

Федеральное государственное бюджетное учреждение  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова»

---

УДК 539.12

На правах рукописи

КИСЕЛЁВ Александр Юрьевич

**Исследование поляризации в реакции (p, 2p)  
с протонами S-оболочек ядер  ${}^6\text{Li}$ ,  ${}^{12}\text{C}$ ,  ${}^{28}\text{Si}$  и  ${}^{40}\text{Ca}$   
при энергии 1 ГэВ**

01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата физико-математических наук

Гатчина  
2012

Работа выполнена в Отделении физики высоких энергий Федерального государственного бюджетного учреждения «Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова».

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук  
О. В. Миклухо,  
ФГБУ «ПИАФ».

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,  
профессор Я. А. Бердников,  
ФГБОУ ВПО «СПбПУ»,  
кандидат физико-математических наук  
В. П. Кондратьев,  
ФГОУ ВПО «СПбГУ».

Ведущая организация: Лаборатория физики высоких энергий  
ОИЯИ, Дубна.

Защита состоится «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2012 г. в \_\_\_\_ часов  
на заседании диссертационного совета Д-002.115.01 при  
ФГБУ «ПИАФ» по адресу: 188300, Ленинградская область, г. Гатчина,  
Орлова роща.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБУ «ПИАФ».

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2012 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

И. А. Митропольский

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы

Возможная модификация внутренних свойств нуклонов, промежуточных бозонов и, как следствие, параметров нуклон-нуклонного взаимодействия в ядерной среде является одним из важных предметов исследования в современной ядерной физике.

Около 30 лет назад в экспериментах по глубоко неупругому рассеянию мюонов на ядрах дейтерия и железа в CERN было установлено, что зависимость отношения структурных функций нуклонов  $F_2^N(Fe)/F_2^N(D)$  от переменной скейлинга  $x_{Bj}$  не согласуется с представлениями о ядре как о системе слабо связанных нуклонов, внутренние свойства которых идентичны свойствам нуклонов в свободном состоянии (т. н. *EMC*-эффект [1]).

Существуют различные теоретические модели, предсказывающие модификацию свойств адронов (масс, размеров, констант взаимодействия) в ядерной среде. В рамках квантовой хромодинамики (*QCD*) модификация масс нуклонов и мезонов может быть следствием частичного восстановления киральной симметрии.

Одним из экспериментальных способов исследования влияния ядерной среды на свойства адронов является изучение квазиупругого рассеяния протонов на ядрах. При высоких энергиях протонного пучка ( $\geq 100$  МэВ) механизм этой реакции хорошо описывается в рамках импульсного приближения с искажёнными волнами. Реакция в этом случае может рассматриваться как *pp*-рассеяние в поле ядерных сил.

На рубеже 90-х годов прошлого столетия было проведено несколько экспериментов по инклюзивному квазиупругому рассеянию поляризованных протонов на ядрах [2–4], в которых было обнаружено заметное падение анализирующей способности  $A_y$  и поляризации вторичных протонов по сравнению с предсказаниями, сделанными в рамках нерелятивистского импульсного приближения с искажёнными волнами (*DWIA*). Учёт релятивистских поправок к этому приближению, обусловленных модификацией масс нуклонов в ядерном веществе [5], позволил улучшить описание широкого набора экспериментальных данных.

Исследование *эксклюзивного* квазиупругого рассеяния на ядрах в реакциях типа (*p*, *2p*) имеет существенные преимущества, поскольку

кинематика реакции в этом случае строго определена. Для рассматриваемой задачи это даёт возможность отбирать события, связанные с рассеянием на  $S$ -оболочках ядер (отсутствует т. н. эффективная поляризация, затрудняющая модельное рассмотрение) при нулевом импульсе ядра остатка (кинематика близка к свободному  $pp$ -рассеянию; есть возможность модельной оценки ядерной плотности [6]). Первые такие эксперименты были поставлены в научных центрах RCNP [6] и TRIUMF [7] около 15 лет назад и показали, что анализирующая способность  $A_y$  падает с ростом плотности ядерной материи в эффективной области  $pp$ -взаимодействия.

