

ОТЗЫВ
официального оппонента на диссертацию
Кузьмина Александра Степановича
«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

Диссертационная работа А.С.Кузьмина посвящена исследованию процессов рождения очарованных D^{**} мезонов в распадах B мезонов, изучению свойств D^{**} мезонов на основе анализа кинематических параметров их распадов, наблюдению и изучению новых мод распада узких D^{**} состояний, а также разработке процедуры калибровки электромагнитного калориметра детектора Belle и модернизации калориметра для детектора Belle II на e^+e^- коллайдере суперКЕКВ в Японии. **Актуальность и новизна** этих исследований не вызывает сомнений. Современные e^+e^- коллайдеры (В-фабрики) за счет высокой светимости предоставляют уникальные возможности для изучения очарованных мезонов. Полученные новые экспериментальные результаты важны для уточнения параметров современных феноменологических моделей, которые используются в квантовой хромодинамике для описания свойств адронных состояний. Результаты, полученные А.С.Кузьминым в разработке новых методик электромагнитной калориметрии и их успешное применение в эксперименте Belle, **актуальны** для новых разработок и для создания новых установок для экспериментов по физике высоких энергий.

Исследования, описанные в диссертации, проводились с использованием современных методов экспериментальной физики с использованием современных теоретических моделей. Для существующих более поздних, аналогичных измерений, проводимых в других экспериментах наблюдается согласие их результатов с результатами данного исследования. Вышесказанное подтверждает **обоснованность и достоверность полученных результатов**. Экспериментальные результаты, по относительным вероятностям распадов B -мезонов в D^{**} состояния, полученные в диссертации используются в теоретических расчётах, что подчёркивает **научную ценность работы**.

Во Введении диссертации обсуждается **актуальность** исследований, кратко сформулированы основные задачи, которые были решены в этой работе,

подробно изложены положения выносимые на защиту. В первой главе представлен обзор феноменологических моделей, описана спектроскопия орбитальных возбуждений D-мезонов. Это потенциальная модель, модель конституэнтных кварков, эффективная теория тяжелых кварков и др. Рассмотрены свойства и параметры семейства D мезонов состояний, включающих очарованный кварк и легкий антикварк. В зависимости от того как складываются спины кварка и антикварка образуются псевдоскалярный D (спин равен 0) и векторный D* (спин равен 1) мезоны. В случае ненулевого орбитального момента образуются состояния D**. Странные очарованные мезоны D_s содержат очарованный кварк и странный кварк. Спектры масс возбужденных состояний D мезонов предсказываются в рамках потенциальных моделей и решеточных моделей. Глава 2 диссертации посвящена описанию коллайдера КЕКВ и детектора Belle. Основной задачей этого проекта является исследование CP нарушения в системе B мезонов и изучение редких распадов B мезонов. Кратко описана B-фабрика с асимметричными электрон-позитронными пучками, которая была разработана и построена в КЕК, Япония. Электронный пучок имеет энергию 8 ГэВ, а позитронный пучок – 3.5 ГэВ. Приведены основные параметры ускорителя, на котором была получена рекордная светимость $2.1 \times 10^{34} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Затем детально рассмотрен детектор Belle. Это трековая система: центральная дрейфовая камера, в которой измеряются треки заряженных частиц в магнитном поле 1.5 Т. Камера позволяет измерять импульсы частиц с точностью лучше 1%. Пространственные координаты точки вылета заряженных частиц из области взаимодействия пучков определяется с помощью кремниевого вершинного детектора. Для измерений нейтральных частиц используются два калориметра: основной электромагнитный калориметр и калориметр малых углов. Система идентификации включает в себя время-пролетные счетчики и черенковские пороговые счетчики из аэрогеля. Для идентификации мюонов используется система из набора плоских искровых счетчиков RPC. Также рассмотрены система сбора данных и триггерная схема детектора. Специальный раздел посвящен описанию электромагнитного калориметра. Детально изложены конструкция калориметра, схема электроники, методика подготовки счетчиков. Основное внимание уделено процедуре калибровки счетчиков. Последовательно описаны все этапы калибровки счетчиков- электронная калибровка, использование космических мюонов, калибровка с использованием упругого рассеяния $e+e- \rightarrow e+e-$. Было получено очень хорошее энергетическое разрешение электромагнитного калориметра CsI, которое составило 1.7% при энергии фотонов 1 ГэВ.

