

ОБЪЕДИНЁННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК [539.172.12+539.172.13]:539.171.016

На правах рукописи

Курилкин Павел Константинович

**Изучение анализирующих способностей
 A_y , A_{yy} , и A_{xx} реакции дейтрон-протонного
упругого рассеяния при энергиях
880 и 2000 МэВ**

01.04.16 – Физика атомного ядра и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата
физико-математических наук

Дубна – 2010

Работа выполнена в Лаборатории физики высоких энергий
Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук

Владимир Петрович
ЛАДЫГИН

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук,
профессор

Анатолий Григорьевич
ЛИТВИНЕНКО

кандидат физико-математических наук

Александр Альбертович
ЕРШОВ

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Институт теоретической
и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова (ИТЭФ, г. Москва).

Защита состоится " ____ " _____ 2010 г. в " ____ " часов на заседании дис-
сертационного совета Д. 720.001.02 в Лаборатории физики высоких энер-
гий Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна Московской
области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛФВЭ ОИЯИ.

Автореферат разослан " ____ " _____ 2010 года.

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник

В.А.Арефьев

Общая характеристика работы.

Актуальность темы. Исследование ядерных реакций с участием дейтронов всегда играло важную роль в развитии представлений о структуре ядра и динамике ядерных взаимодействий. На новом этапе развития ядерной физики изучение процессов с участием дейтрона, несомненно, поможет решить многие современные, теперь уже релятивистские проблемы ядерной физики, связанные с исследованием нуклон-нуклонного взаимодействия при высоких энергиях, структуры легких ядер на малых межнуклонных расстояниях, механизмов рождения мезонов и барионных резонансов.

В настоящее время накоплено множество данных о дейтроне, полученных на пучках электронов и адронов. Особенность исследований дейтрона на пучках электронов состоит в том, что они нацелены главным образом на выявление внутренней структуры дейтрона в области относительно малых расстояний или, что тоже самое, в области больших относительных импульсов нуклонов.

В процессах взаимодействий релятивистских дейтронов с нуклонами и ядрами также решаются проблемы структуры дейтрона на малых расстояниях. При этом точность получаемых результатов сравнима с точностью, достигнутой в экспериментах на пучках электронов. Поэтому роль таких исследований очень велика для установления реальной картины того, что происходит в дейтроне на малых расстояниях. С другой стороны, изучение столкновений именно релятивистских дейтронов с нуклонами и ядрами исключительно важно для выяснения фундаментальных вопросов релятивистского описания быстро движущихся составных объектов.

Поляризационные наблюдаемые в протон-дейтронном и нейтрон-дейтронном упругом рассеянии, в основном, получены в диапазоне энергий 65-300 МэВ/н. Главной задачей исследований процессов взаимодействия нуклонов с дейтроном в этой области энергий связаны с проверкой различных моделей двухнуклонного взаимодействия и обнаружением эффекта трехнуклонных сил (3NF). Сечение dp - упругого рассеяния не воспроизводится расчетами в подходе Фаддеева при энергии 250 МэВ/нуклон, в то время как поляризационные наблюдаемые реакции не описываются уже

при энергии дейтронного пучка 135 МэВ/нуклон. Возможно, это связано с дефектом в спинзависимой части существующих в настоящее время моделей 3NF и проявлением релятивистских эффектов.

Переход к более высоким энергиям возможно позволит получить ответ на вопрос о том, как фундаментальные степени свободы сильного взаимодействия могут проявляться на расстояниях сравнимых с размерами нуклона. При энергиях, больших чем 250 МэВ/нуклон, существуют данные по сечению и анализирующей способности нуклона pd упругого рассеяния. Таким образом, получение новых поляризационных данных в реакциях с участием дейтрона при энергиях больших чем 250 МэВ/нуклон необходимо для изучения релятивистских эффектов и спиновой структуры дейтрона на малых межнуклонных расстояниях.

Целью работы является изучение энергетической зависимости векторной A_y и тензорных A_{yy} , A_{xx} анализирующих способностей дейтрона в реакции дейтрон-протонного упругого рассеяния на большие углы в с.ц.м. для получения новой информации о спиновой структуре дейтрона на малых межнуклонных расстояниях. Также исследуется возможность использования дейтрон-протонного упругого рассеяния для поляриметрии дейтронных пучков в диапазоне энергий 270-2000 МэВ.

Научная новизна работы.

1. Впервые на основе данных, полученных на внутренней мишени Нуклотрона ЛФВЭ ОИЯИ, определены анализирующие способности A_y , A_{yy} и A_{xx} в реакции dp – упругого рассеяния на большие углы в с.ц.м. при кинетической энергии дейтрона 880 МэВ.

2. Впервые получены данные по векторной A_y и тензорной A_{yy} анализирующим способностям реакции dp – упругого рассеяния при кинетической энергии дейтрона 2000 МэВ при максимальных переданных импульсах $(-t \geq 1.2(\text{ГэВ}/c)^2)$.vs

3. Впервые на станции внутренней мишеней Нуклотрона ЛФВЭ с помощью поляриметра, основанного на реакции dp -упругого рассеяния на большие углы в с.ц.м., измерена векторная и тензорная поляризации пучка дейтронов при кинетической энергии 270 МэВ.

Научно-практическая значимость работы. Полученные результаты по векторной A_y и тензорным A_{yy} , A_{xx} в реакции dp – упругого рассеяния при кинетических энергиях дейтрона 880 и 2000 МэВ расширяют экспериментальный материал и дают новую информацию, необходимую для развития теоретических моделей описания трехнуклонных систем на малых межнуклонных расстояниях.

