

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 003.016.02, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ им. Г.И. БУДКЕРА
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК,
подведомственного Минобрнауки России, ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 21.04.2022 № 3

О присуждении **Гармашу Алексею Юрьевичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени **доктора физико-математических наук**.

Диссертация **«Изучение боттомониеподобных состояний в эксперименте Belle»** по специальности 01.04.16 – Физика атомного ядра и элементарных частиц принята к защите 19.01.2022 (протокол заседания № 2) диссертационным советом Д 003.016.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук, подведомственного Минобрнауки России, 630090, г. Новосибирск, проспект академика Лаврентьева, д. 11, приказ о создании диссертационного совета № 714/нк от 02.11.2012.

Соискатель Гармаш Алексей Юрьевич, «10» сентября 1974 года рождения, работает старшим научным сотрудником в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук, подведомственного Минобрнауки России.

Диссертацию на соискание ученой степени доктора философии (Ph.D.) «Распады В-мезонов в трехчастичные конечные состояния без чарма» защитил в 2003 году в Университете передовых исследований, Япония. Свидетельством о признании ученой степени, серия ЭУС № 000435, выданным на основании решения Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки от 25.01.2010 № 144, подтверждается эквивалентность диплома доктора философии (Ph.D.) диплому государственного образца кандидата физико-математических наук, полученному в Российской Федерации.

Диссертация выполнена в лаборатории 3-3 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук, подведомственного Минобрнауки России.

Научный консультант – доктор физико-математических наук, академик РАН Бондарь Александр Евгеньевич, заведующий лабораторией 3-3 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

1. **Зайцев Александр Михайлович** – доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт физики высоких энергий им. А.А. Логанова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Отделение экспериментальной физики, главный научный сотрудник;
2. **Нефедьев Алексей Владимирович** – доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, Лаборатория тяжелых кварков и лептонов, высококвалифицированный ведущий научный сотрудник;
3. **Шматов Сергей Владимирович** – доктор физико-математических наук, Международная межправительственная организация Объединенный институт ядерных исследований, Сектор № 1 Научно-экспериментального отдела физики на CMS Лаборатории физики высоких энергий имени В.И. Векслера и А.М. Балдина, начальник сектора

дали **положительные отзывы** на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «**Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова**», Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына, г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном доктором физико-математических наук, заведующим лабораторией тяжелых частиц и резонансов Отдела экспериментальной физики высоких энергий Гладилиным Леонидом Константиновичем, указала, что по своей актуальности, новизне полученных результатов и важности научных выводов диссертация Гармаша А.Ю. «Изучение боттомониеподобных состояний в эксперименте Belle» соответствует всем критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, установленным в «Положении о присуждении ученых степеней», утвержденном постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842 с дополнениями от 20 марта 2021 года № 426. Гармаш Алексей Юрьевич полностью заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

Соискатель имеет более 150 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 13 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 13 работ. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. A. Garmash, K. Abe, K. Abe et al. (Belle Collaboration), “Dalitz analysis of the three-body charmless decays $B^+ \rightarrow K^+\pi^+\pi^-$ and $B^+ \rightarrow K^+K^+K^-$ ” // Phys. Rev. D. – 2005. – Vol. 71, p. 092003.