К моменту начала эксперимента (2000 г.), описываемого в диссертации, наблюдался значительный дефицит данных, необходимых для дальнейшего развития теоретических моделей.

### **Основная цель работы**

Цель данного эксперимента состояла в одновременном измерении поляризации обоих вторичных протонов в реакции  $(p, 2p)$  с протонами  $S$ -оболочек ядер на синхроциклотроне ПИЯФ при энергии 1 ГэВ. Набор исследуемых ядер выбирался так, чтобы обеспечить разную среднюю плотность ядерной материи в эффективной области  $pp$ -взаимодействия в широком диапазоне изменения энергии связи протона ядра. Эксперимент в Гатчине при энергии 1 ГэВ был нацелен на исследование природы поляризационных эффектов, обнаруженных ранее в RCNP и TRIUMF при меньших энергиях протонного пучка.

### **Научная новизна работы**

Впервые выполнено измерение поляризации в реакции  $(p, 2p)$  на ядрах при энергии 1 ГэВ, существенно превосходящей энергии поляризованных протонных пучков в RCNP (392 МэВ) и TRIUMF (504 МэВ). При более высоких энергиях реакция  $(p, 2p)$  с большей степенью достоверности может рассматриваться как протон-протонное рассеяние в ядерной среде. В отличие от указанных выше более ранних экспериментов, нацеленных главным образом на измерение *анализирующей способности* рассеяния, в данной работе измерялись *поляризации обоих вторичных протонов* в конечном состоянии реакции  $(p, 2p)$ . В условиях несимметричной по углам вылета и энергиям вторичных протонов

кинематики реакции сравнение наблюдаемой поляризации лидирующего протона и протона отдачи даёт дополнительную информацию для проверки применимости различных физических моделей.

### **Научная и практическая ценность работы**

Основные физические выводы работы подтвердили наблюдения, сделанные по результатам экспериментов в RCNP и TRIUMF при меньших энергиях протонного пучка. Падение поляризации вторичных протонов в реакции ( $p$ ,  $2p$ ) с ростом плотности ядерной материи в эффективной области  $pp$ -взаимодействия и энергии связи протона ядра, описываемое для лидирующего протона в рамках релятивистского приближения с учётом модификации дираковских спиноров взаимодействующих нуклонов в ядерном веществе, указывает на наличие нетривиального эффекта ядерной среды. Вместе с тем обнаружено, что поляризации лидирующего протона и протона отдачи отличаются друг от друга, причём величина этого отличия растёт с ростом энергии связи протона ядра. Данный эффект не описывается в рамках существующих моделей.

Разработанное программное обеспечение системы считывания информации (DAQ) и анализа данных используется в других экспериментах на синхротронном ПИЯФ (исследование поляризации в упругом и квазиупругом рассеянии протонов на ядре  ${}^4\text{He}$  в 2004–2008 гг.; измерение корреляционного параметра  $C_{nn}$  в упругом  $pp$ -рассеянии и реакции ( $p$ ,  $2p$ ) на ядрах  ${}^4\text{He}$  и  ${}^{12}\text{C}$  в 2007–2009 гг.; испытание прототипов сцинтилляционных счётчиков для эксперимента PANDA в 2009 г.).

Программный код для обслуживания системы считывания пропорциональных камер CROS3 был интегрирован в DAQ эксперимента OLYMPUS в научном центре DESY (Гамбург) и успешно использован в первом физическом сеансе на ускорителе DORIS в начале 2012 г.

Часть алгоритмов анализа данных была использована в трековой реконструкции эксперимента HERMES в DESY и Monte-Carlo-моделировании установки в эксперименте OLYMPUS. Одним из примеров является способ получения информации о распределении вещества вдоль траектории вторичных протонов путём «сканирования» геометрической базы данных эксперимента с использованием интегрированных в программу обработки данных функций пакета GEANT3.

### **Апробация работы**

Результаты работы докладывались на следующих международных научных конференциях: “14th International Spin Physics Symposium”, Osaka 2000; “Nuclear Physics in 21st Century”, Berkeley 2001, на международном совещании “1st International Workshop on Quasi-Free Scattering with Radiative Ion Beams” (А. Ю. Киселёв) в Тренто в 2008 году, а также на семинарах ОФВЭ ПИЯФ.