Проведены измерения поляризации дейтронного пучка на внутренней мишени Нуклотрона при энергии 270 МэВ и показана возможность использования реакции dp – упругого рассеяния для измерения поляризации дейтронного пучка на станции внутренней мишени Нуклотрона при энергиях 880 и 2000 МэВ в диапазоне углов $60^\circ - 90^\circ$ в с.ц.м. Данные результаты важны для проведения дальнейших поляризационных экспериментов на Нуклотроне ОИЯИ и на ускорительном комплексе в RIKEN (Япония).

Апробация работы и публикации.

Основные результаты диссертации опубликованы в журналах "Eur. Phys. J. ST", "Int. Journal of Modern Physics", "Ядерная физика". Они докладывались на семинарах ЛФВЭ им. В.И. Векслера и А.М. Балдина ОИЯИ, IX-ом (Модра-Гармония, Словакия, 2006) рабочем совещании по релятивистской ядерной физике "Relativistic Nuclear Physics: from Hundreds of MeV to TeV"; на XVIII-ом и XIX-ом международных симпозиумах по проблеме физики высоких энергий (Дубна, 2006, 2007); на международной конференции "Симметрии и спин" (SPIN-Praha-2006, Прага, Чехия, 2006); на XX-ой Европейской конференции по малочастичным системам (EFB20, Пиза, Италия, 2007); на международном симпозиуме FM50 (Токио, Япония, 2007); на XIX-ой Международной конференции по малочастичным системам (FB19, Бонн, Германия, 2009); на XII-ом и XIV-ом международных конференциях по спиновой физике "Workshop on High Energy Spin Physics" (Дубна, 2007, 2009); на XI-ой, XII-ой, и XIII-ой научных конференциях молодых ученых и специалистов ОИЯИ (Дубна, 2007-2009 гг.). Основные результаты диссертации опубликованы в работах [1–21].

Объем и структура работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и при-

ложения. Полный объем диссертации составляет 93 страницы, включая 8 таблиц, 34 рисунка и списка литературы из 146 наименований.

Автор защищает

- Результаты измерения векторной A_y и тензорных A_{yy} , A_{xx} анализирующих способностей реакции dp – упругого рассеяния при энергии 880 МэВ, полученных на станции внутренней мишени на Нуклотроне ЛФВЭ ОИЯИ.
- Результаты измерения векторной A_y и тензорных A_{yy} , A_{xx} анализирующих способностей реакции dp – упругого рассеяния при энергии 2000 МэВ, полученных на станции внутренней мишени на Нуклотроне ЛФВЭ ОИЯИ.
- Результаты по измерению поляризации пучка дейтронов на внутренней мишени Нуклотрона при энергии 270 МэВ.
- Методику использования поляриметра, основанного на реакции dp – упругого рассеяния для измерения поляризации дейтронного пучка на станции внутренней мишени Нуклотрона при энергиях 880 и 2000 МэВ.

Содержание диссертации

Введение посвящено обзору литературы по теме диссертации. В нем выполнен анализ экспериментальных и некоторых теоретических работ, посвящённых анализу нуклон-дейтронного взаимодействия, обоснована актуальность диссертации, её научная новизна и практическая значимость, приведено краткое содержание работы по главам.

В первой главе содержится описание постановки эксперимента, метод получения поляризованного пучка дейтронов, методика измерения поляризационных наблюдаемых на ускорительном комплексе Нуклотрона ЛФВЭ, характеристики использованного оборудования и схема формирования триггера.

В первом разделе рассматриваются вопросы, связанные с работой основных элементов источников поляризованных атомарных пучков. В основе идеи создания таких источников заложено пространственное разделение сверхтонких компонент пучка атомов в неоднородном магнитном поле с последующим индуцированием переходов между уровнями сверхтонкого расщепления.

Во втором разделе описывается общая схема эксперимента по измерению векторной A_y и тензорных A_{yy} , A_{xx} анализирующих способностей реакции $\vec{d}p$ упругого рассеяния на большие углы в системе центра масс, выполненного на станции внутренней мишени Нуклотрона ЛФВЭ ОИЯИ. Поляризованный дейтронный пучок обеспечивался источником поляризованных ионов (ИПИ) атомного типа "ПОЛЯРИС". Данные набирались для трех спиновых мод: неполяризованной и двух смешанных ("2-6" и "3-5"). Спиновые моды менялись периодически от цикла к циклу. Характерная интенсивность дейтронного пучка в течении эксперимента равнялась $2 \div 3 \times 10^7$ дейтронов за цикл. В качестве мишеней использовались полиэтиленовая пленка толщиной 10 мкм и углеродная нить. Идентификация частиц основывалась на анализе информации об ионизационных потерях в пластическом сцинтилляторе детекторов и разнице времени пролета двух детектируемых частиц.

В третьем разделе кратко описывается станция внутренней мишени, хорошо приспособленной для изучения реакций dp - взаимодействия при больших углах в с.ц.м.

