

# Физический ИНСТИТУТ



имени  
П. Н. Лебедева

Российской академии наук

Ф И А Н

119991, Москва, ГСП-1  
Ленинский проспект, 53, ФИАН  
Телефоны: +7 (499) 135 14 29  
+7 (499) 132 65 54  
Телефакс: +7 (499) 135 78 80  
E-mail: office@lebedev.ru  
www.lebedev.ru

«Утверждаю»

И.о. директора ФИАН, д.ф.-м.н, академик РАН

Н. Н. Колачевский

28.09. 2026



Дата 28.09.2026 № 11220-9311-445

На № 15 311-10/11-385/прт 6 марта 2026

## Отзыв ведущей организации

на диссертацию Коваленко Евгения Александровича на тему «Измерение вероятностей переходов между состояниями системы боттомония с излучением псевдоскалярных мезонов в эксперименте Belle», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.15. «Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий»

Диссертационная работа Коваленко Евгения Александровича посвящена настройке и калибровке монитора светимости в эксперименте Belle II и поиску распадов  $\Upsilon(5S) \rightarrow \Upsilon(1S,2S)\eta$ ,  $\Upsilon(5S) \rightarrow \Upsilon(1S)\eta'$ ,  $h_b(2P) \rightarrow \Upsilon(1S)\eta$ ,  $h_b(2P) \rightarrow \Upsilon(1S)\pi^0$ ,  $h_b(1P) \rightarrow \Upsilon(1S)\pi^0$  с использованием данных эксперимента Belle. В работе представлены результаты калибровки и систематическая точность монитора светимости лучше 1%, а также измеренные вероятности или верхние пределы на вероятности указанных распадов.

### Актуальность темы диссертации

Точное измерение светимости, набираемой в эксперименте Belle II, является, безусловно, важной задачей для всей физической программы эксперимента. Изучение адронных переходов между состояниями боттомония актуально для выявления кварковой структуры. Состояния выше порога рождения пар В-мезонов обладают аномальными свойствами, одним из объяснений которых является примесь экзотических многокварковых состояний к чистому боттомонию. Обнаружены многократные расхождения с ожидаемыми значениями для (отношений) ширин распадов  $\Upsilon(4S) \rightarrow \Upsilon(mS)\pi^+\pi^-$  и  $\Upsilon(4S) \rightarrow \Upsilon(mS)\eta^{(\prime)}$ . Более лёгкие состояния боттомония лучше описываются теорией, однако их переходы также важно изучать для уточнения их свойств и настройки теоретических моделей.

Таким образом, тема диссертации является актуальной, и представленная работа вносит существенный вклад в бурно развивающуюся область физики элементарных частиц – физику боттомония.

### **Научная новизна и практическая значимость работы**

Автор впервые наблюдал переходы  $\Upsilon(5S) \rightarrow \Upsilon(1S,2S)\eta$ , измерил их относительные вероятности и борновские сечения; впервые получил свидетельство существования распада  $h_b(2P) \rightarrow \Upsilon(1S)\eta$  и измерил его относительную вероятность; впервые поставил верхние пределы на вероятности распадов  $\Upsilon(5S) \rightarrow \Upsilon(1S)\eta'$ ,  $h_b(2P) \rightarrow \Upsilon(1S)\pi^0$ , и  $h_b(1P) \rightarrow \Upsilon(1S)\pi^0$ . Полученные вероятности для  $\Upsilon(5S)$  служат новыми дополнительными указаниями на экзотическую структуру этого состояния. Измеренная вероятность перехода  $h_b(2P) \rightarrow \Upsilon(1S)\eta$  существенно ниже ожидаемой, что указывает на неточность теоретической модели или оценки полной ширины  $h_b(2P)$ .

Автор разработал монитор светимости для эксперимента Belle II, который демонстрирует стабильную и надежную работу начиная с 2017 года, измеряя мгновенную и интегральную светимости для всего эксперимента Belle II, а также играет важную роль в оптимизации параметров пучков коллайдера SuperKEKB.

**Достоверность полученных результатов** обеспечена использованием методик и программ анализа данных, общепринятых во многих крупных экспериментах по физике высоких энергий. Работа прошла многочисленные стадии внутреннего рецензирования в коллаборациях Belle и Belle II, а также докладывалась на многочисленных конференциях. Результаты работы согласуются с предыдущими независимыми измерениями Belle и опубликованы в реферируемых изданиях Physical Review D, Physical Review Letters, и Nuclear Instruments and Methods in Physics, индексируемых в базах SCOPUS и Web Of Science и включенных в список ВАК.