Работа выполнялась при поддержке гранта Президента Российской Федерации для научных школ № 3383.2010.2, гранта Министерства образования, науки, спорта и культуры Японии, а также гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 02-02-17142.

### **Структура и объём работы**

Диссертация состоит из введения, шести глав и заключения. Общий объём работы составляет 119 страниц, включая 35 рисунков и 19 таблиц. Библиография содержит 78 ссылок.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **Введение**

Сделан исторический обзор вопросов, связанных с возможной модификацией свойств адронов в ядерной среде. Рассмотрены теоретические предпосылки данного явления и имеющиеся экспериментальные результаты. Подчёркнута актуальность темы и необходимость проведения дополнительных исследований для дальнейшего развития физических моделей.

### **Глава 1. Экспериментальная установка**

Сформулированы требования к установке, необходимой для проведения корреляционных экспериментов данного типа. Описана структура двухплечевого магнитного спектрометра, использованного в настоящей работе (см. рис. 1). Подробно рассмотрена временная структура протонного пучка синхроциклотрона ПИЯФ, определявшая методику набора и обработки данных. Описаны использовавшиеся в эксперименте мишени. Приведены основные параметры фокусирующих магнитных спектрометров МАП и НЭС, регистрировавших лидирующий протон и протон

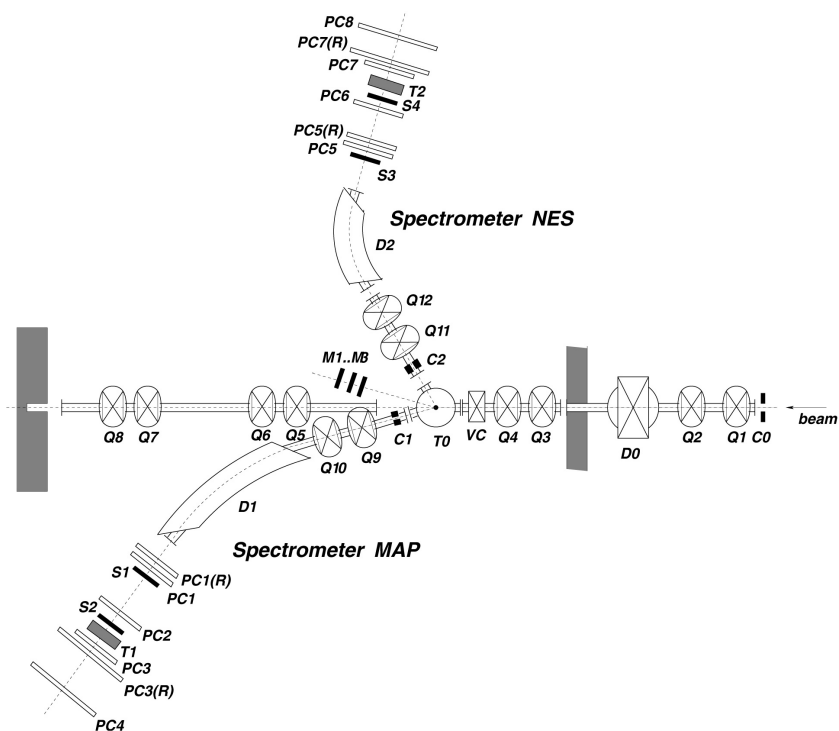


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:  $Q1 \div Q12$  – квадрупольные линзы,  $C0 \div C2$  – коллиматоры,  $D0 \div D2$  – дипольные магниты,  $T0$  – мишень,  $PC1 \div PC8$  – пропорциональные камеры,  $T1 \div T2$  – углеродные анализаторы,  $S1 \div S4$  – сцинтилляционные счётчики

отдачи в реакции ( $p$ ,  $2p$ ). Рассмотрено устройство времяпролётной системы эксперимента и монитора светимости, а также поляриметров в каналах спектрометров МАП и НЭС.

