

P1-2015-28

ВЕКТОРНАЯ A_y И ТЕНЗОРНЫЕ A_{yy} , A_{xx} , A_{xz}
АНАЛИЗИРУЮЩИЕ СПОСОБНОСТИ РЕАКЦИИ
 $\vec{d}d \rightarrow {}^3\text{H}p$ ПРИ ЭНЕРГИИ 200 МэВ

Направлено в журнал «Ядерная физика»



А. К. Курилкин *, В. П. Ладыгин **, Исупов А. Ю., Н. Б. Ладыгина ***,
А. И. Малахов, С. Г. Резников, Т. А. Васильев
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Т. Саито
Университет Миядзаки, Миядзаки, Япония

Т. Усака
Центр ядерных исследований, Токийский университет, Токио

М. Хатано, Х. Като, Х. Сакаи, С. Сакода, Н. Учигашима, К. Яко
Токийский университет, Бункё, Токио

М. Янек
Университет Жилины, Жилина, Словакия

Е. Маеда
Университет Киушу, Фукуока, Япония

И. Нишикава
Университет Саитама, Урава, Япония

Т. Ониши, Н. Сакамото
RIKEN, Вако, Саитама, Япония

Х. Окамура, Е. Сатоу, А. Тамии
Центр ядерных исследований, Университет Осаки, Ибараки, Япония

Х. Сакаи, К. Суда
Токийский университет, Бункё, Токио

К. Секигучи
Университет Тохоку, Сендай, Япония

* E-mail: akurilkin@jinr.ru

** E-mail: vladygin@jinr.ru

*** E-mail: nladygina@jinr.ru

Курилкин А. К. и др.

P1-2015-28

Векторная A_y и тензорные A_{yy} , A_{xx} , A_{xz} анализирующие способности реакции $\vec{d}d \rightarrow {}^3\text{H}p$ при энергии 200 МэВ

Представлены данные по векторной A_y и тензорным A_{yy} , A_{xx} , A_{xz} анализирующим способностям реакции $\vec{d}d \rightarrow {}^3\text{H}p$ с энергией дейтронов 200 МэВ в полном угловом диапазоне в системе центра масс. Знаки тензорных анализирующих способностей при рассеянии вперед и назад демонстрируют чувствительность к отношению D/S-компонент в ${}^3\text{H}$ и дейтроне. Высокоточные экспериментальные результаты сравниваются с теоретическими расчетами, выполненными в рамках модели многократного рассеяния с использованием стандартных волновых функций трехнуклонного связанного состояния и дейтрона.

Работа выполнена в Лаборатории физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2015

Kurilkin A. K. et al.

P1-2015-28

The Vector A_y and Tensor A_{yy} , A_{xx} , A_{xz} Analyzing Powers of the $\vec{d}d \rightarrow {}^3\text{H}p$ Reaction at Energy 200 MeV

The data on the vector A_y and tensor A_{yy} , A_{xx} , and A_{xz} analyzing powers of $\vec{d}d \rightarrow {}^3\text{H}p$ reaction are presented at the kinetic beam energy of 200 MeV in the full angular range in the c.m. frame. The signs of the tensor analyzing powers A_{yy} , A_{xx} , and A_{xz} at forward and backward scattering have demonstrated the sensitivity to the ratio of the D/S components in the ${}^3\text{H}$ and deuteron. The high-precision experimental results are compared with the theoretical calculations performed in the multiple-scattering model by using standard wave functions of the three-nucleon bound state and of the deuteron.

The investigation has been performed at the Veksler and Baldin Laboratory of High Energy Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2015

ВВЕДЕНИЕ

Изучение свойств легких ядер и сил, связывающих нуклоны в ядре, является одним из наиболее фундаментальных вопросов ядерной физики. В результате интенсивных исследований, проведенных в последние десятилетия с использованием электромагнитных и адронных пробников, было накоплено большое количество экспериментального материала, чувствительного к структуре легких ядер. Поперечное сечение [1–7] и спиновые наблюдаемые, такие как анализирующие способности [8–11], коэффициенты спиновой корреляции [12] и переноса поляризации [13, 14], были измерены для нуклон-дейтронного (Nd) рассеяния. Сравнение экспериментальных данных по Nd -рассеянию с теоретическими моделями, основанными на точном решении уравнений Фаддеева с использованием современных нуклон-нуклонных (NN) потенциалов, выявило ряд разногласий, которые наиболее существенны в области минимума поперечного сечения и при энергиях налетающих нуклонов более 60 МэВ [15]. Многие разногласия были устранены при включении в теоретические расчеты трехнуклонных сил (3NF), основанных на обмене двумя π -мезонами, таких как TM-3NFs [16] или Urbana-3NFs [17]. Однако данные модели не воспроизводят ряд поляризационных наблюдаемых. Кроме того, при больших энергиях не только поляризационные наблюдаемые, но и поперечное сечение при рассеянии назад не описывается существующими моделями 3NFs [18–20]. Более тщательный анализ внутренней структуры легких ядер, таких как d , ${}^3\text{H}$ и ${}^3\text{He}$, на малых межнуклонных расстояниях и эффекта 3NFs необходим для устранения причин разногласий между экспериментальными данными и теоретическими расчетами.

Одним из наиболее перспективных инструментов для изучения структуры d , ${}^3\text{H}$ и ${}^3\text{He}$ может быть исследование реакций с участием четырех нуклонов, поскольку 4-нуклонные системы обладают некоторыми особенностями, не обнаруженными у 3-нуклонных систем, такими как существование возбужденных состояний, более сложные механизмы реакций, большие поляризационные эффекты. Ряд экспериментов, выполненных при промежуточных энергиях, был посвящен изучению спиновой структуры трехнуклонного связанного состояния. Структура ${}^3\text{He}$ исследовалась в реакциях ${}^3\text{He}(\vec{p}, 2p)$ и ${}^3\text{He}(\vec{p}, pdn)$ на ускорителе TRIUMF [21]. Полученные результаты показали, что теоретические расчеты, использующие современные NN -потенциалы, не могут воспроизвести измеренное импульсное распределение нуклонов в области внутреннего импульса $q > 300$ МэВ/с. Высокоточные данные, чувствительные к спиновой структуре ${}^3\text{He}$ на малых расстояниях, были набраны вплоть до величины переданного импульса $q \sim 400$ МэВ/с в IUCF [22] при использовании поляризованного протонного пучка с энергией 197 МэВ. Полученная поляризация нейтрона ($\sim 0,98$) и протона ($\sim -0,16$) в ${}^3\text{He}$ при нулевом импульсе хорошо согласуется с фаддеевскими вычисле-

ниями [23]. Однако при более высоких импульсах существует различие, которое может быть связано как с неадекватным знанием волновой функции трехнуклонного связанного состояния, так и с большими эффектами перерасеяния. Волновая функция ${}^3\text{He}$, основанная на использовании современных NN -потенциалов, и механизм упругого рассеяния $p + {}^3\text{He}$ назад были исследованы при измерении дифференциального поперечного сечения и параметра спиновой корреляции C_{yy} при энергиях $E_p = 200, 300$ и 400 МэВ [24].

