

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ИНСТИТУТ ФИЗИКИ им. Б. И. СТЕПАНОВА
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ»**

УДК 535.347::539.128.214.2

**РОВБА
АНАТОЛИЙ АНАТОЛЬЕВИЧ**

СПИНОВЫЙ ДИХРОИЗМ ДЕЙТРОНОВ

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц

Минск, 2016

Работа выполнена в Научно-исследовательском учреждении «Институт ядерных проблем» Белорусского государственного университета (НИИ ЯП БГУ)

Научный руководитель: **Барышевский Владимир Григорьевич**
доктор физико-математических наук,
профессор, главный научный сотрудник
лаборатории сильноточной электроники НИИ ЯП
БГУ

Официальные оппоненты: **Левчук Михаил Иванович**
доктор физико-математических наук, главный
научный сотрудник Центра теоретической
физики Института физики им. Б. И. Степанова
НАН Беларуси

Дубовская Ирина Яковлевна
кандидат физико-математических наук, доцент
кафедры ядерной физики Белорусского
государственного университета

Оппонирующая организация: ГНУ «Объединенный институт энергетических
и ядерных исследований – Сосны» НАН
Беларуси

Защита состоится «25» января 2017 в 14.30 на заседании совета по защите
диссертаций Д 01.05.02 при ГНУ «Институт физики им. Б.И. Степанова
Национальной академии наук Беларуси» по адресу: 220072, Минск,
пр. Независимости, 68, тел. 284-04-01.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГНУ «Институт физики
им. Б.И. Степанова Национальной академии наук Беларуси».

Автореферат разослан «23» декабря 2016 г.

Учёный секретарь совета
по защите диссертаций,
кандидат физико-математических наук

Ю. П. Выблый

ВВЕДЕНИЕ

Хорошо известны в оптике явления, обусловленные оптической анизотропией вещества: двойное лучепреломление, эффект Фарадея и Керра, дихроизм и др. Аналогичным образом прохождение через вещество частиц, можно описать с помощью показателя преломления. Более того, для частиц со спином существуют эффекты, аналогичные повороту плоскости поляризации, двойному лучепреломлению и дихроизму в оптике. При этом явления квазиоптической активности вещества обусловлены не только электромагнитным, но и ядерным или слабым взаимодействиями.

Работы в данном направлении были инициированы В. Г. Барышевским и М. И. Подгорецким в 1964 г., предсказавшими квазиоптическое явление ядерной прецессии спина нейтрона, движущегося в веществе с поляризованными ядрами (квазиоптический аналог эффекта Фарадея). Существование данного явления было подтверждено экспериментально группами А. Абрагама и Форте.

В результате выяснилось, что рассматриваемые в оптике эффекты, обусловленные оптической активностью среды, являются лишь частным случаем эффектов, обусловленных когерентным взаимодействием поляризованных частиц с веществом, причем квазиоптические эффекты можно наблюдать и в области высоких энергий. Направление, изучающее подобные квазиоптические эффекты получило название *ядерная оптика поляризованных сред*.

В этой связи особый интерес вызывает квазиоптический эффект двулучепреломления частиц со спином $S \geq 1$, существование которого было предсказано в 1992 г. В. Г. Барышевским. В отличие от фотонов, данный квазиоптический эффект существует даже в однородной изотропной среде и обусловлен внутренней анизотропией частиц со спином $S \geq 1$. В квазиоптическом эффекте двулучепреломления помимо когерентного преобразования поляризации частицы возникает и эффект *спинового дихроизма* (различие в поглощении частиц в состояниях с различными магнитными квантовыми числами). Так для дейтронов эффект спинового дихроизма приводит к возникновению тензорной поляризации у первоначально *неполяризованного* дейтронного пучка, прошедшего через *неполяризованную* мишень.

В настоящей диссертационной работе излагаются результаты первых экспериментов, приведших к обнаружению эффекта спинового дихроизма дейтронов. Приводится разработанная автором диссертации методика экспериментов, анализа данных, а также объяснение полученных результатов. Описаны идеи новых экспериментов в этой области.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами и темами

Исследования, результаты которых вошли в диссертацию, проводились в период с 2003 по 2016 год в Научно–исследовательском учреждении «Институт ядерных проблем» Белорусского государственного университета в рамках следующих НИР:

- ГПФИ «Физика взаимодействий» № гос. рег. 20015195, 2001-2005.
- ГПФИ «Поля и частицы», № гос. рег. 20062606, 2006-2010.
- ГПНИ «Конвергенция», подпрограмма «Физика фундаментальных взаимодействий и плазма», задание 2.3.01.1, № гос.рег. 20111381, 2011-2013.
- ГПНИ «Конвергенция», подпрограмма «Физика фундаментальных взаимодействий и плазма», задание 2.3.04.1, № гос.рег. 20140533, 2014-2015.
- ГПНИ «Конвергенция 2020», подпрограмма «Микромир, плазма, Вселенная», задание 2.3.01, № гос.рег. 20162274, 2016-2020.
- договор БРФФИ-ОИЯИ Ф08Д-004, № гос.рег. 140/2008, 01.04.2008-31.03.2010.

Исследование соответствует пункту 12.2 «Физика фундаментальных взаимодействий, высоких энергий и экстремальных состояний вещества, плазма и ее применение, плазменно-пучковые технологии» перечня приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2011–2015 гг. Диссертация соответствует пункту 8 «Прохождение частиц и ядер через вещество. Ядерная оптика» паспорта специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

Цель и задачи исследования

Целью диссертации является экспериментальное обнаружение явления спинового дихроизма дейтронов, пролетающих через неполяризованное вещество; разработка методов исследования зависящей от спина части амплитуды упругого когерентного рассеяния дейтрона на угол ноль на ядре в области энергий сотни МэВ – несколько ГэВ.

Поставленная цель предполагает решение ряда задач:

1. разработать методику измерения спинового дихроизма дейтронов с энергией 5-20 МэВ для условий экспериментов в Институте ядерной физики Кёльнского университета (ИЯФ КУ);
2. провести эксперименты по обнаружению эффекта спинового дихроизма в составе международных коллабораций в интервале энергий 5-20 МэВ на ускорителе ИЯФ КУ и импульсом 5 ГэВ/с на Нуклотроне ОИЯИ. Дать интерпретацию полученным результатам;
3. разработать метод исследования зависящей от спина мнимой части

амплитуды упругого когерентного рассеяния дейтрона на ядре с помощью изучения времени жизни пучка частиц высокой энергии, вращающегося в накопительном кольце.

Объектом исследования являются спиновые характеристики (вектор поляризации, тензор поляризации) дейтронов, пролетающих через вещество, время жизни и поляризация частиц высокой энергии, вращающихся в накопительном кольце.

Предметом исследований является эффект спинового дихроизма дейтронов, пролетающих через неполяризованное вещество.

Выбор объекта и предмета исследования обусловлен необходимостью обнаружения явления спинового дихроизма дейтронов, которое даёт дополнительную возможность для исследования ядерных взаимодействий в малонуклонных системах.

Научная новизна

Научная новизна диссертации состоит в экспериментальном обнаружении эффекта спинового дихроизма дейтронов, а также разработке экспериментальных методов его измерения. Показано, что в области низких энергий существенное влияние на эффект спинового дихроизма оказывает интерференция кулоновского и ядерного взаимодействий. Полученные результаты являются новыми. Они актуальны для изучения ядерного взаимодействия в малонуклонных системах, а также в связи с активным использованием поляризованных пучков частиц в физике высоких энергий.

