

ОТЗЫВ

официального оппонента Смирновой Лидии Николаевны, доктора физ.-мат. наук, профессора Физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (119234, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, Дом 1, строение 2, Физический факультет, тел. (495)939-16-82, Lidia.Smirnova@cern.ch) на диссертацию Мизюка Романа Владимировича на тему: «Кварконий и кваркониеноподобные состояния» по специальности 01.04.23 - физика высоких энергий на соискание ученой степени доктора физ.-мат. наук.

Развитие физики высоких энергий происходит по нескольким основным направлениям, дополняющим друг друга. Среди них можно выделить исследования при предельных достигнутых на ускорителях энергиях взаимодействия протонов и измерения на предельной статистике данных прецизионных детекторов электрон-позитронных коллайдеров. К первым относятся эксперименты Большого адронного коллайдера, полноправным представителем второго направления является установка Belle на коллайдере KEKB (Япония). Эксперимент Belle позволил получить уникальные данные по точности и интегральной светимости e^+e^- соударений и открыть новый этап в исследовании спектроскопии адронов. Важным разделом исследований на установке Belle является поиск, открытие и измерение тяжелых кваркониенов и адронных состояний с более сложной структурой. Кваркониены представляют собой связанные состояния тяжелого кварка и антикварка ($c\bar{c}$, $b\bar{b}$). Их свойства описываются непертурбативной квантовой механикой и, соответственно, являются областью приложения эффективных теорий и феноменологических моделей. Знание свойств этих состояний, их спектроскопии является важным вкладом в развитие теории сильных взаимодействий. Диссертация Романа Владимировича Мизюка посвящена экспериментальному исследованию спектроскопии кваркониенов и других, более сложных по кварковой структуре состояний. Важность информации о спектроскопии кваркониенов для изучения природы сильных взаимодействий определяет **актуальность темы диссертации.**

Экспериментальные данные получены на установке Belle коллайдера KEKB, где в период 2007-2010гг. были установлены рекорды набора интегральной светимости. Эти уникальные по статистической обеспеченности данные получены при участии автора диссертации и составили основу для проведения анализа, результаты которого представлены в диссертации. Уникальность экспериментальных данных определяет в значительной степени **достоверность и научную новизну** результатов, представленных в диссертации Р.В.Мизюка. Высокий уровень выполнения анализа экспериментальных

данных, проведенный автором диссертации, позволил получить целый ряд результатов по обнаружению новых состояний кваркониев, улучшению точности измерений и свойств ряда известных ранее состояний. Представленные в диссертации результаты вошли в таблицы мировых данных по свойствам элементарных частиц и являются частью высших достижений физики высоких энергий на данный период времени. Особый интерес вызывает то, что полученные в работе результаты не укладываются в рамки известных теоретических моделей и предполагают расширение существующих представлений о структуре адронов. Первое обнаружение квазимолекулярных структур, или связанных систем дикварков, ассоциированных с новыми адронными состояниями, представленное в диссертации, стимулирует новые направления теоретических и экспериментальных исследований, в том числе на детекторах Большого адронного коллайдера. Это определяет **практическую значимость** диссертации Р.В.Мизюка.

Диссертация состоит из 9-и глав, введения и заключения, изложена на 199 страницах, содержит 260 библиографических ссылок. Во **введении** сформулирована область исследования диссертации и указано, что с 2003г. обнаружено более десятка состояний, не вписывающихся в простейшую схему уровней системы кварк-антикварк ($q\bar{q}$), описана структура диссертации. В **первой главе** изложены систематизация состояний кваркония и история экспериментальных открытий, указано на аналогию свойств состояний чармония ($c\bar{c}$) и боттомония ($b\bar{b}$). Во **второй главе** описаны состояния вблизи порогов масс связанных мезонов $D\bar{D}$ и $B\bar{B}$. **Третья глава** содержит краткое описание установки Belle. В **четвертой главе** описан анализ, приведший к обнаружению P-волновых спин-синглетных состояний боттомония $h_b(1P)$ и $h_b(2P)$. **Пятая глава** содержит анализ по обнаружению состояния $\eta_b(2S)$ и радиационных переходов $\eta_b(nP) \rightarrow \eta_b(mS)\gamma$, где $n, m = 1, 2, \dots$. В **шестой главе** приведены результаты анализа резонансной структуры переходов $Y(5S) \rightarrow Y(nS)\pi^+\pi^-$ и $Y(5S) \rightarrow h_b(nS)\pi^+\pi^-$, приведших к открытию состояний $Z_b(10610)$ и $Z_b(10650)$. **Седьмая глава** содержит результаты Далиц-анализа распада $\text{анти}B^0 \rightarrow \chi_{c1} \pi^+ K^-$ и обнаружения резонансных структур в канале $\chi_{c1} \pi^+$. В **восьмой главе** приведен анализ распада $B \rightarrow \Psi(2S) \pi^+ K$, подтвердивший существование заряженного состояния $Z(4430)^+$. **Девятая глава** содержит обсуждение полученных результатов. В **Заключении** кратко перечислены основные результаты, полученные в диссертации.