В четвертом разделе приводится подробное описание экспериментальной установки (рис. 1), на которой выполнялись измерения. Механика с установленными 43 сцинтилляционными детекторами размещалась непосредственно за станцией внутренней мишени по ходу пучка. Детекторы для регистрации дейтронов и протонов отдачи располагались в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Рассеянные дейтроны и вылетающие протоны детектировались в угловой области 65 - 135° в с.ц.м. В данном разделе кратко описывается работа электроники и приводится схема формирования триггера. Анодные сигналы с фотоумножителей были заведены в восьмиканальный формирователь со следящим порогом (ФСП), ORTEC

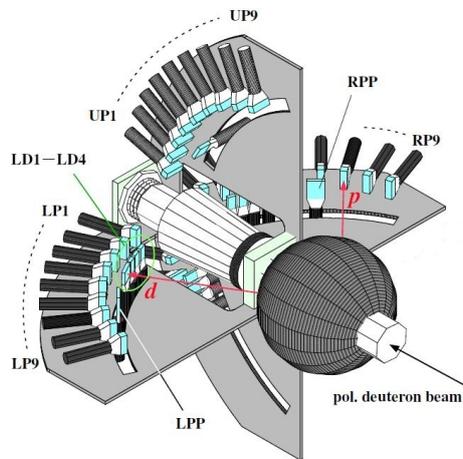


Рис. 1. Схема установки для измерения dp - упругого рассеяния, расположенной на станции внутренней мишени.

CF8000. Совпадение сигналов с любого из детекторов, регистрирующих частицы, рассеянные влево и какого-нибудь из правых детекторов, служило запуском для сбора данных. Совпадения сигналов с верхних и нижних детекторов также использовались для формирования триггера. Сбор данных осуществлялся высокоскоростной системой сбора данных, основанной на стандарте VME-SAMAC.

Во второй главе описывается процедура выделения dp - полезных событий при энергии 270 МэВ и расчет компонент поляризации дейтронного пучка.

Первый раздел посвящен выделению dp - упругих событий. Дейтрон-протонные упругие события выделялись на основе информации о корреляции энергетических потерь и различии времени пролета для рассеянных дейтронов и протонов отдачи. На рис. 2 представлена корреляция энергетических потерь для протонов и дейтронов для угла рассеяния, соответствующего 75° в с.ц.м. Графический критерий для выделения дейтрон-протонных упругих событий представлен сплошной линией. Окончательное выделение dp - упругих событий, используемых для получения спин-зависимой

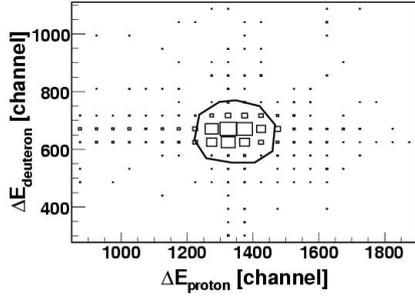


Рис. 2. Корреляция амплитуды сигнала для пары дейтронного и протонного детекторов при энергии 270 МэВ. Сплошной линией обозначен графический критерий для выделения dp -упругих событий.

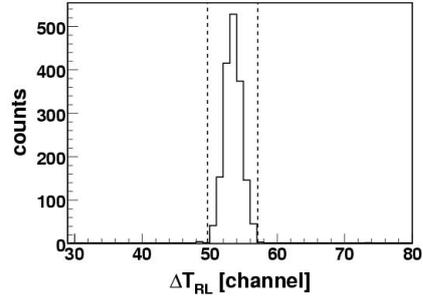


Рис. 3. Различие времени прихода сигналов между дейтронным и соответствующим протонным детекторами при энергии 270 МэВ и угле рассеяния 75° в с.ц.м. Один канал соответствует 0.5 нс.

асимметрии, осуществлялось по различию времени прихода сигналов от соответствующих дейтронных и протонных детекторов. Различие времени пролета между дейтронными и протонными детекторами для угла 75° в системе центра масс показано на рис. 3. Временной коридор для выделения dp -упругих событий выделен пунктирными линиями.

Второй раздел описывает процедуру получения значений анализирующих способностей A_y , A_{yy} , A_{xx} и A_{xz} методом кубической сплайн-интерполяции мировых данных.

В третьем разделе приводиться расчет компонент поляризации дейтронного пучка. Выходы событий dp -упругого рассеяния для спиновых мод "2-6" и "3-5" ИПИ ПОЛЯРИС были отнормированы на выход событий для неполяризованной моды с учетом корректировки на полную интенсивность пучка и мертвое время системы сбора данных.

При определении поляризации пучка при угле рассеяния $\leq 105^\circ$ использовались выходы событий dp -упругого рассеяния влево (L), вправо (R), вверх (U) и вниз (D), в то время как при углах вылета 75° , 86.5° и 95° были использованы только выходы L,R и U. Значения векторной p_y и

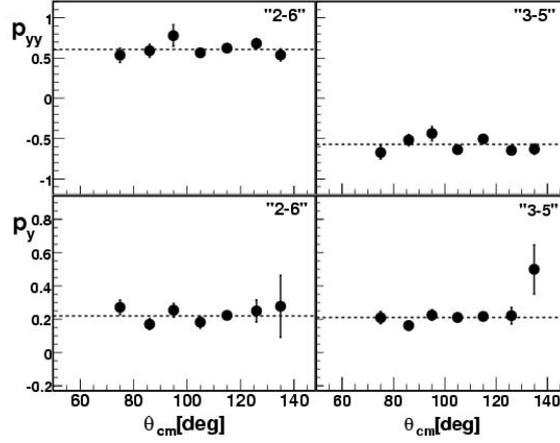


Рис. 4. Тензорная p_{yy} и векторная p_y поляризация пучка для "2-6" и "3-5" спиновых мод ИПИ ПОЛЯРИСА в зависимости от угла вылета дейтрона в с.ц.м.