Анализ поляризационных эффектов для реакций $\vec{d}d \rightarrow {}^3\text{H}p$ и $\vec{d}d \rightarrow {}^3\text{He}n$ в рамках модели однонуклонного обмена (ОНО) [25] показал, что данные процессы могут быть использованы для изучения структуры ${}^3\text{H}$ и ${}^3\text{He}$ на малых межнуклонных расстояниях. Согласно предсказаниям данной модели тензорные анализирующие способности A_{yy} , A_{xx} и A_{xz} при рассеянии вперед и назад связаны с отношением D/S-компонент волновых функций ${}^3\text{H}({}^3\text{He})$ и дейтрона соответственно. Теоретические предсказания модели ОНО [25] качественно воспроизводят энергетическую зависимость тензорной анализирующей способности T_{20} , измеренную при энергиях 140, 200 и 270 МэВ для реакций $\vec{d}d \rightarrow {}^3\text{He}(0^\circ)n({}^3\text{H}(0^\circ)p)$ в RIKEN [26]. Однако при описании угловой зависимости анализирующих способностей реакций $\vec{d}d \rightarrow {}^3\text{He}n$ и $\vec{d}d \rightarrow {}^3\text{H}p$, измеренных при энергии 270 МэВ в диапазоне $0-100^\circ$ в системе центра масс (с. ц. м.), были обнаружены существенные различия между экспериментальными данными и теоретическими расчетами в рамках модели ОНО при использовании стандартных волновых функций ${}^3\text{He}({}^3\text{H})$ и дейтрона. Эти различия указывают на то, что структура трехнуклонного связанного состояния на малых межнуклонных расстояниях и механизм данных реакций не изучены полностью. Для описания данных по дифференциальному поперечному сечению и поляризационным наблюдаемым реакций $\vec{d}d \rightarrow {}^3\text{H}p({}^3\text{He}n)$ при кинетической энергии дейтронов несколько сотен МэВ был развит формализм [27, 28], основанный на уравнениях Альта–Грассбергера–Сандаса [29] для системы 4 тел. При энергии 300 МэВ было достигнуто разумное согласие между экспериментальными данными и теоретическими результатами. Обнаружено, что учет однократного рассеяния в дополнение к механизму ОНО существенно улучшает описание экспериментальных данных, однако этого недостаточно для воспроизведения абсолютной величины поперечного сечения и тензорной анализирующей способности T_{20} [27].

В статье представлены экспериментальные данные по векторной A_y и тензорным A_{yy} , A_{xx} и A_{xz} анализирующим способностям реакции $\vec{d}d \rightarrow {}^3\text{H}p$ при энергии пучка дейтронов 200 МэВ в полном угловом диапазоне в с. ц. м. Целью измерений было получение данных, чувствительных к структуре ${}^3\text{H}$ на малых межнуклонных расстояниях.

1. ЭКСПЕРИМЕНТ

Измерение векторной A_y и тензорных A_{yy} , A_{xx} и A_{xz} анализирующих способностей реакции $\vec{d}d \rightarrow {}^3\text{H}p$ при энергии 200 МэВ было проведено на ускорительном комплексе RARF (RIKEN Accelerator Research Facility). Основные детали эксперимента будут приведены ниже, тогда как его подробное обсуждение может быть найдено в [26, 30].

В эксперименте использовался пучок поляризованных дейтронов высокой интенсивности, который обеспечивался источником поляризованных ионов (ИПИ) [31] и ускорялся с помощью циклотронов AVF и RING до энергии 200 МэВ. Направление оси симметрии поляризации пучка контролировалось фильтром Вина [32], расположенным на выходе ИПИ. Поляризация дейтронного пучка измерялась с помощью поляриметров Swinger и D-room, работа которых основывалась на измерении асимметрии в dp -упругом рассеянии под углом, где величины тензорной и векторной анализирующих способностей имеют большие значения [5, 6]. D-room использовался в качестве монитора поляризации и контролировал ее стабильность в течение всего эксперимента. Swinger измерял поляризацию до и после набора данных. Значения поляризации пучка, измеренного поляриметрами D-room и Swinger, находились в согласии друг с другом в пределах статистической точности, поэтому величина поляризации пучка для каждого поляризационного состояния ИПИ была взята как средневзвешенное от значений, полученных этими поляриметрами. Набор данных был произведен при использовании четырех мод поляризации пучка с максимальными теоретическими значениями поляризации $(p_z, p_{zz}) = (0,0)$, $(-2/3,0)$, $(0,-2)$ и $(1/3,1)$ для неполяризованной, чисто векторной, чисто тензорной и смешанной мод. Спиновые моды переключались циклически через каждые 5 с. Измеренные значения поляризации составляли от 32 до 75 % от максимальных теоретических величин. Систематическая ошибка, обусловленная неточностью определения анализирующих способностей dp -упругого рассеяния, не превышала $\approx 2\%$ как для векторной, так и для тензорной поляризации пучка. Полная ошибка определения поляризации учитывала как систематическую, так и статистическую ошибки.

Разделение вторичных частиц от пучка дейтронов и измерение их импульсов было выполнено при помощи магнитной системы спектрометра SMART (Swinger and Magnetic Analyzer with a Rotator and a Twister), состоящей из двух дипольных и трех квадрупольных магнитов. Система детектирования спектрометра SMART включает многопроволочную дрейфовую камеру MWDC и три органических сцинтилляционных счетчика. Совпадение выходных сигналов всех сцинтилляционных счетчиков использовалось в качестве триггера. Амплитуда сигнала сцинтилляционных счетчиков была использована для отбора частиц интересующего типа на уровне триггера. Идентификация вторичных частиц была основана на анализе энергетических потерь в

органических сцинтиляционных детекторах, а также информации о времени пролета между мишенью и точкой регистрации. Расстояние между мишенью и точкой детектирования составляло около 17 м, что являлось достаточным для разделения ${}^3\text{H}$, d и p с одинаковыми импульсами. Вторичная частица (${}^3\text{H}$ или протон) считалась идентифицированной, если она была зарегистрирована всеми тремя сцинтиляционными детекторами, амплитуды сигналов с которых должны быть скоррелированы, и выполнялось условие на ограниченное время пролета. Корреляция амплитуд сигналов со сцинтиляционных детекторов Amp1–Amp2, Amp1–Amp3 и времяпролетные спектры (TDRF) показаны на рис. 1, *a–в* и рис. 2, *a–в* в случае регистрации ${}^3\text{H}$ или протона

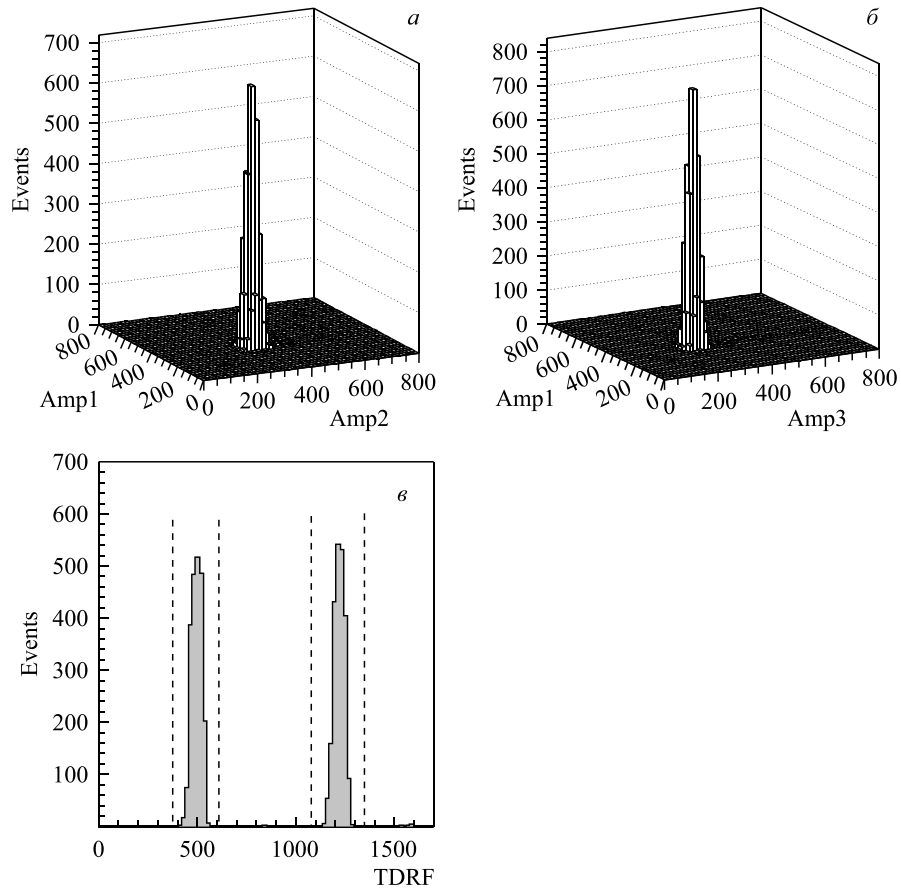


Рис. 1. Корреляция амплитуд Amp1–Amp2, Amp1–Amp3 (*a, б*) и времяпролетные спектры (*в*) для случая регистрации ${}^3\text{H}$. Границы интервалов для выделения полезных событий по времени пролета показаны штриховыми линиями