Более подробно освещены вопросы, связанные с организацией электронно-измерительной системы эксперимента, логики триггера первого уровня и системы считывания. Приведена блок-схема электроники эксперимента. В деталях рассмотрены проблемы, связанные с необходимостью набора данных в условиях высокой фоновой загрузки от инклюзивных процессов. Рассмотрены методы, использованные для увеличе-

ния производительности системы считывания, позволившие добиться требуемого по условиям эксперимента быстродействия. Описана система контроля за набором данных в процессе эксперимента.

## **Глава 2. Методика обработки экспериментальных данных**

Описана общая структура использовавшегося в обработке результатов эксперимента программного обеспечения. Подробно рассмотрены алгоритмы реконструкции событий и измерения поляризации вторичных протонов в упругом  $pp$ -рассеянии и в реакции ( $p$ ,  $2p$ ).

Треки вторичных протонов в фокальной зоне спектрометров восстанавливались по координатной информации с пропорциональных камер, установленных перед блоками углеродных анализаторов (см. рис. 1). По этим трекам с использованием полученных по результатам Monte-Carlo моделирования параметров оптики спектрометров, реконструировались импульсы протонов в точке взаимодействия в мишени.

Величина энергии протонного пучка, растущая в процессе вывода из ускорителя, определялась по оригинальной методике путём привязки к высокой частоте ускорителя с использованием временной структуры событий от фона случайных совпадений.

Кинематика реакции рассчитывалась по параметрам протонного пучка и реконструированным магнитными спектрометрами трекам вторичных протонов. Разрешение по энергии отделения протонов ядра составляло в эксперименте  $\sigma_{dE} \sim 2,0 \div 2,5$  МэВ в зависимости от размеров мишеней.

Одно из ключевых мест в описании отведено измерению разности времён пролёта в каналах спектрометров МАП и НЭС как основному критерию подавления фоновых событий. Достигнутое в эксперименте разрешение по этой величине составило  $\sigma_{ToF} \sim 200 \div 250$  пс.

Особое внимание уделено оценке поляризации протонов по азимутальной асимметрии вторичного рассеяния на углеродных анализаторах. Треки протонов после рассеяния восстанавливались по координатной информации с пропорциональных камер, установленных за анализаторами. Анализ проводился с использованием функций пакета MINUIT из библиотеки CERNLIB, интегрированных в программу обработки данных, и т. н. likelihood-статистики  $\chi^2_\lambda$  [8]. Измеренное азимутальное распределение фитировалось функциональной зависимостью



$\sim 1 + \epsilon_x \cos \phi + \epsilon_y \sin \phi$ , где  $\phi$  – азимутальный угол рассеяния,  $\epsilon_x$  – асимметрия в горизонтальном направлении, пропорциональная измеряемой поляризации. Более высокие гармоники не требовались при фитировании по крайней мере до уровня статистической ошибки величины поляризации  $\leq 0,005$ .

Подробно рассмотрены принципы учёта фона случайных совпадений и оптимизации статистической ошибки измерения путём разбиения событий на группы с разным соотношением сигнал/фон по имеющимся критериям отбора.

Рассмотрена процедура выстройки пропорциональных камер поляриметров, осуществлявшаяся по оригинальной методике, с использованием треков протонов, претерпевших многократное кулоновское рассеяние на малые углы на материале анализаторов.

### **Глава 3. Моделирование установки методом Monte-Carlo**

Описаны структура программного обеспечения и основные результаты моделирования, проводившегося с использованием пакета GEANT3.

По результатам моделирования представлены общие характеристики спектрометров (геометрический аксептанс, ожидаемое разрешение по реконструируемым параметрам при использовавшихся в эксперименте размерах мишеней и расположении регистрирующих детекторов).

Приведены оценки разрешения по корреляционным параметрам (энергия отделения, вертикальная координата точки взаимодействия в мишени) в сравнении с реально наблюдавшимися в анализе данных величинами.

Описана процедура подстройки параметров установки, в частности нормировки магнитных полей спектрометров, по результатам сравнения моделированных и измеренных в эксперименте данных в упругом  $pp$ -рассеянии.

Рассмотрена методика получения информации о распределении вещества вдоль траектории вторичных протонов, необходимой для оценки ионизационных потерь.

