

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Садовского Сергея Анатольевича «Исследование двух-, трех- и четырехмезонных систем, образующихся в зарядовообменных π^-p -взаимодействиях», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий.

Основу диссертации Садовского С.А. составляют результаты экспериментальных исследований, выполненных в рамках программы ГАМС на ускорителе У-70 в ИФВЭ, а также на протонном синхротроне SPS в ЦЕРН с использованием многофотонных спектрометров ГАМС-2000 и ГАМС-4000.

Актуальность и научная новизна затронутых в диссертации вопросов не вызывают сомнения и определяются тем, что парциально-волновой анализ является необходимым инструментом в мезонной спектроскопии. Разработанная методика парциально-волнового анализа позволила впервые идентифицировать ряд скалярных $\pi^0\pi^0$ -резонансов в их деструктивной интерференции с нерезонансным фоном, а также исследовать проблему резонанса $\pi_1^0(1400)$ с экзотическими квантовыми числами, что имеет большое значение в плане поиска экзотических состояний. Представленные данные анализа $\eta\pi^0\pi^0$ -систем актуальны для поиска и идентификации псевдоскалярного глюбола. Не менее важными являются и результаты анализа спин-четности $4\pi^0$ -систем, образующихся в реакции $\pi^-p \rightarrow 4\pi^0n$.

Диссертация состоит из Введения семи глав и заключения.

В первой главе описана постановка экспериментов для изучения зарядовообменных π^-p -взаимодействий на установках ГАМС-2000 и ГАМС-4000 и излагается методика обработки данных экспериментов с годоскопических многофотонных спектрометров типа ГАМС, включая реконструкцию, кинематический анализ, отбор и моделирование событий.

Во второй главе диссертации представлена методика проведения масс-независимого парциально-волнового анализа систем из двух псевдоскалярных мезонов. Подробно рассмотрена проблема неоднозначности парциально-волнового анализа в терминах амплитуд реакций, а также проблема сшивки нетривиальных решений в соседних массовых интервалах. Проведено детальное изучение точности парциально-волнового анализа методом Монте-Карло, рассмотрена проблема выбора функционала минимизации при проведении анализа угловых распределений продуктов реакции.

В третьей главе описаны результаты парциально-волнового анализа реакции $\pi^-p \rightarrow \pi^0\pi^0n$ при импульсах 38 и 100 ГэВ/с. Подробно исследована проблема неоднозначностей рассмотренного анализа применительно к этой реакции, сшивка нетривиальных решений в соседних массовых интервалах,

критерии идентификации физического решения. Приводятся сечения и обсуждаются механизмы образования $f_0(980)$ -, $f_2(1270)$ -, $f_0(1370)$ -, $f_0(2010)$ -, $f_4(2050)$ - и $f_0(2560)$ -мезонов в указанной выше реакции.

Последовательное применение методики для парциально-волнового анализа событий при импульсах 38 и 100 ГэВ/с позволило решить проблему неоднозначностей парциально-волнового анализа в терминах парциальных амплитуд, найти глобальные решения в области масс системы $\pi^0\pi^0$ до 3 ГэВ и идентифицировать физическое решение.

В четвертой главе представлены результаты парциально-волнового анализа реакции $\pi^-p \rightarrow \eta\pi^0n$ при импульсах 100 и 38 ГэВ/с. Подробно рассмотрена проблема неоднозначности парциально-волнового анализа для данной реакции, сшивка глобальных решений, критерии выбора физического решения, процедуры выделения и измерения параметров резонансов $a_0(980)$, $a_2(1320)$ и $a_4(2040)$, обсуждаются механизмы образования этих резонансов. Также рассматриваются и обсуждаются данные проведенных экспериментов по экзотическому состоянию $\pi^0_1(1400)$ с квантовыми числами $I^G J^{PC} = 1^- 1^{+-}$.

Пятая глава посвящена спин-волновому анализу трехмезонных систем. Рассмотрены формализм амплитуд Земаха, формат представления данных, методика учета аппаратурной функции и фитирования распределений Далица, критерии сходимости фита. Представлены результаты анализа системы $\eta\pi^0\pi^0$ в реакции $\pi^-p \rightarrow \eta\pi^0\pi^0n$ при импульсе 100 ГэВ/с, в том числе парциальные вероятности распадов наблюдающихся мезонных состояний $\eta(1295)$, $\eta(1440)$, $f_1(1285)$, $f_1(1420)$, а также сечения их образования в указанной реакции.

