

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный научный центр Российской Федерации - Институт физики высоких энергий»  
Национального Исследовательского Центра «Курчатовский институт»  
(ФГБУ ГНЦ ИФВЭ НИЦ «Курчатовский институт»)

19 июня 2015 г.

Заседание Диссертационного совета  
Д 201.004.01 при Институте физики  
высоких энергий (Протвино)  
Протокол № 4-2015\_2-2015

**Стенограмма заседания диссертационного совета Д 201.004.01**

**от 19 июня 2015 года**

Защита диссертации на соискание ученой степени  
доктора физико-математических наук Садовским Сергеем Анатольевичем  
на тему: «Исследования двух-, трех- и четырехмезонных систем,  
образующихся в зарядовообменных  $\pi$ -р-взаимодействиях»

Специальность: 01.04.23 – физика высоких энергий

Протвино 2015

**Председательствующий:** председатель Диссертационного совета  
Д 201.004.01 д.ф.-м.н., профессор, Тюрин Николай Евгеньевич.

**Секретарь:** ученый секретарь Диссертационного совета  
Д 201.004.01 к.ф.-м.н., Рябов Юрий Григорьевич.

Всего членов совета: 22 человека.

Присутствует : 21 человек.

На заседании присутствовали следующие члены Диссертационного совета  
Д 201.004.01:

1. Тюрин Н.Е., доктор ф.-м.н., 01.04.02 – председатель;
2. Рябов Ю.Г., к.ф.-м.н., 01.04.23 – учёный секретарь;
3. Арбузов Б.А., доктор ф.-м.н., 01.04.02;
4. Балакин В.Е., доктор ф.-м.н., 01.04.20;
5. Герштейн С.С., доктор ф.-м.н., 01.04.02;
6. Денисов С.П., доктор ф.-м.н., 01.04.23;
7. Зайцев А.М., доктор ф.-м.н., 01.04.23;
8. Зайцев Ю.М., доктор ф.-м.н., 01.04.23;
9. Иванов С.В., доктор ф.-м.н., 01.04.20;
10. Мочалов В.В., доктор ф.-м.н., 01.04.23;
11. Качанов В.А., доктор ф.-м.н., 01.04.23;
12. Образцов В.Ф., доктор ф.-м.н., 01.04.23;
13. Петров В.А., доктор ф.-м.н., 01.04.02;
14. Петрухин А.А., доктор ф.-м.н., 01.04.23;
15. Пронько Г.П., доктор ф.-м.н., 01.04.02;
16. Саврин В.И., доктор ф.-м.н., 01.04.02;
17. Селезнев В.С., доктор ф.-м.н., 01.04.20;
18. Сенько В.А., доктор ф.-м.н., 01.04.20;
19. Ткаченко Л.М., доктор ф.-м.н., 01.04.20;
20. Трошин С.М., доктор ф.-м.н., 01.04.02;
21. Чесноков Ю.А., доктор ф.-м.н., 01.04.20.

Диссертационный совет Д 201.004.01 утвержден приказом по Федеральной службе по надзору в сфере образования и науки № 105/нк от “11” апреля 2012 г. в составе 22 человека.

На заседании присутствуют 21 член Совета из 22, из них 7 докторов наук по специальности 01.04.23 - «физика высоких энергий», кворум имеется.

На заседании присутствуют также официальные оппоненты Коротких Владимир Леонидович, доктор физико-математических наук, профессор; Малахов Александр Иванович, доктор физико-математических наук, профессор; Ставинский Алексей Валентинович, доктор физико-математических наук, профессор.

**Председатель Диссертационного совета, Тюрин Н.Е.,** объявляет повестку дня: Наш основной вопрос - это защита диссертации **Сергеем Анатольевичем Садовским** по теме «Исследования двух-, трех- и четырехмезонных систем, образующихся в зарядовообменных пр-

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

**Ученый секретарь Диссертационного совета Рябов Ю.Г.** представляет документы, характеризующие соискателя:

Садовский Сергей Анатольевич, 1950 г. рождения, гражданин России, окончил Физический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова в 1973 г. и пришел на работу в ИФВЭ. Кандидатскую диссертацию С.А.Садовский защитил в 1986 г. по теме «Исследование нейтральных распадов  $\eta$ -мезона на установке ГАМАС-2000» и получил степень кандидата физико-математических наук в Диссертационном совете, созданном при Институте физики высоких энергий, Протвино. Работает ведущим научным сотрудником Сектора адрон-ядерных взаимодействий Отделения экспериментальной физики ФГБУ ГНЦ ИФВЭ НИЦ «Курчатовский институт», адрес: 142281, г. Протвино Московской области, площадь Победы, дом 1.

Диссертация выполнена в Отделении экспериментальной физики ФГБУ ГНЦ ИФВЭ НИЦ «Курчатовский институт».

Диссертационная работа принята к защите 27 февраля 2015 г. (Протокол № 2-2015). Совет утвердил официальных оппонентов и ведущую организацию. В деле имеются все документы. Объявление о защите, автореферат диссертации и диссертация опубликованы на сайте ВАК 18 марта 2015 г. Автореферат разослан 29 апреля 2015 г. Все необходимые отзывы получены.

Предзащита диссертации прошла на семинаре Отделения экспериментальной физики. Есть список публикаций, которые вошли в диссертацию. Семинар рекомендует защищать диссертацию на нашем Диссертационном Совете.

**Председатель Диссертационного совета, Тюрин Н.Е.:**

К Ученому секретарю есть вопросы ? Нет вопросов ? Тогда, Сергей Анатольевич, вам слово для сообщения.

**Садовский С.А.:**

Уважаемые коллеги, добрый день. Позвольте представить вам диссертацию «Исследования двух-, трех- и четырехмезонных систем, образующихся в зарядовообменных  $p\bar{p}$ -взаимодействиях». В основу настоящей диссертации положены результаты экспериментальных исследований, выполненных в рамках программы ГАМС на 70 ГэВ ускорителе ИФВЭ, эксперимент E-140, и на 450 ГэВ протонном синхротроне ЦЕРН, это эксперимент NA12, с использованием многофотонных спектрометров ГАМС-2000 и ГАМС-4000, соответственно. Диссертация состоит из Введения, семи глав и Заключения, содержит 66 рисунков, 5 таблиц, содержит 190 библиографических ссылок. Она выполнена на основе 29 работ, в том числе 18 работ, опубликованных в реферируемых журналах. Список работ представлен на следующих трех слайдах, я не буду на них останавливаться. Важно, что эти работы были опубликованы в виде

препринтов ИФВЭ, журналах «Ядерная Физика», «Доклады АН СССР», «Приборы и Техника Эксперимента», «Nuclear Instruments and Methods», «The European Physical Journal», «Nuclear Physics A», «Nuclear Physics B», доложены на научных семинарах ИФВЭ, сессиях Отделения ядерной физики АН СССР, международных конференциях по физике высоких энергий, адронной спектроскопии, искусственному интеллекту и методике обработки данных, а также конференциях HADRON'95, HADRON'97 и LEAP'98. Всего было 12 докладов.

Постановка и обработка данных экспериментов на установках ГАМС-2000 и ГАМС-4000 – это предмет первой главы. Целью экспериментов как в ИФВЭ, так и ЦЕРН было изучение нейтральных мезонных состояний, образующихся в зарядовообменных реакциях взаимодействия  $\pi$ -мезонов с протонами, и распадающихся в конечном счете на  $\gamma$ -кванты. Использование зарядовообменных 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. По каждому из этих направлений защищены соответствующие диссертации. Тема настоящей диссертации — это парциально-волновой анализ мезонных систем. Постановка эксперимента в ИФВЭ представлена на рисунке, она хорошо известна. Я не буду говорить здесь больше о деталях. Важно, что использовался нейтральный триггер, его формула здесь показана, и что регистрация фотонов проводилась при помощи годоскопического спектрометра ГАМС-2000. Его общий вид показан на следующем слайде. Он состоит из кассеты черенковских счетчиков полного поглощения, которая может перемещаться как по горизонтали, так по вертикали для обеспечения калибровки спектрометра в электронном пучке. Адронный калориметр, показанный на заднем плане, в этих экспериментах не использовался. Постановка экспериментов в ЦЕРН полностью аналогична эксперименту E-140. Основное отличие – это, что здесь использовался спектрометр ГАМС-4000 и немного другие апертурные счетчики, все остальное – аналогично.