Положения выносимые на защиту

1. Методика эксперимента, позволившая обнаружить явление спинового дихроизма дейтронов.
2. Экспериментальное обнаружение эффекта спинового дихроизма частицы со спином $S=1$, проходящей через неполяризованное вещество.
3. Эффект изменения знака спинового дихроизма при прохождении дейтронов с энергией 5-20 МэВ через углеродную мишень, обнаруженный в экспериментах; его теоретическое объяснение интерференцией кулоновского и ядерного взаимодействий дейтрона с ядром.
4. Эффект зависимости времени жизни пучка неполяризованных частиц, вращающегося в накопительном кольце, от величины тензорной поляризации внутренней дейтериевой мишени, позволяющий измерить мнимую часть амплитуды упругого когерентного рассеяния дейтрона на частице на угол ноль для фиксированной энергии.

Личный вклад соискателя

Диссертационная работа отражает личный вклад автора в проведенных исследованиях. Научным руководителем доктором физ.-мат. наук,

профессором В. Г. Барышевским была высказана идея эксперимента, определена область исследований и осуществлялось общее руководство. Совместно с научным руководителем проводилось обсуждение и интерпретация полученных результатов. В процессе проведения международной коллаборацией экспериментов по обнаружению эффекта спинового дихроизма дейтронов с энергией до 20 МэВ автор диссертации отвечал за разработку методического обеспечения и анализ результатов экспериментов, позволивших впервые обнаружить явление спинового дихроизма дейтронов. Результатом эксперимента стало обнаружение эффекта спинового дихроизма дейтронов. Автором диссертации было показано, что в интервале энергий 5-20 МэВ в углеродной мишени спиновый дихроизм изменяет знак и дано объяснение возможной причины такого поведения эффекта. При проведении экспериментов на Нуклотроне ОИЯИ (кроме первого эксперимента) автор участвовал в первичной обработке и интерпретации результатов измерений.

Апробация результатов диссертации

Результаты исследований, включённые в диссертацию, докладывались и обсуждались на следующих конференциях и симпозиумах: Международный семинар «Nonlinear phenomena in complex systems», Минск, Беларусь, 2005; Международное рабочее совещание по релятивистской ядерной физике «RNP2005», ОИЯИ, Россия, 2005; Международные школа-семинары «The Actual Problems of Microworld Physics», Гомель, Беларусь, 2005 и 2013; Кавказско-немецкая школа-семинар по адронной физике «Spin in hadron physics», Тбилиси, Грузия, 2006; Международные симпозиумы по физике спина «SPIN2006» (Киото, Япония, 2006), «SPIN2010» (Юлих, Германия, 2010); Международная конференция по мезон-нуклонной физике и структуре нуклонов «MENU 2007», Юлих, Германия, 2007; Международная конференция по ядерной физике и накопительным кольцам «STORI2011», Фраскати, Италия, 2011; Международная конференция «Ядро-2014», Минск, Беларусь, 2014.

Опубликованность результатов диссертации

Результаты работы опубликованы в 17 научных работах, в том числе 7 статей в рецензируемых журналах [1 – 7] (общий объём 4 авторских листа), 8 статей в сборниках трудов конференций [8 – 15], 1 тезис докладов [16] в материалах конференций и симпозиумов, 1 статья в сборнике научных трудов [17].

Структура и объём диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, 4 глав, заключения, списка использованных источников и 2 приложений. Полный

объём диссертации составляет 136 страниц; работа содержит 50 рисунков на 34 страницах и 4 таблицы на 1 странице, 2 приложения на 25 страницах. Список использованных источников на 7 страницах включает 85 наименований.

Первая глава посвящена обзору эффекта двойного лучепреломления дейтронов, приводятся оценки величины эффекта, указывающие на возможность его экспериментального наблюдения. В главе 2 приводится описание экспериментальной установки и разработанной методики измерения спинового дихроизма дейтронов в углеродной мишени в области энергий 5-20 МэВ. В главе 3 приводятся результаты экспериментов по измерению спинового дихроизма дейтронов в углеродной мишени в области энергий 5-20 МэВ. С целью объяснения полученных на эксперименте результатов проводится анализ явления двойного лучепреломления дейтронов с учётом кулоновского взаимодействия. Глава 4 посвящена исследованию спинового дихроизма в области высоких энергий. В ней представлены оценки спинового дихроизма в этой области энергий и результаты экспериментов, проводившихся в ОИЯИ. В главе рассматривается предложенный новый метод измерения в накопительном кольце мнимой части зависящей от спина амплитуды упругого когерентного рассеяния дейтрона на угол ноль, а также исследуется возможность экспериментального сравнения моделей нуклон-нуклонного взаимодействия посредством измерения эффекта спинового дихроизма дейтронов в мишенях из лёгких ядер.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Во **введении** обосновывается актуальность и сформулированы цели исследования.

В **Главе 1** приводится краткое описание явления двойного лучепреломления дейтронов, аналитический обзор литературы по тематике диссертации, обоснование выбора направления исследований и проведения первых экспериментов по измерению спинового дихроизма дейтронов. Рассмотрена задача о рассеянии системы, состоящей из двух рассеивателей – протона и нейтрона в составе дейтрона, на нуклоне (с учётом спинов). В результате получено значение величины эффекта спинового дихроизма дейтронов порядка 0.01 в области энергий 5–20 МэВ [1, 17], в которой готовился эксперимент по его обнаружению.

Глава 2 является методической. В разделе 2.1 используя показатель преломления дейтрона в мишени, была получена матрица плотности дейтронного пучка в неполяризованной, бесспиновой мишени. На ее основе

были найдены поляризационные характеристики дейтронного пучка после прохождения мишени [6, 8, 15]. В частности, для компоненты тензорной поляризации p_{zz} было получено:

$$p_{zz}(z) \approx \frac{\left(1 - \frac{1}{3}\rho z(2\sigma_0 + \sigma_{\pm 1})\right)p_{zz}^0 - \frac{2}{3}\rho z(\sigma_{\pm 1} - \sigma_0)}{1 - \frac{\rho z}{3}(2\sigma_{\pm 1} + \sigma_0) - \rho z(\sigma_{\pm 1} - \sigma_0)p_{zz}^0}, \quad (1)$$

где z – толщина мишени; ρ – число рассеивателей в 1 см^3 ; $\sigma_{\pm 1}$, σ_0 – полные сечения рассеяния дейтрона в состояниях с $M=\pm 1$ и $M=0$ соответственно; p_{zz}^0 – начальное значение компоненты тензорной поляризации. Из (1) видно, что даже в случае прохождения первоначально неполяризованного дейтронного пучка ($p_{zz}^0 = 0$) через неполяризованную мишень вследствие спинового дихроизма дейтронов появляется тензорная поляризация пучка.