Представлена Monte-Carlo-методика извлечения параметров оптики магнитных спектрометров, требующихся для работы алгоритмов трековой реконструкции.

#### Глава 4. Представление экспериментальных данных

Приведены результаты калибровочных измерений поляризации в упругом  $pp$ -рассеянии, проводившихся несколько раз в течение каждого сеанса. Сделан вывод, что при использовании общепринятых параметризаций анализирующей способности поляриметры МАП и НЭС несколько завышали измеренное значение поляризации по сравнению с предсказанием текущего фазового анализа SP07 [9]. Кроме того, наблюдались небольшие, порядка  $\pm 0,015$  по абсолютной величине, флуктуации от сеанса к сеансу. В целях устранения связанной с этим систематической ошибки калибровка в упругом  $pp$ -рассеянии использовалась для перенормировки параметризаций анализирующей способности согласно данным фазового анализа при оценке поляризации в реакции  $(p, 2p)$ .

Представлены спектры по энергии отделения протона ядра для всех мишеней (см. в качестве примера рис. 2).

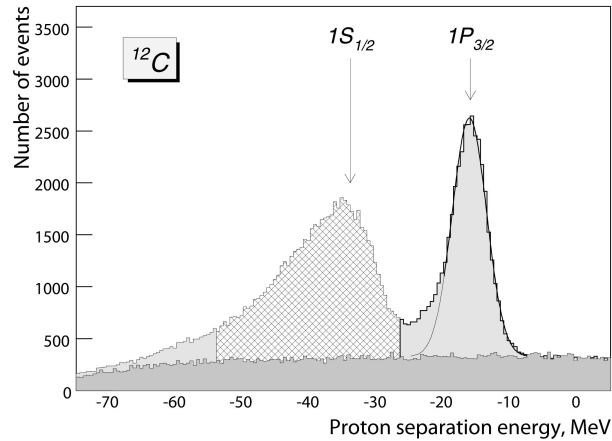


Рис. 2. Спектр по энергии отделения протона в реакции  $(p, 2p)$  на мишени  $^{12}\text{C}$ . Подложка от фона случайных совпадений выделена более тёмным цветом. Указано положение  $S$ - и  $P$ -оболочек. Диапазон спектра, использованный для анализа в данной работе, заштрихован

Для каждой серии измерений приведены полученные данные по поляризации в реакции  $(p, 2p)$  с протонами  $S$ -оболочек исследованных

ядер. Даны характеристики использовавшихся мишеней и кинематические условия эксперимента. Проведён статистический анализ совместности данных, набранных в одинаковых условиях, но в разных сеансах измерения. Сделан вывод, что существенных систематических отклонений не обнаружено.

## **Глава 5. Исследование систематической неопределённости измерения поляризации**

Подробно рассмотрены возможные источники систематической ошибки в поляризационном эксперименте.

Зависимость измерения поляризации от входного акцептанса спектрометров МАП и НЭС исследовалась посредством проведения специальных методических измерений в упругом  $pp$ -рассеянии, в которых вторичные протоны фокусировались в разные области фокальных плоскостей спектрометров. Сделан вывод, что связанной с этим эффектом систематической ошибки не наблюдается.

Точность выстройки пропорциональных камер оценивалась по величине отклонения средних планарных углов многократного кулоновского рассеяния от  $0,000^\circ$ . Установлено, что связанная с выстройкой систематическая ошибка определения поляризации не превышала  $\pm 0,003$  и  $\pm 0,001$  для поляриметров МАП и НЭС соответственно.

Эффективность камер оценивалась путём использования треков вторичных протонов, отклонившихся на малые углы в результате многократного кулоновского рассеяния на веществе анализаторов и была постоянной для каждой плоскости в пределах  $\sim 0,1\%$  в течение одного сеанса.

Стабильность работы установки в длительных сеансах на мишенях  $^{12}\text{C}$  и  $^{28}\text{Si}$  контролировалась по постоянству величины поляризации инклюзивных событий, составлявших большую часть набираемой статистики.

Суммарная систематическая ошибка измерения, оцененная по результатам проведённых исследований, составила  $\pm 0,015$  для обоих поляриметров.