2. A.E. Bondar, A. Garmash, A.I. Milstein, R. Mizuk, and M.B. Voloshin, “Heavy quark spin structure in Z_b resonances” // Phys. Rev. D. – 2011.–Vol. 84, p. 054010.
3. I. Adachi, H. Aihara ..., A. Garmash et al. (Belle collaboration), “First Observation of the P-Wave Spin-Singlet Bottomonium States $h_b(1P)$ and $h_b(2P)$ ” // Phys. Rev. Lett. – 2012. – Vol. 108, p. 032001.
4. R. Mizuk, D.M. Asner, A. Bondar, ..., A. Garmash et al. (Belle collaboration), “Evidence for the $\eta_b(2S)$ and Observation of $h_b(1P) \rightarrow \eta_b(1S)\gamma$ and $h_b(2P) \rightarrow \eta_b(1S)\gamma$ ” // Phys. Rev. Lett. – 2012. – Vol. 109, p. 232002.
5. A. Bondar, A. Garmash, R. Mizuk et al. (Belle Collaboration), “Observation of Two Charged Bottomoniumlike Resonances in $\Upsilon(5S)$ Decays” // Phys. Rev. Lett. – 2012. – Vol. 108, p. 122001.
6. P. Krokovny, A. Bondar, ..., A. Garmash et al. (Belle Collaboration), “First observation of the $Z_b^0(10610)$ in a Dalitz analysis of $\Upsilon(10680) \rightarrow \Upsilon(nS)\pi^0\pi^0$ ” // Phys. Rev. D. – 2013. – Vol. 88, p. 052016.
7. A. Garmash, A. Bondar, A. Kuzmin et al. (Belle Collaboration), “Amplitude analysis of $e^+e^- \rightarrow \Upsilon(nS)\pi^+\pi^-$ at $\sqrt{s} = 10.866$ GeV” // Phys. Rev. D. – 2015. – Vol. 91, p. 072003.
8. A. Garmash, A. Abdesselam, I. Adachi et al. (Belle Collaboration), “Observation of $Z_b(10610)$ and $Z_b(10650)$ Decaying to B Mesons” // Phys. Rev. Lett. – 2016. – Vol. 116, p. 212001.
9. D. Santel, K. Kinoshita, ..., A. Garmash et al. (Belle Collaboration) “Measurements of the $\Upsilon(10860)$ and $\Upsilon(11020)$ resonances via $\sigma(e^+e^- \rightarrow \Upsilon(nS)\pi^+\pi^-)$ ” // Phys. Rev. D. – 2016. – Vol. 93, p. 011101(R).
10. R. Mizuk, A. Bondar, ..., A. Garmash et al. (Belle Collaboration), “Energy scan of the $e^+e^- \rightarrow h_b(nP)\pi^+\pi^-$ ($n = 1,2$) cross sections and evidence for $\Upsilon(11020)$ decays into charged bottomonium-like states” // Phys. Rev. Lett. – 2016. – Vol. 117, p. 142001.
11. J. Yin, C.Z. Yuan, ..., A. Garmash et al. (Belle Collaboration), “Observation of $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\chi_{b1,2}(1P)$ and search for $e^+e^- \rightarrow \phi\chi_{b1,2}(1P)$ at $\sqrt{s} = 10.96 - 11.05$ GeV” // Phys. Rev. D. – 2018. – Vol. 98, p. 091102.
12. R. Mizuk, A. Bondar, ..., A. Garmash et al. (Belle Collaboration), “Observation of a new structure near 10.75 GeV in the energy dependence of the $e^+e^- \rightarrow \Upsilon(nS)\pi^+\pi^-$ ($n = 1,2,3$) cross sections” // JHEP. – 2019. – Vol. 2019, p. 220.
13. R. Mizuk, A. Bondar, ..., A. Garmash et al. (Belle Collaboration), “Measurement of the energy dependence of the $e^+e^- \rightarrow B\bar{B}, B\bar{B}^*$ and $B^*\bar{B}^*$ exclusive cross sections” // JHEP. – 2021. – Vol. 2021, p. 137.

Вклад соискателя ученой степени в работы по теме диссертации является определяющим. В диссертации соискателя ученой степени Гармаша А.Ю. отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных им работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступило 4 положительных отзыва. В отзывах отмечено, что диссертация выполнена на высоком научном уровне, тема исследования является актуальной, результаты работы имеют высокую научную и практическую значимость и вносят существенный вклад в развитие области экспериментальной физики высоких энергий как спектроскопия адронных состояний, содержащих тяжелые кварки.

На диссертацию и автореферат поступил отзыв от доктора физико-математических наук, профессора, главного научного сотрудника Федерального государственного бюджетного учреждения «Институт физики высоких энергий им. А.А. Логунова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», **Зайцева Александра Михайловича**.