Раздел 2.2 посвящен поляриметрии дейтронов. В разделе 2.3 приводится описание экспериментальной установки в Институте ядерной физики Кёльнского университета (Германия). В разделе 2.3.1 приводится общая план-схема установки. В подразделе 2.3.2 приводится описание источника неполяризованных дейтронов. В подразделе 2.3.3 приводится описание электростатического ускорителя частиц и измерительного канала пучка. В подразделе 2.3.4 приводится описание ${}^3\text{He}$ -поляриметра. Используемый в экспериментах поляриметр имеет пять детекторов, регистрирующих испущенные протоны в ходе реакции $d+{}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He}+p$. Испускание протонов анизотропно и зависит от поляризации дейтронного пучка. Четыре боковых детектора регистрируют протоны, испущенные под углом $\theta=24.5^\circ \pm 2.9^\circ$ относительно оси пучка в направлениях, определяемыми азимутальными углами $\varphi=0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ – соответственно левый (L), верхний (U), правый (R), нижний (D) детектор. Пятый детектор – центральный (F) – расположен на оси пучка и регистрирует протоны, испущенные под углом $\theta \leq 2.6^\circ$. Связь между числом зарегистрированных протонов и p_{zz} компонентой поляризации дейтронного пучка выражается следующим образом:

$$C_k = n l_k \Omega_k E_k \frac{d\sigma_0(24,5^\circ)}{d\Omega} \left(1 + \frac{1}{2} p_{zz} A_{zz}(24,5^\circ)\right), \quad C_F = n l_F \Omega_F E_F \frac{d\sigma_0(0^\circ)}{d\Omega} \left(1 + \frac{1}{2} p_{zz} A_{zz}(0^\circ)\right), \quad (2)$$

где C – число зарегистрированных протонов; $k=L,R,U,D$; n – количество дейтронов; l – толщина ${}^3\text{He}$ -анализатора (в см^2); Ω – апертура детектора; E – эффективность детектора; $d\sigma_0(24,5^\circ)/d\Omega$ и $d\sigma_0(0^\circ)/d\Omega$ – дифференциальные сечения реакции для неполяризованного дейтронного пучка с вылетом протона под углом $\theta=24.5^\circ$ и $\theta=0^\circ$ соответственно; $A_{zz}(24,5^\circ)$, $A_{zz}(0^\circ)$ – соответствующие анализирующие способности реакции с испусканием протона под углом $\theta=24.5^\circ$ и $\theta=0^\circ$. В разделе 2.3 приводится методика

измерения спинового дихроизма дейтронов, разработанная для условий эксперимента [3, 6, 8, 11, 12, 15]. Сущность методики заключается в сравнении отношения числа зарегистрированных протонов боковыми детекторами к центральному C_k/C_F при использовании неполяризованного пучка (опорные измерения) и пучка прошедшего через мишень. Вследствие различной анализирующей способности боковых и центрального детекторов при появлении тензорной поляризации отношение C_k/C_F должно изменяться. Для уменьшения влияния флуктуаций положения и фокусировки пучка, приводящих к систематическим погрешностям, во-первых, проводилось суммирование показаний боковых детекторов, во-вторых, в опорных измерениях на пути пучка устанавливалась тонкая мишень из золота для равномерного заполнения пучком канала коллиматоров. Для лучшего сопоставления результатов, непосредственные измерения поляризации проводились в интервале энергий 5-8 МэВ, в котором анализирующие способности реакции $d+{}^3\text{He}\rightarrow{}^4\text{He}+p$ имеют максимальные абсолютные значения, а отношение дифференциальных сечений $[d\sigma_0(24,5^\circ)/d\Omega]/[d\sigma_0(0^\circ)/d\Omega]$ имеет практически линейную зависимость от энергии. В измерениях с мишенями начальная энергия пучка больше на величину ионизационных потерь в мишени.

Глава 3 посвящена результатам экспериментов по обнаружению спинового дихроизма дейтронов в интервале энергий 5-20 МэВ и их интерпретации. Всего было проведено 2 экспериментальных сеанса в 2003 и 2006 гг. В разделе 3.1 приводится процедура анализа экспериментальных спектров для определения числа зарегистрированных протонов (2). Также приводится разработанный критерий отбора спектров, согласно которому для заключительного этапа анализа были отобраны спектры для углеродных мишеней: C36, C58, C94, C153, C165, C188 и отклонены для мишени C129 (числа обозначают толщину углеродной мишени в мг/см²). Результаты измерения тензорной поляризации представлены на рисунке 1.

Как видно из рисунка 1 для указанных мишеней было обнаружено появление тензорной поляризации у первоначально неполяризованного дейтронного пучка, прошедшего через неполяризованную мишень. Более того, тензорная поляризация меняет знак и изменяется немонотонно с ростом толщины мишени и энергии, что может быть связано с изменением знака спинового дихроизма дейтронов.

С целью объяснения полученного поведения спинового дихроизма в разделе 3.2 рассматривается рассеяние дейтронов на лёгких бесспиновых ядрах с учетом кулоновского взаимодействия. Анализ проводится на основе импульсного и ВКБ приближений взаимодействия дейтрона с ядром.

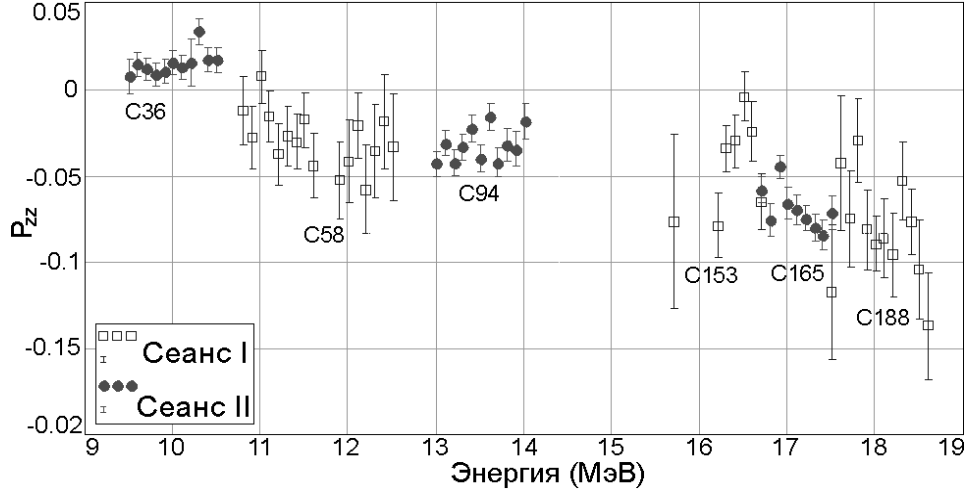


Рисунок 1. – Зависимость приобретенной тензорной поляризации от начальной энергии пучка для различных углеродных мишеней

В результате было получено выражение для зависящей от спина амплитуды упругого когерентного рассеяния на угол ноль [1,5]:

$$d_1 \approx \frac{-ik}{2\pi} \int t_n(\vec{b} - \vec{b}_d/2, z_d) t_p(\vec{b} + \vec{b}_d/2, z_d) \left(|\Psi_{\pm 1}(0, z_d)|^2 - |\Psi_0(0, z_d)|^2 \right) d^2 b d^2 b_d dz_d + \frac{-ik}{2\pi} \int t_n(\vec{b} - \vec{b}_d/2, z_d) t_p(\vec{b} + \vec{b}_d/2, z_d) t_c(\vec{b}, z_d) \left(|\Psi_{\pm 1}(0, z_d)|^2 - |\Psi_0(0, z_d)|^2 \right) d^2 b d^2 b_d dz_z, \quad (3)$$

