



УДК 539.18

**ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ СЕЧЕНИЕ
И ВЕКТОРНАЯ АНАЛИЗИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ
РЕАКЦИИ УПРУГОГО ДР-РАССЕЯНИЯ ПРИ ЭНЕРГИИ 2 ГэВ**

А.А. Терехин^{1),2)*}, В.В. Глаголев²⁾, В.П. Ладыгин²⁾, Н.Б. Ладыгина²⁾

¹⁾ Белгородский государственный университет,

ул. Студенческая, 14, Белгород, 308007, Россия

²⁾ Объединенный институт ядерных исследований,

ул. Жолио-Кюри, 6, Дубна, 141980, Россия, *e-mail: taa@uc.jinr.ru

Аннотация. Представлены результаты измерений и процедура обработки данных по угловой зависимости векторной анализирующей способности A_y и сечению реакции упругого др-рассеяния при энергии 2 ГэВ. Полученные результаты находятся в хорошем согласии с мировыми экспериментальными данными и с теоретическими расчетами, выполненными в рамках релятивистской модели многократного рассеяния.

Ключевые слова: упругое др-рассеяние, дифференциальное сечение, анализирующая способность.

Введение

В связи с активным изучением природы ядерных сил и ненуклонных степеней свободы, в последнее время сильно возрос интерес к простейшим ядерным реакциям и к их поляризационным характеристикам. Исследование поляризационных эффектов необходимо для решения многих современных проблем ядерной физики и физики элементарных частиц. Структура легких ядер интенсивно исследуется в последние несколько десятилетий с помощью как электромагнитных [1], так и адронных пробников [2]. Накоплено существенное количество экспериментальных данных по спиновой структуре легких ядер на малых межнуклонных расстояниях. Реакции $p(d, p)d$, ${}^3\text{He}(d, p){}^4\text{He}$ или ${}^3\text{He}(d, {}^3\text{He})d$ являются простейшими процессами с большой передачей импульса. Они могут использоваться как инструмент для изучения структуры дейтрона и ${}^3\text{He}$, а также механизмов взаимодействия нуклонов на малых расстояниях.

Дейтрон обладает спином, равным 1, что дает широкие возможности в проведении многочисленных поляризационных экспериментов, которые позволяют получить новую информацию о поведении различных независимых наблюдаемых. В отличие от статических свойств дейтрона (энергия связи, среднеквадратичный радиус, магнитный момент), его структура на малых расстояниях изучена гораздо хуже. Высокоимпульсные компоненты в дейтронных волновых функциях отвечают области малых межнуклонных расстояний ($r_{NN} < 1$ Фм), где нуклоны уже заметно перекрываются и теряют свою индивидуальность. Изучение поведения поляризационных наблюдаемых, чувствительных к спиновой структуре дейтрона на малых межнуклонных расстояниях, позволит



получить информацию о проявлении ненуклонных степеней свободы и релятивистских эффектах.

За последние годы был проведен ряд исследований поляризационных наблюдаемых реакции др-упругого рассеяния в различных областях энергий. Целью исследований является изучение поляризационных наблюдаемых при промежуточных и высоких энергиях. Для 270 MeV были получены данные по сечению реакции, коэффициенты передачи поляризации от дейтрона протону K_{ij} , дейтронным векторной A_y и тензорным A_{ij} анализирующим способностям, а также поляризации P_y [3]. Сечение и векторная анализирующая способность хорошо описываются фаддеевскими вычислениями, основанными на новых NN-потенциалах, с использованием Таксон-Мельбурнской трехнуклонной силы [4]. С другой стороны, тензорная анализирующая способность A_{ij} , коэффициенты передачи K_{ij} и поляризация P_y этими вычислениями не описываются. Также для 270 MeV были получены данные по сечению, A_y и A_{ij} для углового диапазона в с.д.м.[5]. Сравнение с фаддеевскими расчетами показывает хорошее согласие всех компонент анализирующих способностей. Заметное расхождение наблюдается в сечении (30 %) вблизи угла $\theta^* = 120^\circ$.

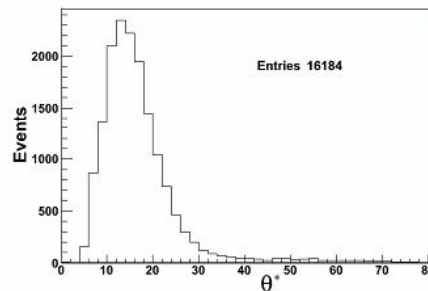


Рис. 1. Распределение событий по углу рассеяния θ^*

С увеличением энергии все большую роль начинают играть релятивистские эффекты и ненуклонные степени свободы. Другим важным аспектом является то, что анализирующие способности реакции имеют достаточно большое значение для проведения эффективной поляриметрии в широком диапазоне энергий дейтрона. Недавно были получены данные по анализирующим способностям A_y и A_{ij} при 880 MeV в угловом диапазоне $60^\circ < \theta^* < 140^\circ$ [6].