В отзыве указаны следующие замечания:

- Формула 3.14 ошибочна, в ней неправильный знак перед n . Вдобавок, она описывает «Гаусса с хвостом налево», а нужен «хвост направо».

- Тензор Леви-Чивиты в формулах 3.20 и 3.23 обозначается одной буквой, а там, где дается его определение, сразу вслед за формулой 3.20, используется другая буква.

- Тензор $\varepsilon_{\sigma\tau}$ никак не определён, приходится догадываться о том, что это такое.

- На стр. 65 сообщается, что «амплитуды Z_k в выражении 3.29 симметризованы относительно перестановки пионов π_1 и π_2 , что диктуется условием изоспиновой симметрии». На самом деле, требование изоспиновой симметрии излишне. Достаточно зарядовой симметрии.

- Не очень понятна ссылка на работу [1] в автореферате в связи с параметризацией формы резонанса $f_0(980)$ функцией Флатте. В цитируемой работе не приведены параметры для такой параметризации. Хуже того, при изложении формулы Флатте там отсутствует самое главное – аналитическое продолжение амплитуды под порог КК.

- В диссертации правильно указывается, что используемая для амплитудного анализа модель амплитуды не унитарна и не аналитична. В применяемой в диссертации технике анализа трехчастичного распада ситуацию вполне возможно несколько улучшить употреблением известной параметризации с унитаризованной S-волной для $\pi\pi$ -рассеяния. Тогда характерный скачок интенсивности волны вниз при $m_{\pi\pi} = 1$ ГэВ будет возникать автоматически, а не являться следствием случайной игры фаз и интенсивностей резонансов $\sigma(500)$ и $f_0(980)$.

- На стр. 105 сообщается о том, что «наблюдается хорошее согласие между распределением экспериментальных данных и результатами аппроксимации». Обычно, вслед за таким утверждением приводятся данные о качестве фита,

на основании которого сделан этот вывод. Ни в диссертации, ни в оригинальной работе этих сведений нет.

- На стр. 126-127 написано: «...структуры, состоящие из связанной системы дикварка (в состоянии цветового антитриплета) и антидикварка (цветовой триплет) [120]. Впервые такой подход был предложен в работе [121]». Утверждение непонятно. Такие системы рассматривались задолго до указанных работ.

- На стр. 134 описка: «...массы и ширины для пары $Z_c(3885)$ и $Z_c(3900)$ состояний и для пары $Z_c(3885)$ и $Z_c(3900)$ состояний...».

- На стр. 139 написано: «Однако ввиду отрицательной G-четности, все эти состояния не могут рождаться в e^+e^- аннигиляции в паре с одним пионом.» Это утверждение ошибочно. Правильно написать: «Однако ввиду отрицательной G-четности, все эти состояния не могут рождаться через изоскалаар в паре с одним пионом».

На диссертацию и автореферат поступил отзыв от доктора физико-математических наук, высококвалифицированного ведущего научного сотрудника Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, **Нефедьева Алексея Владимировича**.

В отзыве указаны следующие замечания:

- Ключевой особенностью изучаемых в диссертации состояний является их расположение в спектре выше порога рождения открытого аромата. При обсуждении данного вопроса (например, в вводном разделе 1.2) стоило бы более чётко подчеркнуть важность расположения изучаемого состояния выше самого низколежащего S-волнового порога именно в канале с данными квантовыми числами, который, соответственно, далеко не всегда совпадает с самым низколежащим порогом открытого аромата $D\bar{D}$ или $B\bar{B}$. Данный вопрос корректно прокомментирован на стр. 9 на частном примере состояния $\psi_2(1D)$, не распадающегося в конечное состояние $D\bar{D}$, однако в тексте диссертации было бы уместно явно сформулировать более общее утверждение на этот счёт.