тензорной p_{yy} поляризации пучка для "2-6" и "3-5" спиновых мод ПОЛЯРИСА в зависимости от угла рассеяния дейтрона в с.ц.м. представлены на рис.4. Пунктирными линиями показаны средневзвешенные значения поляризации пучка, усредненные по всему угловому диапазону. Поляризация пучка измерялась несколько раз в ходе эксперимента по изучению анализирующих способностей в дейтрон-протонном упругом рассеянии.

Значения тензорной p_{yy} (векторной p_y) поляризации пучка для "2-6" и "3-5" спиновой моды ПОЛЯРИСА, усредненные по всей продолжительности эксперимента, составили 0.619 ± 0.022 (0.21 ± 0.015) и -0.532 ± 0.018 (0.193 ± 0.013) соответственно. Угол между направлением дейтронного пучка и осью поляризации составил $\beta = -90.3 \pm 1.2^\circ$, таким образом ось поляризации пучка перпендикулярна плоскости, содержащей среднюю орбиту пучка в ускорителе. Показатели качества поляриметра F_y , F_{yy} и F_{xx} оценены как $\sim 1.0 \cdot 10^{-4}$, $\sim 1.8 \cdot 10^{-4}$ и $\sim 0.8 \cdot 10^{-4}$ соответственно. Данные значения сравнимы с коэффициентом качества для дейтронного поляриметра, используемого на выведенном пучке в RIKEN.

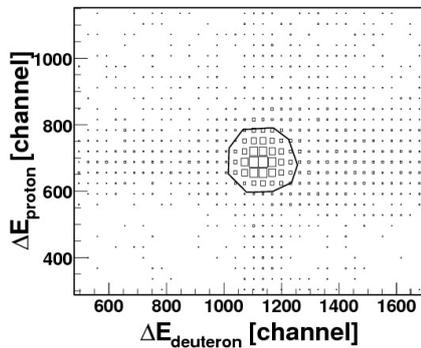


Рис. 5. Корреляция амплитуды сигнала для пары кинематически сопряженных детекторов для регистрации дейтронов и протонов при энергии 880 МэВ и угле рассеяния 80° в с.ц.м. Графический критерий для выделения dp -упругих событий обозначен сплошной линией.

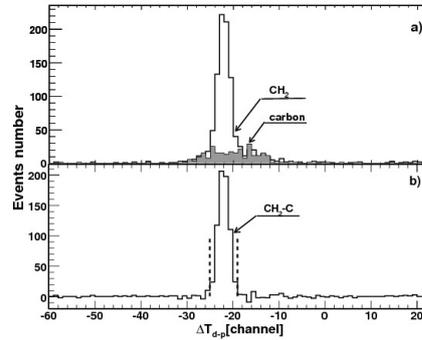


Рис. 6. Процедура выделения dp -упругих событий по разнице времени ΔT_{d-p} между появлением сигналов с детекторов, регистрирующих дейтроны и протоны, при энергии 880 МэВ и угле детектирования 80° в с.ц.м., с применением критерия на корреляцию амплитуды сигналов. Временные границы для выделения dp -упругих событий обозначены пунктирными линиями.

Третья глава посвящена получению анализирующих способностей реакции dp -упругого рассеяния.

В первом разделе описывается процедура выделения dp -упругих событий при энергиях 880 и 2000 МэВ, с использованием информации об энергетических потерях в пластических сцинтилляторах детекторов, регистрирующих вылетающие дейтроны и протоны отдачи, разнице времен пролета частиц и положении точки взаимодействия налетающих дейтронов с мишенью. Процедура выделения dp -упругих событий при 880 и 2000 МэВ отличается от метода, использованного при энергии 270 МэВ, так как углеродный фон увеличивается с ростом начальной энергии дейтронного пучка. На рис. 5 и рис. 6 представлена процедура выделения dp -упругих

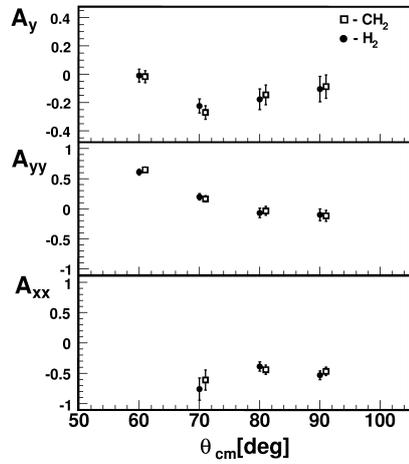


Рис. 7. Анализирующие способности A_y , A_{yy} и A_{xx} для дейтрон-протонного упругого рассеяния при энергии 880 МэВ.

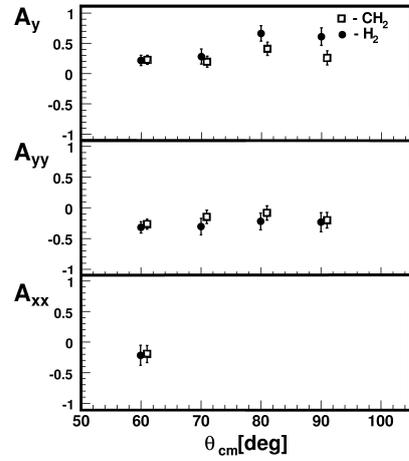


Рис. 8. Анализирующие способности A_y , A_{yy} и A_{xx} для дейтрон-протонного упругого рассеяния при энергии 2000 МэВ.