1. Эксперимент

Набор данных осуществлялся в серии экспериментов на 100 см водородной камере, экспонированной в выведенном пучке дейтронов синхрофазотрона с энергией 2 ГэВ. Использование пузырьковых камер примечательно тем, что наблюдение можно проводить в условиях 4π геометрии. Характерной особенностью водородной камеры является то,



что взаимодействие происходит только с протонами (так называемая чистая мишень). Кроме того, камера находится в магнитном поле, что помогает проводить идентификацию по массе вторичных частиц.

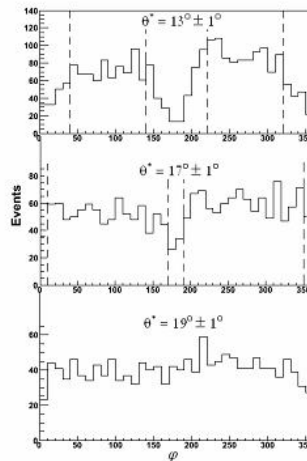


Рис. 2. Распределения по азимутальному углу φ для разных углов

Источник поляризованных дейтронов "Полярис" [7] обеспечивал дейтроны с теоретическими значениями векторной и тензорной поляризации: $(P_2, P_{22}) = (+2/3, 0)$, $(-2/3, 0)$ – поляризованные моды и $(0, 0)$ – неполяризованная мода. Эти состояния чередовались в циклах ускорителя, соответствующие метки передавались на регистрирующую аппаратуру камеры. События отбирались на просмотрных столах, измерялись на полуавтоматах и автомате HPD в ОИЯИ. Математическая обработка проводилась с помощью адаптированных программ THRESH [8] (геометрическая реконструкция) и GRIND [9] (кинематическая идентификация) CERN, а также цепочки вспомогательных программ для отбора реакций и записи результатов на DST (ленту суммарных результатов). События классифицировались по результатам программы кинематической идентификации (GRIND) с использованием данных по оценке ионизационных потерь. В каждый кадр пленки впечатывалась с помощью информационного табло необходимая для последующей обработки служебная информация. В частности, при работе в пучке поляризованных дейтронов, впечатывалась в закодированном виде приходившая в каждом цикле ускорения с источника поляризованных частиц "ПОЛЯРИС" информация о состоянии поляризации. В нашем случае – векторной. Эта информация сохранялась для каждого события и на DST.

Дейтронная поляризация вычислялась из анализа азимутальной асимметрии нуклонов отдачи при квазисвободном рассеянии на протонной мишени. Анализ проводился как для всех событий, так и для событий в области малых переданных импуль-



сов ($k < 0.065$ GeV/c), т.к. в последней дейтронная и нуклонная векторные поляризации приблизительно равны. Полученное значение дейтронной поляризации равнялось $P_z^d = 0.488 \pm 0.061$ [10].

2. Обработка данных

Значения для векторной анализирующей способности A_y находились путем обработки событий, соответствующих разным состояниям поляризации пучка дейтронов (таким состояниям соответствуют моды поляризации 1 и 2). Распределение по углу рассеяния θ^* в системе центра масс представлено на рис. 1.

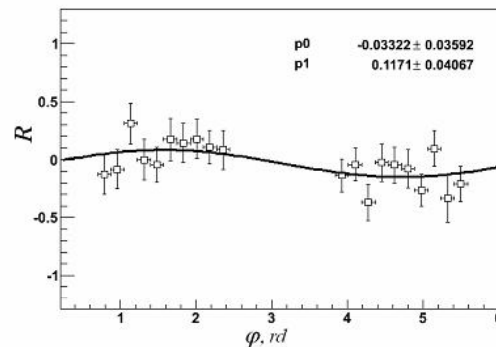


Рис. 3. Распределение величины R по азимутальному углу φ для значений угла рассеяния $12^\circ < \theta < 14^\circ$

Рабочая часть спектра разбивалась на последовательные интервалы (бины). Число событий в каждом интервале нормировалось на ширину последнего. Для каждого интервала было построено распределение по азимутальному углу φ . Для малых углов рассеяния θ^* существенны потери событий (рис. 2), обусловленные тем, что на стадии просмотра треки протонов отдачи с импульсами меньше 80 МэВ/с уже не видны в камере. Кроме того, имеют место азимутальные потери, связанные с оптикой камеры [11]. В этой области исключались интервалы, соответствующие потерянными событиями. Исключение по интервалам проводилось симметрично относительно значений $\varphi = 0^\circ$ и $\varphi = 180^\circ$. Оставшиеся события использовались для вычисления дифференциального сечения и анализирующей способности.

