

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФГБУ ГНЦ РФ – ИТЭФ

НИЦ Курчатовский институт

д.т.н., профессор

Козлов Ю.Ф.

ноября 2015 г.



Отзыв

ведущей организации, Федерального государственного бюджетного учреждения “Государственный научный центр Российской Федерации –

Институт Теоретической и Экспериментальной Физики”

НИЦ Курчатовский институт,

на диссертацию А.С. Кузьмина

“Исследование свойств орбитальных возбуждений очарованных

мезонов в эксперименте Belle”,

представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.16 – “физика атомного ядра и элементарных частиц”.

Спектроскопия адронов, содержащих тяжелый кварк, в последнее десятилетие пережила бурное развитие благодаря новым экспериментальным данным, полученным в основном на В-фабриках. Открытия новых состояний в спектрах как кваркония, так и мезонов, содержащих лишь один тяжелый кварк, показали, что давно установленные феноменологические подходы не всегда могут обеспечить корректное описание, а зачастую вообще не способны объяснить измеренные свойства новых состояний. В частности, мезоны, состоящие из очарованного кварка и легкого антикварка, оставались до недавнего времени достаточно плохо изученной системой.

С середины 1980 годов спектроскопия очарованных мезонов вычислялась в рамках релятивистской хромодинамической потенциальной модели. Низколежащие уровни содержат основные состояния (1S) и орбитальные возбуждения (1P) с угловым моментом $L=1$. До начала работы В-фабрик хорошо изучены были лишь два узких ($j_q=3/2$) из четырех орбитальных возбуждений в системах очарованных и странно-очарованных мезонов, а на существование широких состояний ($j_q=1/2$) были получены только указания. Обнаружение двух недостающих странно-очарованных мезонов $j_q=1/2$ в эксперименте BaBar с массами, значительно ниже ожиданий, породило поначалу многочисленные экзотические интерпретации.

Диссертация А.С. Кузьмина посвящена детальному изучению орбитально возбужденных очарованных и очарованно-странных мезонов, рождаемых в распадах В-мезонов. В работе удалось зафиксировать квантовые числа состояний, точно измерить их массы и ширины, а также измерить каналы распадов и определить механизмы рождения. В результате проделанной работы экспериментальная картина спектра и свойств, таких как вероятности распадов и рождения, орбитально возбужденных очарованных мезонов стала полной и самосогласованной. Таким образом, как научная значимость, так и актуальность представленной работы бесспорны.

Прежде чем обсуждать непосредственный анализ данных, следует отметить решающий вклад А.С. Кузьмина в создание и поддержание работоспособности электромагнитного калориметра эксперимента Belle, – одного из важнейших элементов детектора, который проработал с высокой эффективностью в течение всего цикла набора данных и продемонстрировал исключительную стабильность. К несомненным заслугам автора следует также отнести разработку усовершенствованного электромагнитного калориметра для будущего эксперимента Belle II. В этом эксперименте помимо сверхточной проверки Стандартной модели будет получено множество точных данных о спектроскопии тяжелых мезонов.

В диссертации представлены полный обзор существующих экспериментальных данных и теоретических моделей (глава 1), а также описание асимметричного e^+e^- коллайдера КЕКВ и детектора Belle (глава 2). Особенно подробно обсуждается электромагнитный калориметр, его конструкция, электроника считывания, процедура восстановления кластеров, калибровка и достигнутые характеристики. Все эти работы проводились с непосредственным участием А.С. Кузьмина и послужили залогом успеха всего эксперимента Belle.

