

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу

Садовского Сергея Анатольевича

**«Исследование двух-, трех- и четырехмезонных систем, образующихся
в зарядовообменных π -р-взаимодействиях»,**

представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий

Диссертационная работа Садовского С.А. **«Исследование двух-, трех- и четырехмезонных систем, образующихся в зарядовообменных π -р-взаимодействиях»** посвящена изучению нейтральных мезонных состояний, в том числе экзотических, образующихся в зарядовообменных π -р-взаимодействиях и распадающихся в конечном счете на высокоэнергичные фотоны.

Актуальность темы

Мезонная спектроскопия, без сомнения, находится в стадии ренессанса в связи с ведущимися в настоящее время весьма экстенсивными исследованиями экзотических мезонных состояний. В силу высокой неоднородности в заселенности массовой шкалы мезонными резонансами с разными значениями спина парциально-волновой анализ является действенным инструментом, эффективно используемым в мезонной спектроскопии. В этой связи актуальность представленной диссертационной работы Садовского С.А. не вызывает сомнений.

Структура и содержание диссертации

Диссертация состоит из Введения, семи глав, Заключения и списка литературы, включающего 190 библиографических ссылок.

Во **Введении** указано место вошедших в диссертацию экспериментальных исследований в рамках программы ГАМС по исследованию зарядовообменных π -р-

взаимодействий, изложена ретроспектива содержания глав диссертации, а также дана формальная характеристика работ, вошедших в диссертацию.

В **первой** главе описана постановка экспериментов по изучению нейтральных мезонных состояний на установках ГАМС-2000 в ИФВЭ и ГАМС-4000 в ЦЕРН. Рассмотрена система обработки данных с годоскопических спектрометров типа ГАМС, включая калибровку каналов спектрометров в широком пучке электронов, параметризацию электромагнитных ливней в спектрометрах, программу реконструкции событий, кинематический анализ многофотонных событий. Здесь подробно рассмотрены принципы моделирования событий в спектрометрах ГАМС, процедуры вычисления эффективностей регистрации событий различных реакций, а также процедура параметризации указанных эффективностей в виде рядов Фурье в многомерных пространствах существенных переменных.

Во **второй** главе диссертации на примере реакции $p\bar{p} \rightarrow \eta p^0 p$ подробно рассмотрена методика парциально-волнового анализа бинарных систем псевдоскалярных мезонов, образующихся в зарядовообменных $p\bar{p}$ - взаимодействиях, включая разработанную диссертантом процедуру решения проблемы неоднозначности парциально-волнового анализа в терминах парциальных амплитуд. Большое внимание здесь уделено исследованию точности и возможным систематическим ошибкам парциально-волнового анализа методом Монте-Карло в случае, когда эффективность регистрации событий реакции зануляется в некоторых областях угловых переменных реакции.

В **третьей** главе представлены результаты парциально-волнового анализа событий реакции $p\bar{p} \rightarrow \pi^0 \pi^0 p$ при импульсах 38 и 100 ГэВ/с. По данным нескольких сеансов на установках ГАМС-2000 и ГАМС-4000 система $\pi^0 \pi^0$ была детально изучена в области масс от порога до 3.0 ГэВ. Из множества нетривиальных решений парциально-волнового анализа в указанной области масс выделено физиче-

ское решение. Ярким приоритетным результатом здесь является наблюдение серии скалярных $\pi^0\pi^0$ -резонансов, проявляющихся в деструктивной интерференции с нерезонансным образованием $\pi^0\pi^0$ -систем в этой же реакции. Что касается мезонов с отличным от нуля спином, то в результате анализа выделены $f_2(1270)$ -, $f_4(2050)$ - и $f_6(2510)$ -резонансы, измерены их параметры и сечения рождения.

В четвертой главе описаны результаты исследований реакции $\pi\pi \rightarrow \eta\pi^0\pi$ также при импульсах 38 и 100 ГэВ/с. Парциально-волновой анализ был проведен независимо в разных областях масс. В области масс до 1.2 ГэВ выделен $a_0(980)$ -мезон, измерено его дифференциально сечение рождения при импульсе 38 ГэВ/с. В области выше 1.8 ГэВ в спектрах квадратов G-волн идентифицирован $a_4(2040)$ -мезон со спином 4, определены его параметры и сечение рождения в указанной реакции при импульсе 38 ГэВ/с. Область масс $\eta\pi^0$ -системы от 1.2 до 1.8 ГэВ является наиболее сложной для анализа. Диссертанту удалось провести самосогласованный парциально-волновой анализ системы при импульсах 100 и 38 ГэВ/с, предложить критерий и впервые выделить физическое решение из восьми возможных нетривиальных решений парциально-волнового анализа. Основным результатом здесь является наблюдение $a_0(1300)$ -мезона. Результат согласуется с данными эксперимента OBELIX.