событий при энергии 880 МэВ. Во втором разделе описывается получение анализирующих способностей реакции dp – упругого рассеяния. Результаты по векторной и тензорным анализирующим способностям для 880 и 2000 МэВ для углов рассеяния $60^\circ - 90^\circ$ в с.ц.м. представлены на рис.7 и рис. 8 заштрихованными кружками. Открытыми квадратами на рис. 7 и рис. 8 представлены данные для квазиупругого дейтрон-протонного рассеяния на CH_2 , а именно, без вычитания вклада от углерода в полиэтиленовой мишени. Значения анализирующих способностей для упругого и квазиупругого процессов при энергии 880 МэВ практически одинаковы, что связано с небольшим углеродным фоном 10 – 20%. Векторная анализирующая способность A_y при углах $70 - 80^\circ$ в с.ц.м. имеет большую величину -0.2 для 880 МэВ, в то время как при передних углах она практически равна нулю. С другой стороны, тензорная анализирующая способность A_{yy} имеет до-

статочную большую величину только при угле 60° в с.ц.м. Важно заметить, что при всех углах измерения значения A_{xx} достаточно большие. Таким образом, асимметрия дейтрон-протонного рассеяния вверх и вниз, в комбинации с лево-правой асимметрией может быть успешно использована для определения поляризации дейтронного пучка при углах детектирования $60 - 90^\circ$ в с.ц.м.

Данные для векторной анализирующей способности для упругого и квазиупругого дейтрон-протонного рассеяния существенно различаются между собой при углах $80 - 90^\circ$ в с.ц.м. для 2000 МэВ, в то время как результаты по тензорной анализирующей способности A_{yy} практически одинаковы. Следует отметить, что значения анализирующих способностей A_y и A_{yy} достаточно большие при всех углах измерения.

Слабое отличие анализирующих способностей dp упругого и квазиупругого рассеяния позволит использовать детектирующую аппаратуру для поляриметрии пучка в "счетной моде" т.е. без анализа амплитудно-временных характеристик событий.

В четвертой главе приводятся результаты по анализирующим способностям дейтрон-протонного упругого рассеяния при энергиях 880 и 2000 МэВ.

В первом разделе полученные результаты сравниваются с теоретическими вычислениями, выполненными в рамках различных теоретических подходов. Результаты по угловой зависимости векторной A_y и тензорных A_{yy} , A_{xx} анализирующих способностей дейтрон-протонного упругого рассеяния при энергии 880 МэВ представлены на Рис. 9 заштрихованными кружками. Сплошная кривая - результат расчетов методом решения уравнений Фаддеева с использованием CD-Боннского NN потенциала. Пунктирная и штрихпунктирные линии результаты релятивистских вычислений в рамках моделей многократного рассеяния с использованием CD-Боннской волновой функции дейтрона (ВФД) и оптического потенциала с дейтронной волновой функцией, являющейся результатом дибарионной модели.

За исключением тензорной анализирующей способности A_{xx} , вычисления методом решения уравнений Фаддеева и релятивистская модель многократного рассеяния хорошо описывают экспериментальные данные.

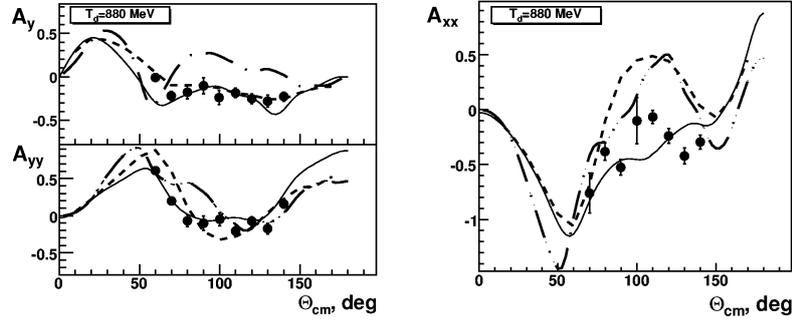


Рис. 9. Векторная A_y и тензорные A_{yy} и A_{xx} анализирующие способности dp -упругого рассеяния в зависимости от угла рассеяния в с.ц.м при 880 МэВ в сравнении с вычислениями в рамках различных теоретических приближений. Описание кривых приведено в тексте.

С другой стороны, вычисления выполненные, на основе решения уравнений Фаддеева, не воспроизводят экспериментальные данные по сечению при углах рассеяния, больших 90° . Вычислениям в рамках оптического потенциала с использованием дибарионной ВФД удастся воспроизвести тензорную анализирующую способность A_{yy} при больших углах рассеяния ($100^\circ - 140^\circ$). Следует заметить, что все модели предсказывают большие значения анализирующих способностей реакции при углах рассеяния $30^\circ - 50^\circ$. Поведение A_{xx} описывается только при углах, меньших 80° в с.ц.м. Предсказания при больших углах сильно различаются для всех моделей.

На Рис. 10 и Рис. 11 представлены результаты по векторной A_y и тензорной A_{yy} анализирующим способностям, полученные при энергии 2000 МэВ в зависимости от квадрата переданного 4-импульса. Заштрихованными квадратами обозначены данные, полученные на Нуклотроне на CH_2 после вычитания углеродного фона. Результаты измерений, выполненных в Аргоннской национальной лаборатории (ANL), представлены открытыми квадратами. Данные хорошо согласуются между собой в области $0.8 \leq -t \leq 1.2$ (ГэВ/с)².

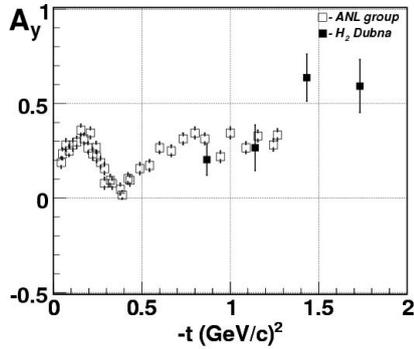


Рис. 10. Векторная анализирующая способность A_y для дейтрон-протонного рассеяния при энергии 2000 МэВ в зависимости от квадрата переданного импульса.

