

УТВЕРЖДАЮ:

Директор Объединенного института ядерных исследований  
академик РАН, профессор В.А. Матвеев



«20» апреля 2015 г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Платоновой Марии Николаевны «Проявление ненуклонных степеней свободы в NN- и Nd-рассеянии при промежуточных энергиях», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 - «физика атомного ядра и элементарных частиц»

Диссертация М.Н. Платоновой посвящена центральной проблеме теоретической ядерной физики - теории взаимодействия между нуклонами. При низких энергиях задача построения ядерных сил, действующих между нуклонами, успешно решается исходя из фундаментальной теории сильных взаимодействий - квантовой хромодинамики (КХД) на основе применения киральной теории возмущений, опирающейся на фундаментальное свойство низкоэнергетической КХД - спонтанное нарушение киральной симметрии. В диссертации М.Н. Платоновой рассматривается проблема двух- и трехнуклонных взаимодействий в области энергий несколько сотен МэВ, при которых киральная теория возмущений неприменима. В этой области в настоящее время в качестве теоретической базы используются феноменологические модели, мотивированные КХД. В диссертации за основу взята развитая в работах группы теоретиков из НИИЯФ МГУ и университета г. Тюбингена феноменологическая модель нуклонных сил, основанная на s-канальных обменах, включающих образование в промежуточном состоянии дибариона, окруженного облаком сигма-мезонов. Дибарионные шестикварковые состояния не запрещены в КХД, а на возможность их существования указывает ряд экспериментальных данных о процессах при большой передаче

импульса. Сигма-мезон также является неотъемлемым элементом всех существующих реалистических моделей нуклонных сил. Используемая модель NN сил является удачной альтернативой широко известным феноменологическим моделям с обменом мезонами в t-канале.

Диссертацию можно условно разделить на две части.

В исследовании нуклон-нуклонных взаимодействий ключевую роль играют поляризационные наблюдаемые, позволяющие получить наиболее полную информацию об амплитудах нуклон-нуклонного рассеяния. **В первой части** диссертации развивается теория поляризационных наблюдаемых в упругом рассеянии протонов на дейтронах в рамках дифракционной теории многократного рассеяния Глаубера. При этом полностью учитывается спиновая зависимость элементарных амплитуд нуклон-нуклонного рассеяния, спиновая структура дейтрона, механизмы однократного и двукратного рассеяния, включая процесс упругой перезарядки. Как показано в диссертации, разработанный формализм является надежным инструментом для расчета спиновых наблюдаемых упругого  $pd$ -рассеяния, что в свою очередь дает возможность извлекать из данных о  $pd$ -рассеянии информацию о спиновых амплитудах упругого  $pn$ -рассеяния. Сравнение с результатами строгих трехтельных фаддеевских расчетов показывает, что при энергиях 200-300 МэВ оба теоретического подхода дают очень близкие результаты в передней полусфере и находятся в хорошем согласии с экспериментом. Фактически это согласие является нетривиальной проверкой теории Глаубера. С другой стороны, теория Глаубера значительно проще в практическом применении, чем численное решение уравнений Фаддеева, и, что очень важно, позволяет проводить надежные расчеты при более высоких энергиях, значительно выше порога рождения пиона. Разработанный детальный спиновый формализм является новым. Ранее формализм для расчета спиновых наблюдаемых в подходе Глаубера к рассеянию адронов на дейтронах строился одновременно с попытками учесть неэikonальные или релятивистские поправки к теории Глаубера, но, как известно, усовершенствование теории Глаубера требует

большой осторожности. Поэтому развитие спинового формализма в рамках классического подхода Глаубера для  $pd$  рассеяния является важным новым вкладом в теорию адрон-ядерных взаимодействий, при этом существенно, что область применимости теории Глаубера для спиновых наблюдаемых оказалась шире, чем можно было ожидать из простых оценок.