- В описании теоретических подходов присутствуют некоторые неточности, которые, впрочем, встречаются в литературе довольно часто. В частности, разделение теоретических моделей по числу конститuentов на модель тетракварков, молекулярную модель, а также модель адрочармония не вполне корректно, поскольку с точки зрения кваркового состава все указанные состояния являются четырёхкварковыми (содержат в своём составе два кварка и два антикварка). Различие состоит в том, как кварки сгруппированы внутри адрона. По своей сути данный вопрос изложен в диссертации правильно, однако терминологически присутствует некоторая путаница, поскольку состояния, на которые диссертант ссылается как на «тетракварковые» или

«четырёхкварковые», противопоставляя их «молекулярным» (например, на стр. 123 при перечислении групп моделей), более правильно называть «компактными тетракварками», причём дикварк-антидикварковая картина (как обсуждается, например, на стр. 127) для таких состояний является лишь приближением, которое действительно часто используется в литературе, но, строго говоря, в каждом случае требует обоснования, поскольку изначально никакой кластеризации внутри компактных тетракварков не предполагается – для неё требуются дополнительные динамические причины.

- При описании молекулярной модели на стр. 125 утверждается, что описание пика в надпороговой области представляет для неё трудности. Данное утверждение не совсем верно, поскольку само понятие «молекулярная модель» является весьма широким. Полюс в надпороговой области нельзя получить только при самой простой форме взаимодействия между конститuentами, описываемого лишь короткодействующим потенциалом. Добавление к потенциалу энергетической зависимости (например, в результате перехода от лидирующего порядка кирального разложения к следующему за ним порядку) или введение в потенциал адронных обменов (например, пионного) решают данную проблему. Соответствующие подгонки данных и теоретические предсказания формы линии известны в литературе.

- Начало раздела 3.2 (стр. 51) выглядит не совсем понятным. С одной стороны, делается утверждение об отсутствии «общепринятого метода описания амплитуды трехчастичных распадов». Однако уже в следующей фразе даётся отсылка к ограничениям некоторого конкретного подхода. Требуются пояснения, что имеется в виду.

- Повсеместно при рассмотрении процессов, содержащих различные вклады, амплитуда записывается в виде суммы слагаемых. Такой вид амплитуды, вообще говоря, нарушает унитарность. И хотя в полной амплитуде такое нарушение может частично компенсироваться введёнными относительными фазами, интерпретация полученного результата представляется затруднительной. В частности, оценки величины различных вкладов в вероятность какого-либо рассматриваемого процесса (см., например, таблицу 17 на стр. 100) традиционно получаются простым отключением ряда вкладов в сумме амплитуд, так что универсальность таких оценок вызывает сомнения. В том числе потому, что при построении полной унитарной амплитуды процесса такое разделение вкладов не представляется возможным в принципе. Это замечание не следует считать критикой данной конкретной диссертационной работы, поскольку ввиду отсутствия альтернатив описанный выше метод рутинно применяется всеми экспериментальными коллаборациями. Тем не менее, хотелось бы лишней раз привлечь внимание к данной проблеме и пригласить экспериментальное сообщество к выработке модельно независимых методов разделения вкладов, которые не нарушали бы унитарности и, что даже важнее, были бы одинаково

применимы как в экспериментальном, так и в теоретическом анализе данных. Только в этом случае соотнесение измерений и предсказаний будет иметь практическую пользу не только на качественном, но и на количественном уровне.

- Хотелось бы отметить присутствие в диссертации качественных оценок возможностей эксперимента Belle II по дальнейшему изучению экзотических боттомониеподобных состояний. Несмотря на то, что они не имеют непосредственного отношения к предмету диссертации, такие оценки, полученные из первых рук, т.е. сделанные непосредственным участником экспериментов Belle и Belle II – автором анализа данных по состояниям Z_b , весьма полезны и своевременны. Как видно из данных, представленных в диссертации, особый интерес вызывает, в частности, форма линии в канале $B\bar{B}^*\pi$ в области масс вблизи порога $B^*\bar{B}^*$. Утверждается отсутствие статистически значимого сигнала в этой области, что в принципе не противоречит теоретическим построениям, однако требует или использования плохо обоснованных теоретических концепций (типа введения симметрии спина лёгкого кварка), или весьма тонкой подстройки параметров теории. Был бы очень полезен комментарий относительно возможности дальнейшего более точного исследования этой области масс как с использованием уже набранных данных Belle, так и перспектив, которые мог бы предоставить уже работающий эксперимент Belle II.