В шестой главе описаны результаты анализа системы $4\pi^0$, образующейся в реакции π^-p -перезарядки при импульсах 100 и 38 ГэВ/с. Выполнен феноменологический анализ спин-волновой структуры $4\pi^0$ -состояний на основе угловых распределений продуктов реакции в системе центра масс $4\pi^0$ -системы. Определена вероятность $4\pi^0$ -канала распада $f_2(1270)$ -мезона, обнаружено резонансное состояние $f_2(1810)$, измерены парциальные сечения рождения $f_2(1270)$ -, $G(1590)/f_0(1500)$ - и $f_2(1810)$ -мезонов в канале распада на $4\pi^0$ -мезона при импульсах 100 и 38 ГэВ/с.

В седьмой главе обсуждаются результаты диссертационной работы, проводится их сравнение с данными других экспериментов и современными теоретическими моделями. Указано их место в мезонной спектроскопии.

В Заключении сформулированы основные результаты диссертации.

Целью экспериментов, выполненных в 1979 - 1998 гг. на спектрометре ГАМС-2000 в ИФВЭ и на спектрометре ГАМС-4000 в рамках эксперимента NA12 в ЦЕРН, было исследование нейтральных мезонных состояний,

образующихся в зарядообменной реакции π^- -мезонов на протонах $\pi^- p \rightarrow M^0 \rightarrow knN$ и распадающихся в конечном счете на γ -кванты. Использование зарядообменных процессов в качестве источника нейтральных состояний оказалось весьма эффективным инструментом в мезонной спектроскопии. В рамках этого направления была проведена серия экспериментов по поиску редких распадов нейтральных мезонов, резонансов с высшими спинами и экзотических мезонных состояний, включая $4q$ -состояния, гибриды и глюболы.

Проведение экспериментов такого уровня стало возможным благодаря созданию в 70-х годах новой методики регистрации многофотонных событий, основу которой составляли Годоскопические Автоматизированные Многофотонные Спектрометры (ГАМС), представляющие собой электромагнитные калориметры полного поглощения с радиаторами из свинцового стекла.

Указанное развитие экспериментальной методики повлекло за собой адекватное развитие методов сбора и обработки данных экспериментов. В результате успешное проведение экспериментов в значительной мере стало определяться также и системами сбора, обработки и моделирования данных экспериментов. Дальнейшее развитие получила методика парциально-волнового анализа двух-, трех- и многомезонных систем, без применения которой получить многие важные результаты в адронной спектроскопии было бы практически невозможно.

Методика обработки данных со спектрометров ГАМС-2000 и ГАМС-4000 разрабатывалась и постоянно совершенствовалась при активном участии диссертанта в течение более 20 лет в рамках экспериментов SERP-E-140 в ИФВЭ и NA12 в ЦЕРН. Несомненно, она представляла и представляет интерес для обработки данных с годоскопических детекторов типа ГАМС, которые были созданы вслед за указанными выше спектрометрами во многих лабораториях, включая ИФВЭ, ЦЕРН, FNAL и GSI, где стали базовыми детекторами большинства универсальных установок. Соответственно, и методика обработки данных со спектрометров ГАМС-2000 и ГАМС-4000 также была адаптирована применительно к условиям этих экспериментов. Так, например, итерационная процедура калибровки ГАМС-2000, основанная на выравнивании энерговыделения в кластерах калибровочных событий, была модифицирована и использована в экспериментах ГИПЕРОН-М (ИФВЭ) и ALICE (ЦЕРН). Методика параметризации функции электромагнитных ливней, была использована в эксперименте ALICE для параметризации функции плотности заряда на сигнальной плоскости вето-детектора заряженных частиц. Идея параметризации эффективности регистрации событий в виде ряда Фурье была применена для коррекции энергетической и массовой шкалы в эксперименте ГИПЕРОН-М.

Таким образом, важно отметить, что разработанная диссертантом методика вошла в практику современных экспериментов в физике высоких энергий.

Полученные автором диссертации научные результаты являются важным вкладом в изучение рождения мезонных систем, образующихся в зарядообменных пион-протонных взаимодействиях.

В итоге выполнена разработка алгоритма Фурье-параметризации многомерной Монте-Карло эффективности регистрации событий, основанного на принципе максимума энтропии. Решена проблема неоднозначностей в парциально-волновом анализе систем из двух псевдоскалярных мезонов, образующихся в зарядообменных $\pi^- p$ взаимодействиях. Соответствующий алгоритм нахождения всех нетривиальных решений парциально-волнового анализа был представлен впервые.

