

ОТЗЫВ

официального оппонента, Б.А.Шварца, на диссертацию

ГУСЬКОВА Алексея Вячеславовича на тему
«Изучение структуры и свойств мезонов через их взаимодействие с виртуальными фотонами в
эксперименте COMPASS»
по специальности 01.04.16 - физика атомного ядра и элементарных частиц, представленную на
соискание ученой степени доктора физико-математических наук

Актуальность темы диссертации

История изучения электромагнитной структуры адронов насчитывает уже много десятилетий, однако и сейчас такие исследования не потеряли своей актуальности. Использование реальных и виртуальных фотонов и лептонов для таких исследований позволяет получить информацию о структуре адронов и выполнить количественное сравнение результатов с различными теоретическими моделями. Фундаментальными характеристиками адронов являются их электромагнитные формфакторы, а также электрическая и магнитная поляризуемости. Наиболее простым объектом в этом плане является легчайший псевдоскалярный мезон – пион. В то время как электромагнитный формфактор этой частицы измерен с высокой точностью в широком диапазоне передач импульса от -10 до + 10 ГэВ², информация о его поляризуемости достаточно скучна и результаты различных экспериментов не согласуются между собой. Таким образом, измерения поляризуемостей заряженных мезонов в реакции радиационного рассеяния в кулоновском поле ядер, описанные автором в первой части диссертации, несомненно являются актуальными.

Вторая часть диссертации посвящена поиску и изучению свойств экзотических чармониев в реакции лепто(фото)рождения на ядерных мишнях. Эти исследования относятся к актуальной и быстро развивающейся области физики элементарных частиц – физике кварковых состояний с участием тяжелых кварков. Несмотря на долгую историю изучения этой области, открытия в последние годы экзотических адронов, предположительно содержащих 4 и 5 кварков, вызывают все больший интерес к этой области физики элементарных частиц как у теоретиков, так и у экспериментаторов. Поиск таких состояний в новом эксклюзивном канале является весьма актуальным.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Полученные в данной работе результаты и сформулированные выводы надежно обоснованы путем подробного описания экспериментальной установки, условий эксперимента, его проведения, расчетов с помощью метода Монте Карло, а также сравнением с результатами других экспериментов и теоретических моделей. В отношении измерения поляризуемости заряженного пиона, следует отметить специальное измерение с мюонным пучком, позволившее независимо оценить систематическую погрешность результатов. В диссертации были даны рекомендации по анализу статистики, набранной на детекторе COMPASS с целью более точного измерения поляризуемости пиона, а также рекомендации по измерению поляризуемостей каона на этой установке. Эти рекомендации обоснованы расчетами, базирующимиися на опыте, полученном при проведении исследований, описанных в данной диссертации. На основе этого опыта сформулированы также выводы о возможности поиска экзотических чармониев с использованием данных 2016-17 годов.

Достоверность и новизна, полученных результатов

Научная новизна и значимость полученных результатов заключается в следующем:

- имеющаяся методика измерения поляризуемостей пиона в реакции радиационного рассеяния была адаптирована к условиям установки COMPASS и усовершенствована с целью уменьшения систематической ошибки измерения;
- выполнено прецизионное измерение поляризуемостей заряженного пиона, причём полученный результат на сегодняшний день является самым точным измерением этой величины в отдельном эксперименте. Полученный результат находится в хорошем согласии с предсказаниями киральной эффективной теории;
- автором был впервые осуществлён поиск лепто(фото)рождения экзотических чармониеподобных состояний в эксклюзивных реакциях заряженного и нейтрального обмена, а также получена экспериментальная оценка сечений фоторождения состояний $X(3872)$, $Z_c^\pm(3900)^\pm$ и $Z_c^\pm(4200)^\pm$;
- впервые со статистической значимостью 4.1 стандартных отклонения наблюдался сигнал нового чармониеподобного состояния с массой 3860.4 ± 10.0 МэВ и Брейт-Вигнеровской шириной < 51 МэВ, квантовые числа которого не соответствуют таковым для $X(3872)$.