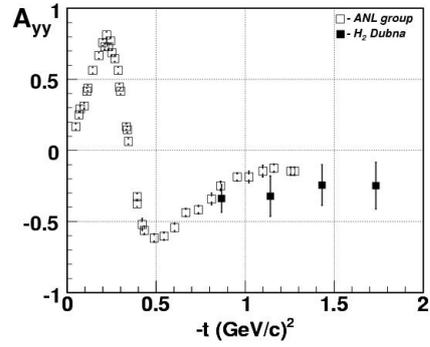


Рис. 11. Тензорная анализирующая способность A_{yy} для дейтрон-протонного рассеяния при энергии 2000 МэВ в зависимости от квадрата переданного импульса.

Поведение векторной A_y и тензорной A_{yy} анализирующей способности в дейтрон-протонном упругом рассеянии в зависимости от поперечного импульса при фиксированных углах в с.ц.м. представлены на рис. 12 и рис. 13 соответственно. Открытыми и заштрихованными кружками представлены данные полученные в RIKEN, Saclay, ANL и Нуклотроне. Значения A_{yy} положительны при небольших поперечных импульсах и меняют знак при поперечном импульсе p_t порядка 600 – 650 МэВ/с, что наблюдалось ранее для реакции инклюзивного развала дейтрона. При больших поперечных импульсах значение A_{yy} отрицательно.

Для значений векторной анализирующей способности также наблюдается смена знака при p_t порядка 600 – 700 МэВ/с при больших углах рассеяния в с.ц.м. A_y имеет небольшие отрицательные значения при малых поперечных импульсах, но достигает больших положительных величин при поперечных импульсах больших 700 МэВ/с. Важно отметить, что большие положительные значения односпиновой асимметрии наблюдались в протон-протонном упругом рассеянии при высоких энергиях и больших

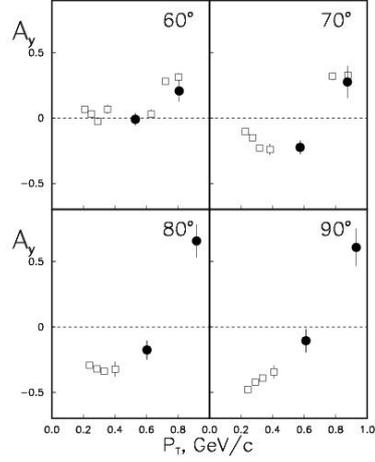


Рис. 12. Векторная анализирующая способность A_y dp -упругого рассеяния при фиксированных углах рассеяния в с.ц.м. в зависимости от поперечного импульса. Данные, полученные в RIKEN, Saclay, ANL представлены \square . Результаты измерений на Нуклотроне обозначены как \bullet .

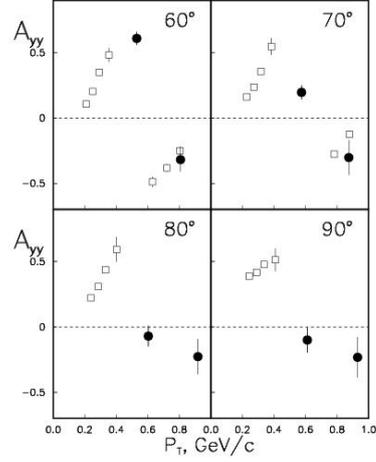


Рис. 13. Тензорная анализирующая способность A_{yy} dp -упругого рассеяния при фиксированных углах рассеяния в с.ц.м. в зависимости от поперечного импульса. Данные, полученные в RIKEN, Saclay, ANL представлены \square . Результаты измерений на Нуклотроне обозначены как \bullet .

поперечных импульсах (эффект Криша). Для dp -упругого рассеяния такой эффект обнаружен при значительно меньших p_t .

Второй раздел посвящён вопросам поляриметрии дейтронных пучков при промежуточных и высоких энергиях. Реакция упругого дейтрон-протонного рассеяния на большие углы в с.ц.м. имеет ряд важных преимуществ для поляриметрии дейтронов при энергиях 300-2000 МэВ. Во-первых, векторная и тензорная анализирующие способности реакции dp -упругого рассеяния при этих энергиях могут иметь большие значения. Во-вторых, выделение упругих событий возможно путем измерений кинематиче-

ских совпадений дейтронов и протонов с помощью простых сцинтилляционных счетчиков. Реакция dp - упругого рассеяния при больших углах в с.ц.м. использовалась для поляриметрии на RARF при энергиях 140, 200 и 270 МэВ.

Поляриметр, основанный на dp - упругом рассеянии, был смонтирован на станции внутренних мишеней Нулотрона ЛФЭ ОИЯИ. Измерение поляризации дейтронного пучка выполнялось при энергии 270 МэВ с использованием существующих данных по анализирующим способностям реакции.

Для компенсации низкой интенсивности источника поляризованных дейтронов ПОЛЯРИС использовалось детектирование при нескольких углах рассеяния. Тем не менее, систематические ошибки, связанные с неопределенностью значений анализирующих способностей, не превышают 1-2% для векторной и тензорной поляризации пучка.

