

«УТВЕРЖДАЮ»

директор ИЯФ СО РАН

член-корр. РАН

\_\_\_\_\_ П.В. Логачев

« 1 » июня 2015 г

## ОТЗЫВ

Ведущей организации - ФГБУН Института ядерной физики им. Г.И.Будкера Сибирского отделения Российской академии наук о диссертации Чиликина Кирилла Александровича «Измерение параметров чармониеподобных состояний в эксперименте Belle», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий.

Диссертационная работа К.А. Чиликина посвящена актуальной в настоящее время проблеме изучения природы многочисленных новых чармониеподобных состояний, обнаруженных экспериментально в течение последних десяти лет. После открытия с-кварка долгое время все экспериментально наблюдаемые состояния, включающие с-кварк или с анти-с пару, хорошо укладывались в классическую модель связанных состояний кварк-антикварковой пары. Однако в 2003 году, при анализе многочастичного распада  $B^\pm \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^- K^\pm$ , в спектре инвариантной массы  $J/\psi \pi^+ \pi^-$  системы было обнаружено новое состояние  $X(3872)$ , свойства которого не укладываются в эту модель. В дальнейшем были обнаружены новые подобные состояния, в состав которых входят пары как с анти-с, так и b анти-b кварков. Наблюдение распадов  $Z_c(4430)^\pm \rightarrow J/\psi \pi^\pm$  и  $Z_b(10610)^\pm \rightarrow \Upsilon(nS) \pi^\pm$  показывает, что в состав этих резонансов входит не менее четырех валентных кварков. Несмотря на то, что существование таких систем в КХД не запрещено, обнаружить их экспериментально долгое время не удавалось. Обнаружение большого числа новых чармониеподобных и боттомониеподобных состояний вызвало большой интерес среди теоретиков. Для их описания было предложено несколько моделей. Дальнейшее изучение этих систем поможет сделать выбор среди этих моделей и лучше понять динамику сильного взаимодействия.

Автором диссертации проведен полный амплитудный анализ распадов  $B^0 \rightarrow \psi(2S) K^- \pi^+$  и  $B^0 \rightarrow J/\psi K^- \pi^+$  с целью наблюдения вклада  $Z_c$ -резонансов в

$\psi(2S)$   $\pi^-$  и  $J/\psi$   $\pi^-$ -каналах и измерения их параметров. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и заключения.

Во введении формулируются предмет и цели исследования, раскрывается актуальность и научная новизна работы.

**Первая глава** посвящена обзору семейства чармония - связанных состояний  $c$  и анти- $c$  кварков. Приводится классификация “классических” состояний чармония, а также обзор текущего состояния дел по изучению чармониеподобных резонансов, начиная с экспериментального обнаружения первого подобного состояния  $X(3872)$ .

**Во второй главе** дается описание детектора эксперимента Belle, выполнявшегося в японском центре по физике высоких энергий (КЕК) на накопителе КЕКВ. Автор обсуждает характеристики всех основных подсистем универсального детектора Belle, а также параметры накопителя КЕКВ. За время работы эксперимента Belle (с 1999 по 2010 год) в области семейства  $\Upsilon(nS)$  резонансов был набран интеграл светимости более  $900 \text{ фб}^{-1}$ , что является рекордно большим объемом данных в этой области энергий. В рецензируемой работе используется интеграл светимости  $711 \text{ фб}^{-1}$ , набранный на энергии  $\Upsilon(4S)$  резонанса.

**Третья глава** диссертации посвящена измерению параметров ранее обнаруженного в распаде  $B^0 \rightarrow \psi(2S) K^- \pi^+$  чармониеподобного состояния  $Z_c(4430)$ . С применением техники амплитудного анализа выполнены новые измерения массы и ширины, а также определены квантовые числа  $J^P=1^+$  резонанса  $Z_c(4430)$ , дающие наилучшее согласие с экспериментальными данными. Этот результат позволил исключить ряд моделей, предложенных ранее для описания  $Z_c(4430)$ .

