

# 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.

Диссертация посвящена двум большим темам: исследованию возбужденных состояний  $D$  и  $D_s$ -мезонов с  $L=1$ , рожденных в распадах  $B$ -мезонов в  $e^+e^-$  соударениях на установке Belle  $B$ -фабрики КЕК-В, и модернизации электромагнитного калориметра Belle для установки Belle-II.

Изучение состояний с  $c$ -кварком проводилось со времени "революции" 74-го года прошлого столетия и принесло массу открытий: это открытие семейства  $J/\psi$ -частиц, открытие  $D$  и  $D^*$ - мезонов и т.д. Эти "первичные" открытия были сделаны на  $e^+e^-$ -коллайдере SPEAR, установке MARK-I. Несколько позже были открыты орбитальные возбуждения системы  $c\bar{q}$ , это было сделано на установке ARGUS, на  $e^+e^-$ -коллайдере DORIS-II. В последние годы исследование состояний с  $c$ -кварками получило неожиданное "второе дыхание" благодаря существенному увеличению светимости  $e^+e^-$ -коллайдеров и новым идеям, связанным с изучением таких состояний в распадах  $B$ -мезонов. Неожиданно физики поняли, что хорошая  $B$ -фабрика является одновременно и  $c$ -фабрикой.

Вторая большая тема -модернизация установки Belle, а точнее электромагнитного калориметра установки для работы на модернизированном коллайдере КЕК-В, который будет иметь в 40 раз большую светимость. Эта программа откроет существенно новые возможности для исследований в области физики частиц, ее реализации ждет все мировое физическое сообщество.

Упомянутые обстоятельства определяют актуальность и новизну представленного исследования. Диссертация А.С. Кузьмина выполнена на статистике, набранной на установке Belle, которая является мировым лидером в этой области науки. Это определяет высокий научный уровень диссертации. Основные результаты многократно докладывались автором на крупных международных конференциях и опубликованы в ведущих журналах. Это гарантирует достоверность и обоснованность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации.

Остановлюсь кратко на содержании работы и на наиболее важных и интересных, с моей точки зрения, результатах диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения.

Во **Введении** обсуждается мотивация выбранной темы диссертации, перечислены основные результаты, вынесенные на защиту.

Замечания: Автор вводит обозначение  $D^{**}$  для орбитальных возбуждений системы  $c\bar{q}$ , но сразу нарушает это соглашение, используя  $D_0^*$ ,  $D_1'$ ,  $D_1$ ,  $D_2^*$ . Спорным является решение о нумерации ссылок по дате публикации. Как следствие, первая ссылка в тексте - [55]! Весьма помогло бы компактное расположение ссылок на работы, которые автор защищает.

В **Первой главе** диссертации представлены основные теоретические модели, используемые для описания адронов. Подробно разбирается спектроскопия орбитальных возбуждений D- мезонов. Излагается и история открытия уровней с  $L=1$ . Рассматриваются предсказания различных моделей (потенциальные модели, решетки и т.д.) на массы возбужденных состояний. Очень подробно представлены результаты различных экспериментов по обнаружению и изучению семейств состояний  $c\bar{q}$ .

Замечание: Хотелось бы получить объяснение, почему точности измерения масс и ширин  $D_2^*$ ,  $D_1$ ,  $D_0^*$  в Belle систематически хуже, чем в BaBar и LHCb.

**В Главе 2** описывается установка Belle и коллайдер КЕКВ, на которых получены все экспериментальные результаты диссертации. Установка описана очень подробно и профессионально, из текста ясно, что автор принимал активное участие в ее создании и эксплуатации. Особенно тщательно описан электромагнитный калориметр, в создание, калибровку и обработку которого автор внес значительный вклад. Разработка и многолетнее успешное применение процедуры калибровки- один из результатов, который выносится на защиту. Большое впечатление производит Рис.35- зависимость калибровочных коэффициентов от времени в течение 3500(!) дней. Всего по этой тематике в диссертацию вошло 6 работ, 5 в журнале NIM.

Замечания: Ряд рисунков (Рис.10, Рис.14) слишком мелкие. Подписи к Рис.17 не адекватны. В описании DAQ и триггера (2.3.16 2.3.2) не ясно, как определялись пьедесталы. Вычитались ли они DAQ?(вроде бы должны!). Если да, то как был устроен измеряющий пьедесталы триггер? Куда записывались измеренные пьедесталы?