Система обработки данных со спектрометров ГАМС включала калибровку спектрометров, программу реконструкции событий, в том числе параметров попавших в них фотонов, кинематический анализ событий, программу Монте-Карло для учета эффективности регистрации событий. Программы обработки данных экспериментов в ИФВЭ и ЦЕРН – это физически разные программы, однако принципиально это, практически, одни и те же программы, но немного по разному настроенные, и я большого различия между ними делать не буду. Система обработки данных со спектрометров ГАМС описана в работах, которые указаны на следующем слайде. Они также хорошо известны, и надо сказать, что это коллективный труд большого числа людей. Работы известны и цитируются.

Единственная тема, которая заметно меньше известна, – это параметризация многомерной эффективности. В диссертации она описана на основе работ, показанных на этом слайде. Надо сказать, что вторая работа из

показанных здесь была доложена на Ротчестерской конференции, а третья работа – на конференции по искусственному интеллекту. Я коротко скажу здесь, что это такое. Параметризация многомерной эффективности в виде ряда Фурье – это задача не корректно поставленная. Ее регуляризация была проведена на основе принципа максимума энтропии, и оказалось, что этот метод весьма эффективен. В диссертации приведено много примеров. Я покажу здесь только, как метод работает для параметризации эффективности регистрации реакции  $\pi^+p \rightarrow \pi^0\pi^0n$ , при импульсе 100 ГэВ/с.

Методика парциально-волнового анализа двухмезонных систем – это предмет второй главы. Здесь она рассмотрена на примере реакции  $\pi^+p \rightarrow \eta\pi^0n$ . Используется система обозначений из двух работ, J.L.Petersen и G.Costa. Они широко используются при проведении Парциально-Волнового Анализа (ПВА). Без потери общности ПВА можно разбить на три стадии. На первой стадии проводится разложение дифференциального распределения событий реакции в ряд по сферическим гармоникам. И цель анализа на этой стадии состоит в том, чтобы найти коэффициенты разложения углового распределения событий по этим гармоникам на основе полученных экспериментальных данных. А на второй стадии по системе уравнений (приведена на следующем слайде, она известна и опубликована) и полученным моментам разложения по сферическим гармоникам определить амплитуды и фазы. Суть проблемы здесь состоит в том, что эта система уравнений имеет несколько решений и, вообще говоря, их число зависит от того, какие амплитуды включены в парциально-волновой анализ. Эта проблема неоднозначностей ПВА была решена в работе S.A.Sadovsky, Preprint IHEP 91-75, Protvino 1991. Детали здесь некие написаны, я не буду о них сейчас говорить, скажу только, что с тех пор эта работа неоднократно цитировалась и использовалась в целом ряде экспериментов при решении проблемы неоднозначностей ПВА. Что можно здесь сказать еще? Важно то, что проблема решена в терминах функции Герстена, в числителе которой стоит некий полином степени  $2L$ , и, что касается случая S-, P- и D-волн, здесь будет наблюдаться 8 нетривиальных решений. Эта методика оказалась очень эффективной, и она оказалась эффективной и для того, чтобы сшивать решения в соседних массовых бинах в масс-независимом ПВА, потому что сшивать 4-ре корня функции Герстена намного легче, чем 12 параметров амплитуд ПВА. Пример такой сшивки решений в терминах корней функции Герстена показан для реакции  $\pi^+p \rightarrow \pi^0\pi^0n$  при 100 ГэВ/с на следующем рисунке в случае S-, D- и G-волн (слева) и в случае S-, D-, G- и J-волн (справа). Вверху показаны действительные части корней функции Герстена, а внизу их мнимые части. Видно, что решения хорошо разделяются друг от друга во всем диапазоне масс системы  $\pi^0\pi^0$ .

Дальше в главе изложены методы анализа угловых распределений по экспериментальным данным. Я здесь не имею возможности сильно углубляться в проблему. На слайде показаны лишь результаты Монте-Карло эксперимента для изучения разных способов анализа этих данных. Важно то, что метод максимума правдоподобия, что, в общем, не является

удивительным, является наиболее мощным и устойчивым для получения правильных результатов.

В третьей главе представлены результаты ПВА реакции  $\pi^- p \rightarrow \pi^0 \pi^0 p$  при 38 ГэВ/с, это сеанс 1980 г. на установке ГАМС-2000. На рисунке показан спектр масс системы  $\pi^0 \pi^0$ , эффективность регистрации, полученная изложенным выше методом, а вот это – физическое решение, одно из двух, которые в этом случае имеют место. Вот S-волна, вот D-волны и т. д.

Следующий сеанс 1984 г. Статистика более, чем на порядок величины больше чем в сеансе 1980 г. Здесь также были получены соответствующие решения. С учетом S-, D- и G-волн их уже восемь. С помощью физических критериев были выбраны два решения, которые близки друг к другу и удовлетворяют всем критериям физического решения. Они оба здесь показаны, но надо сказать, что решение, которое показано черными точками, оно более правильное в том плане, что оно имеет физические особенности более ярко выраженные. Обращает внимание, что этот острый дип в области 980 МэВ, который наблюдался и в сеансе 1980 г., а также дип в области 1500 МэВ в решении, показанном черными точками наблюдаются лучше. Но самое интересное состоит в том, что на рисунке справа показана область первого пика, но проанализированная несколько другим образом. На рисунке слева показаны результаты анализа событий при отборе по квадрату переданного импульса  $-t < 0.2$  (ГэВ/с)<sup>2</sup>, а на рисунке справа при  $-t > 0.45$  (ГэВ/с)<sup>2</sup>, так вот на первом рисунке дип имеет место, а на втором рисунке имеет место уже нормальный резонанс в виде пика. Это говорит о том, что мы видим один и тот же резонанс, но образующийся в разных механизмах. Это есть доказательство того, что состояние  $f_0(980)$  при малых  $-t$  проявляется в деструктивной интерференции с нерезонансным фоном в S-волне. Это, вообще говоря, известная работа. В настоящее время на нее имеется 74 ссылки, т. е. это очень хорошо известная работа в мезонной спектроскопии.

Дальше в главе представлены результаты анализа реакции  $\pi^- p \rightarrow \pi^0 \pi^0 p$  при 100 ГэВ/с, это уже на установке ГАМС-4000. Здесь проведен анализ в области до 2.4 ГэВ также с учетом S-, D- и G-волн. Физическое решение хорошо идентифицируется, в частности, здесь наблюдаются  $f_2(1270)$ -мезон и  $f_4(2050)$ -мезон. А в анализе данных в области масс до 3.0 ГэВ с учетом S-, D-, G-, и J-волн виден уже и  $f_6(2510)$ -мезон. В этой области масс мы также провели детальное изучение S-волны и нашли, что в эту область масс дают вклад 4-ре скалярных резонанса, которые проявляются в деструктивной интерференции с фоном. Их параметры и сечения приведены на слайде. На следующем слайде то же самое приведено и для высших волн, включая параметры и сечения резонансов с высшими спинами, т. е.  $f_4(2050)$  и  $f_6(2510)$ .

В главе 4 описывается парциально-волновой анализ системы  $\eta \pi^0$  при импульсах 100 и 38 ГэВ/с, но основные результаты получены все же при импульсе 38 ГэВ/с. И поэтому ниже только они и обсуждаются. Были проанализированы три интервала по массе системы  $\eta \pi^0$ : до 1200 МэВ, свыше 1800 МэВ и до 1800 МэВ. Это связано с тем, что ПВА в этих интервалах был проведен с разным набором амплитуд, что привело к существенно разному числу нетривиальных решений. В первом интервале были учтены только S-,

P-волны, и поэтому здесь всего 2 решения, во втором интервале учитывались S-, P-, D-, F- и G-волны, и здесь 128 нетривиальных решений, а в интервале масс до 1800 МэВ (учитывались S-, P- и D-волны) – 8 нетривиальных решений.