- При чтении диссертации было обнаружено некоторое количество опечаток и неточностей, что, к сожалению, неизбежно при подготовке материала такого объёма. Подавляющее большинство из них вполне безобидны (например, использование разных обозначений 2γ и $\gamma\gamma$ в двух соседних строчных формулах на стр. 17), однако некоторые могут затруднить восприятие и понимание материала при чтении. Например, на стр. 4, 5 и некоторых других отсутствуют чёрточки над значками античастиц (BB вместо $B\bar{B}$ и т.п.); во втором абзаце на стр. 25 явно пропущены символы $c\bar{c}$ (по-видимому, это связано со случайной заменой латинских букв «с» русской буквой «с», игнорируемой LaTeX-ом в формулах); на стр. 27 и 49 отношение Λ_{QCD}/m_B приведено несколько по-разному: 0.05 в одном случае и 0.10 в другом, что не совсем понятно, учитывая точность до второго знака после запятой, принятой в обеих оценках; на стр. 69 в подписи к рис. 3.5 вместо ссылки на нумерованную формулу с той же страницы дана ссылка на раздел 3.3.2; в пункте 5 на стр. 125 пропущен важный для понимания штрих у Z_b в строчной формуле $Z_b \rightarrow \bar{B}B^*$. В разделе 1.3.1 следовало бы явно оговорить, что речь идёт о тяжёлых кваркониях, содержащих кварк и антикварк одного аромата, когда кварконий обладает определённой зарядовой чётностью. Это утверждение вполне считывается из контекста, однако его следовало бы сделать явно. В противном случае (например, для тяжёлого кваркония $b\bar{c}$) формула (1.3) неприменима. Здесь же отмечу немотивированное использование в некоторых местах диссертации англицизмов, например, слова «бренчинг»

вместо вполне устоявшегося и употребимого термина «парциальная вероятность». Впрочем, использование подобных заимствований не носит в диссертации массового характера.

На диссертацию и автореферат поступил отзыв от доктора физико-математических наук, начальника сектора Международной межправительственной организации Объединенного института ядерных исследований, **Шматова Сергея Владимировича**.

В отзыве указаны следующие замечания:

- Несмотря на очевидную актуальность и значимость приведенных в диссертации исследований, можно указать на то, что во введении это описано очень кратко и недостаточно полно. Исследования мирового уровня могли бы быть мотивированы более емко и педагогически.

- В работе указано (в частности, на стр. 47), что для моделирования физических процессов использовались генераторы взаимодействий Jetset и RUTHIA. Так как нигде не сказано о корректирующем сечении факторе, можно предположить, что сечение вычислялось в главном порядке теории возмущений. Неясно, выполнялась ли оценка влияния вкладов высших порядков на величину фоновых процессов, и как это влияет на соотношение сигнал/шум и всю процедуру статистического анализа.

- Не для всех наблюдаемых резонансов приведена величина статистической значимости. Например, в Главе 3 на стр. 100 и в Заключение на стр. 143 приведено значение статистической значимости 6.3σ для резонанса $Z_b(10610)^0$. Однако для резонансов состояний $Z_b(10610)^\pm$, $Z_b(10650)^\pm$ и $Z_b(10650)^0$ подобны оценок в диссертации не дается.

- По величине статистической значимости 6.3σ для резонанса $Z_b(10610)^0$ делается вывод об указании на его существование. Стандартная мировая практика позволяет трактовать наблюдение со статистической значимости выше 5σ как полноценное наблюдение/открытие.

На автореферат диссертации поступил отзыв от доктора физико-математических наук, главного научного сотрудника Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической физики им. Л.Д. Ландау Российской академии наук, **Николаева Николая Николаевича**.