где $t_n(\vec{b} - \vec{b}_d/2, z_d) = (e^{\chi_n(\vec{b}, \vec{r})} - 1)$, $t_p(\vec{b} + \vec{b}_d/2, z_d) = (e^{\chi_p(\vec{b}, \vec{r})} - 1)$, $t_c(\vec{b}, z_d) = (e^{\chi_c(\vec{b}, \vec{r})} - 1)$,

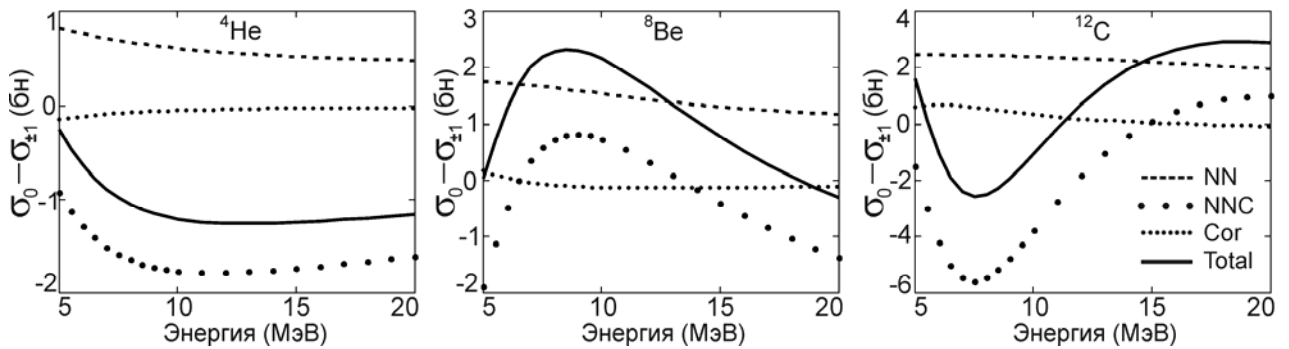
$$\chi_d(\vec{b}, \vec{r}) = \chi_n(\vec{b}, \vec{r}) + \chi_p(\vec{b}, \vec{r}) + \chi_c(\vec{b}, \vec{r}) =$$

$$= \frac{-ik}{E} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{V_n(\vec{b} - \vec{b}_d/2, z, z_d)}{1 + n_{nuc}(\vec{b}, z, \vec{r})} dz + \frac{-ik}{E} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{V_p(\vec{b} + \vec{b}_d/2, z, z_d)}{1 + n_{nuc}(\vec{b}, z, \vec{r})} dz + \frac{-ik}{E} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{V_c(\vec{b}, z)}{2n_{nuc}(\vec{b}, z, \vec{r})} dz,$$

$$n_{nuc}(\vec{b}, z, \vec{r}) = \sqrt{1 - \frac{V_n(\vec{b} - \vec{b}_d/2, z, z_d) + V_p(\vec{b} + \vec{b}_d/2, z, z_d)}{E}}, \quad \vec{r} = \vec{b} + \vec{z}, \quad \vec{r}_d = \vec{b}_d + \vec{z}_d,$$

где $\Psi_{\pm 1}$, Ψ_0 – волновые функции основного состояния дейтрона с $M=\pm 1$ и $M=0$, \vec{r} – вектор расстояния между центрами ядра и дейтрона, \vec{r}_d – вектор расстояния между нуклонами в дейтроне, V_n , V_p , V_c – потенциальная энергия ядерного взаимодействия нейтрона и протона в дейтроне с ядром, а также кулоновского взаимодействия дейтрона с ядром. Как видно амплитуда содержит вклады от интерференции как ядерного взаимодействия протона и нейтрона с ядром, так и их интерференцию с кулоновским взаимодействием. Применив к (3) оптическую теорему можно получить разницу полных сечений $\sigma_0 - \sigma_{\pm 1}$ рассеяния дейтрона в состояниях с $M=0$ и $M=\pm 1$. Результаты расчета $\sigma_0 - \sigma_{\pm 1}$ для ядер ${}^4\text{He}$, ${}^8\text{Be}$ и ${}^{12}\text{C}$ показаны на рисунке 2. Из рисунка 2 видно, что разность сечений $\sigma_0 - \sigma_{\pm 1}$ обусловленная интерференцией ядерного

взаимодействия нейтрона и протона в составе дейтрона с ядром мишени имеет знак "+" для всех рассмотренных мишеней и энергий. Учёт кулоновского взаимодействия приводит к тому, что разница сечений зависит от энергии дейтронов, при этом возможна смена знака $\sigma_0 - \sigma_{\pm 1}$. Знак разницы сечений, как и ее поведение в целом, зависят от типа ядра мишени. С учетом всех вкладов в рассматриваемой области энергий для ${}^4\text{He}$ -мишени разница сечений $\sigma_0 - \sigma_{\pm 1}$ имеет отрицательное значение. Для ${}^8\text{Be}$ -мишени она имеет положительное значение, а для ${}^{12}\text{C}$ -мишени она меняет знак.



Линия - - - NN – $\sigma_0 - \sigma_{\pm 1}$ обусловленная ядерным взаимодействием, линия ••• NNC – $\sigma_0 - \sigma_{\pm 1}$ обусловленная интерференцией ядерного и кулоновского взаимодействий, линия ••• Cor – поправка в $\sigma_0 - \sigma_{\pm 1}$, линия — Total – сумма всех вкладов

Рисунок 2. – Значения $\sigma_0 - \sigma_{\pm 1}$ при рассеянии дейтронов на ядрах ${}^4\text{He}$, ${}^8\text{Be}$ и ${}^{12}\text{C}$

Подобное поведение наблюдалось и на эксперименте [3, 11, 13]. Отметим, что выражение (3) содержит только вклады от взаимного перерассеяния нуклонов дейтрона на ядре, так как усреднение однократного рассеяния нуклонов на ядре по функции $|\Psi_{\pm 1}(0, z_d)|^2 - |\Psi_0(0, z_d)|^2$ даёт ноль.

Вследствие наличия D -волны в волновой функции основного состояния дейтрона распределение заряда в дейтроне не является сферически симметричным, что приводит к наличию у него квадрупольного электрического момента. Более того, распределение заряда отличается для дейтрона в состояниях с $M = \pm 1$ и $M = 0$. В результате данной асимметрии, можно ожидать дополнительного вклада в амплитуду (3) от кулоновского упругого взаимодействия ядра с электрическим квадрупольным моментом дейтрона. Эта задача рассматривается в разделе 3.2 в борновском приближении путем разложения потенциала ядра в окрестности дейтрона. Отметим некоторые особенности измерения спинового дихроизма, возникающего вследствие упругого рассеяния, в реальном эксперименте. При упругом рассеянии число частиц остаётся постоянным, а спиновый дихроизм приводит к различному рассеянию частиц в различных спиновых состояниях.