На следующем слайде показаны поправленные на эффективности регистрации спектры масс системы  $\eta\pi^0$  при разных обрезаниях по квадрату переданного импульса. Из рисунка видно, что механизмы образования  $a_0(980)$ - и  $a_2(1310)$ -мезонов очень разные. Детали, если будут вопросы, могу сказать, но, в частности, острое t-распределение  $a_0(980)$ -мезона при малых  $-t$  является подтверждением наличия  $\rho_2$ -обмена, который очень интересен для теоретиков. Результаты анализа до 1200 МэВ показаны на этом слайде. Здесь хорошо видна S-волна на уровне 3500 в физическом решении, а в другом решении, которое нефизическое, наоборот доминирует P-волна в области  $a_0(980)$ -мезона, что является физически неправильным.

При массах выше 1800 МэВ оказалось, что анализ провести проще, чем при меньших массах, и здесь, показаны результаты этого анализа, в частности, для двух бин по массе из области  $a_4(2040)$ -мезона показаны 128 решений, а справа – как амплитуды и фазы высших волн фитируются при этом с учетом функции Брейта-Вигнера, соответствующей  $a_4(2040)$ -мезону. Полученные значения сечений и параметров резонанса приведены, они совпадают с параметрами для  $a_4(2040)$ -мезона из таблицы частиц. Это вполне нормальный результат.

Теперь, что касается анализа в области масс до 1800 МэВ, здесь мы имеем 8 решений, а по распределению корней функции Герстена видно, что области масс выше 1200 МэВ все решения хорошо разделяются. В области до 1200 МэВ решения перепутываются, но мы проанализировали ее в упрощенном виде выше, результаты показаны на предыдущих слайдах. Таким образом, в области масс от 1200 до 1800 МэВ мы можем легко сшить и идентифицировать 8 глобальных решений. И теперь перед нами встает проблема выбора физического решения. Эта проблемы была решена в работе Ю.Д.Прокошкина и С.А.Садовского. И на следующем слайде показано единственное физическое решение, которое мы оставили для анализа в соответствии с этим критерием. На рисунке показаны разные картинки, которые связаны с этим решением, это S-волна, P<sub>+</sub>-волна, D<sub>+</sub>-волна. И что здесь видно? Видно, что здесь наблюдается резонанс в S-волне. На следующем слайде приведены параметры резонансов, сечения здесь тоже приведены. Но надо отметить, что резонанс  $\pi_1(1370)$ , наблюдаемый в эксперименте E-852, по нашим данным независимо не идентифицируется, но если зафиксировать массу этого резонанса в соответствии с данными эксперимента E-852, фит спектра проходит, и мы можем получить ширину этого резонанса и его сечение. Данные самосогласованные.

Пятая глава – это парциально-волновой анализ системы  $\eta\pi^0\pi^0$  при 100 ГэВ/с. Вот перед вами спектр масс  $\eta\pi^0\pi^0$ -систем, в таблице представлены амплитуды Земаха, которые были использованы в анализе, а на следующем слайде представлены квадраты амплитуд с данными значениями спин-четности  $J^{PC}$ :  $0^+$ ,  $1^{++}$ ,  $2^{+-}$ . Из рисунка видно, что состояния  $2^{+-}$  не

представляют никакого интереса, здесь гладкий унылый спектр. А вот в двух других спектрах,  $0^+$  и  $1^{++}$ , видны резонансы. Одновременно были проанализированы и парциальные амплитуды, когда распад происходит через конкретную систему. Это  $a_0\pi^0$  и  $f_0\eta$  в S-волне. Отметим, что в системе  $a_0\pi^0$  виден теперь резонанс  $f_1(1420)$ , который в интегральной волне  $1^{++}$  не проявлялся. Т.е. парциально-волновой анализ в терминах конкретных парциальных волн более чувствителен. Параметры конкретных резонансов и относительные вероятности парциальных каналов приведены на следующих двух слайдах. Я хочу отметить, что в те времена, когда проводился этот анализ, представляло большой интерес состояние  $i/\eta(1440)$ , но в настоящее время этот резонанс расщепился на два  $\eta(1405)$  и  $\eta(1475)$ . Наши результаты близки к значениям параметров, которые сейчас относятся к состоянию  $\eta(1405)$ . Для сравнения я показал параметры этого состояния рядом на рисунке. Что касается относительной вероятности его распада по каналу  $f_0\eta$ , которая была измерена, то она для этого состояния аномально большая. Распады состояний  $f_1(1285)$  и  $f_1(1420)$  по этому каналу вообще не наблюдаются, а вероятность такого распада для  $\eta(1295)$ -мезона мала. Это есть признак того, что система  $\eta(1405)$  является аномальной. И, в принципе, этот результат хорошо объясняется гипотезой глюонного обесцвечивания. Таким образом, это состояние является кандидатом в псевдоскалярные глюболы. Сечения образования рассмотренных резонансов приведены на следующем слайде. У меня нет сейчас возможности останавливаться на этих числах. Скажу, что сечения были нормированы на сечение хорошо известной реакции  $\pi p \rightarrow \eta' n$ .

В шестой главе изучается система  $4\pi^0$ . В общем, это очень интересная система. Основная мысль, которая была здесь проведена, это то, что основанием для проведения этих работ является, что эта система обладает очень высокой степенью симметрии – четыре нейтральные тождественные частицы в конечном состоянии. И это сразу убивает такие интенсивные моды распада как распад на два  $\rho$ -мезона, т.к. распад  $\rho$ -мезона всегда дает заряженную частицу в конечном состоянии, а у нас здесь принципиально заряженных частиц нет. Поэтому это очень хорошая система для поиска всякой экзотики.

Анализ  $4\pi^0$ -систем был проведен при импульсах 38 и 100 ГэВ/с. На слайде показаны результаты при 38 ГэВ/с, полный спектр, а также при дополнительном отборе малых переданных импульсов, где доминирует однопионный обмен. Справа показан аналогичный спектр, но при 100 ГэВ/с. Как видно, спектры очень похожи. Надо иметь в виду, что шкалы осей абсцисс разные, так что все здесь нормально. Далее, здесь же приведены  $t$ -распределения в различных областях масс системы  $4\pi^0$  при 38 ГэВ/с, откуда видно что система  $4\pi^0$  образуется при малых  $t$ , а распределения согласуются с однопионным обменом. На рисунке справа приведено  $t$ -распределение, но при импульсе 100 ГэВ/с в сравнении с  $t$ -распределением, когда рождается  $a_2(1310)$ , который распадается на  $4\pi^0$  через промежуточный канал распад на  $\eta\pi^0$ .



Далее был проведен некий феноменологический анализ угловых распределений в системе  $4\pi^0$ . Вообще говоря, это большое достижение, поскольку провести парциально-волновой анализ  $4\pi^0$ -систем – это очень сложно. Можно, но очень сложно. Здесь была реализована идея ввести некий упрощающий суммарный угол, на слайде показано его обоснование, и оказалось, что если ввести такой угол, вот его определение, то распределение по этому углу будет такое же, как и в случае распада частицы на два  $\pi^0$ -мезона. Это позволило выбрать такие области отбора по этому углу, куда дают вклад  $4\pi^0$ -состояния преимущественно со спином 0 или 2. Эти спектры масс при 100 ГэВ/с показаны на следующем слайде. Видно, что при одном отборе в спектре  $4\pi^0$ -масс возникают одни пики, а при другом отборе – другие пики. В результате в спектрах масс удалось наблюдать состояния  $f_2(1270)$ ,  $G(1590)$ ,  $X_2(1810)$ . На следующем слайде показаны аналогичные спектры масс при 38 ГэВ/с. Они хорошо согласуются с таковыми при 100 ГэВ/с.