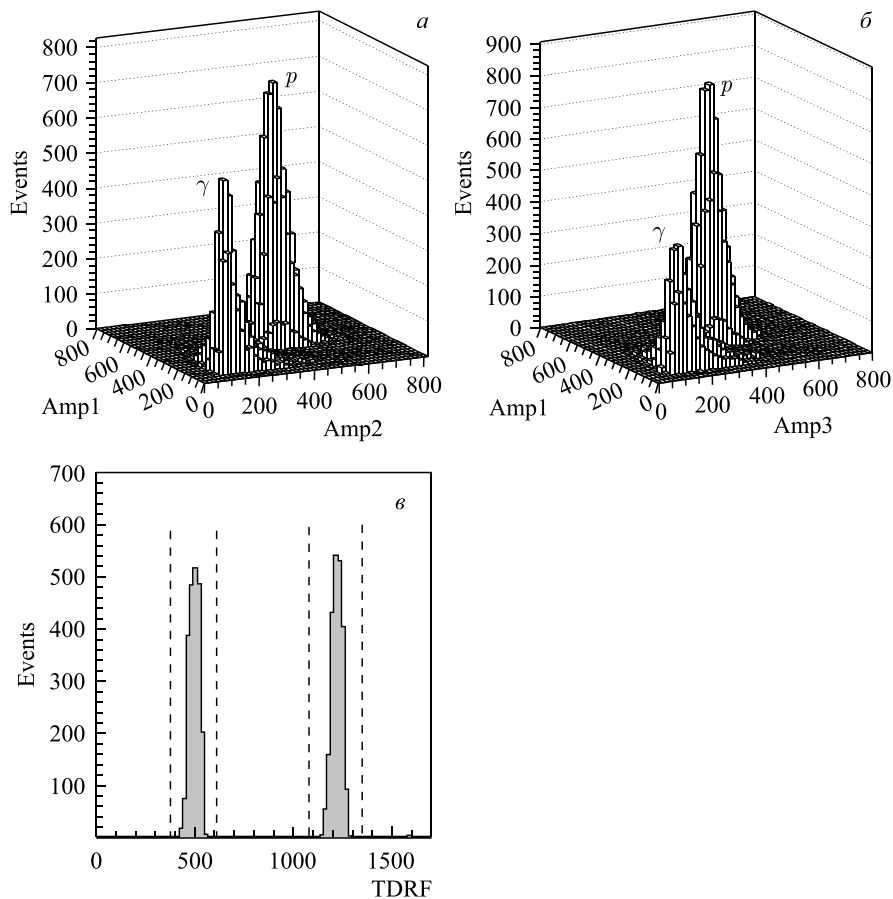


Рис. 2. Корреляция амплитуд Amp1–Amp2, Amp1–Amp3 (а, б) и времяпролетные спектры (в) для случая регистрации протонов. Границы интервалов для выделения полезных событий по времени пролета показаны штриховыми линиями

соответственно. Поскольку система сбора записывала данные из двух банок ускорителя, полезные события накапливались в двух пиках во времяпролетном спектре. Штриховые линии на рис. 1, в и рис. 2, в соответствуют границам интервалов отбора полезных событий по времени пролета.

Информация из многопроволочной дрейфовой камеры, расположенной в фокальной плоскости спектрометра, использовалась для реконструкции параметров рассеянных частиц. Траектория частиц во второй фокальной плоскости определялась методом наименьших квадратов при использовании пространственной информации, полученной из MWDC. Типичное значение эффективности реконструкции трека MWDC было более 99%. Импульс и угол

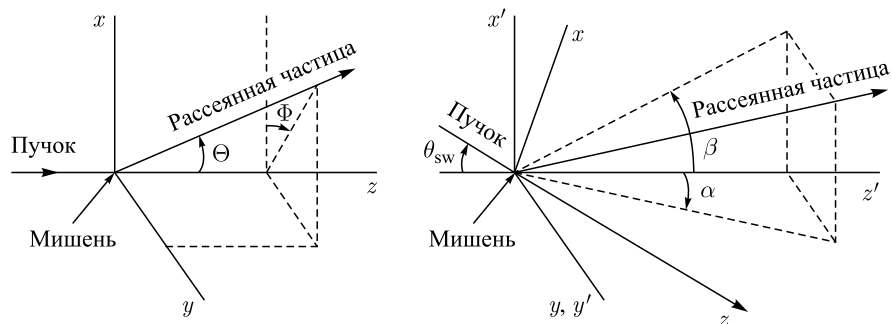


Рис. 3. Координатные системы отсчета. Координатная система $x'y'z'$ (xyz) связана с оптической осью спектрометра (пучком). Описание углов Θ , Φ , θ_{sw} , α и β приведено в тексте

вылета рассеянных частиц восстанавливались по информации из многопро-
волочных дрейфовых камер при использовании параметров оптической ма-
трицы спектрометра SMART. Достигнутое энергетическое разрешение было
 ~ 300 кэВ. В ходе эксперимента угол падения пучка на мишень варьи-
ровался, что позволило провести измерения в полном угловом диапазоне
в с. ц. м. без вращения спектрометра SMART. Требуемый угол падения пучка
поляризованных дейтронов на мишень (θ_{sw}) настраивался при помощи вра-
щения Swinger-магнита. Для удобства использовались две координатные си-
стемы отсчета $x'y'z'$ и xyz , представленные на рис. 3, которые были связаны
с оптической осью спектрометра и пучком соответственно. Оптическая ось
спектрометра — это линия прохождения пучка при выключенном Swinger-
магните ($\theta_{sw} = 0^\circ$). Оси z и z' определяют направление пучка и оптической
оси спектрометра. Оси xz ($x'z'$) определяют плоскости реакции. Величины α
и β представляют собой углы вылета частицы в горизонтальной и вертикаль-
ной плоскостях в $x'y'z'$ системе отсчета. Углы вылета частицы в координат-
ной системе отсчета, связанной с пучком, обозначены как Θ , Φ и связаны с
углами α , β и θ_{sw} посредством геометрических преобразований.

При измерении анализирующих способностей регистрировалась только
одна вторичная частица — тритий или протон в угловых диапазонах $0-90^\circ$ и
 $90-180^\circ$ в с. ц. м. соответственно. В качестве мишени использовалась дейтери-
рованная полиэтиленовая пленка (CD_2) толщиной 54 мг/см², расположенная
в камере рассеяния. Для измерения фоновых событий применялась углерод-
ная фольга толщиной 34 мг/см². Эффект от дейтерия был получен путем
процедуры CD_2 -С-вычитания для каждой спиновой моды и угла рассеяния
в с. ц. м. Процедура вычитания показана на рис. 4 для углов рассеяния 12 ,
 56 , 144 и 168° в с. ц. м. Рисунок соответствует случаям регистрации трития
и протонов соответственно. Спектры построены как функция энергии возбу-