**Вторая часть** диссертации посвящена анализу процессов одно- и двухпионного рождения в нуклон-нуклонных столкновениях. В последние несколько лет очень большой интерес вызвала реакция рождения двух нейтральных пионов в столкновении протонов с нейтронами. Коллаборация WASA@COSY детально исследовала эту реакцию в области загадочного ABC эффекта и в 2009 году неожиданно обнаружила резонансное поведение полного сечения этой реакции при инвариантной массе  $pn$ -системы 2380 МэВ с довольно узкой полной шириной приблизительно 70 МэВ. Эти данные вызвали серию новых экспериментов, целью которых был поиск возможного проявления этого резонанса в других реакциях в малонуклонных системах, а также ряд теоретических работ. В настоящее время это наблюдение рассматривается как наиболее убедительное указание на существование дибарионного резонанса. Теоретический анализ показывает, что рассматриваемое состояние является изоскалярном со спин-четностью  $J^P=3^+$  и недавно выполненные поляризационные измерения анализирующей способности упругого рассеяния поляризованных нейтронов на протонах при энергии в области возбуждения резонанса подтверждают это предположение.

В диссертации исследован механизм реакции двухпионного рождения  $pn \rightarrow d \pi^0 \pi^0$  с возбуждением дибариона  $D_{03}$ . Ранее коллаборацией WASA@COSY был предложен механизм этой реакции, в котором предполагается распад дибариона  $D_{03}$  на две дельта-изобары. В этой  $\Delta\Delta$ -модели для описания данных о распределении по инвариантной массе двух пионов приходится вводить слишком маленький импульс обрезания в вершинном  $D_{03} \rightarrow \Delta\Delta$  форм-факторе, что противоречит естественному предположению о компактном характере дибариона. В диссертации предложена другая модель этого про-

цесса, в которой фигурирует сумма двух механизмов — в одном из них дибарион  $D_{03}$  распадается на дейтрон и сигма-мезон, а во втором — на пион и изовекторный дибарион  $D_{12}$ , который затем распадается на дейтрон и пион. На возможное существование изовекторного дибариона  $D_{12}$  указывает амплитудный анализ данных по упругому  $pp$ -рассеянию, а также реакция однопионного рождения  $pp \rightarrow d\pi^+$ . Для определения параметров этого резонанса в диссертации проделана очень большая работа по теоретическому анализу реакции  $pp \rightarrow d\pi^+$ , которая исследовалась в 70е-80е годы многими авторами в  $\Delta$ -резонансной области, показавшими доминирование вклада  $N\Delta$  системы в промежуточном состоянии. В диссертации показано, что при определенном выборе вершинных форм-факторов, которые в настоящее время невозможно вычислить в теории, вклад изовекторного дибарионного резонанса  $D_{12}$  в эту реакцию может быть существенным наряду с  $N\Delta$  вкладом. Следует подчеркнуть, что найденные из анализа этой реакции параметры дибариона  $D_{12}$ , как показано в диссертации, не противоречат данным об упругом рассеянии пиона на дейтроне, а также данным по упругому  $NN$  рассеянию и приводят к довольно успешному описанию основной реакции — двухпионного рождения  $pn \rightarrow d\pi^0\pi^0$ . Дополнительным интересным результатом этой работы является вывод о том, что упомянутая выше проблема описания спектра по инвариантной массе двух пионов может быть разрешена предположением о частичном восстановлении киральной симметрии в дибарионном состоянии  $D_{03}$ . Ранее идея об эффективном восстановлении киральной симметрии в возбужденных состояниях адронов была высказана и обоснована в работах Л. Глозмана.

Таким образом, **актуальность темы, новизна полученных решений и их значимость** для дальнейшего развития теории адронных взаимодействий не вызывает сомнений.

Диссертация состоит из Введения, трех глав, заключения, списка литературы, включающего 175 наименований, и приложения, содержащего параметры амплитуд упругого  $pN$ - рассеяния.

Во **Введении** убедительно раскрывается актуальность выбранной темы исследования – возрождение интереса к физике дибарионных резонансов, - формулируются основные задачи исследования, оценивается значимость полученных результатов и обосновывается их достоверность.

**В первой главе** рассматривается упругое  $pn$ -рассеяние в дифракционной теории Глаубера и развивается детальный спиновый формализм для амплитуды этого процесса. Приводятся результаты численных расчетов дифференциального сечения и спиновых наблюдаемых, выполненных на основе этого формализма с использованием базы данных об амплитудах  $pn$  рассеяния и реалистических волновых функций дейтрона. Проводится сравнение с результатами фаддеевских расчетов и данными эксперимента. Качественно анализируется  $pn$ -рассеяние на большие углы.

