

«УТВЕРЖДАЮ»

**Заместитель директора по научной работе
Федерального государственного бюджетного
учреждения «Петербургский институт
ядерной физики им. Б. П. Константинова»**

доктор физ.-мат. наук

Воронин В.В.

25 мая 2015 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию **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 С.А. Садовского посвящена изучению образования мезонных резонансов в зарядовообменных π -р-взаимодействиях с нейтральными конечными состояниями методом парциально-волнового анализа. Исследования базируются на данных экспериментов SERP-E-140 и NA12, проведенных на ускорителях U70 в ИФВЭ и SPS в ЦЕРН при импульсах 38 и 100 ГэВ/с, соответственно.

Диссертация состоит из введения, семи глав и заключения.

Во **введении** кратко изложено содержание глав диссертации и дана характеристика работ, результаты которых положены в основу диссертации.

В **первой главе** диссертации рассмотрена постановка экспериментов в ИФВЭ и ЦЕРН, соответственно, на установках ГАМС-2000 и ГАМС-4000, а

также представлена методика обработки данных с электромагнитных годоскопических спектрометров ГАМС-2000 и ГАМС-4000, которые являются основными детекторами указанных одноименных установок. Подробно рассмотрены процедуры калибровки спектрометров ГАМС, параметризации электромагнитных ливней, программы реконструкции событий в годоскопических спектрометрах и кинематического анализа событий. Значительное внимание уделено методам Монте-Карло моделирования событий в спектрометрах ГАМС, а также параметризации многомерной эффективности регистрации событий в эксперименте рядами Фурье.

Вторая глава посвящена методике масс-независимого парциально-волнового анализа систем из двух псевдоскалярных мезонов, которая изложена на примере реакции $\pi^+ p \rightarrow \eta \pi^0 n$. Здесь, прежде всего, следует отметить предложенное решение проблемы неоднозначностей парциально-волнового анализа при учете парциальных волн с проекцией спина на третью ось $|m| \leq 1$. Безусловно, это является одним из основных результатов диссертационной работы. Другой важный момент — это проведенное исследование точности парциально-волнового анализа методом Монте-Карло. Подробно рассмотрен случай зануления эффективности регистрации событий в значительных областях углового распределения событий в системе Готтфрида-Джексона, для которого детально изучены систематические ошибки при различном соотношении парциальных волн. Здесь же представлена оригинальная процедура сшивки различных решений масс-независимого парциально-волнового анализа событий в соседних интервалах по эффективной массе анализируемой системы, основанная на корнях функции Герстена.

В третьей главе рассмотрен парциально-волнового анализа событий реакции $\pi^+ p \rightarrow \pi^0 \pi^0 n$, который был проведен параллельно по данным

экспериментов SERP-E-140 и NA12, соответственно при импульсах 38 и 100 ГэВ/с в ИФВЭ и ЦЕРН. При этом следует отметить, что данные этих экспериментов существенно дополняют друг-друга. В результате взаимно согласованный анализ системы $\pi^0\pi^0$ удалось провести в области масс от порога и до 3.0 ГэВ, где была проведена сшивка нетривиальных решений методом корней функции Герстена и идентифицировано физическое решение с учетом парциальных волн вплоть до J -волны. Главный результат здесь — это наблюдение серии скалярных резонансов, $f_0(980)$, $f_0(1300)$, $f_0(1500)$ и $f_0(2010)$, в деструктивной интерференции с нерезонансным фоном при малых переданных импульсах системе $\pi^0\pi^0$, а также выделение в интенсивностях G - и J -волн резонансных состояний $f_4(2050)$ и $f_6(2510)$. Безусловно, это приоритетный результат. Он хорошо известен научной общественности и неоднократно цитировался в обзорных работах по мезонной спектроскопии.

Четвертая глава посвящена парциально-волновому анализу событий реакции $\pi^-p \rightarrow \eta\pi^0n$. Масс-независимый анализ проведен в трех областях по массе системы системы $\eta\pi^0$: до 1.2 ГэВ, свыше 1.8 ГэВ, а также от 1.2 до 1.8 ГэВ. В первой области масс выделен $a_0(980)$ -мезон и определено его дифференциальное сечение рождения в указанной реакции. Во второй области масс обнаружен резонанс $a_4(2040)$. Наконец, в области масс 1.2 — 1.8 ГэВ из восьми нетривиальных решений парциально-волнового анализа выделено одно, которое удовлетворяет всем критериям физического решения. В результате получено самосогласованное описание этой весьма непростой в плане физической интерпретации области масс, включающее $a_2(1320)$ -мезон, образующийся преимущественно с доминирующим p -обменом, а также $a_0(1300)$ -мезон, ранее в канале распада на $\eta\pi^0$ не наблюдавшийся. Без сомнения, это важный результат диссертации.