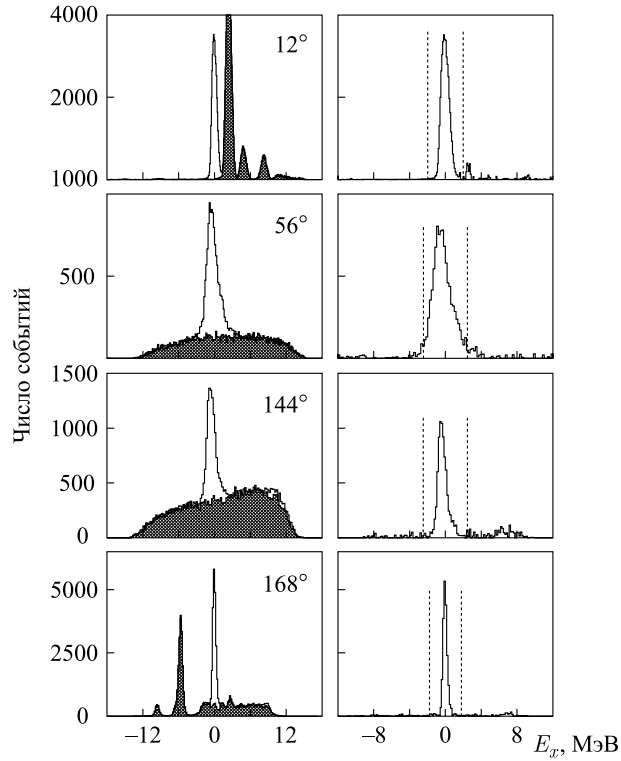


Рис. 4. CD_2 -С-вычитание для реакции $\vec{d}\bar{d} \rightarrow {}^3\text{H}p$ при $T_d = 200$ МэВ. Открытые и заштрихованные гистограммы слева соответствуют спектрам, полученным для CD_2 и углеродной мишени при углах рассеяния ${}^3\text{H}$ в с. ц. м. 12° , 56° , 144° и 168° . Гистограммы справа демонстрируют качество CD_2 -С-вычитания

ждения E_x , которая определяется следующим образом:

$$E_x = \sqrt{(E_0 - E)^2 - (\mathbf{P}_0 - \mathbf{P})^2} - M, \quad (1)$$

где \mathbf{P}_0 — начальный импульс дейтрона; $E_0 = 2M_d + T_d$ — полная начальная энергия; E и \mathbf{P} — энергия и импульс регистрируемой частицы соответственно; M — масса недетектируемой системы. Относительные выходы от CD_2 и углеродной мишени представлены слева на рис. 4 открытыми и заштрихованными гистограммами соответственно. Спектры, полученные на углеродной мишени, нормированы на спектры с CD_2 для удобства сравнения. Пики при $E_x = 0$ МэВ соответствуют реакции $\vec{d}\bar{d} \rightarrow {}^3\text{H}p$. Спектры, полученные после процедуры вычитания углеродных событий, нормированные на светимость и скорректированные с учетом мертвого времени, представлены

справа на рис.4. Хорошее качество вычитания углеродного фона показывает корректность выбранной процедуры.

Анализирующие способности A_y , A_{yy} , A_{xx} и A_{xz} реакции $\vec{d}d \rightarrow {}^3\text{H}p$ были получены из числа событий после процедуры $\text{CD}_2\text{-C}$ -вычитания и значений поляризации пучка. Число событий было скорректировано с учетом

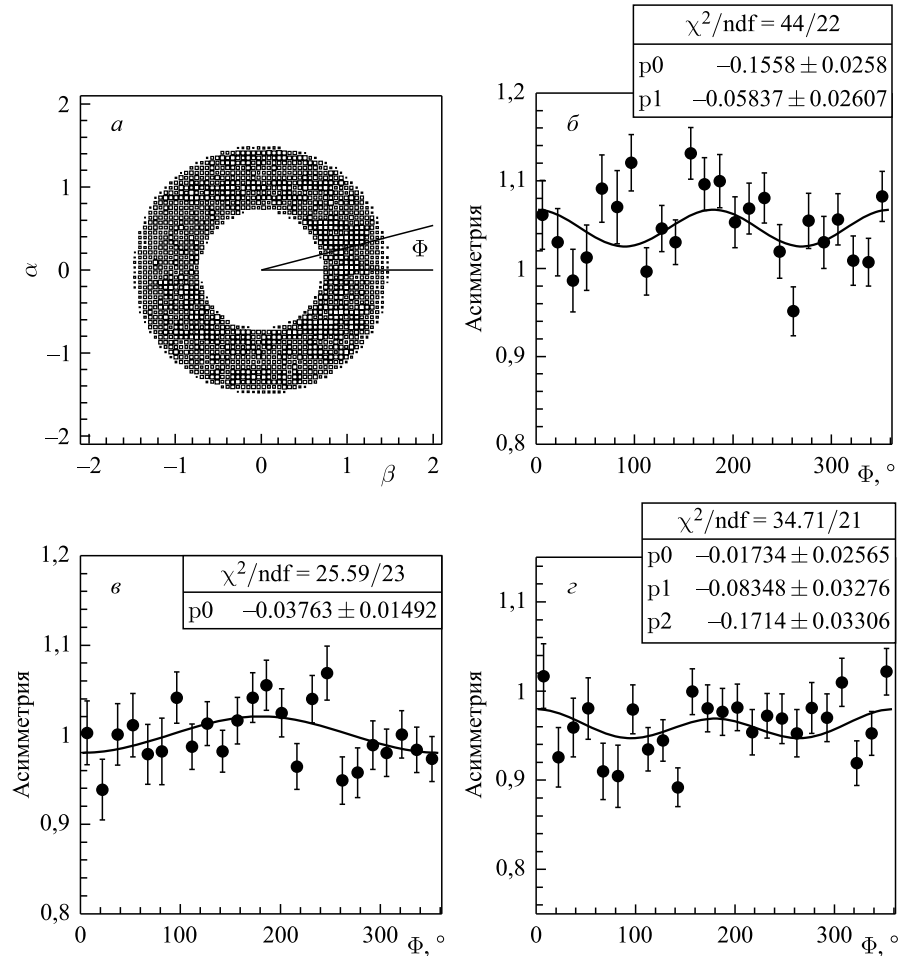


Рис. 5. а) Корреляция углов вылета частиц из мишени в вертикальной и горизонтальной плоскостях при угле поворота Swinger-магнита 0° . Выделенная область соответствует сектору $2\text{--}4^\circ$ по углу Θ_{cm} , и $0\text{--}15^\circ$ — по углу Φ . б)–д) Результаты процедуры минимизации при наборе данных по анализирующим способностям A_y и A_{yy} при $\Theta_{\text{cm}} = 1^\circ$ для чисто тензорной, чисто векторной и смешанной мод соответственно (кривая — фитирование, ● — экспериментальные данные)

эффекта мертвого времени, эффективности регистрации и интенсивности пучка. Вследствие того, что моды поляризации переключались циклически каждые 5 с, систематические неопределенности, вызванные какими-либо эффектами временной зависимости, например потерей дейтерия CD₂-мишенью из-за облучения, пренебрежимо малы.

При углах рассеяния частиц в с.ц.м. меньше 6° или больше, чем 174°, азимутальный угол Φ , покрываемый детектором, имел значение между 0 и 360° в зависимости от угла рассеяния. В этом случае диапазон по азимутальному углу был разделен на сектора по 15°. Асимметрия для каждого бина и для каждой спиновой моды ИПИ извлекалась индивидуально, и анализирующие способности были получены аппроксимацией распределения асимметрии функцией, зависящей от азимутального угла [33]. На рис.5 представлены: корреляция углов вылета частиц из мишени в вертикальной и горизонтальной плоскостях при угле поворота Swinger-магнита 0° (а) и результаты процедуры минимизации при наборе данных по A_y и A_{yy} анализирующим способностям при $\Theta_{cm} = 1^\circ$ для чисто тензорной, чисто векторной и смешанной мод соответственно (б-г).

2. РЕЗУЛЬТАТЫ

Экспериментальные результаты по угловой зависимости векторной A_y и тензорных A_{yy} , A_{xx} и A_{xz} анализирующих способностей реакции $\vec{d}d \rightarrow {}^3\text{H}p$, полученные при энергии 200 МэВ, показаны как функции угла рассеяния ${}^3\text{H}$ в с.ц.м. на рис.6 и приведены в табл.1–4. Полная ошибка экспериментальных значений соответствует среднеквадратичному из статистической и систематической ошибок. Систематическая ошибка, обусловленная ошибкой измерения поляризации пучка, составляет $\sim 2\%$ для всех анализирующих способностей.