Пятая глава посвящена изучению образования системы $\eta\pi^0\pi^0$ при импульсе 100 ГэВ/с. Анализ спин-четности системы проведен методом Земаха. В волнах с $J^{PC} = 0^+, 1^{++}$ выделены резонансные состояния $\eta(1295)$, $\eta(1440)$, $f_1(1285)$ и $f_1(1420)$, определены параметры резонансов, измерены сечения их рождения. Наблюдение $\eta(1295)$ - и $\eta(1440)$ -состояний в системе $\eta\pi^0\pi^0$ — это, безусловно, очень интересный результат в плане поиска и идентификации псевдоскалярного глюбола.

В **шестой** главе представлены результаты феноменологического анализа спин-четности $4\pi^0$ -систем, образующихся в реакции $\pi^-p \rightarrow 4\pi^0n$ при импульсах 38 и 100 ГэВ/с. До работ, вошедших в рецензируемую диссертацию, эта реакция не изучалась. Разработанный оригинальный подход к анализу угловых распределений в $4\pi^0$ -системе позволил выделить тензорные резонансные состояния $f_2(1270)$ и $X_2(1810)$, и в результате впервые определить относительные вероятности распадов этих резонансов по каналу $4\pi^0$, а также выделить скалярное состояние $G(1590)$, которое вызывает особый интерес в связи с поиском скалярного глюбола.

В **Седьмой** главе обсуждаются наиболее значимые результаты диссертационной работы, проводится сравнение их с данными других работ и экспериментов, а также с различными теоретическими моделями, в том числе и моделями интеграционного плана. Здесь важно отметить, что **все полученные результаты прошли проверку временем и нашли свое законное место в мезонной спектроскопии.**

В **Заключении** кратко перечислены основные результаты диссертационной работы, которые выносятся на защиту.

Новизна исследований, проведенных в диссертации, определяется тем, что

- впервые предложена здесь математически четкая процедура решения проблемы неоднозначностей в парциально-волновом анализе бинарных систем псевдоскалярных мезонов с учетом парциальных волн с проекцией спина на третью ось $|m| \leq 1$;

- проведен парциально-волновой анализ реакции $\pi^-p \rightarrow \pi^0\pi^0n$ при импульсах 38 и 100 ГэВ/с, по совокупности данных выделено физическое решение в области масс от порога до 3.0 ГэВ, идентифицирована серия скалярных резонансов в си-

стеме $\pi^0\pi^0$, проявляющихся в деструктивной интерференции указанных резонансов с нерезонансным образованием $\pi^0\pi^0$ -системы в S -волне ;

- методом парциально-волнового анализа проведены детальные исследования резонансных состояний в системе $\eta\pi^0$, образующихся в реакции $\pi^+\pi^- \rightarrow \eta\pi^0\pi^0$, выделено физическое решение, получено самосогласованное описание данных в области масс до 2.5 ГэВ, основным результатом здесь наблюдение $a_0(1300)$ -мезона;

- впервые проведен анализ спин-четности $\eta\pi^0\pi^0$ -систем, образующихся в зарядообменных $\pi^+\pi^-$ -взаимодействиях при импульсе 100 ГэВ/с, идентифицирован ряд резонансов в системе $\eta\pi^0\pi^0$;

- впервые проведен феноменологический анализ спин-четности $4\pi^0$ -систем, образующихся в зарядообменных $\pi^+\pi^-$ -взаимодействиях, идентифицирован ряд резонансов в системе $4\pi^0$, включая $f_2(1270)$, $G(1590)$ и $X_2(1810)$.

Значимость полученных в диссертации результатов

Решение проблемы неоднозначностей в парциально-волновом анализе бинарных систем псевдоскалярных мезонов позволило провести масс-независимый парциально-волновой анализ $\pi^0\pi^0$ - и $\eta\pi^0$ -систем в широких диапазонах переданных импульсов и областях эффективных масс указанных систем, что в конечном счете привело к идентификации серии скалярных мезонов и резонансов с высшими спинами в системе $\pi^0\pi^0$; а также получить непротиворечивые данные по резонансам в системе $\eta\pi^0$. Полученные результаты по резонансным состояниям в системах $\eta\pi^0\pi^0$ и $4\pi^0$ также трудно переоценить.