**Четвертая глава** посвящена изучению параметров еще одного чармониеподобного состояния  $Z_c(4200)$  в распаде  $B^0 \rightarrow J/\psi K^- \pi^+$ . Эта часть работы также выполнена с применением техники амплитудного анализа, однако, состояние  $Z_c(4200)$  ранее не наблюдалось и впервые обнаружено автором. Автором получено также указание на вклад резонанса  $Z_c(4430)$  и в этом канале.

Главы 3 и 4 сопровождаются краткими выводами. Общие итоги работы представлены в заключении. Они соответствуют заявленным целям и задачам исследования.

Научная новизна и актуальность диссертации не вызывают сомнений. Достоверность результатов полученных в работе основывается на корректном применении строгого математического аппарата статистической обработки

экспериментальных данных. В случаях, когда имеются аналогичные измерения в независимых экспериментах, результаты находятся в хорошем статистическом согласии.

Результаты, полученные в диссертационной работе, представляют значительный интерес и могут быть использованы во многих российских и международных научных центрах, занимающихся исследованиями по физике элементарных частиц. К таким, в частности, относятся ЦЕРН (Женева, Швейцария), КЕК (Цукуба, Япония), BES (Китай), ИЯФ СО РАН (Новосибирск, Россия) и др.

К сожалению, автору не удалось избежать некоторых досадных неточностей, опечаток и неясностей изложения, среди которых можно отметить следующие:

- 1) в таблице 2.1 приведены числа  $B$  анти- $B$  пар для интегральных светимостей в  $Υ(4S)$ , соответствующие полному числу пар, включая заряженные. Однако, в таблице указано, что приведенные числа являются числом нейтральных  $B$  анти- $B$  пар;
- 2) на стр. 61 и 84 интегральная светимость указана в фб, вместо фб<sup>-1</sup>;
- 3) не комментируется физическая причина 10% вариации эффективности реконструкции  $B$  распада от угла  $φ$ , наблюдающаяся на рис. 3.3 и 4.3;
- 4) значения статистической и систематической ошибок в массе и ширине  $Z_c(4430)$ , приведенные в таблицах 3.1 и 3.7, несколько отличаются от цитируемых затем на стр. 82 и 110;

Кроме того, в диссертации цитируются значения масс и ширин резонанса  $Z_c(4430)$ , полученные в двух более ранних анализах коллаборации Belle с одно- и двухпараметрическим фитированием данных, но не комментируются возможные причины значительного разброса полученных в трёх работах результатов (например, 45, 107 и 200 МэВ для ширины). Представляется, что разработанную автором процедуру фитирования в четырёхпараметрическом пространстве нетрудно модифицировать для проведения редуцированных одно- и двухпараметрических фитов аналогичных использованным в более ранних анализах. Это может прояснить природу вышеупомянутого разброса результатов.

Работа также выиграла бы от приведения графиков Аргана для  $Z_c(4430)$ , аналогичных приведенным для  $Z_c(4200)$  на рис. 4.12.

Тем не менее, отмеченные недостатки не влияют на общую высокую оценку результатов работы, ее научную ценность и полезность проведенных исследований.

Все основные результаты, вошедшие в диссертацию являются новыми и впервые опубликованы автором в ведущих рецензируемых научных изданиях, прошли апробацию в форме докладов и обсуждений на семинарах, российских и международных конференциях. Автореферат полно и правильно отражает содержание диссертации.

Диссертация Чиликина Кирилла Александровича «Измерение параметров чармониеподобных состояний в эксперименте Belle» является законченным научным исследованием и удовлетворяет всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий.

Отзыв составил

кандидат физ.-мат. наук Александр Евгеньевич Блинов  
старший научный сотрудник лаборатории № 3-2  
ФГБУН ИЯФ СО РАН  
630090, Новосибирск, пр. акад. Лаврентьева д. 11  
тел. +7-383-3294992, e-mail: A.E.Blinov@inp.nsk.su

« 1 » \_\_июня\_\_\_\_\_ 2015 г.

Отзыв на диссертацию обсуждался и утвержден на заседании Ученого Совета ФГБУН ИЯФ СО РАН.

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

А.В. Васильев