Сплошная и штриховая кривые на рис. 6 представляют собой результаты расчетов в рамках модели многократного рассеяния [27] при учете механизма однократного рассеяния (ОР) в дополнение к ОНО и без него соответственно. На рис.7 представлены диаграммы ОНО и ОР, применяемых в данной модели [27]. В расчетах использовались параметризованные волновые функции дейтрона [34] и трехнуклонного связанного состояния [35], основанные на CD-боннском потенциале NN-взаимодействия. Согласно модели [27] доминирующим механизмом реакции $\vec{d}d \rightarrow {}^3\text{H}p$ при рассеянии вперед и назад является механизм ОНО. Отрицательные и положительные значения тензорных A_{yy} , A_{xx} и A_{xz} анализирующих способностей при малых и больших углах в с.ц.м. отражают знаки отношения D/S-компонент волновых функций трития и дейтрона соответственно и находятся в качественном согласии с предсказаниями ОНО. Однако наблюдаются существенные различия между экспериментальными данными по тензорным анализирующим способ-

ностям и теоретическими предсказаниями модели [27] при учете механизма ОНО в угловом диапазоне $15\text{--}160^\circ$ в с. ц. м. Кроме того, ненулевое значение векторной анализирующей способности A_y свидетельствует о необходимости учета дополнительных механизмов к ОНО. Подобное поведение анализирую-

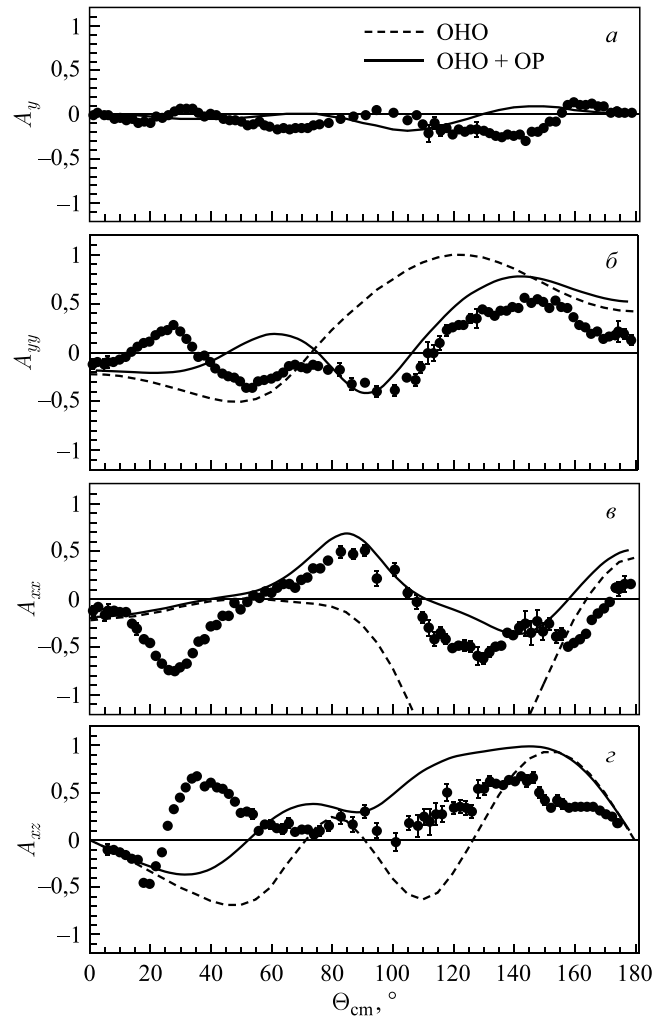


Рис. 6. Результаты по векторной A_y и тензорным A_{yy} , A_{xx} , A_{xz} анализирующим способностям в реакции $\vec{d}d \rightarrow {}^3\text{H}p$ при энергии 200 МэВ: сплошная и штриховая кривые соответствуют теоретическим расчетам в рамках модели многократного рассеяния [27] при учете механизма однократного рассеяния (OP) в дополнение к одноуклонному обмену (ОНО) и без него соответственно, ● — экспериментальным данным

Таблица 1. Угловая зависимость векторной анализирующей способности A_y реакции $\vec{d}d \rightarrow {}^3\text{H}p$ при энергии 200 МэВ

$\Theta_{\text{см}}$	$A_y \pm dA_y$	$\Theta_{\text{см}}$	$A_y \pm dA_y$	$\Theta_{\text{см}}$	$A_y \pm dA_y$	$\Theta_{\text{см}}$	$A_y \pm dA_y$
1,0	-0,012 ± 0,037	42,0	-0,008 ± 0,019	91,0	-0,021 ± 0,031	142,0	-0,228 ± 0,031
3,0	0,005 ± 0,020	44,0	-0,053 ± 0,020	95,0	0,043 ± 0,041	144,0	-0,309 ± 0,042
5,0	-0,018 ± 0,033	46,0	-0,069 ± 0,021	101,0	0,003 ± 0,041	146,0	-0,207 ± 0,037
6,0	-0,018 ± 0,047	48,0	-0,072 ± 0,022	105,0	-0,075 ± 0,034	148,0	-0,204 ± 0,034
8,0	-0,052 ± 0,014	50,0	-0,081 ± 0,032	108,0	-0,020 ± 0,050	150,0	-0,166 ± 0,031
10,0	-0,038 ± 0,014	52,0	-0,134 ± 0,027	110,0	-0,120 ± 0,042	152,0	-0,084 ± 0,027
12,0	-0,076 ± 0,015	54,0	-0,109 ± 0,027	112,0	-0,218 ± 0,096	154,0	-0,082 ± 0,039
14,0	-0,055 ± 0,020	56,0	-0,093 ± 0,026	114,0	-0,106 ± 0,064	156,0	0,019 ± 0,037
16,0	-0,103 ± 0,023	58,0	-0,133 ± 0,024	116,0	-0,186 ± 0,060	158,0	0,101 ± 0,031
18,0	-0,088 ± 0,025	60,0	-0,158 ± 0,033	118,0	-0,159 ± 0,048	160,0	0,136 ± 0,026
20,0	-0,098 ± 0,026	62,0	-0,179 ± 0,024	120,0	-0,237 ± 0,037	162,0	0,103 ± 0,017
22,0	-0,024 ± 0,020	64,0	-0,157 ± 0,026	122,0	-0,176 ± 0,039	164,0	0,104 ± 0,015
24,0	-0,048 ± 0,023	66,0	-0,173 ± 0,027	124,0	-0,204 ± 0,041	166,0	0,117 ± 0,017
26,0	-0,009 ± 0,018	68,0	-0,158 ± 0,027	126,0	-0,173 ± 0,044	168,0	0,083 ± 0,015
28,0	0,036 ± 0,016	70,0	-0,154 ± 0,026	128,0	-0,178 ± 0,084	170,0	0,085 ± 0,013
30,0	0,055 ± 0,016	72,0	-0,166 ± 0,033	130,0	-0,192 ± 0,043	172,0	0,014 ± 0,012
32,0	0,052 ± 0,020	74,0	-0,125 ± 0,029	132,0	-0,216 ± 0,041	174,0	0,033 ± 0,011
34,0	0,058 ± 0,019	76,0	-0,121 ± 0,032	134,0	-0,244 ± 0,035	176,0	-0,013 ± 0,021
36,0	0,018 ± 0,017	79,0	-0,109 ± 0,028	136,0	-0,266 ± 0,031	175,0	0,005 ± 0,046
38,0	-0,023 ± 0,014	83,0	-0,060 ± 0,049	138,0	-0,247 ± 0,035	177,0	0,008 ± 0,032
40,0	0,003 ± 0,020	87,0	-0,036 ± 0,045	140,0	-0,247 ± 0,027	179,0	0,021 ± 0,039

Таблица 2. Угловая зависимость тензорной анализирующей способности A_{yy} реакции $\vec{d}d \rightarrow {}^3\text{H}p$ при энергии 200 МэВ