В пятой главе приведены результаты исследования $\eta\pi^0\pi^0$ -систем, образующихся в реакции $\pi^-p \rightarrow \eta\pi^0\pi^0n$ при импульсе 100 ГэВ/с. Был проведен

анализ распределений Далитца с использованием спин-тензоров Земаха. В главе подробно описаны процедура анализа распределений Далитца, учитывающая аппаратную функцию эксперимента, представление Земаха для амплитуд трехмезонных распадов, а также процедуры фитирования Далитц-распределений и отбора значимых амплитуд. В результате проведенного анализа в спектрах квадратов амплитуд выделены два псевдоскалярных резонанса, $\eta(1295)$ и $\eta(1440)$, и два аксиальных резонанса, $f_1(1285)$ и $f_1(1420)$, определены их параметры и относительные вероятности распадов по каналу $\eta(\pi^0\pi^0)_S$. Особый интерес здесь представляют результаты по резонансу $\eta(1440)$, который является одним из кандидатов в псевдоскалярные глоболы.

Шестая глава посвящена исследованию $4\pi^0$ -систем, образующихся в реакции $\pi^-p \rightarrow 4\pi^0n$ при малых переданных импульсах, по данным сеансов на пионных пучках 38 и 100 ГэВ/с. Здесь описаны процедуры выделения $4\pi^0$ -систем из фона и дальнейшего отбора событий для корректного анализа угловых распределений. Предложенный феноменологический подход позволил существенно упростить анализ угловых распределений в $4\pi^0$ -системе, в результате чего удалось провести анализ спин-четности образующихся $4\pi^0$ -состояний при сравнительно небольшой статистике экспериментальных данных и идентифицировать образование тензорных резонансов $f_2(1270)$ и $X_2(1810)$, равно как и резонанса $G(1590)$ — одного из кандидата в скалярные глоболы. Данные сеансов при импульсах 38 и 100 ГэВ/с хорошо согласуются между собой. Следует отметить также, что ранее $4\pi^0$ -система не изучалась. И в частности, идентификация резонанса $f_2(1270)$ в рамках проведенного анализа означает открытие редкого распада $f_2(1270) \rightarrow 4\pi^0$.

В Седьмой главе проведено обсуждение полученных в диссертации результатов и сравнение их с данными других экспериментов, таблицами

частиц, теоретическими моделями. Не вдаваясь здесь в детали, в целом следует отметить, что основные результаты данной диссертационной работы хорошо известны научной общественности и являются весомым вкладом в современную мезонную спектроскопию.

В **Заключении** перечислены основные результаты диссертационной работы.

Итак, подведем итоги.

Диссертация содержит целый ряд приоритетных результатов, среди которых следует отметить решение проблемы неоднозначностей в парциально-волновом анализе пар псевдоскалярных мезонов, разработку алгоритма сшивки глобальных решений в парциально-волновом анализе с использованием корней функции Герстена, наблюдение серии скалярных двухпионных резонансов в их деструктивной интерференции с нерезонансным физическим фоном, обнаружение $a_0(1300)$ -резонанса в физическом решении парциально-волнового анализа системы $\eta\pi^0$, анализ спин-четности $\eta\pi^0\pi^0$ -систем и $4\pi^0$ -систем, образующихся в зарядовообменных π - p -взаимодействиях, и наблюдение ряда резонансов в указанных системах. Без сомнения, полученные результаты по спектроскопии скалярных и псевдоскалярных мезонов имеют большое значение для понимания природы экзотических состояний в секторах скалярных и псевдоскалярных мезонов, включая глоболы.

Что касается методических вопросов, то рассмотренная в диссертации методика обработки данных с годоскопических детекторов может быть и уже, фактически, широко используется при обработке данных с электромагнитных и адронных калориметров годоскопического типа во многих экспериментах мирового уровня. И в этом – несомненная практическая значимость рецензируемой диссертации. Впрочем, потенциал разработанной методики только калориметрами далеко не исчерпывается.

Замечания по работе:

Во-первых, в диссертации встречается небольшое количество опечаток. Например, на стр. 8 написано «зарядовообменной» вместо правильного написания «зарядовообменной», на стр. 17 имеем «спектрометров», а, скажем, на стр. 72 – «амлитуд». Примеры можно еще продолжить, но, думаю, это не заслуживает здесь более детального обсуждения.

Во-вторых, безусловно, не украшает диссертацию повсеместное использование то русских, то английских обозначений единиц измерения физических величин. Кроме того, автор произвольным образом чередует единицы измерения МэВ и ГэВ без видимой в этом необходимости.

Далее, в качестве замечания по содержанию диссертации, можно отметить чересчур подробное изложение Монте-Карло моделирования систематических погрешностей различных методов, использовавшихся при проведении парциально-волнового анализа, см. раздел 2.3 диссертации (13 полных страниц текста). Тогда как существенно более важная глава 7, где, фактически, подводятся итоги всех вошедших в диссертацию исследований, на наш взгляд написана, скорее, излишне лаконично.

Отмеченные недостатки не влияют на общее высокое качество диссертационной работы. Текст автореферата полностью соответствует содержанию диссертации. По теме диссертации опубликовано 18 статей в ведущих физических журналах. Материалы работ неоднократно докладывались диссертантом на международных научных конференциях, что говорит о его личном значительном вкладе во все эти работы.

Данная диссертационная работа была заслушана на Ядерном семинаре Отделения физики высоких энергий ФГБУ «ПИАФ им. Б.П. Константинова» 19 мая 2015 г.

Учитывая несомненную научную новизну, актуальность и перспективность работы следует считать, что диссертационная работа