Если согласно условиям эксперимента происходит регистрация всех частиц-снарядов, (рассеянных и прошедших), либо все частицы снаряды направляются в поляриметр, то измеренное значение спинового дихроизма будет равно нулю (вследствие сохранения потока частиц для упругого рассеяния). В реальном эксперименте поляриметр имеет некоторую апертуру, поэтому помимо частиц, прошедших через мишень без взаимодействия, частицы, рассеянные под малым углом также попадают в детектор (поляриметр). В результате, величина измеренного спинового дихроизма будет обусловлена рассеянием частиц на угол больший, чем апертура поляриметра. Данное обстоятельство нужно учитывать при изучении спинового дихроизма, обусловленного кулоновским взаимодействием, т. к. дифференциальное сечение кулоновского взаимодействия имеет максимальное значение при малых углах рассеяния. В результате для разницы сечений было получено выражение

$$\sigma_0(E) - \sigma_{\pm 1}(E) \approx -3\pi (CZ_N Z_d)^2 \frac{Q_{zz}^d m_d}{3\hbar^2 E} \left(3 + 2 \ln \left(\frac{\Omega m_d}{2\mu_{dN}} \right) \right), \quad (4)$$

где $C=1.4$ МэВ·фм, Z_N и Z_d – заряд ядра и дейтрона в единицах заряда протона, E – энергия дейтрона, μ_{dN} – приведенная масса дейтрона и ядра, $Q_{zz}^d=0.29$ фм² – электрический квадрупольный момент дейтрона, Ω – апертура поляриметра. Оценка разницы сечений (4) для приведенного выше эксперимента дает значение 18 мбн, что значительно меньше вкладов обусловленных ядерным и интерференцией ядерного и кулоновского взаимодействий. Следует заметить, что вклад (4) в эффект спинового дихроизма растет с ростом заряда ядра.

Глава 4 посвящена теоретическому и экспериментальному изучению эффекта двойного лучепреломления дейтронов в области высоких энергий. Для оценки величины эффекта в подразделе 4.1.1 приводится расчёт амплитуды упругого когерентного рассеяния дейтрона на угол ноль в эйкональном приближении. В качестве потенциалов нуклон-ядерного взаимодействия использовался центральный оптический потенциал. В результате для дейтронного пучка с энергией 1.6 ГэВ и углеродной мишени была получена разница сечений $\sigma_0 - \sigma_{\pm 1} \approx 9$ мб. При прохождении такого пучка через мишень толщиной 150 г/см² приобретенная тензорная поляризация составляет значение порядка 0.04. Величина угла поворота вектора поляризации составляет порядка 0.3°. Величина эффекта спинового дихроизма указывает на возможность его измерения на Нуклотроне ОИЯИ.

В подразделе 4.1.2 показано, что при рассеянии дейтронов на лёгких ядрах величина эффекта двулучепреломления пропорциональна параметру

$$G = \int_0^{\infty} \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \frac{u(r)w(r)}{r^2} - \frac{1}{4} \frac{w(r)^2}{r^2} \right) dr = \frac{\pi}{3} \int_0^{\infty} \left(|\Psi_{\pm 1}(r)|^2 - |\Psi_0(r)|^2 \right) dr, \quad (5)$$

где $u(r)$ и $w(r)$ – радиальные волновые функции S - и D -состояний дейтрона. Параметр G чувствителен к поведению радиальных волновых функций на малых расстояниях. Именно на малых расстояниях различные модели нуклон-нуклонного взаимодействия имеют наибольшие расхождения. Для примера были рассмотрены радиальные волновые функции, полученные с помощью CD-боннского и парижского потенциалов (рисунок 3).

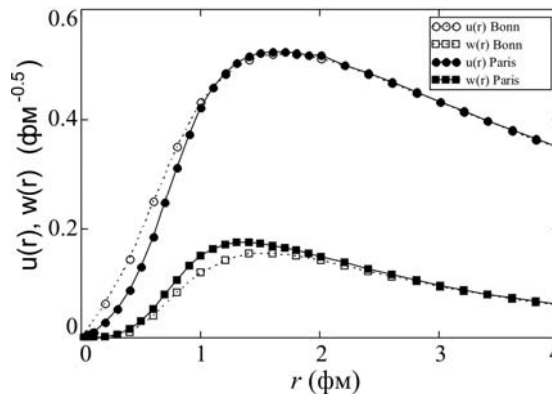


Рисунок 3. – Волновые функции основного состояния дейтрона, полученные при использовании CD-боннского и парижского потенциалов нуклон-нуклонного взаимодействия

Для дейтронов с энергией 1.6 ГэВ и углеродной мишени разница в величине эффектов спинового дихроизма для двух моделей составляет порядка 5%. Таким образом, для сравнения моделей нуклон-нуклонного взаимодействия, видится возможным проведение экспериментов в области высоких энергий при использовании толстых мишеней или накопительных колец, в случае которых возможно получения наибольшего абсолютного значения эффекта спинового дихроизма (двулучепреломления).

В подразделе 4.1.3 приводится кратко методика и результаты экспериментов по измерению спинового дихроизма дейтронов в области высоких энергий. Эксперименты проводились на установке СФЕРА ускорителя Нуклотрон-М ОИЯИ (Россия) с использованием дейтронного пучка с импульсом 5 ГэВ/с и углеродными мишенями толщиной до 150 г/см². В результате была измерена приобретенная пучком тензорная поляризация величиной порядка 0.2, что подтвердило существование спинового дихроизма дейтронов и в области высоких энергий.

Необходимо заметить, что измеренная на эксперименте величина приобретенной тензорной поляризации обусловлена спиновым дихроизмом

дейтронов в интервале энергий ионизационных потерь в мишени. В разделе 4.2 предлагается новый метод измерения спинового дихроизма дейтронов в области высоких энергий для фиксированной энергии [6, 12]. В связи с созданием внутренних поляризованных дейтериевых мишеней на накопителях COSY, NICA, GSI возможно измерение мнимой части зависящей от спина амплитуды упругого когерентного рассеяния на угол ноль с помощью измерения времени жизни пучка частиц (к примеру, протонов) в накопителе. В связи с различным полным сечением рассеяния частиц на тензорно поляризованных внутренних дейтериевых мишенях, состоящих из дейтронов в состояниях с $M=\pm 1$ и $M=0$, различным будут и времена жизни пучка частиц в накопителе. В результате для измерения разницы сечений в подобном эксперименте было получено выражение

$$\sigma_0 - \sigma_{\pm 1} = \frac{1}{\rho_{\pm 1} \nu t} \ln \left(\frac{I_{\pm 1}(t)}{I_{\pm 1}(0)} \right) - \frac{1}{\rho_0 \nu t} \ln \left(\frac{I_0(t)}{I_0(0)} \right), \quad (6)$$

где $\rho_{\pm 1}$ и ρ_0 – толщина мишеней (число рассеивателей/см²) с дейтронами в состояниях с $M=\pm 1$ и $M=0$ соответственно, ν – частота вращения пучка в накопительном кольце, $I_{\pm 1}(t)$ и $I_0(t)$ – интенсивности пучков частиц в момент времени t при измерениях с мишенями, состоящими из дейтронов в состояниях с $M=\pm 1$ и $M=0$ соответственно. Для оценки времени вращения пучков с импульсом ~ 3 ГэВ/с в накопительном кольце были использованы следующие параметры: $\rho \sim 10^{14}$ дейтронов/см², $\nu \sim 1.6$ МГц, $\sigma_{\pm 1} - \sigma_0 \sim 9$ мб. В результате, для получения 1%-ой разницы в интенсивностях протонных пучков, обусловленной спиновым дихроизмом дейтронов, время вращения пучков в накопительном кольце должно составлять порядка 2 часов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

Диссертационная работа посвящена экспериментальному обнаружению эффекта спинового дихроизма дейтронов в неполяризованном веществе и заключается в разработке методов экспериментального обнаружения данного эффекта, проведении экспериментов, анализе экспериментальных данных и их интерпретации. Основные экспериментальные и теоретические результаты работы заключаются в следующем:

1. Показана возможность экспериментального наблюдения явления двулучепреломления дейтронов и, в частности, эффекта спинового дихроизма дейтронов в области низких энергий (порядка 20 МэВ). Для этого в рамках импульсного приближения найдена амплитуда рассеяния дейтрона на нуклоне на угол ноль с учетом спина сталкивающихся нуклонов. С

помощью данной амплитуды определено значение величины тензорной поляризации $p_{zz} \sim 10^{-2}$ дейтронного пучка с энергией 20 МэВ, возникающей вследствие спинового дихроизма дейтронов при прохождении неполяризованной нуклонной мишени толщиной 0.1 г/см². Найдено значение угла поворота спина дейтронов $\varphi \sim -0.5^\circ$, обусловленного эффектом двулучепреломления дейтронов [1, 17].