В третьей главе описаны выполненные работы и достигнутые результаты в исследовании орбитальных возбуждений очарованных мезонов. Представленные результаты основаны на изучении распадов В-мезонов в конечные состояния $D^+\pi^-\pi^-$, $D^{*+}\pi^-\pi^-$ и $D^0\pi^-\pi^-$. Для выявления присутствия промежуточных орбитально возбужденных очарованных мезонов в этих трехчастичных конечных состояниях был выполнен Далиц анализ. Этот технически сложный метод позволяет не только выявить присутствие промежуточного резонанса, но и точно измерить его параметры (массу, ширину и квантовые числа), а также вычислить комплексную фазу амплитуды распада в интерференционной картине. Хочется отметить высокое качество выполненного анализа: математически строгая формулировка задачи, включающая вычисления амплитуд всех вкладов в трехчастичное конечное состояние, тщательный учет фоновых процессов, аккуратное определение эффективности восстановления, как функцию переменных Далица, учет всех источников систематической неопределенности. В результате работы были надежно измерены не только параметры широких и узких орбитально возбужденных очарованных мезонов, но и амплитуды распадов В-мезонов в эти со-

стояния.

В результате анализа более сложного конечного четырехчастичного состояния $D^{(*)} \pi \pi \pi$ были впервые найдены распады $D_1 \rightarrow D \pi \pi$. Помимо первого обнаружения данного распада была предпринята также определить его промежуточную динамику. В работе было показано, что наиболее вероятная интерпретация – это распад через промежуточное широкое скалярное состояние, $D_1 \rightarrow D^* \pi$. Кроме того, были получены верхние пределы на другие трехчастичные распады орбитально возбужденных D -мезонов, такие как $D_2^* \rightarrow D \pi \pi$. Эти результаты являются важными для совершенствования моделей распадов D^{**} . В третьей главе также описывается метод максимального правдоподобия, адаптированный автором для анализа многомерного фазового пространства многочастичных реакций в эксперименте Belle и нашедший широкое применение в работах коллаборации, в частности, при анализе заряженного боттомониеподобного состояния Z_b .

В четвертой главе представлены результаты анализа $B \rightarrow D_s^{**} D$, позволившего зафиксировать квантовые числа D_s^{**} мезонов. Для измерения спина и четности D_s^{**} использовался угловой анализ продуктов его распада. Экспериментальные угловые распределения сравнивались с различными гипотезами. В результате анализа было показано, что квантовые числа новых D_s^{**} мезонов согласуются с ожиданиями для орбитально возбужденных очарованно-странных мезонов, таким образом исключив их экзотическое объяснение и продемонстрировав, что проблема их интерпретации связана с неадекватностью моделей, в рамках которых вычислялись массы этих возбуждений.

В пятой главе обсуждается методическая работа по подготовке эксперимента следующего поколения Belle II. В связи с резким увеличением светимости фоновые и радиационные нагрузки на детектор Belle II существенно вырастут. Разрешение электромагнитного калориметра ухудшится из-за наложения на сигнальные события пучкового фона. В эксперименте Belle II электромагнитный калориметр играет существенно более важную роль, поскольку одна из главных задач нового эксперимента заключается в изучении распадов с нейтрино в конечном состоянии. Сигналом нейтринных каналов является отсутствие энерговыделения в калориметре, поэтому уровень шумов является критическим параметром. В работе представлены методические работы, выполненные автором, по замене фотоприемников, модернизации электроники, а также обсужден вариант использования кристаллов чистого CsI, которые позволят сократить время сбора сигнала, подавив таким образом шум.

По ходу изучения диссертации возникли следующие вопросы и замечания.

- Отбор событий, в частности, выбор каналов восстановления D -мезонов, интервалов по массе D -кандидатов, ΔE , M_{bc} и др., недостаточно проиллюстрирован в тексте диссертации. Читателю трудно судить, насколько оптимальны примененные критерии отбора на основе лишь качественных утверждений.
- Для описания полной амплитуды распадов $B \rightarrow D \pi \pi$ вводится вклад виртуаль-

ных B^* и D^* , обоснованием которых является улучшение качества подгонки. Однако остается непонятным, насколько амплитуда этих вкладов модельно-зависима, в частности, вклад off-shell D^* требует введения модельной зависимости амплитуды от массы D далеко от полюсной массы.