### **Общая характеристика работы**

Диссертация состоит из введения, пяти глав, и заключения, к которым прилагаются список сокращений и условных обозначений, список литературы из 93 источников, список 41 рисунка, и список 13 таблиц.

Во введении сформулированы актуальность темы исследования, степень разработанности темы исследований, цели и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследования, основные положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов, публикации, а также личный вклад автора.

В первой главе описана классификация состояний боттомония и теория сильных переходов между ними, а также возможные экзотические модели, которые могут объяснить необычные свойства тяжёлых боттомониев.

Вторая глава содержит детальное описание экспериментальной установки Belle, включая все её подсистемы, а также ускорительного комплекса KEKB. Кроме того, рассказано об усовершенствованных установках Belle II и SuperKEKB, а также особенностях моделирования событий.

Третья глава посвящена мониторингованию светимости в эксперименте Belle II. Описаны особенности работы ускорительного комплекса, разработка монитора светимости, который измеряет скорость счета событий  $e^+e^-$  рассеяния и событий  $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$  под большими углами, основываясь только на сигналах с торцов электромагнитного калориметра. Далее говорится о моделировании монитора светимости и полученных

результатах: точность измерения светимости лучше 1%, а значение согласуется с результатом, полученным с использованием всей остальной части установки.

В четвёртой главе речь идёт о поиске распадов  $\Upsilon(5S) \rightarrow \Upsilon(1S,2S)\eta$  и  $\Upsilon(5S) \rightarrow \Upsilon(1S)\eta'$  с использованием данных эксперимента Belle. Здесь описаны реконструкция и отбор событий, анализ ожидаемых фонов, аппроксимация данных, оценка систематических погрешностей, а также результаты измерения – первое обнаружение распадов  $\Upsilon(5S) \rightarrow \Upsilon(1S)\eta$  и  $\Upsilon(5S) \rightarrow \Upsilon(2S)\eta$ , измерения их вероятностей, и верхний предел на относительную ширину перехода  $\Upsilon(5S) \rightarrow \Upsilon(1S)\eta'$ . Помимо этого, измерены борновские сечения процессов  $e^+e^- \rightarrow \Upsilon(1S,2S)\eta$  и  $e^+e^- \rightarrow \Upsilon(1S)\eta'$ . При обсуждении полученных результатов указано, что результаты для сечений согласуются с предыдущими измерениями, а полученные вероятности распадов значительно больше ожидаемых значений, подтверждая аномальные вероятности адронных переходов с участием тяжёлых боттомониев.

В пятой главе рассказано о поиске распадов  $h_b(2P) \rightarrow \Upsilon(1S)\eta$ ,  $h_b(2P) \rightarrow \Upsilon(1S)\pi^0$ , и  $h_b(1P) \rightarrow \Upsilon(1S)\pi^0$ , для первого из которых получено первое свидетельство со значимостью 3.5 стандартных отклонения, а на второй и третий впервые установлены верхние пределы. Структура этой главы похожа на предыдущую, а измеренная вероятность перехода  $h_b(2P) \rightarrow \Upsilon(1S)\eta$  оказалась существенно ниже ожидаемой, что указывает на неточность теоретической модели или оценки полной ширины  $h_b(2P)$ .

В заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертации.

#### **Замечания к диссертации**

1. В главе 1.1 при описании обнаруженных ранее состояний боттомония не указано, что эксперимент CMS в 2018 году обнаружил отдельно состояния  $\chi_{b1}(3P)$  и  $\chi_{b2}(3P)$ .
2. В уравнении 1.13 используется угол смешивания между  $\eta$  и  $\eta'$  мезонами, и указано его значение 0.2. Однако не приведена ссылка на источник, откуда это значение взято. В то время как в работе коллаборации LHCb 2025 года [arXiv:2507.13914, JHEP 10 (2025) 113] получены значения между 0.62 и 0.82, значительно превышающие используемое значение 0.2.
3. В главе 4.1 не объяснено, почему для процесса  $\Upsilon(2S)\eta$  не использовались распады  $\Upsilon(2S) \rightarrow \Upsilon(1S)\pi^+\pi^-$  вместе с  $\eta \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$  а также  $\Upsilon(2S) \rightarrow \mu^+\mu^-$  вместе с  $\eta \rightarrow \gamma\gamma$ .
4. В главе 4.1 не указано, почему не используются распады  $\Upsilon(1,2S) \rightarrow e^+e^-$ , которые позволили бы почти удвоить количества событий во всех исследуемых распадах (как сделано в главе 5).
5. В главе 4.1 при описании ограничений отбора указаны границы инвариантных масс всех промежуточных резонансов, кроме диапазонов для каналов распада  $\eta \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$  и  $\eta' \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$ . Желательно привести и эти диапазоны тоже.
6. В конце главы 4.1 приводятся эффективности регистрации, но не дано определение того, что понимается под эффективностями, и как они вычисляются.
7. В главе 4 используются бинированные аппроксимации и оценивается систематическая погрешность из-за выбора ширины бина, но не указано, почему не использована небинированная аппроксимация методом максимального правдоподобия, при использовании которой не пришлось бы учитывать такую систематическую погрешность.