$\Theta_{\text{см}}$	$A_{yy} \pm dA_{yy}$	$\Theta_{\text{см}}$	$A_{yy} \pm dA_{yy}$	$\Theta_{\text{см}}$	$A_{yy} \pm dA_{yy}$	$\Theta_{\text{см}}$	$A_{yy} \pm dA_{yy}$
1,0	-0,121 ± 0,054	42,0	-0,180 ± 0,026	91,0	-0,315 ± 0,043	142,0	0,447 ± 0,033
3,0	-0,104 ± 0,035	44,0	-0,221 ± 0,027	95,0	-0,411 ± 0,057	144,0	0,551 ± 0,043
5,0	-0,131 ± 0,059	46,0	-0,264 ± 0,030	101,0	-0,395 ± 0,055	146,0	0,502 ± 0,039
6,0	-0,100 ± 0,063	48,0	-0,267 ± 0,031	105,0	-0,269 ± 0,045	148,0	0,540 ± 0,035
8,0	-0,100 ± 0,018	50,0	-0,303 ± 0,044	108,0	-0,288 ± 0,066	150,0	0,509 ± 0,033
10,0	-0,080 ± 0,018	52,0	-0,370 ± 0,038	110,0	-0,160 ± 0,052	152,0	0,452 ± 0,030
12,0	-0,047 ± 0,021	54,0	-0,369 ± 0,039	112,0	-0,007 ± 0,115	154,0	0,520 ± 0,043
14,0	0,006 ± 0,028	56,0	-0,302 ± 0,037	114,0	-0,010 ± 0,078	156,0	0,458 ± 0,043
16,0	0,052 ± 0,033	58,0	-0,292 ± 0,034	116,0	0,095 ± 0,070	158,0	0,442 ± 0,037
18,0	0,093 ± 0,034	60,0	-0,275 ± 0,047	118,0	0,227 ± 0,056	160,0	0,360 ± 0,033
20,0	0,110 ± 0,034	62,0	-0,250 ± 0,033	120,0	0,251 ± 0,041	162,0	0,281 ± 0,022
22,0	0,171 ± 0,024	64,0	-0,205 ± 0,036	122,0	0,272 ± 0,045	164,0	0,251 ± 0,019
24,0	0,209 ± 0,028	66,0	-0,145 ± 0,036	124,0	0,265 ± 0,046	166,0	0,190 ± 0,022
26,0	0,229 ± 0,022	68,0	-0,135 ± 0,037	126,0	0,347 ± 0,049	168,0	0,205 ± 0,018
28,0	0,263 ± 0,019	70,0	-0,152 ± 0,035	128,0	0,337 ± 0,094	170,0	0,133 ± 0,017
30,0	0,214 ± 0,020	72,0	-0,172 ± 0,046	130,0	0,431 ± 0,048	172,0	0,151 ± 0,016
32,0	0,132 ± 0,024	74,0	-0,126 ± 0,039	132,0	0,411 ± 0,044	174,0	0,166 ± 0,014
34,0	0,051 ± 0,024	76,0	-0,156 ± 0,044	134,0	0,372 ± 0,038	176,0	0,122 ± 0,026
36,0	-0,046 ± 0,021	79,0	-0,187 ± 0,038	136,0	0,405 ± 0,033	175,0	0,205 ± 0,106
38,0	-0,043 ± 0,019	83,0	-0,184 ± 0,067	138,0	0,414 ± 0,037	177,0	0,175 ± 0,049
40,0	-0,101 ± 0,026	87,0	-0,332 ± 0,063	140,0	0,462 ± 0,028	179,0	0,122 ± 0,053

Таблица 3. Угловая зависимость тензорной анализирующей способности A_{xx} реакции $\vec{d}d \rightarrow {}^3\text{H}p$ при энергии 200 МэВ

Θ_{cm}	$A_{xx} \pm dA_{xx}$	Θ_{cm}	$A_{xx} \pm dA_{xx}$	Θ_{cm}	$A_{xx} \pm dA_{xx}$	Θ_{cm}	$A_{xx} \pm dA_{xx}$
1,0	-0,128 ± 0,051	42,0	-0,277 ± 0,031	91,0	0,499 ± 0,055	142,0	-0,309 ± 0,055
3,0	-0,114 ± 0,038	44,0	-0,186 ± 0,032	95,0	0,212 ± 0,077	144,0	-0,261 ± 0,127
5,0	-0,166 ± 0,060	46,0	-0,179 ± 0,035	101,0	0,302 ± 0,067	146,0	-0,363 ± 0,125
6,0	-0,131 ± 0,075	48,0	-0,054 ± 0,034	105,0	0,055 ± 0,054	148,0	-0,232 ± 0,120
8,0	-0,127 ± 0,021	50,0	-0,115 ± 0,032	108,0	-0,036 ± 0,073	150,0	-0,342 ± 0,087
10,0	-0,142 ± 0,021	52,0	-0,029 ± 0,038	110,0	-0,201 ± 0,055	152,0	-0,264 ± 0,063
12,0	-0,147 ± 0,024	54,0	0,038 ± 0,040	112,0	-0,308 ± 0,082	154,0	-0,403 ± 0,062
14,0	-0,261 ± 0,038	56,0	0,008 ± 0,039	114,0	-0,428 ± 0,072	156,0	-0,366 ± 0,059
16,0	-0,317 ± 0,065	58,0	0,073 ± 0,029	116,0	-0,354 ± 0,056	158,0	-0,504 ± 0,049
18,0	-0,430 ± 0,047	60,0	0,054 ± 0,032	118,0	-0,443 ± 0,054	160,0	-0,461 ± 0,042
20,0	-0,470 ± 0,029	62,0	0,109 ± 0,034	120,0	-0,519 ± 0,045	162,0	-0,431 ± 0,036
22,0	-0,599 ± 0,029	64,0	0,148 ± 0,038	122,0	-0,486 ± 0,045	164,0	-0,372 ± 0,032
24,0	-0,684 ± 0,037	66,0	0,157 ± 0,042	124,0	-0,494 ± 0,058	166,0	-0,225 ± 0,048
26,0	-0,743 ± 0,029	68,0	0,112 ± 0,037	126,0	-0,506 ± 0,057	168,0	-0,159 ± 0,043
28,0	-0,768 ± 0,026	70,0	0,197 ± 0,036	128,0	-0,603 ± 0,097	170,0	-0,099 ± 0,039
30,0	-0,722 ± 0,025	72,0	0,221 ± 0,038	130,0	-0,629 ± 0,059	172,0	-0,030 ± 0,034
32,0	-0,679 ± 0,031	74,0	0,320 ± 0,038	132,0	-0,566 ± 0,054	174,0	0,110 ± 0,030
34,0	-0,579 ± 0,030	76,0	0,309 ± 0,046	134,0	-0,512 ± 0,046	176,0	0,021 ± 0,057
36,0	-0,446 ± 0,026	79,0	0,385 ± 0,044	136,0	-0,498 ± 0,040	175,0	0,099 ± 0,073
38,0	-0,422 ± 0,024	83,0	0,491 ± 0,061	138,0	-0,361 ± 0,048	177,0	0,147 ± 0,086
40,0	-0,288 ± 0,031	87,0	0,458 ± 0,054	140,0	-0,390 ± 0,041	179,0	0,149 ± 0,049

Таблица 4. Угловая зависимость тензорной анализирующей способности A_{xz} реакции $\vec{d}d \rightarrow {}^3\text{H}p$ при энергии 200 МэВ