Полученные массы и ширины указанных состояний при 100 ГэВ/с приведены здесь. Масса  $f_2(1270)$ -мезона очень хорошо согласуется с его табличным значением, которое мы в настоящий момент имеем. А масса скалярного состояния также очень хорошо согласуется с массой известного  $G(1590)$ -мезона. Вообще все эти результаты впервые получены, поскольку до нас систему  $4\pi^0$  никто не изучал. Здесь впервые получена также и относительная вероятность  $4\pi^0$ -распада  $f_2(1270)$ , она очень маленькая, т. е. порядка  $10^{-3}$ . При 38 ГэВ/с мы имеем те же самые результаты. Они очень-очень похожи на результаты при 100 ГэВ/с. И массы похожи и сечения, в частности, отношения сечений согласуются с теми значениями, которые мы бы ожидали при однопионном обмене. Вот данные, которые мы получили, а вот отношения, которые были бы при однопионном обмене.

Седьмая глава – это основные результаты и их место в мезонной спектроскопии. Надо здесь сказать, что решение проблемы неоднозначностей, включая процедуру сшивки глобальных решений в соседних массовых бинах, имело большое практическое значение. Фактически, это решение позволило провести все те эксперименты, которые излагались выше, по изучению систем  $\pi^0\pi^0$  и  $\eta\pi^0$ . В дальнейшем целый ряд экспериментов использовали наше решение проблемы неоднозначностей с прямой ссылкой на нашу работу. Я насчитал 8 таких работ.

Наблюдение серии скалярных  $\pi^0\pi^0$ -резонансов в деструктивной интерференции с нерезонансным фоном – это, безусловно, приоритетный результат. Я уже говорил, что на эту работу имеется 74 ссылки. А на ПВА системы  $\pi^0\pi^0$  при импульсе 100 ГэВ/с – 37 ссылок. Измерение  $t$ -дифференциального сечения образования  $a_0(980)$ -мезона и наблюдение  $a_0(1300)$ -мезона в системе  $\eta\pi^0$  важно для понимания сектора скалярных мезонов. Наблюдение состояния  $f_0(1500)/G(1590)$  – это, вообще, первое наблюдение распада на  $4\pi^0$  кандидата в скалярные глоболы.

Наблюдаемые в описанных экспериментах резонансы с высшими спинами,  $f_2(1270)$ ,  $f_4(2050)$ ,  $f_6(2510)$ ,  $a_2(1320)$  и  $a_4(2040)$ , хорошо ложатся на

$\rho/\omega$ -траекторию. А наблюдение резонансов  $f_2(1270)$  и  $f_2(1810)$  – это первое наблюдение резонансов в системе  $4\pi^0$ .

Изучение системы  $\eta\pi^0$  в области масс до 1800 МэВ при импульсе 38 ГэВ/с. Наблюдение скаляра  $a_0(1300)$  подтверждено в эксперименте OBELIX. Вместе с тем, данные ПВА для системы  $\eta\pi^0$  не противоречит существованию экзотического состояния  $\pi_1(1400)$ , которое широко обсуждается в спектроскопии. Данные экспериментов при импульсе 38 ГэВ/с самосогласованы.

Анализ система  $\eta\pi^0\pi^0$  в области масс до 1800 МэВ был проведен впервые. Наблюдены 4-ре резонансные состояния, это  $\eta(1295)$ ,  $\nu\eta(1440)$ ,  $f_1(1285)$  и  $f_1(1420)$ . Состояние  $\eta(1295)$  очень хорошо идентифицируется как первое радиальное возбуждение  $\eta$ -мезона. Измеренная аномальная относительная вероятность распадов  $\nu\eta(1440)$ -мезона по каналам  $a_0(980)\pi^0$  и  $f_0(980)\eta$  является важным аргументом для интерпретации этого состояния как кандидата в псевдоскалярные глоболы.

Заключение. Основные результаты, которые выносятся на защиту.

Это разработка алгоритма Фурье-параметризации многомерной Монте-Карло эффективности, основанной на принципе максимума энтропии.

Это решение проблемы неоднозначностей в парциально-волновом анализе систем из двух псевдоскалярных мезонов, образующихся в зарядовообменных  $\pi^{\pm}p$ -взаимодействиях. Исчерпывающий алгоритм нахождения всех нетривиальных решений ПВА был представлен впервые, что позволило провести парциально-волновой анализ реакций  $\pi^{\pm}p \rightarrow \pi^0\pi^0n$  и  $\pi^{\pm}p \rightarrow \eta\pi^0n$  в широких диапазонах масс и переданных импульсов.

Третье, это разработка алгоритма сшивки глобальных решений в парциально-волновом анализе, основанного на корнях функции Герстена. Это действительно очень полезно. Я продемонстрировал выше, что когда сшивка проводится в терминах корней функции Герстена, решения видны просто невооруженным взглядом.

Парциально-волновой анализ реакции  $\pi^{\pm}p \rightarrow \pi^0\pi^0n$  при импульсах 38 и 100 ГэВ/с, где обнаружена серия скалярных  $\pi^0\pi^0$ -резонансов,  $f_0(980)$ ,  $f_0(1300)$ ,  $f_0(1500)$  и  $f_0(2010)$ , проявляющихся в деструктивной интерференции с фоном. Это, безусловно, приоритетный результат.

Парциально-волновой анализ реакции  $\pi^{\pm}p \rightarrow \eta\pi^0n$  в области масс  $\eta\pi^0$ -систем до 2500 МэВ, обоснование критерия выбора физического решения, наблюдение серии резонансов в системе  $\eta\pi^0$ , включая  $a_0(980)$ -,  $a_0(1300)$ -,  $a_2(1320)$ -,  $a_4(2040)$ -мезоны, измерение сечений образования этих резонансов и дифференциального сечения рождения  $a_0(980)$ -мезона.

Парциально-волновой анализ методом Земаха  $\eta\pi^0\pi^0$ -систем, образующихся в зарядовообменных  $\pi^{\pm}p$ -взаимодействиях при импульсе 100 ГэВ/с, наблюдение резонансов  $\eta(1295)$ ,  $\nu\eta(1440)$ ,  $f_1(1285)$  и  $f_1(1420)$ , получение аргументации, почему состояние, называемое сейчас как  $\eta(1405)$ , является хорошим кандидатом в псевдоскалярные глоболы.

Наконец, феноменологический анализ спин-четности  $4\pi^0$ -систем, образующихся в реакции  $\pi^{\pm}p \rightarrow 4\pi^0n$  при импульсах 38 и 100 ГэВ/с в

экспериментах ГАМС-2000 и ГАМС-4000. Это тоже приоритетный результат. Измерения проведены впервые.

Спасибо !

**Председатель Диссертационного совета, Тюрин Н.Е.:**

Спасибо, Сергей Анатольевич. Вопросы, пожалуйста.

Семен Соломонович, пожалуйста.

**Герштейн С.С., член Диссертационного совета ИФВЭ:**

У меня несколько вопросов. Одно из последних достижений ГАМС было наблюдение  $f_6$  или  $g_6$ -мезона. Есть ли возможность на том, что отснято уже было, поискать  $f_8$  ? И тогда второй вопрос: в последних работах было также замечено, что легче эти высокоспиновые резонансы на ГАМС искать в распадах на  $\omega\omega$ . Это, конечно, более сложная техника, но, по-видимому, что-то в материалах остается. Можно ли было бы эти материалы использовать по поиску  $f_8$ ? И, наконец, извините, третий вопрос: вы смотрели только зарядовообменные процессы, а вот в центральной области вы не смотрели данные? Очень интригующим было обнаружение уже в ЦЕРН мезона со спином 2 и массой, примерно, 2100 МэВ. Это состояние идеально ложится на глюонное состояние со спином 2, и при этом распада на  $\pi^0\pi^0$  не было зафиксировано, но распад на  $\eta\eta$  наблюдался – это зафиксированное состояние. И предполагалось, что, возможно, это есть следующий глобол потому, что решеточные вычисления, которые не очень точные по абсолютной величине, но отношения они дают, как я понимаю, хорошие. Забавно, что при этом получается хорошее отношение к массе  $G$ -мезона. Вот эта работа повисла, осталась не законченной. Прокошкин Ю.Д. надеялся, что это будет проверено. Вот район 2100 МэВ, распад на  $\eta\eta$ , в каком это сейчас состоянии?