Полученные значения векторной и тензорных анализирующих способностей при 880 и 2000 МэВ имеют достаточно большие анализирующие способности для проведения эффективной поляриметрии дейтронного пучка при этих энергиях. Данный поляриметр может быть использован в широком диапазоне энергий. Модернизация источника поляризованных ионов на ускорительном комплексе ЛФЭ ОИЯИ значительно улучшит возможности данной установки для измерения спиновых наблюдаемых дейтрон-протонного рассеяния и проведения калибровки поляриметра в широкой области энергий.

С другой стороны, существующие теоретические модели предсказывают большие значения анализирующих способностей dp -упругого рассеяния при углах меньших 60° в с.ц.м. для 880 МэВ. Таким образом характеристики поляриметра могут быть улучшены путем расширения системы детектирования к меньшим углам рассеяния в с.ц.м, где сечение dp -упругого рассеяния велико и анализирующие способности реакции имеют ненулевые значения. Детектирование dp -упругого рассеяния при меньших углах рассеяния в с.ц.м. особенно актуально при высоких энергиях, вследствие уменьшения сечения реакции с увеличением энергии.

В заключении сформулированы основные выводы диссертации:

1. Впервые на основе данных, полученных на внутренней мишени Нуклотрона ЛФВЭ ОИЯИ, определены анализирующие способности A_y , A_{yy} и A_{xx} в реакции dp – упругого рассеяния на большие углы в с.ц.м. при кинетической энергии дейтрона 880 МэВ[1–21].

Результаты по анализирующим способностям сравнены с предсказаниями теоретических расчетов, выполненных в рамках различных подходов. Векторная A_y и тензорная A_{yy} анализирующие способности хорошо описываются вычислениями, основанными на решении уравнений Фаддеева с использованием CD-Боннского NN потенциала, и релятивистскими расчетами в рамках модели многократного рассеяния с использованием CD-Боннской ВФД.

Вычисления на основе оптического потенциала с использованием дибарионной ВФД описывают тензорную анализирующую способность A_{yy} только при больших углах рассеяния $\Theta_{с.м.} = 100^\circ - 140^\circ$.

Для A_{xx} наблюдается резкое различие между экспериментальными данными и всеми предсказаниями при углах $\Theta_{с.м.} > 70^\circ$.

2. На основе данных, полученных на Нуклотроне, выполнены измерения векторной A_y и тензорных A_{yy} и A_{xx} анализирующих способностей в dp – упругом рассеянии при энергии 2000 МэВ в области больших переданных импульсов ($0.85 \leq -t \leq 1.75$ (ГэВ/с)²).

Впервые получены данные по векторной A_y и тензорной A_{yy} анализирующим способностям при $-t \geq 1.2$ (ГэВ/с)²[1, 3, 5, 7, 8, 11, 15, 16, 18, 21]. Наблюдается согласие между результатами измерений A_y и A_{yy} выполненными на Нуклотроне ЛФВЭ и ANL при $0.8 \leq -t \leq 1.2$ (ГэВ/с)².

3. При фиксированных углах рассеяния в с.ц.м. в зависимости от поперечного импульса наблюдается смена знака A_{yy} при p_t в районе $\sim 600 - 650$ МэВ/с. При больших p_t тензорная анализирующая способность отрицательна. A_y достигает больших величин при $p_t > 700$ МэВ/с. При больших углах рассеяния в с.ц.м. A_y меняет знак в области поперечных импульсов 600-700 МэВ/с. В этой области необхо-

димы дополнительные исследования для понимания природы такого поведения.

4. Впервые на станции внутренней мишени Нуклотрона ЛФВЭ с помощью поляриметра, основанного на реакции $d p$ -упругого рассеяния на большие углы в с.ц.м., измерена векторная и тензорная поляризации пучка дейтронов при кинетической энергии 270 МэВ[8, 18, 21].

Показатели качества поляриметра F_y , F_{yy} и F_{xx} были оценены как $\sim 1.0 \cdot 10^{-4}$, $\sim 1.8 \cdot 10^{-4}$ и $\sim 0.8 \cdot 10^{-4}$ соответственно, что сравнимо с аналогичным показателем качества для поляриметра, использованного в RIKEN на выведенном пучке.

Показана возможность использования реакции $\vec{d} p$ упругого рассеяния при энергии 880 МэВ для измерения поляризации дейтронного пучка на внутренней станции Нуклотрона методом выделения событий по энергетическим потерям частиц в сцинтилляторах и разнице времен пролета при углах рассеяния 60° - 90° [8, 12, 17, 18, 21] в с.ц.м.

Результаты измерений A_y и A_{yy} при $T_d = 2000$ МэВ также говорят о возможности проведения эффективной поляриметрии при данной энергии, однако необходимо провести дополнительные, более точные измерения.

В приложении приведены соотношения для компонент поляризации пучка и определение поляризационных наблюдаемых для $\vec{d} p$ упругого рассеяния.