Θ_{cm}	$A_{xz} \pm dA_{xz}$	Θ_{cm}	$A_{xz} \pm dA_{xz}$	Θ_{cm}	$A_{xz} \pm dA_{xz}$	Θ_{cm}	$A_{xz} \pm dA_{xz}$
6,0	-0,111 ± 0,058	46,0	0,476 ± 0,033	95,0	0,093 ± 0,077	142,0	0,663 ± 0,045
8,0	-0,116 ± 0,017	48,0	0,402 ± 0,032	101,0	-0,031 ± 0,094	144,0	0,620 ± 0,066
10,0	-0,131 ± 0,017	50,0	0,284 ± 0,036	105,0	0,177 ± 0,073	146,0	0,653 ± 0,061
12,0	-0,163 ± 0,018	52,0	0,286 ± 0,050	108,0	0,142 ± 0,117	148,0	0,499 ± 0,058
14,0	-0,199 ± 0,024	54,0	0,260 ± 0,053	110,0	0,244 ± 0,085	150,0	0,412 ± 0,053
16,0	-0,223 ± 0,043	56,0	0,096 ± 0,045	112,0	0,185 ± 0,139	152,0	0,326 ± 0,044
18,0	-0,455 ± 0,031	58,0	0,162 ± 0,038	114,0	0,267 ± 0,119	154,0	0,417 ± 0,058
20,0	-0,479 ± 0,034	60,0	0,153 ± 0,051	116,0	0,270 ± 0,087	156,0	0,371 ± 0,055
22,0	-0,287 ± 0,029	62,0	0,122 ± 0,047	118,0	0,483 ± 0,086	158,0	0,327 ± 0,049
24,0	-0,139 ± 0,029	64,0	0,101 ± 0,052	120,0	0,336 ± 0,059	160,0	0,339 ± 0,042
26,0	0,144 ± 0,026	66,0	0,172 ± 0,055	122,0	0,346 ± 0,065	162,0	0,341 ± 0,027
28,0	0,317 ± 0,024	68,0	0,084 ± 0,046	124,0	0,323 ± 0,069	164,0	0,351 ± 0,022
30,0	0,442 ± 0,026	70,0	0,104 ± 0,041	126,0	0,287 ± 0,070	166,0	0,341 ± 0,025
32,0	0,549 ± 0,036	72,0	0,100 ± 0,045	128,0	0,528 ± 0,095	168,0	0,302 ± 0,021
34,0	0,640 ± 0,036	74,0	0,053 ± 0,040	130,0	0,532 ± 0,059	170,0	0,266 ± 0,019
36,0	0,652 ± 0,032	76,0	0,085 ± 0,052	132,0	0,610 ± 0,054	172,0	0,243 ± 0,018
38,0	0,556 ± 0,024	79,0	0,148 ± 0,050	134,0	0,593 ± 0,045	174,0	0,174 ± 0,018
40,0	0,596 ± 0,030	83,0	0,241 ± 0,077	136,0	0,579 ± 0,039	176,0	0,141 ± 0,030
42,0	0,540 ± 0,030	87,0	0,164 ± 0,077	138,0	0,623 ± 0,045	—	—
44,0	0,536 ± 0,031	91,0	0,287 ± 0,066	140,0	0,609 ± 0,036	—	—

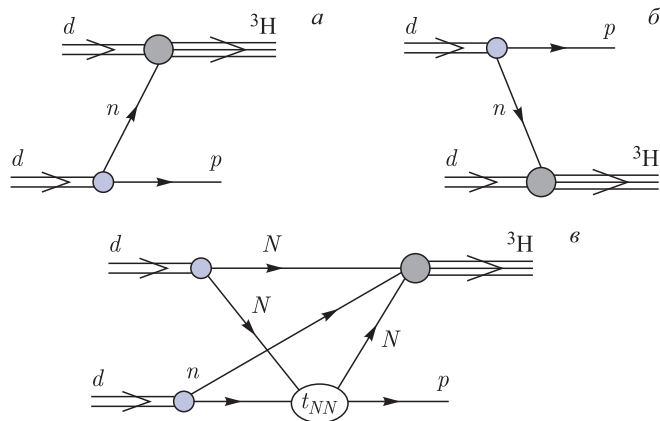


Рис. 7. а, б) Диаграммы ОНО; е) диаграмма ОР

щих способностей было обнаружено для реакции $\vec{d}d \rightarrow {}^3\text{He}n$ при энергии 270 МэВ [30], где экспериментальные данные демонстрируют существенные разногласия с моделью ОНО при углах, больших 15° в с.ц.м.

Включение в теоретические расчеты механизма ОР в дополнение к ОНО существенно улучшает описание экспериментальных данных по тензорным анализирующим способностям. Поведение векторной анализирующей способности A_y также воспроизводится при рассеянии вперед и назад в с.ц.м., что свидетельствует о доминировании механизмов ОНО и ОР в реакции $\vec{d}d \rightarrow {}^3\text{He}p$ при этих углах. Однако существенные различия между теоретическими предсказаниями и экспериментальными данными все еще остаются. Попытка улучшить описание экспериментальных данных была предпринята в работе [36] при использовании новой параметризации волновых функций дейтрона и ${}^3\text{He}$. Полученные результаты не показали существенных различий между расчетами, основанными на использовании параметризаций волновых функций на базе CD-боннского и парижского потенциалов NN -взаимодействия, и не смогли описать существующие пики в тензорных анализирующих способностях между углами рассеяния 20 и 40° в с.ц.м. Похожая проблема в описании анализирующих способностей упругого дейтрон-дейтронного рассеяния при энергии 231,8 МэВ была обнаружена для приближения, основанного на членах наименьшего порядка в борновском приближении для уравнений Альта–Грассбергера–Сандаса для 4 нуклонов, взаимодействующих согласно CD-боннскому потенциалу [37]. К сожалению, данная модель не была применена для описания поляризационных наблюдаемых реакции $\vec{d}d \rightarrow {}^3\text{He}n$ (${}^3\text{He}p$) в данной энергетической области.

Различия между экспериментальными данными и теоретическими расчетами, показанными на рис. 6, могут быть объяснены механизмом реакции, от-

личным от ОНО + ОР и/или неточным описанием спиновой структуры ${}^3\text{H}$ на малых межнуклонных расстояниях. Вероятно, учет возбуждения Δ -изобары в промежуточном состоянии может дать вклад в тензорные анализирующие способности. Такая возможность обсуждается в работе [38], где Δ -изобара учтена в простейшей феноменологической модели.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые были получены высокоточные данные по векторной A_y и тензорным A_{yy} , A_{xx} и A_{xz} анализирующим способностям в реакции $\vec{d}d \rightarrow {}^3\text{H}p$ при энергии 200 МэВ, чувствительные к спиновой структуре ${}^3\text{H}$ и дейтрона. Теоретические расчеты в рамках модели ОНО при использовании волновых функций ${}^3\text{H}$ и дейтрона, основанных на CD-боннском потенциале, описывают тензорные анализирующие способности при рассеянии вперед и назад в с. ц. м.

Однако модель ОНО не воспроизводит сильной зависимости тензорных анализирующих способностей от угла рассеяния в с. ц. м. Учет ОР в дополнение к ОНО существенно улучшает описание экспериментальных данных, особенно при больших углах рассеяния в с. ц. м. Тем не менее поведение анализирующих способностей при углах рассеяния $15\text{--}50^\circ$ в с. ц. м. не воспроизводится в рамках данной модели. Существенные различия между экспериментальными данными и расчетами указывают на необходимость дальнейшего развития теоретических моделей.

Авторы выражают благодарность персоналу ускорительного комплекса RARF за обеспечение великолепных условий при проведении эксперимента R308n. Глубокое уважение и признательность выражается Н. Kumasaka, R. Suzuki, и R. Takі за помощь в проведении эксперимента. Российские участники коллаборации благодарят дирекцию RIKEN за гостеприимство во время их пребывания в Японии.

Работа частично поддержана государственной субсидией для научных исследований Министерства образования, культуры, спорта, науки и технологий Японии (грант № 1474015), Российским фондом фундаментальных исследований (гранты № 10-02-00087а, № 13-02-00101а).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Sekiguchi K. et al.* Resolving the Discrepancy of 135 MeV pd Elastic Scattering Cross Sections and Relativistic Effects // *Phys. Rev. Lett.* 2005. V. 95. 162301.
2. *Shimizu H. et al.* Analyzing Powers and Cross Sections in Elastic $\vec{p}\text{--}d$ Scattering at 65 MeV // *Nucl. Phys. A.* 1982. V. 382. P. 242.