**Садовский С.А.:** Ну я по порядку отвечу на эти вопросы.

Первый вопрос. Я хочу сказать, что по данным ГАМС-2000, которые здесь были представлены, провести анализ системы  $\pi^0\pi^0$  в области 2.5 ГэВ не удалось. Вот перед вами картинка, из которой видно, что в области масс 2.5 ГэВ событий мало, статистики, чтобы провести здесь измерения нет. И не случайно, чтобы провести анализ ...

**Герштейн С.С., член Диссертационного совета ИФВЭ:**

В  $\pi^0\pi^0$  он не виден, он в системе  $\eta\eta$  виден.

**Садовский С.А.:**

Но я системой  $\eta\eta$  не занимался. Ею занимался Кулик А.В. Я говорю, что мы имеем в системе  $\pi^0\pi^0$ , а потом надо отдавать себе отчет, что система  $\eta\eta$  сама по себе очень редкая. Поэтому, опять таки, статистики больше не будет, чем сейчас показано, будет только меньше. И более того, в этих экспериментах, которые были проведены, и результаты которых сейчас перед вами, даже и не пытались здесь что то сделать, потому, что видно... Понимаете, мы очень

много времени с Юрием Дмитриевичем потратили на моделирование экспериментов с системой  $\eta\pi^0$  методом Монте-Карло, и сейчас видно уже, что с этой областью мы ничего сделать не сможем. Есть некий предел в количестве событий, которые могут быть использованы для корректного парциально-волнового анализа. Если у вас событий меньше, а это, как минимум 1000 событий в массовом бине, то вы проведете такой анализ, но ничего не увидите, поскольку ошибки здесь будут очень большими. Поэтому мое мнение, что эту проблему решить при помощи данных, которые были на ГАМС-2000, невозможно. Я не владею сейчас информацией, насколько это возможно в эксперименте ГАМС-4л, поскольку экспериментом ГАМС-4л я не занимался. Но, что касается эксперимента ГАМС-2000, я высказал свое мнение.

Теперь дальше, что касается экспериментов при 100 ГэВ/с, видно, что здесь событий заметно больше, и здесь в области 2.5 ГэВ имеется 1.5 – 2.0 тысячи событий, и вот здесь парциально-волновой анализ провести можно. Он, кстати, и проведен. Вот область масс до 2.4 ГэВ, а вот – до 3.0 ГэВ. И мы здесь видим прекрасный пик в области  $f_6$ - или  $f_6$ -мезона. И действительно, я здесь считаю, что это совершенно независимое подтверждение наблюдения этого резонанса, который был открыт в ИФВЭ. Но дальше я тоже совершенно не вижу возможности провести этот анализ потому, что при больших массах все падает, и здесь провести анализ уже невозможно. Нужны новые эксперименты, но новых экспериментов не будет. Это было получено в эксперименте NA12, но NA12 давно закончен, и событий здесь мало. И поэтому то, что было сделано здесь – это не случайно. Это то, что реально можно было сделать в этом эксперименте. Но данных новых не будет. Единственная надежда, если хотите, – это на ГАМС-4л. Но я еще хочу сказать, что с этих пор, когда был открыт  $f_6$ - или  $f_6$ -мезон прошло уже лет двадцать, но следующее состояние за  $f_6$ , т. е. состояние  $f_8$  не открыто. Я не знаю почему. Наверное это очень сложно.

**Герштейн С.С.**, член Диссертационного совета ИФВЭ:

Это понятно, вероятность распада очень маленькая, а для  $\omega\omega$  – не маленькая.

**Садовский С.А.:**

Для  $\omega\omega$  – там полная вероятность очень маленькая. Вероятность распада  $\omega$  на  $\pi^0\gamma$  равна 8.3%, поэтому вероятность регистрации нейтрального канала распада  $\omega\omega$  менее процента, т. е. если мы говорим про нейтральные конечные состояния, то этот фактор – два порядка в потери эффективности регистрации. Другое дело – это проведение этих измерений в эксперименте COMPASS, где хороший универсальный детектор, где имеет место хорошая эффективность регистрации и заряженных частиц и нейтральных, и вот там они  $\omega\omega$  могут поизучать, но это вообще говоря другой эксперимент, и я не знаю, в планах COMPASS есть или нет изучение такого типа резонансов. Теперь, что касается экспериментов в ИФВЭ, то система  $\omega\omega$  изучалась, это известно. Там открыт ряд состояний, но эти состояния, по памяти, тоже имеет

массу порядка 1.8, ну максимум, 2 ГэВ, т.е. до области f8-мезона они заведомо не дотягивают. Ну, вот так.

**Герштейн С.С., член Диссертационного совета ИФВЭ:**

Дело в том, что распад высокоспиновых состояний, переход в два  $\pi$ -мезона сильно подавлен вращательным моментом, а  $\omega$  сама имеет спин. Это облегчает распад на  $\omega\omega$  таких состояний. И этот распад может быть менее подавлен. Поэтому он считал, Прокошкин Ю.Д., что хотя при этом теряется много статистики, канал распада на  $\omega\omega$  более перспективен.

**Садовский С.А.:**

Семен Соломонович, Прокошкин Ю.Д. был, безусловно, великим физиком, и я его глубоко уважаю, но эти эксперименты, о которых вы говорите, надо тогда проводить специально. Надо моделировать, надо считать, надо оценивать статистику, надо модернизировать систему сбора данных, электронику и т. д. Но на тех данных, которые есть, к сожалению, далеко не продвинуться.

**Председатель Диссертационного совета, Тюрин Н.Е.:**

Вопроса было три.

**Садовский С.А.:**

Я, вроде, на все ответил.

**Председатель Диссертационного совета, Тюрин Н.Е.:**

Он ответил на больше. Но, мне кажется, что если мы так уж заговорили обо всем этом, люди, которые работали с Юрием Дмитриевичем Прокошкиным, если бы они потратили какое-то время и все-таки хотя бы проанализировали, а что на тех данных, которые есть, какие задачи можно было бы, в принципе, решить. Это не значит, что кто-то кого-то заставляет идти и вместо одного эксперимента делать другой. Но, если бы все это было бы проанализировано, то, наверное, это был бы очень хороший вклад в любом смысле, в том числе в части тех больших экспериментов, тех больших идей, которые прорабатывались и исследовались здесь на том ГАМСе, на другом. Это все методика регистрации большого числа гамма-квантов. Эксперименты завершены, статистика есть, она не до конца обработана. Сейчас вы ответили, что это сделать нельзя, статистики не хватает. Но вопросов, наверное, много.

**Герштейн С.С., член Диссертационного совета ИФВЭ:**

На K-мезонном пучке тоже, что то делалось.

**Садовский С.А.:**

Я бы сказал даже более. Мне кажется странным, что за 20 лет не только у нас, но и, вообще, в мире так и не продвинулись до спина 8. И это становится уже действительно интересным. Мне кажется, что эта тематика может быть востребована в нашем институте. Но для этого надо все же ставить новый

эксперимент. Самый большой спин – это у мезонов  $ab$  и  $f_b$ . Все. Дальше результатов нет. В принципе, эта тематика интересная, в том числе и для нашего института.

**Председатель Диссертационного совета, Тюрин Н.Е.:**  
Спасибо, есть еще вопросы? Пожалуйста. Сергей Петрович.

**Денисов С.П., член Диссертационного совета ИФВЭ:**  
В диссертации приведен целый ряд методических и физических результатов. И я бы хотел спросить диссертанта, какой результат он считает наиболее важным? Какой результат ему нравится больше всего? Каким результатом он гордится из всех, которые изложены в диссертации?

**Садовский С.А.:**  
Ну я отвечаю на этот вопрос. Я бы сказал так, что без решение проблемы неоднозначностей, которую я излагал сегодня, вот эти результаты получены бы просто не были. Потому, что сейчас это просто говорить, что, скажем, на этой картинке 128 решений, а когда мы начали впервые делать этот анализ, то мы это делали только для маленьких  $t$ , когда в ПВА учитывались только волны с нулевой проекцией, и тогда проблема неоднозначностей легко решается, а когда вы добавили еще какую либо волну с минусом, с плюсом, вся эта система рушится. Я могу напомнить тем, кто занимается этой тематикой, что даже ГАМС опубликовал работу в свое время, где число решений в ПВА системы  $\eta\pi^0$  было некорректным. Поэтому, если бы этой работы, которая решает проблему неоднозначностей, не было бы, то результаты, которые я показал для двухпионной системы не было бы тоже. Это первое.