## Глава 6. Анализ результатов эксперимента

На рис. 3 приведены измеренные значения поляризации вторичных протонов в реакции  $(p, 2p)$  с протонами  $S$ -оболочек ядер и результаты расчётов с использованием различных моделей рассеяния.

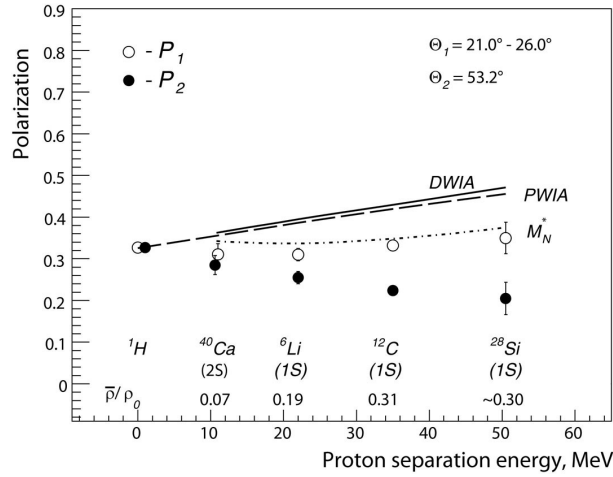


Рис. 3. Поляризация лидирующего протона ( $P_1$ ) и протона отдачи ( $P_2$ ) в реакции  $(p, 2p)$  при переданных импульсах  $q \sim 3, 2 \div 3, 7 \text{ фм}^{-1}$  как функция энергии связи протона ядра. Указана эффективная ядерная плотность в области  $pp$ -взаимодействия для каждого исследованного ядра в единицах плотности насыщения ядерной материи  $\rho_0 \sim 0, 19 \text{ фм}^{-3}$ . Нанесённые кривые соответствуют импульсному приближению с плоскими ( $PWIA$ ) и искажёнными ( $DWIA$ ) волнами, а также описанной в тексте модели  $DWIA^*$ , в которой массы взаимодействующих нуклонов преобразуются в зависимости от ядерной плотности ( $M_N^*$ )

Нерелятивистское рассмотрение в рамках импульсного приближения с плоскими волнами ( $PWIA$ ), основанное на параметрах свободного  $pp$ -рассеяния, не в состоянии описать экспериментальные данные. При этом расчёт в рамках импульсного приближения с искажёнными волнами ( $DWIA$ ) даёт лишь незначительную поправку к результатам, полученным с использованием  $PWIA$ . Это свидетельствует о малости тривиального эффекта ядерной среды – деполаризации вторичных протонов в результате протон-нуклонных перерассеяний.

Нерелятивистская модель  $DWIA^*$  с учётом релятивистских поправок, обусловленных модификацией дираковских спиноров взаимодействующих нуклонов в ядерном веществе (кривая  $M_N^*$  на рис. 3), даёт хорошее описание экспериментальных данных по поляризации лидирующего протона в реакции  $(p, 2p)$  с ядрами.

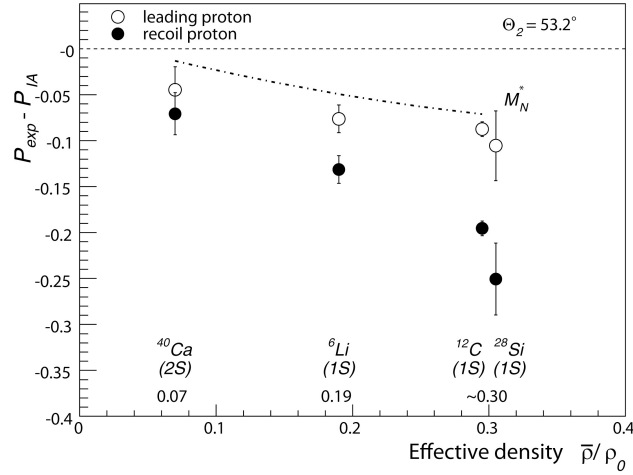


Рис. 4. Отклонение измеренной в эксперименте поляризации  $P_{exp}$  от импульсного приближения с плоскими волнами  $P_{IA}$  для спектрометров МАП и НЭС. Нанесённая кривая соответствует модели ( $M_N^*$ ) на рис. 3