- В работе не обсуждается возможный вклад радиальных возбуждений D -мезонов в конечные состояния $D^{(*)}\pi$. Хотя на момент выполнения анализа они еще не были открыты, можно было воспользоваться модельными предсказаниями и оценить верхний предел на их вклад.

Немногочисленные замечания не меняют общей исключительно положительной оценки диссертации, представляющей собой хорошо выполненное и законченное экспериментальное исследование. Диссертация написана хорошим языком, содержит обширный иллюстрационный материал, подробно отражающий разнообразные аспекты экспериментальной работы, и демонстрирует хорошее знание автором методики эксперимента, владение современными методами анализа данных, а также исключительно высокий уровень владения теоретическими навыками.

Не вызывает сомнений новизна исследований, представленных в диссертации А.С. Кузьмина. Впервые надежно установлены широкие ($j_q=1/2$) орбитально возбужденные состояния очарованных мезонов, точно измерены их параметры и вероятности распадов B -мезонов в эти состояния. Впервые обнаружен распад $D_1 \rightarrow D\pi$. Впервые измерены квантовые числа D_s^{**} мезонов и произведения вероятностей распадов $\text{Br}(B \rightarrow D_s^{**} D) \times \text{Br}(D_s^{**} \rightarrow D_s^{(*)} \pi^0 (\gamma))$. Впервые разработана система считывания электромагнитного калориметра для работы в условиях высокой светимости при больших фоновых и радиационных нагрузках.

Результаты, полученные в данной работе, имеют большое значение как для будущих экспериментальных работ в области физики тяжелых кварков, так и для теории в развитии моделей адронов. Они могут быть использованы в крупнейших мировых научных центрах, таких как Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН (г. Новосибирск), Институт теоретической и экспериментальной физики (г. Москва), Институт физики высоких энергий (г. Протвино), Физический институт Академии наук (г. Москва), Объединенный институт ядерных исследований (г. Дубна), Институт ядерных исследований РАН (г. Москва), ЦЕРН (г. Женева, Швейцария), КЕК (г. Цукуба, Япония), СЛАК (г. Стэнфорд, США), ИНЕР (г. Пекин, Китай) и других. Следует упомянуть, что статья с результатами Далиц-анализа цитируется почти 300 раз, что является показателем ее очень высокой востребованности.

Основные результаты представленной работы многократно докладывались и обсуждались на научных семинарах в России и за рубежом, а также на международных конференциях и опубликованы в ведущих журналах. Результаты представленных измерений включены в таблицу свойств элементарных частиц PDG. Текст автореферата полностью соответствует содержанию диссертации.

Таким образом, представленная диссертационная работа является законченным научным исследованием, в котором решены крупные научные проблемы: выполнен цикл работ, позволивший получить полную картину спектроскопии и свойств орбитально возбужденных очарованных и очарованно-странных мезонов, выполнены работы по модернизации электромагнитного калориметра для работы в условиях высокой светимости. Диссертация полностью соответствует всем требованиям, предъявляемым ВАК к докторским диссертациям по специальности 01.04.16, а её автор, А.С. Кузьмин, несомненно, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук.

Отзыв подготовил начальник лаборатории №211
«Лаборатория физики слабых взаимодействий»
доктор физико-математических наук

А.С. Барабаш



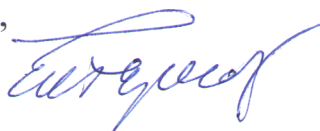
Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании секции №2
Ученого совета ФГБУ ГНЦ РФ ИТЭФ,
протокол №60 от 30 октября 2015 г.

Председатель секции №2
Ученого совета ФГБУ ГНЦ РФ ИТЭФ,
д.ф.м.-н., член-корр. РАН



П.Н. Пахлов

Секретарь секции №2
Ученого совета ФГБУ ГНЦ РФ ИТЭФ,
к.ф.м.-н.



Е.И. Тарковский