Литература

1. Kurilkin P. K. et al. Analyzing powers measurement for d-p elastic scattering at the Internal Target Station of Nuclotron // *International Journal of Modern Physics A*. 2009. Vol. 24. Pp. 530–533.
2. Kurilkin P. K. et al. Measurement of the vector and tensor analyzing powers in dp elastic scattering at the energy of 880 MeV // *Eur. Phys. J. ST*. 2008. Vol. 162. Pp. 137–141.
3. Kurilkin P. K. et al. Measurement of the vector and tensor analyzing powers in dp elastic scattering at the energy of 880 and 2000 MeV // *Материалы 12-й научной конференции молодых ученых и специалистов, Дубна, ISBN 978-5-9751-0045-0*. 2008. Pp. 215–218.
4. Kurilkin P. K. et al. The angular dependence of the vector and tensor analyzing powers in dp elastic scattering at the energy 880 MeV // *Материалы 11-й научной конференции молодых ученых и специалистов, Дубна, ФГУП ГИЦ РФ-ВНИИгеосистем, Москва*. 2007. Pp. 123–126.
5. Kurilkin P. K. et al. Angular distribution of vector and tensor analyzing powers in dp elastic scattering at energy 880 MeV // XII Advanced Research Workshop on High Energy Spin Physics (DSPIN2007): Proc. of the XII-th WORKSHOP ON HIGH ENERGY SPIN PHYSICS, Dubna, 3–7 September, 2007. 2008. Pp. 305–308.
6. Kurilkin P. K. et al. Measurement of the vector and tensor analyzing powers in dp elastic scattering at the energy of 880 MeV // *Relativistic Nuclear Physics and Quantum Chromodynamics: Proc. of the XVIII International Baldin Seminar on High Energy Physics Problems, Dubna, 25–30 September, 2006*. Vol. 2. 2008. Pp. 371–376.
7. Kurilkin P. K. et al. Analyzing powers measurements for d-p elastic scattering at the energies 880 and 2000 MeV // *Relativistic Nuclear Physics and Quantum Chromodynamics: Proc. of the XIX International Baldin Seminar On High Energy Physics Problems, Dubna, 29 September–4 October, 2008*. Vol. 2. 2008. Pp. 46–52.

8. *Kurilkin P. K. et al.* Deuteron beam polarimetry at the internal target station at Nuclotron-M at GeV energies // XIII Advanced Research Workshop on High Energy Spin Physics (DSPIN2009): Proc. of XIII Workshop on High Energy Spin Physics, Dubna, 1–5 September, 2009. 2010. Pp. 411–415.
9. *Ladygin V. P., ..., Kurilkin P. K. et al.* Recent results from JINR-VBLHE on spin effects in few-nucleon systems // *Czech.J.Phys.* 2006. Vol. 56. Pp. F135–F150.
10. *Janek M., ..., Kurilkin P. K. et al.* Status of the investigation of the spin structure of d, ^3H , and ^3He at VBLHE using polarized and unpolarized deuteron beam // *Physics of Atomic Nuclei.* 2008. Vol. 71, no. 9. Pp. 1495–1501.
11. *Suda K., ..., Kurilkin P. K. et al.* Analyzing Power Measurement for the Deuteron-Proton Elastic Scattering at 2.0 GeV // *CNS-Rep-76.* 2007.
12. *Suda K., ..., Kurilkin P. K. et al.* Development of deuteron polarimeter at Internal Target Station of Nuclotron // *Proceedings of the 17th International Spin Physics Symposium. AIP Conference Proceedings.* 2007. Vol. 915. Pp. 920–923.
13. *Janek M., ..., Kurilkin P. K. et al.* Status of light nuclei spin structure investigation at VBLHE // *Relativistic Nuclear Physics: from Hundreds of MeV to TeV: Proc. of the 9th International Workshop (Modra-Harmonia, Slovakia, 22–27 May, 2006), Dubna, JINR.* 2006. Pp. 119–133.
14. *Suda K., ..., Kurilkin P. K. et al.* Measurement of analyzing powers for d-p elastic scattering at the Internal Target Station of the Nuclotron // *NEW FACET OF THREE NUCLEON FORCE - 50 YEARS OF FUJITA MIYAZAWA THREE NUCLEON FORCE (FM50): Proceedings of the International Symposium on New Facet of Three Nucleon Force. AIP Conference Proceedings.* Vol. 1011. 2008. Pp. 241–246.
15. *Ladygin V. P., ..., Kurilkin P. K. et al.* Recent results on few-nucleon systems: Investigation from VBLHE-JINR // *Few-Body Systems.* 2008. Vol. 44. Pp. 45–48.
16. *Ladygin V. P., ..., Kurilkin P. K. et al.* Recent result from polarization experiment at the LHEP-JINR Accelerator // *AIP, AIP Conf. Proc.* 2008. Vol. 1056. Pp. 420–427.

17. *Uesaka T., . . . , Kurilkin P. K. et al.* Deuteron beam polarimeter in the Nuclotron ring and analyzing power for the d-p elastic scattering at 880 MeV // *CNS Report (CNS-Rep-79)*. 2009.
18. *Kurilkin P. K. et al.* Поляриметрия дейтронов на внутренней мишени Нуклотрона // Тринадцатая научная конференции молодых ученых и специалистов: Труды конференции, Дубна, ОИЯИ, ISBN 978-5-9751-0077-1. 2009. Pp. 76–79.
19. *Ladygin V. P., . . . , Kurilkin P. K. et al.* Recent results from VBLHE-JINR on few nucleon systems structure // *Relativistic Nuclear Physics and Quantum Chromodynamics: Proc. of the XVIII International Baldin Seminar on High Energy Physics Problems, Dubna, 25–30 September, 2006*. Vol. 2. 2008. Pp. 339–352.
20. *Ladygin V. P., . . . , Kurilkin P. K. et al.* Study of 2N and 3N short-range correlations at Nuclotron-M // *Relativistic Nuclear Physics and Quantum Chromodynamics: Proc. of the XIX International Baldin Seminar On High Energy Physics Problems, Dubna, 29 September–4 October, 2008*. Vol. 2. 2008. Pp. 67–73.
21. *Ladygin V. P., . . . , Kurilkin P. K. et al.* Short-range correlation studies in collisions of polarized nuclei at Nuclotron-M // *EPJ Web of Conferences*. 2010. Vol. 3, no. 04004.