**Председатель Диссертационного совета, Тюрин Н.Е.:**  
Достаточно, вы сказали, собственно, что эту работу в результате вы считаете самой важной.

**Садовский С.А.:**  
Да и на эту работу имеются ссылки. Я бы сказал еще, что есть некие люди, которые вставили наши результаты в свои работы, и потом на эти работы имеется полно ссылок.

**Председатель Диссертационного совета, Тюрин Н.Е.:**  
Ну это нормально. Это наука. Сергей Петрович, он ответил на ваш вопрос?

**Денисов С.П., член Диссертационного совета ИФВЭ:**  
Да.

**Председатель Диссертационного совета, Тюрин Н.Е.:**

Так, хорошо, есть еще вопросы? Тогда спасибо, Сергей Анатольевич. Мы переходим к оглашению заключения третьей организации. Слово предоставляется ученому секретарю Диссертационного совета Ю.Г. Рябову.

**Ученый секретарь Диссертационного совета Рябов Ю.Г.** зачитывает отзыв ведущей организации – Петербургского института ядерной физики им. Б.П. Константинова. В целом она, дала положительный отзыв на диссертацию Сергея Анатольевича (отзыв прилагается).

**Замечания:**

Во-первых, в диссертации встречается небольшое количество опечаток. Например, на стр. 8 написано «зарядовообменной» вместо правильного написания «зарядовообменной», на стр. 17 имеем «спектрметров», 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.

**Ведущая организация дала положительный отзыв на диссертацию.**

**Председатель Диссертационного совета, Тюрин Н.Е.:**

Сергей Анатольевич, попробуйте дать кратко ответ на замечания.

**Садовский С.А. отвечает на замечания:**

Я согласен с замечаниями ведущей организации. Может быть только один комментарий. Он состоит в том, что, действительно, результаты, которые приведены в диссертации, были в известной степени не очевидными. И поэтому пришлось очень много вести черновой работы по моделированию результатов эксперимента методом Монте-Карло. Этому посвящено несколько работ. Из-за этого я, действительно, может быть сейчас уже слишком много уделил внимания этой тематике. В остальном, я согласен.

**Председатель Диссертационного совета, Тюрин Н.Е.:**

Мы переходим к выступлениям официальных оппонентов. Слово имеет Владимир Леонидович Коротких, НИИЯФ МГУ.

**Выступает официальный оппонент Коротких В.Л.:**

Я сначала хочу сделать маленькое предисловие, оно поможет понять мои замечания. Дело в том, что Сергея Анатольевича я знаю давно. У нас нет

общих публикаций. Но мы не раз обсуждали проблему анализа в физике мезонной спектроскопии, особенно парциально-волновой анализ. Дело в том, что я был одним из активных участников анализа эксперимента E852 в Брукхейвенской национальной лаборатории. И, естественно, тогда у нас был актуальным вопросом, и сейчас он остался, вопрос о существовании гибридов и глюболов. Восемь лет назад появился обширный и обстоятельный обзор Клемпта и Зайцева по этой же теме. Практически все работы диссертанта там включены и описаны. И вызывает недоумение, почему Садовский С.А. не защитил диссертацию лет 10 тому назад. Последняя его работа, вошедшая в список работ диссертанта, 2003 г. из 29 работ, которые туда включены. Можно лишь отметить, что прошедшее время подтвердило достоверность его результатов, и то что диссертация хорошо написана.

Далее Коротких В.Л. зачитывает отзыв (отзыв прилагается).

Отмеченные недостатки:

В диссертации имеется определенное количество опечаток, например, на стр.6  $f_6$ -мезон обозначен как  $f_6(2560)$ , а на стр. 98-176 он обозначается в виде  $f_6(2510)$ , как это принято в современных таблицах.

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  $\eta\pi^0$ -рождения.

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

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.

Наконец, отсутствие списка рисунков и списка таблиц затрудняет чтение довольно большого текста диссертации.

**Коротких В.Л. дал положительный отзыв на диссертацию.**

**Председатель Диссертационного совета, Тюрин Н.Е.:**

Спасибо! Сергей Анатольевич, вам слово для ответа.

**Садовский С.А. отвечает на замечания:**

Я согласен с большинством замечаний, которые сделал официальный оппонент. В общем, он все сказал правильно. Может быть несколько комментариев в оправдание. Почему диссертация была написана так поздно?



Потому, что когда пишешь работы, не думаешь о защите диссертации. А потом, скажем так, прошло время, прежде чем я осмыслил, что целый пласт, буквально, целый пласт исследований которые были проведены на спектрометрах ГАМС, остался без обзора, и без суммирования какого-то, и без обобщения. На это потребовалось, просто, время. Потом диссертация получилась многоплановой, и мне, действительно, понадобилось очень много времени, чтобы все это просуммировать и изложить в виде научного труда. Я понимаю, что произошла некая задержка. Но так вышло, тем более, скажем, надо также учитывать, что есть и другие дела, которые невозможно было отложить. Но я согласен, что здесь можно было бы все это и раньше сделать.

Теперь, что касается лаконичности 7-й главы и работ эксперимента E852. Я, конечно, работы эксперимента E852 знаю, он очень близок к той тематике, которая делалась на установках ГАМС-2000 и ГАМС-4000, и, более того, и они наши работы знают, потому, что, скажем, то, как было выбрано физическое решение, надо считать отношение сечений с ненатуральной спин-четностью обмена к натуральной спин-четностью, они прочитали нашу работу, посчитали и получили, что оно соответствует. Поэтому, скажем, те картинки, что я показывал по результатам наших работ, там можно еще одну точку поставить по данным эксперимента E852, и она, опять-таки, точно ложиться на эту прямую линию. Я, кстати, в диссертации об этом пишу.

Что же касается цитирования этих работ, да, я согласен с замечанием официального оппонента, можно было бы и больше процитировать, но как-то не это ставилось целью, а ставилось целью разобраться с проблемой. В остальном я полностью согласен с замечаниями.

**Председатель Диссертационного совета, Тюрин Н.Е.:**  
Владимир Леонидович, вы удовлетворены ответом?

**Официальный оппонент Коротких В.Л.:**

Нет, один вопрос остался без ответа: как вы оцениваете все же возможность учета или пренебрежения эффектами спин-флипповых и спин-нефлипповых вкладов в нижней вершине?

**Садовский С.А.:** Это очень серьезный вопрос. Когда мы анализировали наши данные, мы использовали стандартные методы и стандартные формулы парциально-волнового анализа, которые использовались в то время. Эта методика парциально-волнового анализа была разработана 20-25 лет тому назад, даже может больше. Тогда это вопрос, как-то не стоял. А все брали и делали в соответствии с известными работами, ссылаясь на них. Ну и мы делали точно так же. Собственно говоря, у меня здесь особых вопросов не возникало. Почему, да потому, что на самом деле эти вещи перекликаются с теми результатами, которые изложены в диссертации. Почему, потому что учет этих вещей приводит к изменению  $t$ -зависимости в реакции. Это так. Но с формулами мы это не связывали. Поэтому я думаю, что замечание правильное, и чтобы его учесть надо серьезно работать, но, вообще говоря, это уже новое направление в парциально-волновом анализе, я так считаю.

**Официальный оппонент Коротких В.Л.:**

Спасибо!

**Председатель Диссертационного совета, Тюрин Н.Е.:**

Спасибо! Слово имеет Александр Иванович Малахов, ОИЯИ.

**Выступает официальный оппонент Малахов А.И.:**

Я, прежде всего хочу сказать, что диссертация Сергея Анатольевича является фундаментальной работой, которая содержит массу прекрасных результатов, и мы все здесь это видели. Это, конечно, очень хорошая, надежная работа. Актуальность в научном плане здесь уже обсуждалась, она не вызывает никаких сомнений.

Далее Малахов А.И. зачитывает отзыв (отзыв прилагается).