В отзыве указаны следующие замечания:

При общей ясности изложения, диссертанту не удалось обойтись без жаргонных выражений типа «сигнальных событий» на стр. 2 автореферата. В разделах 5 и 6 диссертации была бы уместна ссылка на недавний обзор Жуковой В.И. и др. УФН 191 (2021) 492 с обсуждением теоретической интерпретации Z_b -состояний.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой компетентностью в области физики высоких энергий, экспериментальной и теоретической физики элементарных частиц, значительным количеством научных трудов, в том числе по вопросам, рассматриваемым в диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: **разработаны** методики амплитудного анализа процессов e^+e^- аннигиляции в трехчастичные конечные состояния $\Upsilon(nS)\pi^+\pi^-$ и частичного восстановления конечного состояния $(B^{(*)}\bar{B}^{(*)})^\pm\pi^\mp$, в результате чего впервые обнаружены два изотриплета экзотических боттомониеподобных состояний и определены их основные свойства; **предложена** молекулярная модель описания структуры обнаруженных резонансов; **доказано** существование экзотических состояний $Z_b(10610)$ и $Z_b(10650)$, измерены их массы и ширины; **введено** новое понятие – боттомониеподобные состояния.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что: **доказано** существование экзотических состояний, содержащих тяжелые b и \bar{b} -кварки, предложена модель, качественно описывающая свойства обнаруженных состояний; **применительно к проблематике диссертации результативно использован** метод симметрии тяжелого кварка для построения молекулярной модели обнаруженных состояний; **изложены** основные альтернативные модели, используемые в настоящее время для описания свойств кваркониеподобных состояний; **раскрыты** характерные особенности этих моделей; **изучены** сильные и слабые стороны моделей в свете новых результатов, полученных в диссертации; **проведена модернизация** методики амплитудного анализа для случая многомерного фазового пространства.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что: **разработана и внедрена** методика частичного восстановления сигнала от трехчастичных процессов; **определены** перспективы использования данной методики при исследовании аналогичных процессов в системе чармония; **создана** система практических рекомендаций по дальнейшему изучению боттомониеподобных состояний; **представлены** рекомендации для набора и анализа данных нового эксперимента Belle II.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:
экспериментальные результаты получены с помощью современных и надежных методов анализа данных, многократно доложены на международных конференциях и используются в большом числе научных статей; **теория** хорошо согласуется с имеющимися экспериментальными данными и дает предсказания относительно аналогичных экзотических состояний в системе чармония, которые подтверждаются независимыми исследованиями; **идея базируется** на анализе широкого круга экспериментальных результатов, полученных независимыми

экспериментами в физике частиц; **использованы** уникальные данные эксперимента Belle, полученные в области энергии в системе центра масс от 9.46 до 11.02 ГэВ; **установлено** качественное согласие с результатами анализа распада $e^+e^- \rightarrow h_b(nP)\pi^+p_i^-$; **использованы** современные методики сбора и обработки экспериментальных данных.

Личный вклад соискателя состоит:

- в непосредственном участии в создании научной экспериментальной установки. Соискатель принимал личное участие в получении исходных данных;
- в личном участии в обработке экспериментальных данных и интерпретации полученных результатов;
- в представлении результатов исследований на ведущих научных конференциях;
- в подготовке основных публикаций по теме диссертации.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

к.ф.-м.н. Жилич Виктор Николаевич «в распределении для неправильных зарядовых комбинаций в области сигнала также видны пики, хоть и меньшей амплитуды, каково их происхождение?»

д.ф.-м.н. Середняков Сергей Иванович «как можно объяснить, почему более тяжелый Z_b не распадается в канале VV^* ?»

д.ф.-м.н. Дружинин Владимир Прокопьевич «каково соотношение между шириной Z_b резонансов и величиной детекторного разрешения?»

д.ф.-м.н. Дружинин Владимир Прокопьевич «как учитывалось детекторное разрешение?»

д.ф.-м.н. Середняков Сергей Иванович «что можно сказать о энергии связи V -мезонов в молекуле?»

д.ф.-м.н. Солодов Евгений Петрович «насколько строгим является предположение о том, что все распады Z_b состояний насыщаются уже наблюдаемыми каналами?»

д.ф.-м.н. Солодов Евгений Петрович «есть ли какие-то теоретические оценки их величины?»