2. Определена спиновая матрица плотности дейтронного пучка в мишени. На ее основе получены выражения, описывающие изменение поляризационных характеристик дейтронного пучка при прохождении через мишень [6, 8, 15].

3. Разработана методика эксперимента и анализа данных по обнаружению эффекта спинового дихроизма дейтронов в интервале энергий 5-20 МэВ для экспериментальной установки ИЯФ КУ [3, 6, 8, 11, 12, 15].

4. Впервые, на примере дейтрона, экспериментально обнаружен эффект спинового дихроизма частицы со спином $S=1$ при прохождении через однородное изотропное вещество. Эффект обусловлен внутренней анизотропией, которой обладают частицы со спином $S \geq 1$ (в отличие от частиц со спином 0 и 1/2). Экспериментально обнаружено изменение знака спинового дихроизма дейтронов в углеродной мишени в интервале энергий 5-20 МэВ [3, 6, 8, 11, 12, 15, 16].

5. Показано, что кулон-ядерная интерференция взаимодействий нуклонов дейтрона с ядром существенным образом влияет на эффект двойного лучепреломления дейтронов в интервале энергий 5-20 МэВ и зависит от энергии дейтронов и заряда ядра мишени. Показано, что наблюдавшееся на эксперименте изменение знака тензорной поляризации дейтронного пучка при изменении энергии и немонотонное изменение тензорной поляризации с увеличением толщины мишени обусловлены кулон-ядерной интерференцией, приводящей к изменению знака спинового дихроизма [1, 5, 9]. При этом вклад в спиновый дихроизм, обусловленный наличием у дейтрона электрического квадрупольного момента, мал по сравнению с вкладом, обусловленным ядерным взаимодействием дейтрона с ядром [7].

6. Полученная в рамках эйконального приближения величина и знак приобретенной тензорной поляризации $p_{zz} \sim 0.04$ дейтронного пучка в углеродной мишени в области энергий порядка нескольких ГэВ согласуется с результатами экспериментов по исследованию спинового дихроизма на ускорителе «Нуклотрон-М» ОИЯИ, подтвердивших существование спинового дихроизма дейтронов и в области высоких энергий [4, 10].

7. Предложен метод сравнения моделей нуклон-нуклонного взаимодействия посредством измерения эффекта спинового дихроизма

дейтронов, зависящего от поведения радиальных волновых функций основного состояния дейтрона на малых расстояниях, на которых проявляются основные отличия моделей [7].

8. Предложен метод измерения зависящей от спина мнимой части амплитуды упругого когерентного рассеяния дейтрона на частицах (протонах, антипротонах), основанный на измерении времени жизни пучка неполяризованных частиц в накопительном кольце, проходящего через внутреннюю поляризованную дейтериевую мишень [6, 12, 14].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Полученные в диссертации результаты могут быть использованы в физике частиц высокой энергии при изучении взаимодействий в малонуклонных системах. Как показал анализ, для этих целей особенно перспективным видятся эксперименты по измерению спинового дихроизма и угла поворота спина дейтронов на высокоэнергетичных ускорителях (NICA (Нуслотрн-М), COSY, GSI) с использованием внутренних мишеней, а также толстых мишеней на выведенном пучке.

Поскольку эффект вращения спина и эффект спинового дихроизма определяются соответственно действительной и мнимой частью зависящей от спина амплитуды упругого когерентного рассеяния на угол нуль, то это позволяет производить непосредственные измерения этих амплитуд в эксперименте.

Предложенный метод измерения зависящей от спина мнимой части амплитуды упругого когерентного рассеяния дейтрона на частицах (протонах, антипротонах), основанный на измерении времени жизни пучка неполяризованных частиц в накопительном кольце, проходящего через внутреннюю квадрупольнополяризованную дейтериевую мишень, позволяет сделать это с более высокой точностью по сравнению с экспериментами на выведенных пучках.

Вследствие высокой чувствительности явления двулучепреломления дейтронов к поведению радиальных волновых функций основного состояния дейтрона на малых расстояниях, данное явление можно использовать для сравнения моделей нуклон-нуклонного взаимодействия, имеющих наибольшее расхождение именно на малых расстояниях.

Полученное на экспериментах высокое значение величины тензорной поляризации порядка 0.15 указывает на возможность создания простого источника квадрупольнополяризованных дейтронов на основе эффекта спинового дихроизма.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ**Статьи в научных журналах**

1. Барышевский, В. Г. Двухлучепреломление и спиновый дихроизм дейтронов в нуклонной мишени в области энергий 5-20 МэВ / В. Г. Барышевский, А. А. Ровба // Весці НАН Беларусі. Серыя фізіка-матэматычных навук. – 2008. – В. 1. – С. 67–73.

2. Барышевский, В. Г. О влиянии кулоновского взаимодействия на эффект спинового дихроизма дейтронов в области энергий 5 – 20 МэВ / В. Г. Барышевский, А. А. Ровба // Весці НАН Беларусі. Серыя фізіка-матэматычных навук. – 2009. – В. 1. – С. 64–70.

3. Production of a beam of tensor-polarized deuterons using a carbon target / H. Seyfarth, R. Engels, F. Rathmann, H. Ströher, V. Baryshevsky, A. Rouba, C. Düweke, R. Emmerich, A. Imig, K. Grigoryev, M. Mikirtychiants and A. Vasilyev // Phys. Rev. Lett. – 2010. – Vol.104. – P. 222501.

4. Измерение тензорной поляризации проходящего через вещество пучка дейтронов / Л. С. Ажгирей, Т. А. Васильев, Ю. В. Гурчин, В. Н. Жмыров, Л. С. Золин, А. Ю. Исупов, А. К. Курилкин, П. К. Курилкин, В. П. Ладыгин, А. Г. Литвиненко, В. Ф. Переседов, С. М. Пиядин, С. Г. Резников, А. А. Ровба, П. А. Рукояткин, А. В. Тарасов, А. Н. Хренов, М. Янек // Письма в ЭЧАЯ. – 2010. – Т.7, № 1(157). – С.49–58.

Measurement of tensor polarization of a deuteron beam passing through matter / L. S. Azhgirei, T. A. Vasiliev, Yu. V. Gurchin, V. N. Zhmyrov, L. S. Zolin, A. Yu. Isupov, A. K. Kurilkin, P. K. Kurilkin, V. P. Ladygin, A. G. Litvinenko, V. F. Peresedov, S. M. Piyadin, S. G. Reznikov, A. A. Rovba, P. A. Rukoyatkin, A. V. Tarasov, A. N. Khrenov, and M. Yanek // Phys. of Particles and Nuclei Lett. – 2010. – Vol. 7, № 1. – P. 27–32.