На рис. 4 приведена величина разности экспериментальных значений поляризации и расчётов в рамках  $PWIA$  в зависимости от эффективной ядерной плотности  $\bar{\rho}/\rho_0$  в области  $pp$ -взаимодействия. Модель  $DWIA^*$  в целом удовлетворительно описывает данные по поляризации лидирующего протона в реакции  $(p, 2p)$  на ядрах. Данные для протона отдачи в реакции  $(p, 2p)$  не описываются в рамках существующих на сегодняшний день моделей модификации свойств адронов в ядерной среде.

При расчётах в рамках  $PWIA$  использовалась текущая параметризация фазового анализа SP07 [9]. Расчёты в рамках  $DWIA$ , включая  $DWIA^*$  с релятивистскими поправками, проводились с помощью

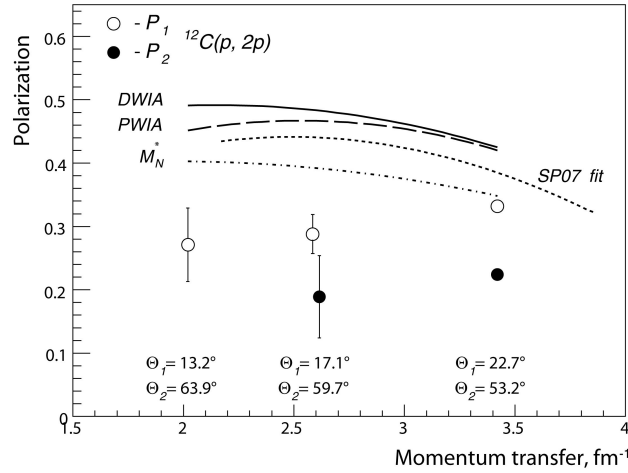


Рис. 5. Поляризация лидирующего протона ( $P_1$ ) и протона отдачи ( $P_2$ ) в реакции ( $p, 2p$ ) на ядре  $^{12}C$  при различной величине переданного импульса  $q$  в единицах  $fm^{-1}$ . Пунктирная кривая соответствует поляризации в упругом  $pp$ -рассеянии, рассчитанной с помощью текущего фазового анализа SP07 [9]. Остальные кривые те же, что и на рис. 3

компьютерного кода THREEDEE [10]. Методика оценки эффективной плотности изложена в работе [6].

На рис. 5 приведены данные по поляризации в реакции ( $p, 2p$ ) на ядре  $^{12}C$  в диапазоне переданных импульсов  $q \sim 2, 0 \div 3, 4 fm^{-1}$ . Видно, что модель  $DWIA^*$  с модификацией только масс нуклонов неудовлетворительно описывает данные для лидирующего протона при величине переданного импульса  $q \leq 2, 6 fm^{-1}$ . Это может указывать на необходимость учёта модификации свойств не только взаимодействующих нуклонов, но и мезонов – переносчиков сильного взаимодействия [11, 12].

**Заключение** содержит основные результаты проделанной работы, выносимые на защиту:

1) С помощью двухплечевого магнитного спектрометра и поляриметров на основе пропорциональных камер впервые экспериментально измерены поляризации обоих вторичных протонов в реакции ( $p, 2p$ ) с протонами  $S$ -оболочек ядер  $^6Li, ^{12}C, ^{28}Si$  и  $^{40}Ca$  при энергии 1 ГэВ.

2) Разработаны методика и программное обеспечение для быстрого считывания информации с электроники спектрометра, позволившие эффективно регистрировать корреляционные события в реакции  $(p, 2p)$  в условиях высокой фоновой загрузки от инклюзивных процессов. Создан пакет программ для обработки данных эксперимента и моделирования установки методом Monte-Carlo.

3) Установлено, что экспериментально измеренные значения поляризации в реакции  $(p, 2p)$  с протонами  $S$ -оболочек ядер существенно отличаются от предсказываемых в рамках импульсного приближения с использованием параметров свободного протон-протонного рассеяния. Показано, что величина этого отличия определяется плотностью ядерной материи в эффективной области  $pp$ -взаимодействия и коррелирует также с энергией связи протона ядра.