В главе 3 представлено исследование свойств D** мезонов в распадах B мезонов. Подробно описан анализ распада $B^- \rightarrow D^+ \pi^- \pi^+$, приведены и

обоснованы критерии отбора этих событий и получена вероятность этого распада. Это первое наблюдение данного распада. Также измерены вероятности нескольких распадов B мезонов с участием D мезона. Интересным является изучение динамики распада $B^- \rightarrow D^+ \pi^- \pi^+$ и получение Далиц-распределения этого распада. В работе было впервые наблюденo широкое скалярное состояние, которое интерпретировано как D_0^* с массой 2.3 ГэВ и шириной 276 МэВ. Масса узкого тензорного резонанса составляет 2.461 ГэВ, но его ширина оказалась примерно в два раза больше среднемирового значения 23 МэВ. Измерена с значительно улучшенной точностью вероятность распада $B^- \rightarrow D^{*+} \pi^- \pi^-$ и измерены параметры этого распада. Показано, что вклад узких состояний, измеренный в данной работе, находится в противоречии с измерениями в полуплептонных распадах, что требует более точных измерений состояний $D^{(*)} \pi \pi$, а также дальнейшего развития теоретических моделей. Следует подчеркнуть хорошее согласие между результатами этой работы, и результатами, полученными в эксперименте BaBar. Впервые экспериментально наблюдался трехчастичный распад D_1 мезона в конечное состояние $D \pi \pi$ и были измерены вероятности этих распадов. Проводится обсуждение полученных результатов и сравнение с предсказаниями различных моделей. Глава 4 посвящена изучению свойств странных очарованных D^{*s} мезонов. Наблюдались распады $B \rightarrow DD_{sJ}$. Распределение по углу спиральности $D_{sJ}(2457)$ определяет спин и четность этого состояния $1+$ и исключает гипотезу $J=2$. Изучение угловое распределение $D_{sJ}(2457)$ согласуется с значением спина и четности $0+$. В пятой главе диссертации описана модернизация электромагнитного калориметра для эксперимента Belle II. Одновременно происходит модернизация коллайдера KEKB, в результате которой светимость СуперKEKB будет повышена примерно в 40 раз, что позволит изучать физику тяжелых ароматов. Автор кратко описывает основные изменения и ожидаемые параметры СуперKEKB. Затем кратко описываются основные элементы детектора Belle II: пиксельный детектор, вершинный детектор и центральная дрейфовая камера, черенковские счетчики. Высокая светимость СуперKEKB предъявляет серьезные требования к параметрам электромагнитного калориметра. Автор показывает, измерение основных параметров CsI в зависимости от поглощенной дозы, а также изменение темного тока PIN диодов. Изложен основной подход к модернизации электроники и подробно описана новая электроника каждого канала и методика ее тестирования. Рассмотрен вариант торцевого калориметра на основе кристаллов чистого CsI с фотопентодом. Представлены важные результаты по измерению радиационной стойкости этих кристаллов, а также детальное изучение фотоприемников. Матрица кристаллов изучалась на

фотонном пучке ВЭПП-4М. Результаты исследований показали правильность выбранного подхода к модернизации калориметра для Belle II. В Заключении диссертации сформулированы основные результаты и выводы.

Хотелось бы особо отметить, что диссертация А.С.Кузьмина является **уникальным трудом**, в котором присутствует огромный экспериментальный и методический материал, выполнен очень детальный анализ экспериментальных данных и получены результаты мирового уровня. Автор активно участвовал с самого начала во всех стадиях эксперимента Belle. Это разработка и создание электромагнитного калориметра на основе кристаллов CsI; монтаж и запуск установки на коллайдере КЕКВ; активное участие в наборе данных; разработка и создание программ анализа данных; самое активное участие в анализе экспериментальных данных; самостоятельное получение физических результатов и их интерпретация. В процессе этой работы фактически сформировался **универсальный ученый**, который может работать с различными детекторами и современной электроникой, моделировать эксперименты, анализировать полученные данные и получать физические результаты. Это чрезвычайно редкий случай в области экспериментальной физики высоких энергий. К наиболее **важным результатам диссертации** следует отнести следующие. Это процедура калибровки электромагнитного калориметра, который является одним из основных элементов детектора Belle, и контроль за его параметрами в течение всего периода набора статистики. Многие распады В мезонов, которые описаны в диссертации, измерены впервые. Впервые обнаружены широкие состояния в распадах $B^- \rightarrow D^+ \pi^- \pi^-$ и в распаде $B^- \rightarrow D^{*+} \pi^- \pi^-$. Впервые наблюдались распады $D^0_1 \rightarrow D^0 \pi^- \pi^+$ и $D^+_1 \rightarrow D^+ \pi^- \pi^+$. Впервые наблюдались распады $B \rightarrow \bar{D} D^+_{s1}(2317)$ и $B \rightarrow \bar{D} D^+_{s1}(2457)$. Был определен спин и четность $1+$ для $D^+_{s1}(2457)$. Автором была предложена и реализована модернизация электроники электромагнитного калориметра Belle II, которая позволила измерять амплитуду и время регистрации сигнала. Им разработана схема торцевого калориметра Belle II и получены очень интересные результаты по радиационной стойкости кристаллов чистого CsI, которые важны для эксперимента на СуперКЕКВ. Проведенные тесты на фотонном пучке показали хорошие параметры: временное разрешение около 1 нс и энергетическое разрешение около 2% при энергии фотонов 150 МэВ. Таким образом предложенный торцевой калориметр удовлетворяет требованиям эксперимента на СуперКЕКВ. Также можно отметить четкое представление полученных данных, обязательное и детальное описание систематических погрешностей для каждой измеренной величины. Это безусловно хороший стиль, отвечающий общепринятым критериям для

