога как: $C_{N,N,0,0} = \pm(0.333 \pm 0.026)$, если пренебречь спиновой структурой дейтрона и ${}^3\text{He}$ и $C_{N,N,0,0} = \pm(0.289 \pm 0.023)$, если использовать реалистичные волновые функции.

Спиновая корреляция $C_{N,N,0,0}$ определена с точностью до знака, и эта неоднозначность в определении фундаментальных констант пионной физики g_0 и g_1 может быть разрешена только измерением $C_{N,N,0,0}$ в реакции $d\vec{p} \rightarrow {}^3\text{He}\pi^0$ вблизи порога (либо передачей поляризации от ${}^3\text{He}$ к дейтрону в обратной реакции $\pi^-{}^3\text{He} \rightarrow nd$). Предсказания для $C_{N,N,0,0}$ реакции $d\vec{p} \rightarrow {}^3\text{He}\pi^0$ показаны на рис.6. Точкой на этом рисунке показано предсказание для $C_{N,N,0,0}$ вблизи порога реакции $d\vec{p} \rightarrow {}^3\text{He}\pi^0$.

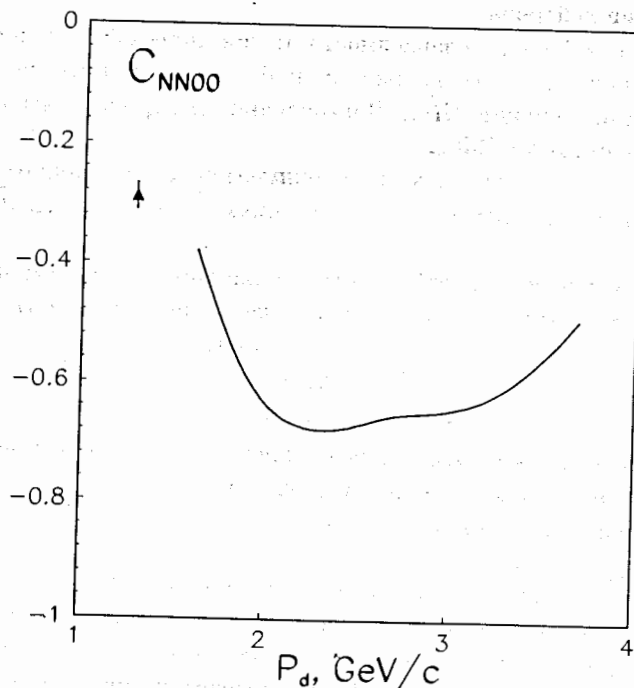


Рис.9. Спиновая корреляция $C_{N,N,0,0}$ реакции $d\vec{p} \rightarrow {}^3\text{He}\pi^0$ в зависимости от импульса дейтрона. Точка - предсказание для величины $C_{N,N,0,0}$ на пороге реакции с использованием реалистичных волновых функций дейтрона и ${}^3\text{He}$.

В случае реакции $dp \rightarrow {}^3\text{He}\eta^0$, можно получить верхние оценки для наблюдаемых, зависящих от относительной фазы между амплитудами A и B , из полученных данных о сечении и тензорной анализирующей способности вблизи порога:

$$C_{N,N,0,0} = (0.694 \pm 0.052) \cdot \cos\delta$$

$$C_{N,SL,0,0} = (1.041 \pm 0.078) \cdot \sin\delta,$$

где угол δ - фаза между амплитудами. Если пренебречь спиновой структурой дейтрона и ${}^3\text{He}$, а также обменом η и ω мезонами, то фактор $\cos\delta$ может быть интерпретирован как параметр смешивания между вкладами от обменов π и ρ мезонами.

Эксперименты по измерению $C_{N,N,0,0}$ в реакциях $dp \rightarrow {}^3\text{He}\pi^0(\eta^0)$ вблизи порога могут быть реализованы на ускорительном комплексе ЛВЭ, используя поляризованную протонную мишень длиной порядка 1 см и векторно-поляризованный пучок дейтронов.

