



УТВЕРЖДАЮ

И.о. директора ИЯФ СО РАН

академик

А.Н.Скринский

4 ноября 2014 г.

## О Т З Ы В

ведущей организации - ФГБУН Института ядерной физики им. Г.И.Будкера Сибирского отделения Российской академии наук о диссертации Романа Владимировича МИЗЮКА "Кварконий и кваркониеподобные состояния", представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий.

Диссертационная работа Р.В. Мизюка посвящена весьма актуальной проблеме - изучению тяжелого кваркония и кваркониеподобных состояний, т.е. состояний, содержащих пару  $c\bar{c}$  и  $b\bar{b}$  кварков. Эта область получила новый импульс к интенсивному развитию в последние 10-15 лет, когда эксперименты на  $B$ -фабриках, BaBar и Belle, объявили о наблюдении заметного числа новых состояний, плохо описываемых в рамках кварковой модели. С 2011 года к исследованиям тяжелого кваркония подключились и эксперименты на Большом Адронном Коллайдере LHC.

Диссертация состоит из введения, девяти глав и заключения.

Во Введении обсуждается актуальность изучения кваркония и кваркониеподобных состояний. В нем формулируются предмет и цели исследования, а также описана структура работы.

Глава 1 обсуждает низшие возбуждения кваркония и фактически дает сжатый обзор таких состояний. Здесь можно найти классификацию уровней, краткую историю их экспериментального обнаружения, а также теоретические предсказания для уровней, основанные на потенциальных моделях и спектральных методах. Далее объясняются способы аннигиляции кваркония - электромагнитная аннигиляция, сильная аннигиляция

в легкие адроны, а также непертурбативные эффекты в адронной аннигиляции.

Глава 2 представляет новые результаты по сильно возбужденным состояниям вблизи и выше порогов открытого аромата, т.е.  $D\bar{D}$  и  $B\bar{B}$ . Дан краткий обзор результатов, полученных в последнее десятилетие, обсуждаются новые состояния, а также открытые вопросы.

В Главе 3 описан детектор Belle - универсальный  $4\pi$  магнитный спектрометр, набравший данные на асимметричном по энергии  $e^+e^-$  коллайдере КЕКВ в области  $\Upsilon$  резонансов.

Глава 4 посвящена обнаружению  $h_b(1P)$ - и  $h_b(2P)$ -мезонов –  $P$ -волновых спин-синглетных состояний боттомония. Для этого использовались данные с интегральной светимостью  $121.4 \text{ фб}^{-1}$ , набранные детектором Belle в пике резонанса  $\Upsilon(5S)$ , т.е. при энергии вблизи 10860 МэВ, и адронные  $\pi^+\pi^-$  переходы. Так как для боттомония вероятности эксклюзивных распадов очень малы, сигнал процесса  $e^+e^- \rightarrow \Upsilon(5S) \rightarrow h_b\pi^+\pi^-$  восстанавливается инклюзивно, используя недостающую массу  $\pi^+\pi^-$  пар. Этот красивый и в то же время простой метод позволяет получить большую статистику искомого процесса при малом фоне, надежно наблюдать  $h_b(1P)$ - и  $h_b(2P)$ -мезоны с высокой значимостью и определить их параметры.

В Главе 5 описано обнаружение радиационных переходов из  $h_b(1P)$ - и  $h_b(2P)$ -мезонов в  $\eta_b(1S)$ . Кроме того, удается обнаружить состояние  $\eta_b(2S)$  и впервые точно измерить параметры  $\eta_b(1S)$ . В этой же главе показано, что сигнал  $\eta_b(2S)$ , полученный группой К. Сета на основании данных эксперимента CLEO с образцом данных в 17 раз меньшим, чем в Belle, является ложным.

Глава 6 посвящена обнаружению двух заряженных состояний  $Z_b(10610)$  и  $Z_b(10650)$ . Здесь также описано измерение параметров таких состояний в каналах  $h_b(1P)\pi^+\pi^-$ ,  $h_b(2P)\pi^+\pi^-$  и  $\Upsilon(nS)\pi^+\pi^-$ , обсуждается структура экзотических  $Z_b$  состояний.