**С Третьей главы** начинается основная часть диссертации, в которой излагаются физические результаты, полученные автором. Главная тема этой главы- изучение орбитальных возбуждений D-мезона-  $D^{**}$ . Для реализации этой задачи автором разработана процедура, использующая метод максимального правдоподобия, которая позволяет изучать многочастичные распады в многомерном пространстве. Этот метод использовался во многих других анализах Belle, что подчеркивает большое практическое значение диссертации. В этой главе метод применяется для анализа распадов  $B^- \rightarrow D^{(*)+}\pi^-\pi^-$ ,  $\bar{B}^0 \rightarrow D^{(*)0}\pi^+\pi^-$ , причем распад  $B^- \rightarrow D^+\pi^-\pi^-$  наблюдается впервые. В распадах  $B^- \rightarrow D^{(*)+}\pi^-\pi^-$  наблюдается образование всех четырех P-волновых состояний, измерены их массы, ширины и  $Br(B^- \rightarrow D^{**0}\pi^-) \times Br(D^{**0} \rightarrow D^{(*)+}\pi^-)$ . Широкие состояния  $D_0^{*0}; D_1^{\prime 0}$  обнаружены впервые, их идентификация включала измерение квантовых чисел  $J^P = 0^+, 1^+$  соответственно. Аналогично, в распадах  $\bar{B}^0 \rightarrow D^{(*)0}\pi^+\pi^-$  наблюдалось рождение состояний

$D_0^{*+}; D_2^{*+}$  и измерены соответствующие произведения брэнчингов.

Замечания, вопросы: В начале параграфов этой главы хотелось бы видеть ссылку на соответствующую работу. Были ли попытки применения метода описания амплитуды трехчастичных распадов с помощью  $K$ -матричного подхода Анисовича-Саранцева? В формулах 3.20, 3.21 параграфа 3.1.4 замечены описки. При описании исследования процессов с  $D^{*+}$  надо бы показать соответствующие распределения по разнице масс  $\Delta(M_{D\pi} - M_D)$  для оценки фона под  $D^*$ .

**Четвертая глава** является естественным развитием предыдущей главы и описывает исследование состояний  $D_s^{**}$ . Эти состояния в некотором смысле интереснее  $D^{**}$ , так как два из них (с  $j_s = 1/2$ ), вопреки теоретическим ожиданиям, имеют массу ниже порога рождения  $D^{(*)}K$  и поэтому узкие. Как и в предыдущей главе,  $D_s^{**}$  рождались в распадах, причем эти распады  $B \rightarrow \bar{D}D_{sJ}^+$  наблюдались впервые.  $D_{sJ}^+$  наблюдались в модах  $D_s^+\pi^0, D_s^{*+}\pi^0, D_s^+\gamma$ . В первой моде наблюдалось состояние  $D_{sJ}^+(2317)$ , в двух других-  $D_{sJ}^+(2457)$ . Для второго состояния анализ угловых распределений подтвердил квантовые числа  $1^+$ .

Замечания, вопросы: Почему столь интересный анализ не был повторен на полной статистике Belle (388M)? Ведь явно не хватает статистики.

В **Пятой главе** автор переходит к чисто методической части диссертации- модернизации электромагнитного калориметра для установки Belle-II. Здесь же достаточно подробно описана модернизация КЕК-В и всей установки Belle. Всего по этой тематике опубликовано 7 работ. Первая часть модернизация электромагнитного калориметра, которая фактически завершена, состоит в замене электроники. Новая электроника позволяет определять не только амплитуду сигнала, но и время его прихода с точностью лучше 10 нсек для  $E > 100$  МэВ. Для проверки электроники разработаны стенды. Автор принимал очень большое участие во всех стадиях проекта. Электроника была также испытана на действующей установке Belle. Вторая часть проекта заклю-

чается в более глубокой модернизации- замене счетчиков торцевой части на новые из чистого CsI. Здесь автором проведено большое R&D исследование, выполненное на высоком уровне. Оно включает исследование радиационной стойкости, исследование нового вакуумного фотодетектора- фотопентода на предмет долговременной стабильности и в магнитном поле. Наконец, прототип калориметра был изучен на пучке комптоновских фотонов РОКК-1М и показал ожидаемое энергетическое и временное разрешение.

*Замечание: Опять мелкие рисунки: Рис.69, Рис.74. При описании исследования радиационной стойкости кристаллов 5.4.2 ничего не сказано про время облучения (то есть мощности дозы), должно быть некоторое восстановление кристаллов после облучения, это тоже не обсуждается. При описании исследования поведения фотопентодов в магнитном поле приводится зависимость сигнала от величины поля(Рис.103). Должен присутствовать эффект уширения линии светодиода при увеличении поля. Был ли замечен этот эффект? Лучше было использовать русскую версию названия установки "Рассеянных Обратно Комптоновских Квантов".*

**В заключении** перечислены в краткой форме основные результаты, полученные в диссертации. Диссертация содержит большой экспериментальный материал. Полученные результаты выглядят весьма убедительно и характеризуют диссертанта как зрелого физика высокой квалификации, причем как в области анализа данных, так и в области техники эксперимента.

Отдельные перечисленные недостатки ни в коей степени не снижают высокого уровня диссертации. Автореферат диссертации соответствует ее содержанию.

Следует подчеркнуть общий высокий уровень работы, актуальность и научная новизна которой не вызывают сомнений. Все полученные результаты опубликованы. Всего по теме диссертации опубликовано 32 работы, из них 22 в ведущих реферируемых журналах.