Несомненным **достижением работы** является первое наблюдение состояний боттомония $h_b(1P)$ и $h_b(2P)$. В анализе был применен оригинальный метод исследования парных характеристик пионов, что позволило выделить новые состояния в адронных

распадах $Y(5S)$ с образованием двух пионов по спектру недостающих масс двухпионной системы. Важным фактором наблюдения новых состояний послужила высокая интегральная светимость событий 121.4fb^{-1} в пике резонанса $Y(5S)$. Значимости выделенных сигналов составили 5.5σ и 11.2σ для $h_b(1P)$ и $h_b(2P)$, соответственно. Эти достижения стимулировали следующий этап исследований по поиску новых состояний, в том числе с использованием адронных переходов. Этот метод позволил наблюдать радиационные распады $\eta_b(nP) \rightarrow \eta_b(mS)\gamma$, где выполнено открытие состояния $\eta_b(2S)$, проведено надежное измерение массы состояния $\eta_b(1S)$ и закрытие ложного сигнала $\eta_b(2S)$, объявленного ранее группой К.Сета. Развитый в диссертации метод анализа был плодотворно применен в последующих главах, где проведено, в частности, детальное исследование состояний $Z_b(10610)$ и $Z_b(10650)$. Важно отметить, что эти представленные в диссертации результаты вошли в сборник мировых данных физики частиц (Particle Data Group), со ссылками на работы диссертации Р.В.Мизюка. Публикации этих результатов относятся к разряду высоко цитируемых научных работ по данным *WoS* (86 цитирований для публикации Phys.Rev.Lett. 108, 122001 (2012), например).

Достоинством работы Р.В.Мизюка является проведение физического анализа открытых состояний, их теоретического или модельного описания. Итоги физического анализа суммированы автором в девятой главе диссертации. Показано, что точные значения масс, механизмы рождения и моды распада исследованных в работе $\eta_b(nP)$ состояний хорошо согласуются с ожиданиями квантовой хромодинамики. Этот факт тем более важен, что придает достоверность другим результатам, полученным в диссертации и связанных с открытием состояний, структура которых не имеет простого объяснения. Это относится к состояниям, анализ которых приведен в 6-8 главах, и которые рассматриваются не как связанные состояния кварков, а как связанные квазимолекулярные состояния тяжелых мезонов $\bar{D}D$, $\bar{B}B$. К ним относятся состояния $Z_b(10610)$ и $Z_b(10650)$, имеющие электрический заряд и массы которых находятся вблизи порогов состояний $\bar{B}B^*$ и $B^*(\text{анти}B^*)$. Автор делает вывод о наличии в этих состояниях молекулярной примеси, теоретическое описание которой является задачей ближайшего будущего. На основе аналогии в спектроскопии кваркониев ($\bar{c}c$) и $(\bar{b}b)$ и состояний $\bar{D}D$, $\bar{B}B$, проведен поиск и анализ состояний Z_c с предположительной структурой $\bar{D}D^*$ и $D^*(\text{анти}D^*)$. В области выше порогов были обнаружены заряженные состояния $Z(4050)^+$ и $Z(4250)^+$ и подтверждено состояние $Z(4430)^+$. Эти результаты указывают на возможность существования сложных кварковых структур в спектроскопии адронов, теоретическое

описание которых пока не выполнено и, соответственно, требуется дополнительная экспериментальная информация о характеристиках этих состояний.

Основными результатами диссертации являются:

- Обнаружение и измерение P-волновых состояний $h_b(1P)$ и $h_b(2P)$.
- Обнаружение состояния $\eta_b(2S)$ и радиационных переходов $\eta_b(1P) \rightarrow \eta_b(1S)\gamma$, $\eta_b(2P) \rightarrow \eta_b(mS)\gamma$, где $m = 1, 2$, измерение характеристик этих состояний.
- Обнаружение заряженных состояний $Z_b(10610)$ и $Z_b(10650)$, измерены их массы, ширины, относительные амплитуды и фазы в каналах $h_b(1P)\pi^+\pi^-$ и $h_b(2P)\pi^+\pi^-$.
- Объяснение свойств состояний $Z_b(10610)$ и $Z_b(10650)$ в предположении об их молекулярной структуре на основе состояний $\bar{B}B^*$ и $B^*(\text{анти}B^*)$.
- Обнаружение и измерение состояний $Z(4050)^+$ и $Z(4250)^+$ и подтверждение и измерение состояния $Z(4430)^+$.