представления результатов на конференциях и написания статей в реферируемые журналы.

В работе, однако, есть определенные недостатки. 1. Мне представляется, что диссертация чрезмерно перегружена деталями вычислений, критериями отбора событий, анализа и т.д.. Общие подходы к анализу различных распадных мод могли бы быть описаны в одном разделе, или в приложении к диссертации, а детали можно было представить в соответствующих параграфах. Из большого количества полученных в этой работе очень качественных экспериментальных результатов практически не извлекаются физические параметры, недостает физической интерпретации данных. Нет связи между моделями, перечисленными в главе 1 и полученными экспериментальными результатами. 2. Очень большую главу 3 можно было разбить на две меньших главы и в конце каждой суммировать полученные результаты и интерпретировать их. 3. Из рисунка 88 на стр. 211, где показано распределение по времени прихода сигнала, автор делает заключение о равномерном распределении фона. Однако, такой вывод трудно понять из этого рисунка. 4. На основании анализа распределения по углу спиральности распада $D_{s1}(2317) \rightarrow D_s \pi^0$ автор делает вывод о спине и четности 0^+ состояния $D_{s1}(2317)$. Однако не приведена величина статистической значимости этого результата, т.е. χ^2/dof , и не рассмотрена никакая другая гипотеза. Таким образом, приходится принимать «на веру» этот результат. 5. Есть также замечания к рисункам и таблицам. Например, рисунки 10, 14, 74, 96 очень мелкие и практически невозможно, рассмотреть детали и иногда понять, что изображено. 6. Отсутствует ссылка на рис. 65. Вместо него ошибочно указана ссылка на рис. 66.

Однако перечисленные выше недостатки не могут изменить положительного впечатления от работы и существенным образом повлиять на общую оценку диссертации, которая представляет собой **законченное исследование**, которое проводилось на протяжении многих лет. Качество работы, уровень и объем исследований выполненный А.С. Кузьминым, полученные результаты оставляют очень хорошее впечатление, а сам соискатель может характеризоваться как **разносторонний экспериментатор очень высокого уровня**. Диссертация представляет собой объемную работу с изложением многих деталей эксперимента и анализа данных, что отражает **высокий научный** уровень автора. Работа в целом аккуратно оформлена, основные положения, результаты и выводы работы четко сформулированы и ясно изложены. Библиография полно представляет исследования в этой области и насчитывает 254 публикации. Основные результаты, представленные в диссертации, опубликованы в реферируемых журналах и доложены автором на различных международных конференциях. Основные

положения и результаты диссертации опубликованы в 32 работах, из них 22 публикации в реферируемых журналах. Автореферат полно и правильно отражает содержание диссертации. В работе получен **ряд фундаментальных результатов**, которые в значительной степени определяют **новые направления экспериментальных исследований** в области изучения очарованных мезонов в ближайшее десятилетие на современных В-фабриках.

Принимая во внимание вышеизложенное, считаю, что рассмотренная диссертация «Исследование свойств орбитальных возбуждений очарованных мезонов в эксперименте Belle» безусловно удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц, а ее автор Кузьмин А.С. заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по этой специальности.

Официальный оппонент
доктор физ.-мат.наук, профессор

 Юрий Григорьевич Куденко

Заведующий Отделом физики высоких энергий
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Института ядерных исследований РАН,
адрес: 117312 Москва, проспект 60-летия Октября, 7А
тел: +74958510184
email: kudenko@inr.ru

11.12.2015

Подпись Ю.Г. Куденко заверено
Ученый секретарь ИЯИ РАН,
кандидат физ.-мат.наук



 А.Д. Селидовкин