В заключении сформулированы основные выводы диссертации:

1. Впервые получены данные о дифференциальном инвариантном сечении, тензорной и векторной анализирующих способностях A_{yy} и A_y реакции фрагментации дейтрона в протоны на углероде при начальном импульсе дейтрона 9 ГэВ/с и угле регистрации протона 85 мрад. Область измерений соответствует поперечным импульсам протонов в интервале от 390 до 600 МэВ/с, или же импульсу протона в системе покоя дейтрона вплоть до ~ 730 МэВ/с.

– Дифференциальное сечение данного процесса при больших импульсах протона удовлетворительно описывается моделью жестких соударений с использованием стандартных волновых функций дейтрона.

– В то же время, поведение тензорной анализирующей способности A_{yy} противоречит предсказаниям этой модели для стандартных волновых функций дейтрона. Новые данные об A_{yy} , полученные при больших поперечных импульсах, положительны при больших импульсах протона в системе покоя дейтрона, так же как и данные об A_{yy} в инклюзивной реакции фрагментации дейтрона и об упругом dp -рассеянии назад, полученными с нулевым поперечным импульсом. Сходство поведения A_{yy} в указанных процессах может

означать, что результаты экспериментов в сильной мере характеризуют внутренние свойства дейтрона на малых расстояниях. Поведение A_{yy} при больших q качественно согласуется с моделями, учитывающими ненулевые степени свободы в дейтроне.

– Отличное от нуля значение векторной анализирующей способности A_y реакции фрагментации дейтрона может свидетельствовать о существенной роли зависящей от спина части амплитуды нуклон-нуклонного рассеяния.

2. Впервые получены данные о дифференциальном инвариантном сечении, тензорной и векторной анализирующих способностях A_{yy} и A_y реакции неупругого рассеяния дейтрона на углероде в тех же кинематических условиях, что и для реакции фрагментации дейтрона. Данные об A_{yy} получены при значительно больших 4-импульсах, чем в предыдущих экспериментах, выполненных с регистрацией частиц под нулевым углом. Отличное от нуля значение векторной анализирующей способности A_y может свидетельствовать о существенной роли зависящей от спина части амплитуды $NN \rightarrow NN^*$ процесса в области масс недетектируемой системы $M_X \sim 2.2$ ГэВ/с².

3. Проведен теоретический анализ реакции дейтрон-протонного упругого рассеяния на 180° в системе центра масс в терминах 4-х независимых комплексных амплитуд. Показано, что измерение 10 поляризационных наблюдаемых 1-го и 2-го порядка позволяют полностью восстановить матричный элемент данной реакции. Измерение 2-х наблюдаемых: передачи поляризации от векторно поляризованного дейтрона к протону $C_{0,N,N,0}$ и спин-корреляционного параметра $C_{N,N,0,0}$ возможно в ЛВЭ ОИЯИ.

4. Получены предсказания для ряда поляризационных наблюдаемых реакции фрагментации дейтрона, $dp \rightarrow p(0^\circ) + p(180^\circ) + n$, в рамках ИП. Использование поляризованных пучка и мишени и возможность измерения поляризации вторичного протона позволит получить дополнительную информацию о структуре дейтрона на малых расстояниях.

5. Показано, что тензорная анализирующая способность T_{20} и спиновая корреляция $C_{N,N,0,0}$ реакции $dd \rightarrow {}^3\text{He}n$ чувствительны к спиновой структуре ${}^3\text{He}$ на малых расстояниях. Данные эксперименты могут быть проведены в ЛВЭ ОИЯИ.