Соискатель Гармаш А.Ю. согласился с замечаниями, ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию:

Действительно, в распределении по массе для неправильных зарядовых комбинаций тоже присутствуют пики в области сигналов как VV^* , так и V^*V^* . Дело в том, что в каждом событии один из V мезонов заряженный, а второй нейтральный. Если в событии был восстановлен нейтральный V мезон, то из-за явления осцилляции в системе нейтральных V мезонов, такое событие может попасть в неправильную зарядовую комбинацию. Мы ожидаем такой эффект, его величина известна, и это служит нам дополнительным способом контроля процедуры анализа. Мы определяли количество сигнальных событий

в неправильных комбинациях и сравнивали с ожидаемым значением. В случае заряженного восстановленного B -мезона эта величина согласуется с нулем, а для нейтральных – со значением, ожидаемым из осцилляций.

Молекулярная модель не объясняет этот экспериментальный факт. Более того, тут нет никаких запретов и это является интересным экспериментальным фактом, который в настоящее время активно обсуждается среди теоретиков.

Характерное значение ширины Z_b даже с учетом детекторного разрешения составляет величину порядка 20 МэВ. Разрешение по массе отдачи к пи-мезону, которое использовалось для определения инвариантной массы, оставшейся ипсилон-пи системы, составляет величину порядка 6 МэВ.

Для учета детекторного разрешения проводилась свертка с функцией разрешения. При этом не учитывались угловые переменные, поскольку все угловые распределения достаточно плоские, без каких-либо ярко-выраженных структур. Таким образом, свертка делалась по двум оставшимся переменным – инвариантным массам.

Разница между измеренными значениями масс Z_b резонансов и суммы масс BB^* и V^*V^* соответственно в пределах статистической точности измерений согласуется с нулем. Но стоит отметить, что все конечные состояния, в которых наблюдаются Z_b резонансы, анализировались независимо, с использованием параметризации формы резонанса функцией Брейта-Вигнера. К настоящему времени уже существуют теоретические работы, в которых предлагаются способы описания всех конечных состояний совместно. Это позволит лучше определить как форму кривой возбуждения резонанса, так положение полюсов.

Если проанализировать дополнительные каналы распада Z_b , разрешенные по квантовым числам, то первое, что еще можно добавить это каналы $\eta_b \rho$ и $\chi_b \pi\pi$. Но в первом случае наблюдение этого распада сильно осложнено экспериментально, нет хороших каналов распада η_b , а во втором случае процесс имеет кинематическое подавление, поскольку система $\pi\pi$ должна находиться в изовекторном состоянии, то есть представлять из себя ρ -мезон.

Предсказаний возможных величин вероятностей этих распадов нет, фактически имеется только экспериментальные результаты.

Диссертация Гармаша А.Ю. «Изучение боттомониеподобных состояний в эксперименте Belle» соответствует всем критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, установленным в Положении о присуждении ученых степеней, утвержденном постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842 с изменениями и дополнениями от 20 марта 2021 года № 426.

На заседании 21.04.2022 диссертационный совет принял решение за разработку теоретических положений, которые лежат в основе представленного автором диссертации экспериментального исследования физики экзотических

состояний боттомония, присудить Гармашу А.Ю. ученую степень доктора физико-математически наук.

В результате сбоя работы электронной почты и невозможности принять участие в электронном голосовании член диссертационного совета Сербо Валерий Георгиевич в кворуме заседания диссертационного совета Д 003.016.02 не учитывается. Таким образом, в заседании по вопросу защиты диссертации Гармаша А.Ю. приняло участие 19 человек из утвержденных 23 членов диссертационного совета.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 10 докторов наук по научной специальности 01.04.16 – Физика атомного ядра и элементарных частиц, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 19, против 0.

Председатель диссертационного
совета Д 003.016.02,

д.ф.-м.н., академик РАН  Скринский Александр Николаевич /

Ученый секретарь диссертационного
совета Д 003.016.02,

д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН  Фадин Виктор Сергеевич /

22.04.2022