Отмеченные недостатки:

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 рисунку 3.8 «... штриховой линией показан Брейт-Вигнер», конечно надо написать «... распределение Брейт-Вигнера». Имеется еще небольшое количество подобных неточностей, которых нет смысла здесь перечислять, поскольку они нисколько не умаляют ценности диссертации.

**Малахов А.И. дал положительный отзыв на диссертацию.**

**Председатель Диссертационного совета, Тюрин Н.Е.:**

Спасибо, Александр Иванович! Так, Сергей Анатольевич.

**Садовский С.А.:**

Я согласен с замечаниями официального оппонента. Мне нечего добавить больше.

**Председатель Диссертационного совета, Тюрин Н.Е.:**

Теперь слово предоставляется официальному оппоненту Алексею Валентиновичу Ставинскому, ФГУП РФ ИТЭФ.

**Официальный оппонент Ставинский А.В.:**

Прежде всего я бы хотел сказать, что получил от диссертации истинное удовольствие, поскольку читается диссертация легко. Действительно видно, что человек разбирался, любовно с физикой разбирался, разбирался в сложных методических вопросах. И возникает ощущение общения с настоящим физиком. И я бы ни коим образом не критиковал бы диссертанта, что он написал очень подробно. Это просто приятно читать. Есть еще один момент, который здесь прозвучал, но может быть не столь явно. Про

актуальность. Фотон – это очень интересная частица для физики частиц, которой посвящена диссертация, но поскольку мы знаем, что фотон имеет высокую проникающую способность в отличие от адронов, то он является пробником начального состояния, и поэтому регистрация многофотонных систем, которые, по-моему, это здесь является одним из ярких результатов, она очень востребована в физике частиц и резонансов, но и в ядерной физике. Вообще, я бы предложил просто восхититься, какая сложная задача была решена. Мало того, что регистрация одного фотона требует больших усилий, так здесь регистрируется одновременно много фотонов, до 8-ми фотонов. На первый взгляд, это кажется фантастикой, но при этом обработка проведена настолько аккуратно, убедительно, что действительно получаются результаты, которым можно верить. Здесь уже говорилось, почему диссертация не была защищена раньше, я подумал и нашел прекрасный аргумент – диссертанту, по-видимому, было очень приятно увидеть, сколько ссылок получили его работы за прошедшее время.

Далее Ставинский А.В. зачитывает отзыв (отзыв прилагается).

Отмеченные недостатки:

Диссертационная работа не лишена определенного количества опечаток, неточностей, научного сленга, англицизмов и пр. Некоторые из них (например, термин «констрейн», стр.31) звучат довольно экзотично в русском языке, особенно если к ним применяют падежи. Непонятно, по какому принципу некоторые фамилии, например, Готтфрид, Джексон, Трайман, Янг, удостоены перевода на русский язык (стр. 54), а некоторые – Gersten (стр. 54), Chung (стр. 56) – нет. Совсем «не повезло» Герстену – перевода удостоена его функция (стр. 57), а сам он – нет (стр. 54). Из менее формальных неточностей приведем несколько примеров: в диссертации отмечено, что процедура формирования банка ливней (стр. 37) может быть искажена центральным отверстием в спектрометре, но не сказано, как эта трудность обходится; очень странно выглядит фит  $D_0(\epsilon_{th}=0.096)$ , резко «провалившийся» в последней точке (стр. 66, 70). На рисунке 6.6b полиномиальный фит оборван в произвольной точке. Отсутствует оценка систематических ошибок в значениях извлекаемых параметров резонансов в зависимости от точки обрыва фита (стр. 163).

**Ставинский А.В. дал положительный отзыв на диссертацию.**

**Председатель Диссертационного совета, Тюрин Н.Е.:**

Спасибо, Алексей Валентинович! Пожалуйста, Сергей Анатольевич.

**Садовский С.А.:**

Я согласен с замечаниями официального оппонента. Я могу сказать следующее, что когда я их сейчас услышал, то мне самому показалось забавным это обращение с именами известных ученых, но когда пишешь диссертацию, то не замечаешь эти моменты, или что констрейн – это английское слово. Но, по существу это так, когда я посмотрел на эти замечания то, по существу, все они правильные. И я должен с ними всеми согласиться.

**Председатель Диссертационного совета, Тюрин Н.Е.:**

Хорошо, спасибо. Алексей Валентинович, вы удовлетворены ответом?

**Официальный оппонент Ставинский А.В.:**

Да.

**Председатель Диссертационного совета, Тюрин Н.Е.:**

Мы закончили выступления официальных оппонентов. Был очень тщательный разбор диссертации. Поэтому я бы хотел поблагодарить официальных оппонентов за очень внимательное отношение к диссертации и за ее разбор. Теперь мы переходим к дискуссии. Кто хотел бы выступить? Владимир Федорович, вы не хотите выступить?

**Образцов В.Ф., член Диссертационного совета ИФВЭ:**

Я хотел бы, тем более, что я являюсь соавтором двух работ, вошедших в диссертацию. Поэтому я изнутри знал это дело. Много хорошего здесь уже говорилось. Но мне кажется, что здесь поставлена точка. В.Д.Самойленко также защищал докторскую диссертацию по данным ГАМС, но у него тема была редкие распады, а здесь мы имеем диссертацию, посвященную спектроскопии. И это было, все же, основным направлением исследований. И наконец, мы получили некую общую картину завершения. Семен Соломонович тоже прав, что еще есть направления, которые можно продолжить. Но в целом, я бы так сказал, что мы сейчас всю картину увидели, и это производит достаточно большое впечатление. Эксперимент был очень хорошим, было много хороших результатов. Дай Бог, чтобы и в дальнейшем в ИФВЭ делались такие эксперименты. Кстати, я считаю, была еще одна гениальная идея Юрия Дмитриевича совместно с Ж.П.Стротом – сделать такой парный эксперимент при двух энергиях. Энергия важный параметр, с энергией вымирают какие-то полюса, и здесь возможна взаимная проверка, а с другой стороны при наших энергиях сечения были больше, поэтому все это гармонично дополняло друг друга. Ну а диссертанту хочется пожелать дальнейших успехов, и применять накопленный здесь опыт и далее, в эксперименте ALICE, в ALICE тоже, наверное, есть нейтральные конечные состояния.

Мне кажется, что продолжая ту дискуссию, что начал Семен Соломонович касательно наблюдения состояний с высоким спином в системе  $\omega\omega$ , мне кажется, что там есть другая идея, к которой я имею отношение потому, что занимался системой  $4\pi^0$ . Можно еще  $f_2f_2$  смотреть,  $f_2$  имеет спин 2, и он имеет вероятность распада на  $\pi^0\pi^0$  заметно выше, чем  $\omega$  на  $\pi^0\gamma$ , поэтому надо исследовать систему  $f_2f_2$ , а она видна в системе  $4\pi^0$ . Это было бы замечательно. Сергею Анатольевичу, конечно, не стоит этим заниматься, поскольку он сейчас занят в эксперименте ALICE и эксперименте ГИПЕРОН, но, на самом деле, если бы как-то чуть-чуть поруководить каким-нибудь аспирантом или уже постдоком, – это было бы очень здорово. Это позволило как-то всю картину увязать в целое. Как бы последний штрих, и он был бы

положительным. А вообще говоря, я должен сказать, что Сергей Анатольевич, естественно, давно достиг уровня доктора наук, и я рад, что он, наконец, преодолел все бюрократические барьеры, потому что все же это большой труд. И теперь, что называется, все стало на свои места, он достоин степени доктора наук.

**Председатель Диссертационного совета, Тюрин Н.Е.:**

Спасибо! Да, главное – это себя преодолеть.

**Герштейн С.С., член Диссертационного совета ИФВЭ:**

Я рад, что диссертация защищается на нашем материале. И эта диссертация высокого уровня. С математической точки зрения парциально-волновой анализ, это решение обратной задачи, а обратная задача, как известно, как правило, некорректная. И только вот физические соображения, которые были сделаны, помогают получить устойчивое решение вот этой обратной задачи. Поэтому здесь не только экспериментальная часть важна, но важна и вся эта мощная обработка, которая позволила преодолеть, решить эту обратную задачу. Так что можно поздравить – хорошая, замечательная работа.