Все полученные результаты доложены на крупнейших конференциях физики высоких энергий, представляют передовой уровень исследований и заслуживают высокой оценки.

Анализ экспериментальных данных выполнен с использованием современных компьютерных алгоритмов, показывает высокий уровень владения автором экспериментальным материалом, знание методики эксперимента и методов физического анализа. В работе проведен тщательный анализ различного рода погрешностей при получении результатов. Используются оригинальные методы анализа.

К работе в целом нет замечаний. Если рассматривать непосредственно текст диссертации, можно отметить некоторые неясности, возникшие при чтении:

1. В разделе 3.2.1 при описании вершинного детектора указана толщина двухстороннего силиконового сенсора 300 мкм. Это стандартная величина для полупроводникового модуля. В таблице 3.1 приведена толщина стрипа такого сенсора, равная 300 мкм. Сенсорный элемент обычно характеризуют шириной или периодом металлических полосок (стрипов). Неясен смысл параметра толщины, указанного в таблице.
2. В разделе 3.2.8 указано, что для идентификации заряженных пионов и каонов используется число фотоэлектронов в Черенковских счетчиках. Обычно при идентификации используется угол испускания черенковских

фотонов. Неясно, подразумевается ли здесь иной принцип идентификации частиц.

3. При высоком качестве оформления работы можно отметить присутствие небольшого количества опечаток (например, на стр.1, 24, 55, 71, 75, 97, 158).

Указанные замечания в оформлении работы не снижают высокого качества проведенных исследований, уровня изложения материала. Диссертация изложена хорошим литературным языком. Результаты опубликованы.

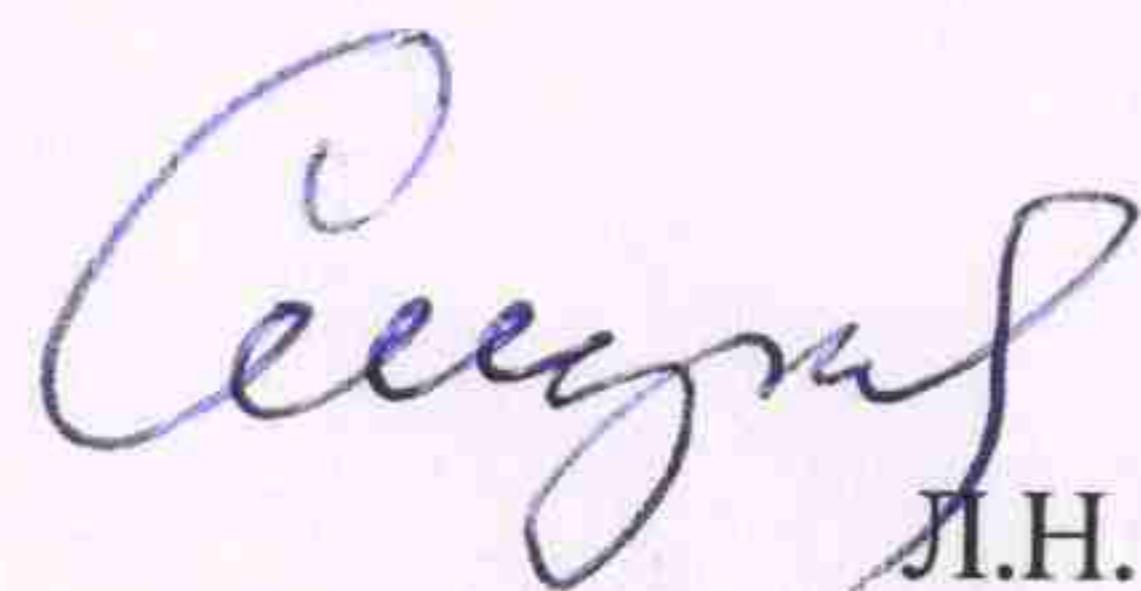
Личный вклад автора не вызывает сомнений.

Автореферат отражает содержание диссертации.

Результаты, полученные автором диссертации хорошо известны мировому сообществу. Они представляют мировой уровень в спектроскопии адронов и могут быть использованы при проведении, планировании и анализе экспериментов как в нашей стране в Национальном Исследовательском Центре «Курчатовский институт», ОИЯИ, ФИАН, НИИЯФ МГУ, ИЯИ РАН, так и за рубежом.

Таким образом, диссертация Романа Владимировича Мизюка на соискание ученой степени доктора физико-математических наук является завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложены достоверные и научно-обоснованные результаты, использование которых вносит значительный вклад в развитие научного потенциала страны, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Официальный оппонент
Профессор, доктор физ.-мат. наук



Л.Н. Смирнова

Декан физического факультета МГУ
Профессор



Н.Н. Сысоев

3 декабря 2014 г.