Для каждого выбранного интервала по углу производилось вычисление величины R :

$$R = \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2}, \quad (1)$$

где N_1 и N_2 – числа событий для значений спиновых мод 1 и 2 соответственно. Аппроксимация полученных данных производилась функцией вида $p_0 + p_1 \sin(\varphi)$. На рис. 3, в каче-



стве примера, приведено распределение по азимутальному углу для углов $12^\circ < \theta^* < 14^\circ$ в с.ц.м.

Для каждого интервала распределения по θ^* были получены значения параметров p_0 и p_1 аппроксимирующей функции $p_0 + p_1 \sin(\varphi)$. Параметр p_0 имеет смысл так называемой фальшивой асимметрии. Оценочное значение фальшивой асимметрии, полученное аппроксимированием значений параметра p_0 , не превышает 5% и составляет $p_0 = -0.025 \pm 0.014$. Параметр p_1 связан с анализирующей способностью A_y выражением:

$$A_y = \frac{2 p_1}{3 p_y}, \quad (2)$$

где векторная поляризация пучка $p_y = 0.488 \pm 0.061$ [11].

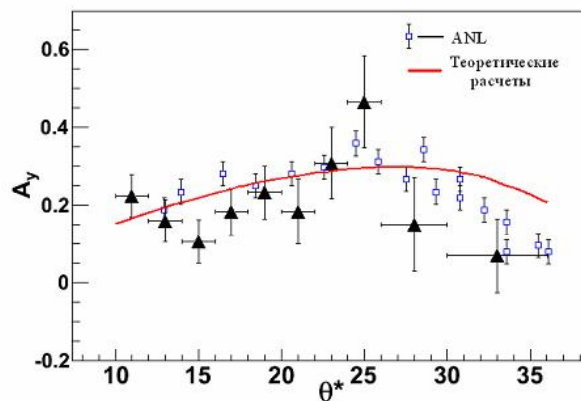


Рис. 4. Анализирующая способность A_y реакции d - p -упругого рассеяния при энергии 2 ГэВ. Сплошные символы – результаты данного эксперимента, открытые – данные, полученные в ANL [12]. Линия – результаты расчетов в рамках модели многократного рассеяния [13]

Полученные значения для векторной анализирующей способности A_y представлены на рис. 4. Они с достаточной точностью согласуются с данными, полученными в ANL [12], и с расчетами теории [13].

Для вычисления сечения реакции d - p -упругого рассеяния использовались события, полученные как с поляризованных, так и неполяризованных пучков дейтронов. Проводился анализ распределения по косинусу угла рассеяния θ^* в системе центра масс. Для каждого интервала $\Delta\theta^*$ брался соответствующий интервал $\Delta \cos \theta^*$ (рис. 5.6). Затем проводилась нормировка на ширину интервала $\Delta \cos \theta^*$. Сечение реакции вычислялось по формуле:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{1}{2\pi} N(\cos \theta^*) \frac{A}{\Delta \cos \theta^*}, \quad (3)$$



где $A = 0.0003342 \pm 0.0000007$ [мб/событие] – миллибарн-эквивалент события [14], $\Delta \cos \theta^*$ – ширина интервала в распределении числа событий по косинусу угла рассеяния θ^* .

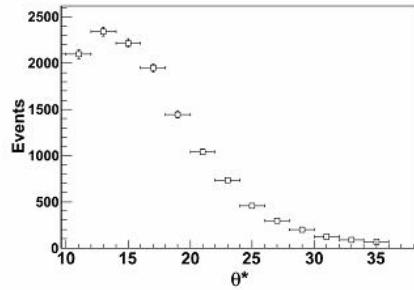


Рис. 5. Распределение событий по углу рассеяния θ^*

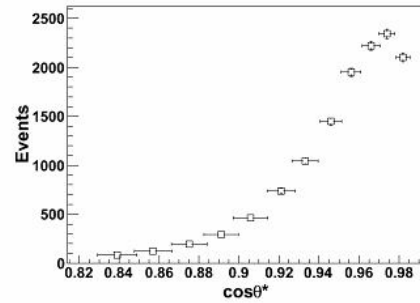


Рис. 6. Распределение событий по $\cos \theta^*$

С увеличением угла рассеяния θ^* уменьшается отклонение от изотропии. При $\theta^* > 20^\circ$ распределение становится изотропным. В распределении по азимутальному углу φ исключались бины, соответствующие потерянным событиям. Исключение проводилось в тех же пределах, что и при вычислении анализирующей способности A_y .