5. Baryshevsky, V. Influence of Coulomb-nuclear interference on the deuteron spin dichroism phenomenon in a carbon target in the energy interval 5–20 MeV / V. Baryshevsky and A. Rouba // Phys. Lett. B. – 2010. – Vol. 683, iss. 2–3. – P. 229–234.

6. Барышевский, В. Г. Квазиоптический эффект двойного лучепреломления дейтронов высокой энергии: теория и эксперимент / В. Г. Барышевский, А. А. Ровба // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-мат. навук. – 2011. – В. 2. – С. 97–105.

7. Барышевский, В. Г. Двойное лучепреломление (поворот спина и спиновый дихроизм) дейтронов высокой энергии / В. Г. Барышевский, А. А.

Ровба // Письма в ЭЧАЯ. – 2016. – Т.13, №3(201). – С.461–470.

Baryshevsky, V. G. Birefringence (spin rotation and spin dichroism) of high-energy deuterons / V. G. Baryshevsky and A. A. Rouba // *Physics of Particles and Nuclei Letters*. – 2016. – Vol. 13, No. 3. – P. 289–294.

Материалы конференций и сборники трудов

8. Deuteron spin dichroism: from theory to first experimental results / V. Baryshevsky, C. Dueweke, R. Emmerich, R. Engels, K. Grigoryev, A. Imig, J. Ley, M. Mikirtychiants, H. Paetz gen. Schieck, F. Rathmann, A. Rouba, H. Seyfarth, H. Stroher, T. Ullrich and A. Vasilyev // *Proceedings of the 17th Int. spin phys. symp., SPIN 2006, Kyoto, Japan, 2–7 October 2006.* / *AIP Conf. Ser.* ; ed.: K. Imai, T. Murakami, N. Saito and K. Tanida. – New York : Melville, 2007. – Vol. 915. – P. 777–780.

9. Baryshevsky, V. G., Deuteron spin dichroism in carbon target / V. G. Baryshevsky, A. A. Rouba // *Proceedings of the 11th Int. Conf. on Meson-Nucleon Phys. and the Structure of the Nucleon, MENU 2007, Forschungszentrum Juelich, Germany, September 10–14, 2007* : in 2 vol. / *SLAC eConf. Ser.* ; editors H. Machner and S. Krewald. – Stanford, USA : SLAC, 2008. – C070910, Vol. 2. – P. 346–349.

10. Measurement of tensor polarization of deuteron beam passing through matter / L. S. Azhgirei, T. A. Vasiliev, Yu. V. Gurchin, V. N. Zhmyrov, L. S. Zolin, A. Yu. Isupov, A. K. Kurilkin, P. K. Kurilkin, V. P. Ladygin, A. G. Litvinenko, V. F. Peresedov, S. M. Piyadin, S. G. Reznikov, A. A. Rouba, P. A. Rukoyatkin, A. V. Tarasov, A. N. Khrenov, and M. Yanek // *Proc. of 13th advanced research workshop on high energy spin physics, DSPIN-09, Dubna, September 1–5, 2009.* / Ed.: A. V. Efremov and S. V. Goloskokov. – Dubna : JINR, 2010. – P. 171–174.

11. Resonance effects in nuclear dichroism – an inexpensive source of tensor-polarized deuterons / H. Seyfarth, R. Engels, F. Rathmann, H. Ströher, V. Baryshevsky, A. Rouba, C. Düweke, R. Emmerich, A. Imig, K. Grigoryev, M. Mikirtychiants and A. Vasilyev // *Proceedings of the 13th Int. workshop on polarized sources, targets and polarimetry, PST 2009, Ferrara, Italy, September 07–11, 2009.* / Ed.: G. Ciullo, M. Contalbrigo, P. Lenisa. – World scientific publishing Co. Pte., 2011. – P. 37–44.

12. Baryshevsky, V. On the possibility of measuring the imaginary part of the spin-dependent amplitude of zero-angle coherent elastic scattering in the experiment on transmission (filtering) of a beam of unpolarized protons through a polarized deuteron target / V. Baryshevsky and A. Rouba // *Proceedings of the 19th Int. spin phys. symp., SPIN 2010, Forschungszentrum Jülich, Germany,*

September 27 – October 2, 2010. / J. Phys. : Conf. Ser. ; ed.: H. Stroehrer, F. Rathmann. – Bristol : IOP, 2011. – Vol. 295, iss. 1. – 012084, 5 p.

13. Resonance-like production of tensor polarization in the interaction of an unpolarized deuteron beam with graphite targets / H. Seyfarth, R. Engels, F. Rathmann, H. Ströher, V. Baryshevsky, A. Rouba, C. Düweke, R. Emmerich, A. Imig, K. Grigoryev, M. Mikirtychiants and A. Vasilyev // Proceedings of the 19th Int. spin phys. symp., SPIN 2010, Forschungszentrum Jülich, Germany, September 27 – October 2, 2010. / J. Phys. : Conf. Ser. ; ed.: H. Stroehrer, F. Rathmann. – Bristol : IOP, 2011.– Vol. 295., iss. 1. – 012125, 6 p.

14. Baryshevsky, V. "Optical" spin rotation phenomenon and spin-filtering of antiproton (proton, deuteron) beams in a nuclear pseudomagnetic field of a polarized nuclear target: the possibility of measuring the real and imaginary spin-dependent part of the coherent zero-angle scattering amplitude / V. Baryshevsky and A. Rouba // Proceedings of the 8th Int. conf. on nuclear physics at storage rings, STORI 2011, INFN, Frascati, Italy, October 9–14, 2011. / Proceedings of science. – PoS(STORI11). – C111009. – 028, 8 p.

15. Experimental observation of deuteron spin dichroism / A. Rouba V. Baryshevsky, R. Engels, F. Rathmann, H. Seyfarth, H. Ströher, C. Düweke, R. Emmerich, A. Imig, K. Grigoryev, M. Mikirtychiants and A. Vasilyev // Spin in Hadron Physics : 2nd Caucasian-German School and Workshop on Hadron Physics, Tbilisi, Georgia, September 4–8, 2006. / Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Materie und Material / Matter and Materials ; ed.: Kacharava, A. [et al.] – Jülich: Forschungszentrum, Zentralbibliothek , 2006. – Vol. 33. – Mode of access: <http://hdl.handle.net/2128/2547>.

Тезисы докладов

16. Baryshevsky, V. Birefringence of deuteron in an unpolarized target: theory and experiments / V. Baryshevsky and A. Rouba // 64th Int. conf. on fundamental problems of nuclear physics, atomic power engineering and nuclear technologies, NUCLEUS–2014, Minsk, Belarus, July 1–4, 2014. / Book of abstracts ; ed.: A. K. Vlasnikov. – P. 166.

Сборники научных трудов

17. Барышевский, В. Г. Двулучепреломление и спиновый дихроизм дейтронов в нуклонной мишени в области энергий 5–20 МэВ / В.Г. Барышевский, А. А. Ровба // Фундаментальные и прикладные физические исследования в НИИ ЯП БГУ 2002–2009 гг. Сборник научных трудов / БГУ; Под ред.: проф. В. Г. Барышевского. – Минск, 2009. – С. 8–17.