Суммируя результаты диссертационной работы можно уверенно сказать, что они будут полезны при планировании новых экспериментов по поиску и изучению экзотических мезонных состояний и резонансов с высшими спинами. Проведенные автором исследования представляют научную и практическую значимость

для дальнейшего развития мезонной спектроскопии и физики высоких энергий в целом.

Степень обоснованности и достоверность полученных результатов

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждается взаимной согласованностью полученных многочисленных результатов диссертации, а также согласованностью этих результатов с данными других экспериментов.

Материалы диссертации неоднократно докладывались на российских и международных конференциях, симпозиумах и семинарах (13 докладов). Основные результаты полно представлены в научной печати: в ведущих рецензируемых журналах опубликовано 18 статей, причем все они опубликованы в журналах, входящих в международные базы цитирования Scopus и/или Web of Science. Это говорит о высокой степени достоверности полученных результатов и корректности выводов.

Что касается диссертации в целом, следует отметить высокий экспериментальный и методический уровень работы. Личный вклад автора в результаты проведенных исследований не вызывает никаких сомнений.

Замечания

В качестве замечаний необходимо отметить следующее.

1. В диссертации имеется определенное количество опечаток, например, на стр.6 f_b -мезон обозначен как $f_b(2560)$, а на стр. 98-176 он обозначается в виде $f_b(2510)$, как это принято в современных таблицах..
2. Несмотря на достаточно подробное изложения аппарата парциально-волнового анализа, в диссертации не рассматриваются эффекты спин-флипповых и спин-нефлипповых вкладов в барионной вершине в реакции зарядовообменного η - ρ^0 рождения.
3. Не всегда использованные ссылки являются свежими, например, вместо цитирования работы 148 «J.Beringer et al. (Particle Data Group), Phys.Rev. D86 (2012) 1» было бы более естественным привести здесь ссылку на новое из-

дание таблиц свойств частиц «K.A.Olive et al. (Particle Data Group), Chin.Phys. C38 (2014) 090001». Другой пример — это отсутствие ссылки на обзорную работу C.A.Meyer and E.S.Swanson, «Hybrid Mesons», ArXiv:1502.07276, 4 Mar. 2015.

4. Что касается главы 7, здесь имеет место излишне лаконичное обсуждение полученных в диссертации результатов в их сопоставлении с теоретическими исследованиями и данными других экспериментов. В частности, следует отметить беглое и, вообще говоря, неполное цитирование работ эксперимента E852, хотя тематика этих работ близка к обсуждающимся в диссертации вопросам.
5. Наконец, отсутствие списка рисунков и списка таблиц затрудняет чтение довольно большого текста диссертации.

Сделанные выше замечания не снижают общей высокой оценки работы диссертанта. Проведенная Садовским С.А. работа является значимым вкладом в науку и имеет перспективы как в научном, так и в методическом плане.

Заключение

Диссертация Садовского С.А. «Исследование двух-, трех- и четырехмезонных систем, образующихся в зарядовообменных π -р-взаимодействиях» является законченной научно работой. **Совокупность представленных в диссертации результатов следует квалифицировать как крупное научное достижение в области физики высоких энергий.**

Диссертация выполнена на высоком научном уровне, полученные результаты являются достоверными, выводы – обоснованными. В диссертации полно отражены основные результаты, вошедших в диссертацию работ. Автореферат, в свою очередь, полно и точно отражает содержание диссертации. Диссертация, безусловно, обладает научной и практической значимостью.

В соответствии с вышеизложенным считаю, что диссертация «Исследование двух-, трех- и четырехмезонных систем, образующихся в зарядовообменных π - ρ -взаимодействиях» удовлетворяет требованиям Положения ВАК Российской Федерации, предъявляемым к докторским диссертациям, а автор работы, **Садовский Сергей Анатольевич**, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий.

Доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Научно-исследовательского института ядерной физики им. Д.В. Скобельцына Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова
г. Москва, «26» мая 2015 г.



Коротких В.Л.

Адрес: 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2, НИИЯФ МГУ, тел. +7-495-939-12-57,
e-mail: Vladimir.Korotkikh@cern.ch

Подпись доктора физ.-мат. наук, профессора, вед. науч. сотрудника Коротких В.Л. заверяю.

Директор Научно-исследовательского института ядерной физики им. Д.В. Скобельцына Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова доктор физико-математических наук, профессор



Панасюк М.И.