В Главе 7 описан амплитудный анализ диаграммы Далица для распада  $\bar{B}^0 \rightarrow \chi_{c1}\pi^+K^-$ , в результате которого были обнаружены заряжен-

ные чармониеподобные состояния  $Z(4050)^+$  и  $Z(4250)^+$ . Мотивацией для этой работы явилось обнаружение детектором Belle заряженного состояния  $Z(4430)^+$  в распаде  $B \rightarrow \psi(2S)\pi^+K$ , для чего использовались данные, набранные в пике резонанса  $\Upsilon(4S)$  с интегральной светимостью  $605 \text{ фб}^{-1}$  и содержащие  $657 \times 10^6$  пар  $B\bar{B}$  мезонов.

Глава 8 представляет амплитудный анализ диаграммы Далица распада  $B \rightarrow \psi(2S)\pi^+K$ , в результате которого удалось подтвердить заряженное чармониеподобное состояние  $Z(4430)^+$ , не подтвержденное, по-видимому из-за меньшей статистики, в эксперименте BaBar и совсем недавно надежно установленное с большой статистикой в эксперименте на LHC с детектором LHCb.

Наконец, Глава 9 содержит обсуждение полученных результатов.

В Заключении кратко сформулированы основные результаты, полученные в работе.

Диссертация оставляет очень сильное впечатление, прежде всего большим количеством новых фундаментальных результатов. Она написана ясным и четким языком, прекрасно иллюстрирована, восприятию результатов способствуют многочисленные таблицы. Каждая глава работы содержит детальное обсуждение и выводы из полученных результатов. Автор демонстрирует хорошее знание и глубокое понимание соответствующей литературы.

К сожалению, автору не удалось избежать опечаток, пропущенных или лишних запятых. В названии параграфа 1.4 пропущена буква "а" в слове "кваркония", на стр.28 в слове "адронной" пропущена буква "о", на стр. 62 в фамилии Доплера всего одна буква "п", а на стр. 109 в фамилии Блатт пропущена одна буква "т". Хотя автор не злоупотребляет жаргонными выражениями, язык некоторых формулировок весьма далек от научного, например "гладко припитый степенной хвост" на стр.60. Некоторое удивление вызывает использование английских названий физических единиц - GeV и т.д. Впрочем, все указанные недостатки относятся лишь к форме изложения и нисколько не умаляют высокого качества проведенных исследований.

Научная новизна и актуальность диссертации не вызывают сомнений. Полученные в ней результаты достоверны и надежно обоснованы. Автор продемонстрировал высокую экспериментальную культуру и прекрасное знание теории. Результаты, полученные в работе, представляют значительный интерес и могут быть использованы во многих центрах, занимающихся исследованием тяжелого кваркония, в частности ЦЕРН (Женева, Швейцария), FermiLAB (Чикаго, США), КЕК (Цукуба, Япония), ИФВЭ (Пекин, Китай), ОИЯИ (Дубна, Россия), ИЯФ СО РАН (Новосибирск, Россия) и др.

Основные работы, вошедшие в диссертацию, опубликованы в ведущих российских и международных журналах, часто и положительно цитируются, а также неоднократно докладывались на российских и международных конференциях. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Диссертация Р.В. Мизюка является законченным научным исследованием, в котором получено большое количество новых фундаментальных результатов, и безусловно отвечает всем требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, а сам автор несомненно заслуживает присуждения ему степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий.

Отзыв составил  
доктор физ.-мат.наук

 Г.В. Федотович  
Геннадий Васильевич

Ведущий научный сотрудник ИЯФ СО РАН, старший научный сотрудник, тел. 7-383-3294984, факс 7-383-3307163,  
эл. почта – g.v.fedotovich@inp.nsk.su

Отзыв рассмотрен и утвержден на заседании Ученого совета ФГБУН Института ядерной физики им. Г.И.Будкера Сибирского отделения Российской академии наук.

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

 А.В. Васильев