**Председатель Диссертационного совета, Тюрин Н.Е.:**

Спасибо! Товарищи члены Диссертационного совета, вопрос ясен или еще есть выступления? Нет? Тогда, Сергей Анатольевич, вам заключительное слово.

**Садовский С.А.:**

Я бы сказал, что вся программа ГАМС была задумана Юрием Дмитриевичем Прокошкиным. И автор выражает ему глубокую благодарность как руководителю этой программы, соавтору большинства работ, вошедших в настоящую диссертацию, за плодотворное тесное сотрудничество на протяжении многих лет. При этом многие работы были инициированы лично Юрием Дмитриевичем. Особо следует отметить ценность его весьма неординарных подходов к решению целого ряда неизбежно возникавших проблем на самых разных этапах проведенных исследований. Вообще, в известной мере, я у него многому чему научился, и я ему очень благодарен. И иногда не понятно, почему то или иное решение было принято, но проходит некоторое время, и ты понимаешь, что оно было правильным. Вот, и если так посмотреть, то у меня 16 работ в соавторстве с Юрием Дмитриевичем. И эти все работы достойны, и они цитируются очень-очень сильно.

Самые теплые слова благодарности автор выражает Владимиру Федоровичу Образцову за совместную работу, многочисленные полезные обсуждения многих, из затронутых в диссертации, вопросов, а также за поддержку зачастую нетривиальных результатов исследований и стимулирование написания настоящей диссертационной работы. Это сухие слова, но я хочу сказать, что они действительно из жизни все же. Почему? Да потому, я конечно, например, могу вернуться назад и показать, скажем, спектр системы  $\eta\pi^0\pi^0$ , он такой достаточно простой до обработки, а после

обработки получается 4-ре резонанса. И они, вообще говоря, извините, не согласовывались с известными экспериментальными данными. Тогда был мезон  $\eta(1440)$ , а потом он расщепился на два  $\eta(1405)$  и  $\eta(1475)$ , но я хочу сказать, что это сейчас мы все это знаем и понимаем, а тогда, тогда первая реакция была – неправильно анализ проведен. А вот Владимир Федорович, он очень вник в это дело и оказал большую моральную поддержку. Я подчеркиваю, что это совсем немаловажно в научной деятельности.

Дальше я скажу, что автор очень благодарен своим коллегам – участникам программы ГАМС: С.В.Донскову, А.В.Инякину, Д.Б.Какауридзе, В.А.Качанову, А.А.Кондашову, В.Н.Колосову, А.В.Кулику, Г.Л.Ландсбергу, А.А.Ледневу, В.А.Лишину, Ю.В.Михайлову, С.А.Половникову, Ю.В.Роднову, В.Д.Самойленко, А.В.Синьговскому, А.Е.Соболю, В.П.Сугоняеву, Г.В.Хаустову, П.М.Шагину и А.В.Штанникову,- за плодотворную совместную работу и сотрудничество на протяжении более 25 лет. Безусловно, я хочу сказать, что это результат коллективного труда. И без них, без каждого из них не было бы этих результатов. Хорошая была команда. Даже есть известная ностальгия по этому поводу.

Слова благодарности хочу адресовать также иностранным коллегам — участникам программы ГАМС: Д.Алди, Ф.Г.Бинону, К.Брикман, М.Бутмеру, М.Гуанэр, С.Инаба, Т.Кинаши, М.Кобаяши, Ж.П.Ланье, Т.Мутью, Т.Накамура, Э.А.Нап, Ж.П.Пенье, Ж.П.Строту, М.Пуле, К.Такаматсу, Т.Тсуру, за взаимно обогащающее сотрудничество в рамках совместных экспериментов в ИФВЭ и ЦЕРН. Это действительно так. Несколько школ встретились в эксперименте ГАМС, ГАМС-4000 и ГАМС-2000. и произошло такое взаимное обогащение. Ну, например, если уж так говорить, то Фурье анализ мне подсказал М.Бутмер, он, что-то такое сказал, но не до конца, и я потом осмыслил. Многие вещи, скажем, кинематический анализ мы тоже позаимствовали в известной мере у наших иностранных коллег. Поэтому, это истинные слова благодарности. Спасибо.

### **Председатель Диссертационного совета, Тюрин Н.Е.**

Спасибо. Теперь мы должны перейти к голосованию. Давайте выберем счетную комиссию. В комиссию предлагаются члены Диссертационного совета Селезнев В.С., Сенько В.А., Ткаченко Л.М. Приступаем к голосованию.

**Слушали:** об избрании счетной комиссии для определения результатов тайного голосования.

**Постановили:** избрать счетную комиссию в следующем составе:

Председатель: (д-р физ.-мат. наук, Сенько В.А.)

Член комиссии: (д-р физ.-мат. наук, Селезнев В.С.)

Член комиссии: (д-р физ.-мат. наук, Ткаченко Л.М.)

Объявляется перерыв для проведения тайного голосования.

**После перерыва.**

**Председатель Диссертационного совета, Тюрин Н.Е.:**

Минуточку внимания, пожалуйста. Слово предоставляется председателю счетной комиссии Сенько Владимиру Александровичу.

**Слушали сообщение председателя счетной комиссии д-ра физ.-мат. наук, Сенько В.А.** о результатах тайного голосования по вопросу о присуждении ученой степени доктора физико-математических наук: Состав Диссертационного совета утвержден в количестве 22 человека. На заседании присутствовал 21 член совета, в том числе 7 докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации. Роздано бюллетеней – 21. Остались неиспользованными – 0 бюллетеней.

При вскрытии урны обнаружено: 21 бюллетень.

Результаты голосования:

«за»	21 (двадцать один);
«против»	0 (ноль);
недействительных бюллетеней	0 (ноль).

**Председатель Диссертационного совета, Тюрин Н.Е.:**

Так, утверждаем протокол счетной комиссии ?

**Постановили:**

1. Диссертационный совет открытым голосованием единогласно утверждает протокол счетной комиссии.
2. На основании результатов тайного голосования членов диссертационного совета («за» 21, «против» – 0, недействительных бюллетеней – 0) считать, что диссертация С.А.Садовского соответствует требованиям, предъявляемым Высшей аттестационной комиссией Минобрнауки России к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук согласно требованиям, предъявляемым п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденному постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, и присудить Садовскому Сергею Анатольевичу ученую степень доктора физико-математических наук по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий.

**Председатель Диссертационного совета, Тюрин Н.Е.:**

После утверждения протокола, перейдем теперь к проекту Заключения. Проект Заключения в новом формате здесь на столах лежит. Какие замечания у членов Диссертационного совета? У меня в качестве замечания есть предложение немного улучшить стиль некоторых формулировок Заключения. Например, вместо «теоретическая значимость исследований» лучше сказать «значение исследований для феноменологии и развития моделей», дальше вместо «для практики», ну лучше «для проведения новых

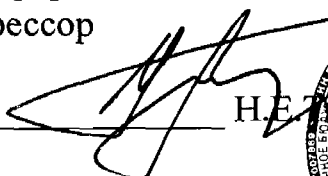
экспериментальных исследований», «и другие научные достижения» – это неуважение к своим результатам. Немного надо поменять слова и все будет нормально. Тогда давайте мы проголосуем за это заключение. Ну а те замечания, которые есть, мы с вами исправим.


**Постановили:**

Открытым голосованием (единогласно) Диссертационный совет с учетом сделанных замечаний принимает Заключение о научном значении диссертационной работы Садовского С.А. (Заключение прилагается) и решение о возбуждении ходатайства о присуждении Садовскому С.А. ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий.

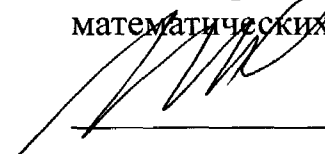
**Председатель Диссертационного совета, Тюрин Н.Е.:** Сергей Анатольевич, поздравляю вас с успешной защитой и желаю вам новых достижений, новых успехов!

Председатель  
Диссертационного совета  
доктор физико-математических наук,  
профессор

  
Н.Е.Тюрин



Ученый секретарь  
Диссертационного совета  
кандидат физико-  
математических наук

  
Ю.Г.Рябов