

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук
Николаева Николая Николаевича
на диссертационную работу
Шмаковой Веры Васильевны
«Изучение процесса $pn \rightarrow \{pp\}_s \pi^-$ вблизи порога с образованием
 1S_0 протонных пар в поляризованном эксперименте на
установке ANKE-COSY»
представленную в диссертационный совет Д720.001.03
Лаборатории ядерных проблем им. Б.П. Джелепова
Объединенного института ядерных исследований
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.16 — физика атомного ядра и
элементарных частиц

Актуальность работы:

Приближенная киральная симметрия сильных взаимодействий — это фундаментальное свойство квантовой хромодинамики. На рубеже 1990-х годов нобелевский лауреат Стивен Вайнберг наметил новый теоретико-полевой подход к теории нуклон-нуклонного взаимодействия при низких энергиях. Это некий аналог дисперсионного подхода, в котором почти безмассовые голдстоуновские бозоны входят наряду с нуклонами, как фундаментальные степени свободы. На регуляризацию многопетлевых диаграмм, вычисляемых с затравочным четырехфермионным взаимодействием, дополненным кирально-инвариантным взаимодействием с пионами, последовательно накладываются требования совместимости с киральной симметрией. С этой точки зрения подход Вайнберга существенно удовлетворительнее развивавшегося ранее потенциального подхода, основанного на потенциалах одномезонных обменов. Подход Вайнберга интенсивно развивался с начала 2000-х годов, особенно теоретиками Института ядерной физики в Юлихе в тесном сотрудничестве с теоретиками из Боннского и Бохумского университетов. В описании фаз низкоэнергетического нуклон-нуклонного рассеяния ими достигнута крайне высокая точность.

Более того, как хорошо известно по соотношению Голдбергера-Треймана, голдстоуновская природа пионов связывает амплитуды рождения пионов с

матричными элементами аксиального тока между малонуклонными системами. Практически важный пример такого перехода — фундаментальная реакция горения водорода в звездах $pp \rightarrow de^+\nu$ и связанная реакция захвата мюона дейтронами. В теории Вайнберга, в силу обобщенного соотношения Голдбергера-Треймана, этот матричный элемент может быть связан с вкладом контактного члена $(NN)^2\pi$ в амплитуду рождения одиночного пиона $NN \rightarrow NN\pi$ около порога.

Первому прямому решению актуальной задачи измерения этого контактного члена и посвящена диссертационная работа Веры Васильевны Шмаковой. Эксперимент был поставлен на детекторе ANKE, работающем на внутреннем пучке ускорителя COSY Института ядерной физики в Юлихе. Сама постановка этого эксперимента — хороший пример плодотворного сотрудничества экспериментаторов и теоретиков. Здесь уместно заметить, что именно сотрудничество теоретиков из Юлиха, Бонна и Бохума внесло важный вклад в теоретический анализ роли обсуждаемого контактного члена в околопороговое рождение пионов и последующую роль его в описании трехнуклонных систем. Из этого очевидна особая востребованность полученных в диссертации результатов.

Новизна подхода и основные результаты:

Решение поставленной задачи требовало поляризованных и мишени и пучка, и выделения р-волновых пионов и рождения конечного дипротона в спин-синглетном состоянии и с малой энергией возбуждения < 3 МэВ. Эта задача в приложении к обсуждаемой реакции в диссертации В.В. Шмаковой решена впервые. До работы, представленной в диссертации В.В. Шмаковой, эта реакция изучалась в двух экспериментах. Из-за неполного углового захвата установки в эксперименте на ускорителе TRIUMF надежный парциально-волновой анализ был невозможен. В эксперименте, проведенном в PSI, из-за большой энергии возбуждения не была обеспечена чистота доминантности 1S_0 состояний дипроTONов в конечном состоянии.

За успехом работы В.В. Шмаковой стоят как большой опыт коллаборации ANKE по изучению рождения дипроTONов с малой энергией возбуждения, так и то, что

сегодня ускоритель COSY остается единственным в мире, на котором возможны эксперименты с двойной поляризацией пучка и мишени. Именно это позволило получить, наряду с векторной анализирующей способностью, первые уникальные экспериментальные данные по спиновым корреляциям A_{xx} и A_{yy} в рождении как заряженных, так и нейтральных пионов.