**Во второй главе** на основе диаграммной техники исследуется реакция однопионного рождения  $pp \rightarrow d\pi^+$ . На первой стадии рассматривается сумма полюсной диаграммы однонуклонного обмена и петлевой диаграммы с промежуточной системой  $N\Delta$ . Демонстрируется высокая чувствительность получаемых результатов к величине параметров обрезания в вершинных формфакторах и на основе описания данных по упругому  $\pi N$  рассеянию обосновывается выбор сравнительно мягких параметров обрезания. Это в целом согласуется результатами, полученными другими авторами при исследовании этого вопроса. Новым является полученное в результате проведенного анализа указание на необходимость включения дополнительных механизмов взаимодействия, что оправдывает введение вклада изовекторных дибарионных резонансов.

**В третьей главе** предложен новый механизм реакции двухпионного рождения  $pn \rightarrow d\pi^0\pi^0$ , включающий изоскалярный  $D_{03}$  и изовекторный  $D_{12}$  дибарионные резонансы, при этом параметры изовекторного резонанса были установлены в предыдущей главе. Кроме того проведен анализ реакции  $pp \rightarrow pp\pi^0\pi^0$ , из которого следует, что в ее сечении также могут проявляться изовекторные дибарионные резонансы.

В **Заключении** сформулированы основные выводы, выносимые на защиту.

К сожалению, при рассмотрении реакции  $pn \rightarrow dp^0 \pi^0$  в работе не учтен вклад  $\Delta\Delta$ -канала и фоновых механизмов, а также их интерференция с резонансными механизмами, хотя и отмечается необходимость такого исследования. Также представляется важным проанализировать следствия предположения о частичном восстановлении киральной симметрии применительно к массе изовекторного дибариона, который испускается при распаде дибариона  $D_{03}$ . Эти замечания можно рассматривать скорее как пожелание на будущее, но не как серьезные недостатки. Диссертация написана хорошим языком, хотя и есть некоторые недочеты: «высокие» значения параметров обрезания, следовало бы называть «большими»; на странице 62 в формулах (2.5)-(2.9) не пояснен смысл аргумента волновой функции дейтрона.

Диссертация Платоновой М.Н. заслуживает высокой оценки. Работа выполнена на высоком теоретическом уровне, автор демонстрирует хорошее владение операторной и диаграммной техникой теории столкновений, ее нерелятивистским и релятивистским аспектами. О **практической значимости** проведенного исследования свидетельствует тот факт, что результаты первой главы были существенно использованы при развитии теории упругого рассеяния антипротонов на дейтронах при энергии несколько сотен МэВ (Yu.N. Uzikov, J. Haidenbauer, Phys. Rev. C 87 (2013) 054003; Phys. Rev.C 88 (2013) 027001), с целью анализа механизма спинового фильтра как метода создания поляризованных пучков антипротонов по проекту PAX на ускорительном комплексе FAIR. Кроме того, в работе дубненской группы по теоретической поддержке планируемого на COSY эксперимента, целью которого является проверка Т-инвариантности в рассеянии протонов на дейтронах с двойной поляризацией, также в качестве основы взят и далее развит формализм,

разработанный в данной диссертации (А.А. Темербаев, Ю.Н. Узиков. ЯФ 78 (2015) 35).

Автореферат правильно и полностью отражает содержание диссертации. Основные результаты своевременно опубликованы, в том числе в журналах с высоким импакт-фактором, и были доложены на крупных международных научных конференциях. Диссертация удовлетворяет всем критериям, установленным Положением «О присуждении ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Платонова М.Н., несомненно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

Диссертация была доложена на общелабораторном семинаре Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ 4 марта 2015 г.

Отзыв рассмотрен и утвержден на заседании Научно-технического совета Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ 16 апреля 2015 г., протокол № 2015-5 от 16 апреля 2015 г.

Ведущий научный сотрудник ЛЯП ОИЯИ  
доктор физико-математических наук, доцент

Ю.Н. Узиков

Директор ЛЯП ОИЯИ  
доктор физико-математических наук

В.А. Бедняков