6. Предложен эксперимент по изучению реакций $\vec{d}\vec{p} \rightarrow {}^3\text{He}\pi^0$ и $\vec{d}\vec{p} \rightarrow {}^3\text{He}\pi^0$ вблизи порога и в коллинеарной кинематике. Результаты, полученные в данном эксперименте, могут обеспечить информацию, необходимую для восстановления матричных элементов этих реакций, для определения фундаментальных констант пионной физики, g_0 и g_1 , для понимания роли 3-х частичных сил, спиновой структуре ${}^3\text{He}$ и дейтрона на малых расстояниях, динамической роли $s\bar{s}$ -компоненты в волновой функции η -мезона, о возможности существования квази-связанного $\eta^3\text{He}$ состояния.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

- [1] Афанасьев С.В.,..., Ладыгин В.П. и др., *Исследование тензорной анализирующей способности A_{yy} в реакции $A(\vec{d},p)X$ при больших поперечных импульсах протона.*; *Краткие сообщения ОИЯИ*, 1997, т.4[84]-97, с.5.
- [2] Afanasiev S.V.,..., Ladygin V.P. et al., *Measurement of the tensor analyzing power A_{yy} in inclusive breakup of 9 GeV/c deuterons on carbon at large transverse momenta of protons.*; *Препринт ОИЯИ E1-98-75*, 1998, Дубна; опубликовано в *Phys.Lett.*, v.B434, 1998, p.21.
- [3] Афанасьев С.В.,..., Ладыгин В.П. и др., *Тензорная и векторная анализирующие способности A_{yy} и A_y в реакциях ${}^{12}\text{C}(d,p)X$ и ${}^{12}\text{C}(d,d)X$ при начальном импульсе дейтронов 9 ГэВ/с и угле испускания 85 мрад.*; *Краткие сообщения ОИЯИ*, 1998, т.2[88]-98, с.5.
- [4] Ажгирей Л.С.,..., Ладыгин В.П. и др., *Дифференциальное сечение, тензорная A_{yy} и векторная A_y анализирующие способности реакции ${}^{12}\text{C}(d,p)X$ при 9 ГэВ/с и угле испускания протонов 85 мрад.*; *Препринт ОИЯИ P1-98-199*, 1998, Дубна; направлено в ж. *Ядер.Физ.*
- [5] Ladygin V.P. and Ladygina N.B., *Full determination of the dp backward elastic scattering matrix element.*; *J.Phys.G: Nucl.Part.Phys.*, 1997, v.23, p.847.
- [6] Ладыгин В.П., *Поляризационные наблюдаемые в реакциях фрагментации дейтрона и дейтрон-протонного упругого рассеяния назад.*; *Ядер.Физ.*, 1997, т.60, с.1371.

- [7] Ладыгин В.П. и Ладыгина Н.Б., *Спиновая структура ${}^3\text{He}$ из реакции $dd \rightarrow {}^3\text{He}\pi$.*; *Ядер.Физ.*, 1996, т.59, с.828.
- [8] Ladygin V.P. and Ladygina N.B., *Polarization effects in the $dd \rightarrow {}^3\text{He}\pi$ reaction and ${}^3\text{He}$ spin structure at short distances.*; *Preprint LNS/Ph/96-06*, 1996, Gif-sur-Yvette.
- [9] Ладыгин В.П. и Ладыгина Н.Б., *Изучение структуры ${}^3\text{He}$ на малых расстояниях в реакции $dd \rightarrow {}^3\text{He}\pi$.*; *Краткие сообщения ОИЯИ*, 1995, т.4[72]-95, с.19.
- [10] Ладыгин В.П. и Ладыгина Н.Б., *Поляризационные наблюдаемые для реакции $dp \rightarrow {}^3\text{He}\pi^0$ в коллинеарной геометрии.*; *Ядер.Физ.*, 1995, т.58, с.1365.
- [11] Ладыгин В.П. и Ладыгина Н.Б., *Когерентное рождение мезонов в реакции $dp \rightarrow {}^3\text{He}X$.*; *Краткие сообщения ОИЯИ*, 1994, т.5[68]-94, с.37.
- [12] Ladygin V.P. and Ladygina N.B., *Spin Correlations in the $\vec{d}\vec{p} \rightarrow {}^3\text{He}\pi^0$ and $\vec{d}\vec{p} \rightarrow {}^3\text{He}\pi^0$ Reactions.*; In: *Proc. of Int.Simp. "Deuteron-95"*, 4-7 July 1995, Dubna, Russia; *E2-96-100*, p.163.

Рукопись поступила в издательский отдел
27 октября 1998 года.