4) Показано, что при больших переданных ядру импульсах ( $q \sim 3,2 \div 3,7$  фм $^{-1}$ ) величина поляризации лидирующего протона может быть описана в релятивистском приближении с учётом модификации дираковских спиноров взаимодействующих нуклонов в ядерной среде. Интерпретировать в рамках этого подхода данные, полученные на ядре  $^{12}\text{C}$  при значениях переданного импульса  $q \leq 2,6$  фм $^{-1}$ , не удаётся.

5) Обнаружено, что поляризации лидирующего протона и протона отдачи в реакции  $(p, 2p)$  существенно отличаются по величине. В рамках нерелятивистского импульсного приближения с искажёнными волнами показано, что это отличие не может быть связано с деполяризацией вторичных протонов, вызванной протон-нуклонными перерассеяниями в ядерной среде.

#### **Опубликованные по теме диссертации работы:**

1) *Miklukho O. V., ..., Kisselev A. Yu. et al.* Study of Nuclear Medium Effects on Polarization in  $(p, 2p)$  Scattering at 1 GeV // Czech. J. Phys. C. 2002. V. 52. P. 293-300.

2) *Andreev V. A., ..., Kisselev A. Yu., Kopytin M. A., Miklukho O. V. et al.* Polarizations for Proton Knockout Reactions from  $S_{1/2}$  Orbits at 1 GeV // Phys. Rev. C. 2004. V. 69. P. 024604.

3) *Miklukho O. V., ..., Kisselev A. Yu. et al.* Investigation of Nuclear Medium Effect on Characteristics of Proton-Proton Scattering at 1 GeV //

PNPI High Energy Physics Division Main Scientific Activities 2002–2006. 2007. P. 184–191.

4) *Miklukho O. V., Kisselev A. Yu. et al.* First Precise Measurement of Polarization Correlation Parameter  $C_{nn}$  in Elastic  $pp$ -Scattering Using Unpolarized Proton Target and Unpolarized 1 GeV Proton Beam // Preprint PNPI-2782. Gatchina, 2008. 29 p.

5) *Miklukho O. V., Kisselev A. Yu. et al.* Measurement of the Polarization Correlation Parameter  $C_{nn}$  in the  $pp$ -Elastic Scattering with an Unpolarized Proton Target and an Unpolarized 1 GeV Proton Beam // Phys. Atom. Nucl. 2010. V. 73, № 6. P. 927.

6) *Miklukho O. V., Kisselev A. Yu. et al.* Polarization and Spin Correlation Parameters in Proton Knockout Reactions from  $S_{1/2}$  Orbits at 1 GeV // <http://arxiv.org> [nucl-ex] 1203.4057v1

## Литература

- [1] *Aubert J. J. et al. (EMC)* // Phys. Lett. B. 1983. V. 123. P. 275.
- [2] *Glashausser C. et al.* // Phys. Rev. Lett. 1987. V. 58. P. 2404.
- [3] *Chan C. et al.* // Nucl. Phys. A. 1990. V. 510. P. 713.
- [4] *Hausser O. et al.* // Phys. Rev. C. 1991. V. 43. P. 230.
- [5] *Horowitz C. J., Iqbal M. J.* // Phys. Rev. C. 1986. V. 33. P. 2059.
- [6] *Hatanaka K. et al.* // Phys. Rev. Lett. 1997. V. 78. p. 1014.
- [7] *Miller C. A. et al.* // Phys. Rev. C. 1998. V. 57. P. 1756.
- [8] *Baker S. and Cousins R.* // NIM. 1984. V. 221. P. 437.
- [9] *Arndt R. A. et al.* // Phys. Rev. C. 2007. V. 76. P. 025209.
- [10] *Chant N. S., Ross P. G.* // Program THREEDEE. 1998. 31 p.
- [11] *Brown G. E., Rho M.* // Phys. Rev. Lett. 1991. V. 66. P. 2720.
- [12] *Krein G. et al.* // Phys. Rev. C. 1995. V. 51. P. 2646.