С помощью этого алгоритма был проведен парциально-волновой анализ реакций $\pi^- p \rightarrow \pi^0 \pi^0 n$ и $\pi^- p \rightarrow \eta \pi^0 n$ в широких диапазонах масс двухмезонных систем и переданных импульсов.

Был разработан алгоритм сшивки глобальных решений в парциально-волновом анализе бинарных систем из псевдоскалярных мезонов. Это имело принципиальное значение для идентификации физического решения в широком диапазоне масс ряда двухмезонных систем, образующихся в указанных выше реакциях.

Впервые выполнен парциально-волновой анализ реакции $\pi^- p \rightarrow \pi^0 \pi^0 n$ с учетом парциальных волн с проекцией спина на третью ось $m=\pm 1$ при импульсах 38 ГэВ/с и 100 ГэВ/с в области масс $\pi^0 \pi^0$ -систем до 3000 МэВ, наблюдаются серии скалярных $\pi^0 \pi^0$ -резонансов, $f_0(980)$, $f_0(1300)$, $f_0(1500)$ и $f_0(2010)$, измерены сечения рождения этих резонансов.

Проведен парциально-волновой анализ реакции $\pi^- p \rightarrow \eta \pi^0 n$ в области масс $\eta \pi^0$ -систем до 2500 МэВ, обоснован критерий выбора физического решения, наблюдаются серии резонансов в системе $\eta \pi^0$, включая $a_0(980)$ -, $a_0(1300)$ -, $a_2(1320)$ -, $a_4(2040)$ -мезоны, измерены сечения образования указанных резонансов и дифференциальное сечение рождения $a_0(980)$ -мезона.

Выполнен парциально-волновой анализ методом Земаха $\eta \pi^0 \pi^0$ -систем, образующихся в зарядообменных $\pi^- p$ -взаимодействиях при импульсе 100 ГэВ/с, идентифицированы резонансы $\eta(1295)$, $i\eta(1440)$, $f_1(1285)$ и $f_1(1420)$, измерены сечения их образования в этой реакции, а также относительные вероятности распадов указанных резонансов по $a_0(980)\pi^0$ - и $f_0(980)\eta$ -каналам.

Впервые проведен феноменологический анализ спин-четности $4\pi^0$ -систем, образующихся в реакции $\pi^- p \rightarrow 4\pi^0 n$ при импульсах 38 ГэВ/с и 100 ГэВ/с, измерены сечения рождения $f_2(1270)$ - и $f_2(1810)$ -мезонов, а также их относительные вероятности распада по $4\pi^0$ -каналу.

Представленная диссертация является плодом многолетней целеустремленной работы автора по созданию экспериментальных установок

и получению уникальных физических результатов. Им был решен ряд важных методических вопросов и предложены оригинальные методы анализа экспериментальных данных. Выполненные диссертантом разработки уже нашли широкое применение в других важных физических экспериментах в крупных мировых исследовательских центрах.

В качестве критики можно отметить незначительное число опечаток. В частности, на стр.6 имеется опечатка в слове «полученных» (написано с одной буквой «н»). В ряде случаев допущены некорректные фразы. Например, на стр.1 название параграфа 1 «Постановка и обработка данных экспериментов.» не очень удачное. Наверное, следовало бы написать «Постановка экспериментов и обработка экспериментальных данных ...». Также неудачна подпись к рис.3.8 «... штриховой линией показан Брейт-Вигнер», конечно надо написать «... распределение Брейт-Вигнера». Имеется еще небольшое количество подобных неточностей, но их нет смысла здесь перечислять, поскольку они нисколько не умаляют ценности диссертации.

Все представленные результаты опубликованы в научной периодике и докладах на международных конференциях.

Диссертация Садовского С.А. отвечает всем требованиям Высшей аттестационной комиссии, установленными п.9 Положения о порядке присуждения ученых степеней в части, касающейся докторских диссертаций. а ее автор, несомненно, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий.

Автореферат диссертации правильно отражает ее содержание.

Доктор физ.-мат. наук, профессор,
начальник научного отдела Объединенного
института ядерных исследований.

Адрес: 141980, Московская обл.,

г. Дубна, ул. Жолио-Кюри д.6.

Телефон: +7(496) 21 65884

Адрес электронной почты: malakhov@lhe.jinr.ru

А.И. Малахов

Подпись Малахова А.И. удостоверяю,
Главный ученый секретарь ОИЯИ,
профессор



Н.А. Русакович

«19» мая 2015 г.