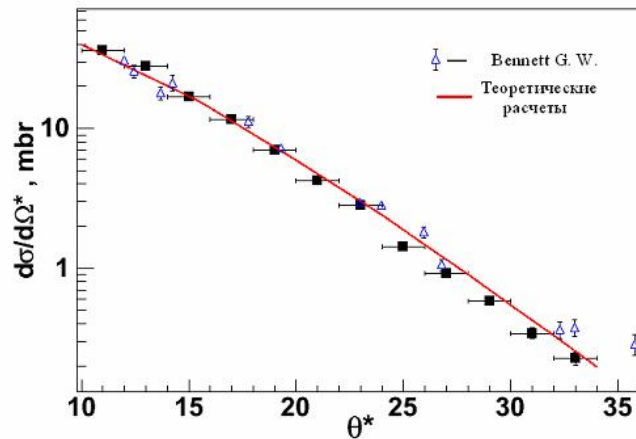


Рис. 7. Дифференциальные сечения в с.д.м. Сплошные символы – результаты данного эксперимента, открытые символы – данные работы [15], сплошная линия – результаты теоретических расчетов [13]

Полученные значения сечения реакции в зависимости от угла θ^* сравнивались с



мировыми данными [15], а также с теоретическими расчетами, выполненными в рамках релятивистской модели многократного рассеяния и, как видно из рис. 7, находятся в хорошем согласии.

Заключение

Получены значения по векторной анализирующей способности и сечению реакции упругого dp -рассеяния при энергии 2 ГэВ в угловом диапазоне $10^\circ < \theta^* < 34^\circ$ в с.д.м. Проведено сравнение с мировыми данными и с теоретическими расчетами, выполненными в рамках релятивистской модели многократного рассеяния. Выявлено хорошее согласие теоретических и экспериментальных значений.

Литература

1. Day D. et al. // Phys.Rev.Lett. – 1979. – 43. – P.1143.
2. Lehar F. // RNP: from Hundreds of MeV to TeV. 2001. V. 1. P. 36.
3. Sakai H. et al. Precise measurement of dp elastic scattering at 270 MeV and three-nucleon force effects // Phys Rev Lett. – 2000. – 162. – P.143.
4. Coon S.A. et.al. // Nucl.Phys. – 1979. – A317. – P.242.
5. Sakamoto N. et al. Measurement of the vector and tensor analyzing powers for the dp elastic scattering at $E_d = 270$ MeV // Phys. Lett. – 1996. – B.367. – P.60-64.
6. Kurilkin P.K. et al. Measurement of the vector and tensor analyzing powers in dp elastic scattering at the energy of 880 MeV // European Physical Journal. Special Topics. – 2008. – 162. – P.137-141.
7. Anishchenko, et al. AIP Conf. Proc. – 95 (1983). – P.445.
8. CERN T.C.Program Library, sec. THRESH, 1.3. – 1966.
9. CERN T.C.Program Library, sec. GRIND, 30.10. – 1968.
10. Glagolev V.V. et al. The deuteron D-state probability // Zeitschrift fur Physik. – 1996. – A 356. – P.183-186.
11. Глаголев В.В. Оптика метровой водородной пузырьковой камеры // препринт ОИЯИ.
12. Haji Saica M. // Phys. Rev. – 1987. – C36. – P.2010.
13. Ladygina N.B. Measurement of the vector and tensor analyzing powers in dp elastic scattering at the energy of 880 MeV // European Physical Journal. Special Topics. – 2008. – 162. – P.137-141.
14. Bugg D.V. et al. Nucleon-Nucleon Total Cross Sections from 1.1 to 8 GeV/c // Phys. Rev. Lett. – 1996. – 146. – P.980-992.



15. Bennett G. W. et al. Proton-deuteron scattering at 1 BeV // Phys. Rev. Lett. – 1976. – 19. – P.387-390.

DIFFERENTIAL CROSS SECTION
AND VECTOR ANALYZING POWER
IN D-P ELASTIC SCATTERING AT 2.0 GeV

A.A. Terekhin ^{1),2)*}, V.V. Glagolev²⁾, V.P. Ladygin²⁾, N.B. Ladygina²⁾

¹⁾ Belgorod State University,
Studencheskaja St., 14, Belgorod, 308007, Russia

²⁾ Joint Institute for Nuclear Researches,
Zholtov-Khuri St., 6, Dubna, 141980, Russia, * e-mail: taa@uc.jinr.ru

Abstract. The results of measurements as well as handling procedure for the data on the angular dependence of the vector analyzing powers A_y and differential cross section for dp-elastic scattering at $E_d = 2$ GeV are reported. The obtained data are in good agreement with the existing data and theoretical calculations made in the framework of the relativistic multiple scattering model.

Key words: elastic dp-scattering, differential cross-section, analysis possibility.