Перейду к более подробному обсуждению диссертационной работы.

Во Введении достаточно подробно изложена постановка задачи и описана структура диссертации.

Двадцать страниц главы 1 диссертации — это на редкость ясное, обстоятельное и просто образцовое теоретическое введение в постановку задачи. Вообще эта глава задает тот высокий уровень ясности, на котором изложен весь материал диссертации В.В. Шмаковой.

Глава 2 посвящена описанию детектора ANKE, на котором получены экспериментальные данные, и также описанию поляризованных пучков протонов и дейтронов как источников поляризованных нейтронов и внутренней поляризованной мишени установки ANKE.

В главе 3 изложены использованные методы обработки экспериментальных данных в опытах с однократной и двойной поляризацией начальных частиц и особенности выделения фоновых событий и восстановления вершины взаимодействия в протяженной накопительной ячейке внутренней мишени ANKE. Описаны также кинематические особенности выделения реакции рождения нейтрального пиона в pd столкновениях по недостающей массе.

Основные результаты диссертации приведены в главе 4. Глава начинается с вводного раздела 4.1, в котором на очень хорошем уровне описаны особенности парциально-волнового анализа в режиме доминантности рождения спин-синглетных дипронов и выделение спиновых наблюдаемых. Основные результаты для дифференциального сечения реакции и анализирующей

способности для рождения π^- -мезонов приведены в разделе 4.2. Рис. 4.1 убедительно демонстрирует полноту полученных В.В. Шмаковой данных по дифференциальному сечению в сравнении с результатами эксперимента в TRIUMF, в котором не удалось измерить именно наиболее важную для парциально-волнового анализа область углов с $\cos \theta < -0.35$ и $\cos \theta > 0.65$. Это же относится и к полученным данным по анализирующей способности. В разделе 4.2.1 приведены экспериментальные данные в версии обработки с использованием информации с вершинного детектора STT. Она позволяет удвоить число включаемых в анализ событий и выделить с хорошей статистикой события с дипротонами с особо малой энергией возбуждения до 1.5 МэВ. Найденная анализирующая способность такая же, как и при обрезании в 3 МэВ, что есть важное свидетельство доминантности спин-синглетного состояния при энергиях возбуждения < 3 МэВ. Такая проверка чистоты отбора спин-синглетных дипротонов проведена впервые.

Результаты парциально-волнового анализа, основанного на данных по неполяризованным дифференциальным сечениям и анализирующей способности, приведены в разделе 4.3 гавы 4. Обнаружено полное совпадение результатов для рождения отрицательных пионов и нейтральных пионов (последние были изучены параллельно в отдельном эксперименте). Важное заключение: малость d-волнового перехода ${}^3F_2 \rightarrow {}^1S_0$ d. Указание на эту амплитуду менее трех стандартных отклонений. Обоснованное заключение диссертанта: основной вклад в d-волну в рождении заряженных пионов дают переходы из 3P_2 состояния.

Отдельно следует выделить уникальные результаты, полученные В.В. Шмаковой с поляризованными и пучком и мишенью. Они приведены в разделах 4.4, 4.5 и 4.6 диссертации. Здесь источником поляризованных нейтронов были поляризованные дейтроны. Первый важный результат: анализирующие способности для поляризованных протонов и нейтронов согласуются друг с другом в пределах достигнутой высокой точности. Далее, в рождении π^- -мезонов спиновый корреляционный коэффициент A_{yy} полностью совместим в пределах достигнутой статистической точности с $A_{yy} = 1$. Это существенно для последующей калибровки даухспиновых корреляций. Проведенный в разделе 4.3 парциально-волновой анализ дополнен данными по двухспиновым переменным и

анализирующей способности, полученной в двухспиновом эксперименте. Для рождения π^- -мезонов найдено три решения с очень близкими уровнями достоверности, отличающиеся в основном p -волновыми амплитудами. Показано, как можно выбрать между этими решениями или существенным уточнением A_{xx} , или измерением двухспиновой корреляции A_{xz} , которая особенно сильно меняется от одного набора амплитуд к другому. Наконец, в разделе 4.6 обсуждены двухспиновые корреляции в рождении нейтральных пионов, впервые полученные с значимой точностью только диссертантом.