3. *Ruhl H. et al.* Analyzing Power in $n(\text{pol}) + d$ Elastic Scattering at 67 MeV // Nucl. Phys. A. 1991. V. 524. P. 377.
4. *Sakai H. et al.* Precise Measurement of dp Elastic Scattering at 270 MeV and Three-Nucleon Force Effects // Phys. Rev. Lett. 2000. V. 84. P. 5288.
5. *Sakamoto N. et al.* Measurement of the Vector and Tensor Analyzing Powers for the $d-p$ Elastic Scattering at $E_d = 270$ MeV // Phys. Lett. B. 1996. V. 367. P. 60.
6. *Sekiguchi K. et al.* Complete Set of Precise Deuteron Analyzing Powers at Intermediate Energies: Comparison with Modern Nuclear Force Predictions // Phys. Rev. C. 2002. V. 65. 034003.
7. *Ermisch K. et al.* Search for Three-Nucleon Force Effects in Analyzing Powers for $\vec{p}d$ Elastic Scattering // Phys. Rev. Lett. 2001. V. 86. P. 5862.
8. *Bieber R. et al.* Three-Nucleon Force and the A_y Puzzle in Intermediate Energy $\vec{p} + d$ and $\vec{d} + p$ Elastic Scattering // Phys. Rev. Lett. 2000. V. 84. P. 606.
9. *Witala H. et al.* Complete Set of Deuteron Analysing Powers in Deuteron-Proton Elastic Scattering: Measurement and Realistic Potential Predictions // Few-Body Syst. 1993. V. 15. P. 67.
10. *Arvieux J. et al.* Tensor Analyzing Power in $d-p$ Scattering at Backward Angles for Deuteron Energies 0.3 to 2.3 GeV // Phys. Rev. Lett. 1983. V. 50. P. 19.
11. *Stephenson E.J. et al.* Indications of Three-Nucleon Force Effects in the Proton Analysing Power for 70–200 MeV $\vec{p} + d$ Elastic Scattering // Phys. Rev. C. 1999. V. 60. 061001(R).
12. *Cadman R. V. et al.* Evidence for a Three-Nucleon Force Effect in Proton-Deuteron Elastic Scattering // Phys. Rev. Lett. 2001. V. 86. P. 967.
13. *Sekiguchi K. et al.* Polarization Transfer Measurement for $^1\text{H}(\vec{d}, \vec{p})^2\text{H}$ Elastic Scattering at 135 MeV/nucleon and Three-Nucleon Force Effects // Phys. Rev. C. 2004. V. 70. 014001.
14. *Hatanaka K. et al.* Cross Section and Complete Set of Proton Spin Observables in $\vec{p} + d$ Elastic Scattering at 250 MeV // Phys. Rev. C. 2002. V. 66. 044002.
15. *Witala H. et al.* Cross Section Minima in Elastic Nd Scattering: Possible Evidence for Three-Nucleon Force Effects // Phys. Rev. Lett. 1998. V. 81. P. 1183.
16. *Coon S. et al.* The Two-Pion Exchange Three-Nucleon Potential and Nuclear Matter // Nucl. Phys. A. 1979. V. 317. P. 242.
17. *Pudliner B. S. et al.* Quantum Monte Carlo Calculations of Nuclei with $A \leq 7$ // Phys. Rev. C. 1997. V. 56. P. 1720.
18. *Maeda Y. et al.* Measurement of A_y for the pd Breakup Reaction at 250 MeV // AIP Conf. Proc. 2006. V. 915. P. 781–784.
19. *Maeda Y. et al.* Differential Cross Section and Analyzing Power Measurements for $\vec{n}d$ Elastic Scattering at 248 MeV // Phys. Rev. C. 2007. V. 76. 014004.
20. *Falk W. R.* Phenomenological $pp \rightarrow d\pi^+$ Model of A (p (polarized), π^+) B Reaction // Phys. Rev. 1994. V. 50. P. 1574–1593.
21. *Epstein M. B. et al.* $^3\text{He}(p, 2p)d$ and $^3\text{He}(p, pd)p$ Reactions at Large Recoil Momenta // Phys. Rev. C. 1985. V. 32. P. 967.

22. Miller M.A. et al. Measurement of Quasielastic ${}^3\text{He}(\vec{p}, pN)$ Scattering from Polarized ${}^3\text{He}$ and the Three-Body Ground State Spin Structure // Phys. Rev. Lett. 1995. V. 74. P. 502.
23. Friar J.L. Neutron Polarization in Polarized ${}^3\text{He}$ Targets // Phys. Rev. C. 1990. V. 42. P. 2310.
24. Shimizu Y. et al. Spin Correlation Parameter C_{yy} of $p + {}^3\text{He}$ Elastic Backward Scattering // Phys. Rev. C. 2007. V. 76. 044003.
25. Ladygin V.P., Ladygina N.B. Angular Dependence of the Tensor Analyzing Powers in the $dd \rightarrow {}^3\text{He}n$ Reaction at Intermediate Energies // Phys. Atom. Nucl. 2002. V. 65. P. 1609.
26. Ladygin V.P. et al. Measurement of the Tensor Analyzing Power T_{20} in the $dd \rightarrow {}^3\text{He}n$ and $dd \rightarrow {}^3\text{H}p$ at Intermediate Energies and at Zero Degree // Phys. Lett. B. 2004. V. 598. P. 47.
27. Ladygina N.B. $dd \rightarrow {}^3\text{He}n$ Reaction at Intermediate Energies // Few-Body Syst. 2012. V. 53. P. 253–265.
28. Ladygina N. Differential Cross Sections and Analyzing Powers in the $dd \rightarrow {}^3\text{He}n$ Reaction at Intermediate Energies // PoS (Baldin ISHEPP XXI). 2012. V. 098. 9 p.
29. Grassberger P., Sandhas W. Systematical Treatment of the Nonrelativistic N -Particle Scattering Problem // Nucl. Phys. B. 1967. V. 2. P. 181.
30. Janek M. et al. Analyzing Powers A_{yy} , A_{xx} , A_{xz} and A_y in the $dd \rightarrow {}^3\text{He}n$ Reaction at 270 MeV // Eur. Phys. J. A. 2007. V. 33. P. 39.
31. Okamura H. et al. Development of the RIKEN Polarized Ion Source // AIP Conf. Proc. 1994. V. 293. P. 84.
32. Okamura H. et al. Technique for Rotating the Spin Direction at RIKEN // AIP Conf. Proc. 1995. V. 343. P. 123.
33. Ohlsen G.G. Polarization Transfer and Spin Correlation Experiments in Nuclear Physics // Rep. Prog. Phys. 1972. V. 35. P. 717.
34. Machleidt R. High-Precision, Charge-Dependent Bonn Nucleon–Nucleon Potential // Phys. Rev. C. 2001. V. 63. 024001.
35. Baru V. et al. New Parameterization of the Trinucleon Wavefunction and Its Application to the $\pi^{*}{}^3\text{He}$ Scattering Length // Eur. Phys. J. A. 2003. V. 16. P. 437–446.
36. Ladygina N. // Phys. Part. Nucl. 2014. V. 45. P. 187–189.
37. Micherdzińska A.M. et al. Deuteron–Deuteron Elastic Scattering at 231.8 MeV // Phys. Rev. C. 2007. V. 75. 054001.
38. Bizard G. et al. Experimental Study and Baryonic Exchange Interpretation of the Reaction ${}^2\text{H}(d, n){}^3\text{He}$ in the Intermediate Energy Region // Phys. Rev. C. 1980. V. 22. P. 1632.

Получено 17 апреля 2015 г.

Редактор *А. И. Петровская*

Подписано в печать 8.06.2015.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 1,18. Уч.-изд. л. 1,45. Тираж 305 экз. Заказ № 58560.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: publish@jinr.ru

www.jinr.ru/publish/