Достоверность полученных результатов обеспечивается проведением экспериментов с многоцелевым детектором COMPASS, имеющим большой набор подсистем для регистрации частиц и точного измерения их характеристик, а также современную систему электроники сбора данных. Измерения проводились с использованием интенсивных пучков пионов и мюонов в CERN. Для получения результатов, описанных в диссертации, использовались современные методы обработки экспериментальных данных, и их последующего анализа. Работа также опирается на современные теоретические знания и подходы.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов

Результаты измерений поляризуемости заряженного пиона, полученные в данной работе, являются принципиально важными для проверки и дальнейшего развития теоретических моделей в низкоэнергетической области КХД. Эти результаты согласуются с предсказаниями киральной теории возмущений в пределах экспериментальных ошибок и, таким образом, определяют направление дальнейшего развития теоретических моделей. Развитая в рамках данного исследования методика позволила сформулировать предложение по измерению поляризуемостей заряженного каона с использованием каонного пучка в следующей фазе эксперимента COMPASS.

В рамках данной работы автором развит новый подход к поиску и изучению природы и свойств экзотических чармониев. Свидетельство существования нового чармониеподобного состояния $\tilde{X}(3872)$, полученное в этом исследовании, а также верхние пределы на сечения фоторождения состояний $Z_c^\pm(3900)$, $Z_c^\pm(4200)$ и $X(3872)$, являются важными новыми исходными данными для различных теоретических моделей, описывающих структуру экзотических чармониев.

Оценка содержания диссертации, её завершенность

Диссертация представляет собой завершенное исследование. Ее содержание и структура соответствуют заявленной специальности и цели исследования.

Диссертация состоит из введения, девяти глав и заключения. Во введении автором обосновывается актуальность исследований, определяются цели и задачи. Здесь также формулируются выносимые на защиту положения, описываются научная новизна и практическая значимость представляемой работы.

В первой главе вводится понятие поляризуемостей адронов, даётся обзор предсказаний различных теоретических моделей для величин поляризуемостей заряженного пиона, а также приводится обзор имеющихся экспериментальных результатов.

Во второй главе даётся обзор сложившейся на сегодняшний день ситуации с экзотическими чармониеподобными состояниями. Здесь кратко освещается история открытия и изучения таких состояний, а также рассматриваются различные методы их поиска и экспериментального изучения.

Третья глава посвящена обзору физической программы эксперимента COMPASS.

В четвертой главе приведено общее описание экспериментальной установки COMPASS в сеансах с мюонным и адронным пучками, причём более детально описаны подсистемы детектора, которые являлись критически важными для исследований, представленных в диссертации.

Пятая глава посвящена измерению поляризумостей заряженного пиона в эксперименте COMPASS. Здесь рассматривается кинематика используемой реакции, анализируется опыт предыдущего подобного эксперимента на установке "СИГМА" (Серпухов), рассказывается о результатах предварительного сеанса 2004 года на установке COMPASS и основном измерении в сеансе 2009 года. В данной главе даётся подробное описание методики измерений, обсуждаются источники систематики, излагаются и обсуждаются полученные результаты для поляризумостей пиона.

Шестая глава посвящена анализу возможности измерения поляризумостей заряженного пиона в следующей фазе эксперимента COMPASS с учётом опыта, полученного при измерении поляризумостей пиона.

Седьмая глава посвящена поиску эксклюзивного лепто(фото)рождения экзотических чармониеподобных состояний $Z_c(3900)^{\pm}$ и $Z_c(4200)^{\pm}$ на установке COMPASS. Здесь описывается методика поиска, устанавливается верхний предел на сечение фоторождения этих состояний, а также обсуждается полученный результат.

Восьмая глава посвящена поиску эксклюзивного лепто(фото)рождения на установке COMPASS экзотического чармония $X(3872)$ в реакциях заряженного и нейтрального обмена. Здесь описываются детали анализа и делается вывод о наблюдении со статистической значимостью 4.1 стандартных отклонения сигнала нового чармониеподобного состояния с массой 3860.4 ± 10.0 МэВ и Брейт-Вигнеровской шириной < 51 МэВ, квантовые числа которого не соответствуют таковым для $X(3872)$. Существование состояния, имеющего квантовые числа 1^{+-} , и близкого по массе к $X(3872)$, согласуется с предсказанием тетракварковой (дикварк-антидикварковой) модели экзотического чармония $X(3872)$.

В девятой главе обсуждается возможность дальнейшего поиска фоторождения экзотических чармониев в данных эксперимента COMPASS, а также в данных других экспериментов: завершившихся, продолжающихся и планируемых.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертации, соответствующие положениям, выносимым на защиту.

Из содержания диссертации можно заключить, что личный вклад автора диссертации в описанное исследование является определяющим.

Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации

Исследования, представленные в диссертации, выполнены на высоком уровне. В диссертации эти исследования описаны полно и ясно, хорошим языком. В целом, диссертация оставляет хорошее впечатление. Выскажем лишь несколько замечаний.

Приведя формулу 5.2 на стр.74, автору следовало пояснить, что Q^2 – это квадрат импульса, переданного нуклону, а s – это квадрат полной энергии фотона и рассеянного пиона в их системе центра масс.

При описании систематических погрешностей при измерении поляризумостей на стр.88 перечислены основные их источники, однако было бы полезно указать, каким образом это было установлено. В таблице 5.1 на стр. 91 приведены оценки вкладов в полную величину систематической ошибки от разных источников. Хотелось бы понять, каким образом были оценены эти вклады, хотя бы доминирующие – в эффективности трековых детекторов и в радиационных поправках. В формуле для аппроксимации распределения по Q^2 (Рис.5.9(а)) было бы полезно привести не только формулу для вклада сильного взаимодействия (5.15), но и для кулоновского, а также для интерференционного члена.

Имеется замечание по систематике, касающееся фоторождения шармониев (стр.115, 116). Здесь написано: «Вариация функции, используемой для подгонки, и диапазона, в котором осуществлялась подгонка, в разумных пределах приводит к изменению результата на $\pm 15\%$ ». Хотелось бы понять, что означает выражение «разумные пределы» и из каких соображений они выбирались. Также не вполне понятно, насколько эти систематические погрешности смещают верхний предел на величину сечения рождения искомого резонанса (ф-ла 7.14).

В тексте диссертации имеется ряд опечаток, например на стр.16 (с.10), стр.42 (с.1), и др.; в формуле (7.9) в интеграле пропущен дифференциал, а на стр. 145 в строке 8 по-видимому должно стоять ГэВ вместо МэВ. Автору также следовало бы избегать жargonных терминов, таких как «отбрасывание событий» или «подгонка».

Перечисленные замечания не снижают общей высокой оценки диссертации, представляющей собой законченное исследование. Достоверность выводов и результатов диссертации, а также их новизна и актуальность не вызывают сомнений. Основные результаты работы опубликованы в ведущих научных журналах, входящих в перечень ВАК, и представлены на российских и международных научных конференциях.

Соответствие автореферата основному содержанию диссертации

Автореферат диссертации правильно и полно отражает содержание диссертации.

Заключение

Диссертация Гуськова Алексея Вячеславовича на соискание ученой степени доктора физико-математических наук является научно-квалификационной работой, посвященной экспериментальным вопросам измерения поляризумостей заряженных мезонов в реакции радиационного рассеяния в кулоновском поле ядер, а также поиску и изучению свойств экзотических чармониев в реакции лепто(фото)рождения на ядерных мишениях, в которой получены важные результаты, совокупность которых можно квалифицировать как серьезное научное достижение в физике элементарных частиц. Разработанные автором методики будут использованы в последующих экспериментах с детектором COMPASS и могут быть использованы в других экспериментах по физике элементарных частиц. Вынесенные на защиту результаты получены автором лично, либо при его определяющем участии. Диссертация основана на работах, выполненных автором в составе международной коллаборации COMPASS в 2004–2018 гг. На защиту вынесены положения, отражающие персональный вклад автора в опубликованные работы. Из работ, выполненных в соавторстве, в диссертацию включены лишь те, основные результаты которых были получены либо автором лично, либо при его значительном или определяющем участии. Основные результаты по теме диссертации опубликованы в 20 печатных работах, 16 из которых входят в список ВАК и международные базы Web of Science и Scopus и были доложены на 15 международных конференциях.

Считаю, что Диссертация А.В.Гуськова соответствует требованиям п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.16 - физика атомного ядра и элементарных частиц.

Официальный оппонент,
Шварц Борис Альбертович,
доктор физико-математических наук,
по специальности 01.04.16 - физика атомного ядра и элементарных частиц,
630090, Новосибирск, пр. акад. Лаврентьева д.11
тел. +7-383-3294376, e-mail: shwartz@inp.nsk.su
главный научный сотрудник лаб.3-3 ИЯФ СО РАН

30.05.2019

Б.А.Шварц

Подпись Шварца Б.А. заверяю

Ученый секретарь ИЯФ СО РАН
кандидат физ.-мат. наук



А.С. Аракчеев