Достоверность полученных результатов:

Достоверность результатов диссертанта убедительно продемонстрирована сравнением с данными предшествовавшего эксперимента в TRIUMF в области перекрывающихся кинематических областей. Кроме того, за коллаборацией ANKE стоит богатый опыт изучения реакций с рождением дипротонов.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов:

Полученные в диссертационной работе В.В. Шмаковой результаты парциально-волнового анализа околопорогового рождения уже стали предметом теоретического осмысления для теоретиков из Юлиха и Боннского и Бохумского университетов в их анализе матричных элементов аксиального тока между малонуклонными системами с рекордной 3-петлевой точностью — и это только начало.

Содержание диссертации и её завершенность:

В диссертации В.В. Шмаковой получены первые в мире результаты, которые позволят теоретикам определить нормировку одного из важнейших операторов в теоретико-полево-киральном подходе к малонуклонным системам. Этот же оператор входит в амплитуды Гамов-Теллеровских переходов в малонуклонных системах, так что с накоплением экспериментальных данных по слабым взаимодействиям это позволит проверить теоретико-полево-киральную теорию низкоэнергетических сильных взаимодействий в малонуклонных системах на новом

уровне точности. Этот же оператор входит в расчет энергии связи в трехнуклонных системах. Сегодня мяч на стороне поля теоретиков.

Поставленная перед диссертантом задача решена в достаточной полноте. Крайне важны также указания на возможности новых экспериментов на ускорителе COSY, которые могли бы существенно улучшить уже достигнутую высокую точность.

Критические замечания и пожелания:

Диссертационная работа написана крайне доходчиво, читается легко. Единственное и совершенно несущественное замечание: список литературы следовало бы освежить. Так, работа [91] за время написания диссертации уже вышла в журнале **Annals Phys. 378 (2017) 317-395**. Ссылка на журнальную публикацию легко находится, впрочем, обращением к ссылке на электронный архив.

Оценка автореферата диссертации:

Автореферат диссертации адекватно отображает её содержание и полученные в диссертации результаты.

Заключение оппонента по диссертации В.В. Шмаковой на соискание ученой степени кандидата наук:

Диссертация Шмаковой Веры Васильевны «Изучение процесса $pn \rightarrow \{pp\}_s \pi^-$ вблизи порога с образованием 1S_0 протонных пар в поляризационном эксперименте на установке ANKE-COSY» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 (физика атомного ядра и элементарных частиц) является научно-квалификационной работой, в которой впервые получены уникальные по полноте экспериментальные данные по околопороговому рождению отрицательных и нейтральных пионов и проведен их исчерпывающий парциально-волновой анализ. Полученные данные будут долгожданной основой для теоретических работ по аксиальным матричным элементам, экспериментальное измерение которых с должной точностью даст

возможность проверить теоретикополевую киральную теорию взаимодействий малонуклонных систем на новом уровне точности. Работа В.В. Шмаковой уже инициировала первую обстоятельную публикацию Г. Кребса, У. Майсснера и Е. Эпельбаума в этом направлении.

Диссертационная работа Шмаковой Веры Васильевны «Изучение процесса $pp \rightarrow \{pp\}_s \pi^-$ вблизи порога с образованием 1S_0 протонных пар в поляризационном эксперименте на установке ANKE-COSY» полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 - Физика атомного ядра и элементарных частиц.

Официальный оппонент,

Николаев Николай Николаевич

Доктор физико-математических наук,

Специальность 01.04.02 – Теоретическая и математическая физика

проспект Академика Семенова, д. 1, г. Черноголовка, 142432 Московская обл., тел. : (+7 495) 702-93-17

nikolaev@itp.ac.ru

Главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической физики им. Л.Д. Ландау РАН



Н.Н. Николаев

Подпись Николаева Н.Н. заверяю



Ученый секретарь ИТФ им. Л.Д. Ландау к.х.н. Крашаков С.А.

08.09.2017