РЭЗЮМЭ

Роўба Анатоль Анатольевіч

СПІНАВЫ ДЫХРАІЗМ ДЭЙТРОНАЎ

Ключавыя словы: дэйтрон, двухпраменепраламленне, кручэнне плоскасці палярызацыі, спінавы дыхраізм.

Мэтай дысертацыі з'яўляецца распрацоўка метадаў эксперыментальнага выяўлення з'явы двухпраменепраламлення дэйтронаў, у прыватнасці, эфекту спінавага дыхраізму дэйтронаў, якія пралятаюць праз непалярызаванае рэчыва. Эфект спінавага дыхраізма абумоўлены ўяўнай часткай залежнай ад спіна амплітуды пругкага кагерэнтнага рассеяння дэйтронаў на часціцах на вугал нуль і прыводзіць да ўзнікнення тэнзарнай палярызацыі ў першапачаткова непалярызаванага дэйтроннага пучка, які праходзіць праз непалярызаванную мішэнь.

На аснове аналізу эксперыментальнай устаноўкі Інстытута ядзернай фізікі Кёльнскага універсітэта, разгляду прынцыпаў і параметраў работы асноўных яе вузлоў, распрацавана метадыка эксперыменту па вымярэнню набытай тэнзарнай палярызацыі дэйтронным пучком у інтэрвале энергій 5-20 МэВ, якія праходзіць праз вугляродную мішэнь. У выніку ўпершыню быў эксперыментальна выяўлены эфект спінавага дыхраізма часціцы со спінам $S = 1$ пры праходжэнні праз непалярызаванае рэчыва. У эксперыменце таксама назіралася змена знаку спінавага дыхраізму.

Аналіз рассеяння дэйтронаў на ядры паказаў, што змена знаку можа быць абумоўлена інтэрферэнцыяй кулонаўскага і ядзернага узаемадзеянняў нуклонаў дэйтрона з ядром вугляроду.

Прапанаваны метады вымярэння залежнай ад спіна ўяўнай часткі амплітуды пругкага кагерэнтнага рассеяння дэйтрона на часціцах (пратонах, антыпратонах), заснаваны на вымярэнні працягласці жыцця пучка непалярызаваных часціц у накапляльным кальцы, які праходзіць праз ўнутраную тэнзарна палярызаваную дэйтэрывую мішэнь. Метады дазваляе вымераць амплітуду і спінавы дыхраізм пры фіксаванай энергіі.

Паказана, што эфект двухпраменепраламленне адчувальны да паводзін радыяльных хвалеваў функцый асноўнага стану дэйтрона на малых адлегласцях. Як следства, эфект можна выкарыстоўваць для параўнання розных мадэляў нуклон-нуклоннага узаемадзеяння, якія маюць найбольшыя разыходжанні на адлегласцях меншых за 2 фм.

РЕЗЮМЕ

Ровба Анатолий Анатольевич

СПИНОВЫЙ ДИХРОИЗМ ДЕЙТРОНОВ

Ключевые слова: дейтрон, двулучепреломление, вращение плоскости поляризации, спиновый дихроизм.

Целью диссертации является разработка методов экспериментального обнаружения явления двулучепреломления дейтронов, в частности, эффекта спинового дихроизма дейтронов, пролетающих через неполяризованное вещество. Эффект спинового дихроизма обусловлен мнимой частью зависящей от спина части амплитуды упругого когерентного рассеяния дейтрона на частице на угол ноль и приводит к возникновению тензорной поляризации у первоначально неполяризованного дейтронного пучка, проходящего через неполяризованную мишень.

На основе анализа экспериментальной установки Института ядерной физики Кёльнского университета, рассмотрения принципов и параметров работы основных ее узлов, разработана методика эксперимента по измерению приобретенной тензорной поляризации дейтронным пучком в интервале энергий 5-20 МэВ, проходящим через углеродную мишень. В результате впервые был экспериментально обнаружен эффект спинового дихроизма частицы со спином $S=1$ при прохождении через неполяризованное вещество. В эксперименте также наблюдалось изменение знака спинового дихроизма.

Анализ рассеяния дейтрона на ядре показал, что смена знака может быть обусловлена интерференцией кулоновского и ядерного взаимодействий нуклонов дейтрона с ядром углерода.

Предложен метод измерения зависящей от спина мнимой части амплитуды упругого когерентного рассеяния дейтрона на частицах (протонах, антипротонах), основанный на измерении времени жизни пучка неполяризованных частиц в накопительном кольце, проходящего через внутреннюю тензорно поляризованную дейтериевую мишень. Метод позволяет измерить амплитуду и спиновый дихроизм при фиксированной энергии.

Показано, что эффект двулучепреломления чувствителен к поведению радиальных волновых функций основного состояния дейтрона на малых расстояниях. Как следствие, эффект можно использовать для сравнения различных моделей нуклон-нуклонного взаимодействия, имеющих наибольшие расхождения на расстояниях меньших 2 фм.

SUMMARY

Anatoli Rouba

DEUTERON SPIN DICHROISM

Keywords: deuteron, birefringence, rotation of the plane of polarization, spin dichroism.

The aim of the thesis is to develop methods of experimental detection of the phenomenon of deuterons birefringence, particularly, the effect of spin dichroism of the deuteron, passing through unpolarized matter. The effect of spin dichroism is caused by the spin-dependent imaginary part of zero-angle elastic coherent scattering amplitude of the deuteron and leads to appearance of tensor polarization for initially unpolarized deuteron beam passing through the unpolarized target.

The technique of the experiment for measuring the acquired tensor polarization for the deuteron beam in the energy range 5-20 MeV passing through the carbon target was developed based on the analysis of the experimental setup of the Institute of Nuclear Physics, University of Cologne. As a result, the effect of spin dichroism for the particle with spin $S=1$ passing through unpolarized matter was discovered for the first time. The change in the sign of the spin dichroism was also observed.

The analysis of the deuteron scattering on the nucleus showed that interference of the Coulomb and nuclear interactions of deuteron nucleons with carbon nucleus causes the change in sign.

The method of measuring the spin-dependent imaginary part of the coherent elastic scattering amplitude of the deuteron on particles (protons, antiprotons), based on the measurement of the lifetime of unpolarized beam of particles in the storage ring, passing through the internal tensor polarized deuterium target was proposed. The method allows measuring the amplitude and the spin dichroism at fixed energy.

It is shown that the birefringence effect is sensitive to the radial wave functions behavior of the deuteron ground state at short distances. As a consequence, the effect can be used for comparison of different models of nucleon-nucleon interaction that have largest discrepancy at the distances less than 2 fm.

РОВА
Анатолий Анатольевич

СПИНОВЫЙ ДИХРОИЗМ ДЕЙТРОНОВ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц

Подписано в печать «20» декабря 2016 г. Формат 60 × 90 1/16.

Бумага офисная. Печать офсетная. Печ. л. 1.5

Учетн. изд. л. 1.2. Тираж 60 экз. Заказ № 28

ГНУ «Институт физики им. Б.И. Степанова

Национальной академии наук Беларуси»

220072, Минск, пр. Независимости, 68.

Отпечатано на ризографе ГНУ «Институт физики

им. Б.И. Степанова Национальной академии наук Беларуси»