8. В главе 5.3 приведена аппроксимация двумерного распределения с использованием сигнальной функции, являющейся произведением двух одномерных функций по осям  $M_{\gamma\gamma}$  и  $M_{\pi\pi}^{\text{rec}}$ . При этом не обсуждается возможная корреляция между этими переменными для сигнальной компоненты, при наличии которой следовало бы использовать более сложную функцию при двумерной аппроксимации.
9. В главе 5.3 для определения верхнего предела на относительную вероятность переходов  $h_b(2P) \rightarrow \Upsilon(1S)\pi^0$  и  $h_b(1P) \rightarrow \Upsilon(1S)\pi^0$  число ожидаемых фоновых событий определено из аппроксимации экспериментальных данных без сигнальной компоненты, однако, эта аппроксимация (фоновая компонента) не описана в тексте работы.
10. В главе 5.3 не указано, является ли двумерная аппроксимация бинированной или небинированной.
11. В главе 5.4 рассматриваются систематические погрешности измерений относительных вероятностей распадов  $h_b(2P) \rightarrow \Upsilon(1S)\eta$ ,  $h_b(2P) \rightarrow \Upsilon(1S)\pi^0$ ,  $h_b(1P) \rightarrow \Upsilon(1S)\pi^0$ , в том числе, связанные с параметризацией фона, но не обсуждаются погрешности, связанные с параметризацией сигналов.

Диссертационная работа грамотно оформлена, однако содержит несколько стилистических неточностей, в частности:

1. В начале страницы 70 написано, что «спектр фотонов равномерно распределен от 105 МэВ до 715 МэВ». Спектр — это сама функция распределения, зависимость (количество фотонов от энергии). Он не может быть «распределён». Распределены именно фотоны по энергиям, а спектр *является* равномерным. Стоило написать «фотоны равномерно распределены по энергиям в интервале от 105 до 715 МэВ» или «спектр энергий фотонов является равномерным в диапазоне 105–715 МэВ».
2. На странице 79 написано «где первая погрешность — статистическая, а вторая — систематическая погрешность», правильно написать без второго слова «погрешность».

Изложенные выше замечания не влияют на положительную оценку диссертации и не уменьшают научной ценности полученных в ней результатов. Диссертация Коваленко Е. А. выполнена на высоком научном уровне, является законченным научным исследованием, и содержит ряд новых научных и методических результатов. Полученные результаты являются достоверными, а сформулированные научные положения и выводы хорошо обоснованы. Основные результаты диссертации опубликованы в научных изданиях, соответствующих списку ВАК, и докладывались на крупных всероссийских и международных конференциях.

Автореферат оформлен в соответствии с требованиями Высшей аттестационной комиссии и в достаточной мере отражает содержание диссертации.

## **Заключение**

Диссертационная работа Коваленко Евгения Александровича на тему «Измерение вероятностей переходов между Состояниями системы боттомония с излучением

псевдоскалярных мезонов в эксперименте Belle» соответствует специальности 1.3.15. «Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий» и полностью удовлетворяет научно-квалификационным требованиям п.9 Положения о порядке присуждения учёных степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автор диссертации, Коваленко Евгений Александрович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.15. «Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий».

Отзыв обсуждён 16 апреля 2026 года на заседании Лаборатории тяжёлых кварков и лептонов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П. Н. Лебедева Российской академии наук, протокол № 34 от 16.04.2026.

Отзыв ведущей организации составил высококвалифицированный старший научный сотрудник Лаборатории тяжёлых кварков и лептонов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П. Н. Лебедева Российской академии наук, к.ф.-м.н. по специальности 01.04.23 «Физика высоких энергий» С. М. Поликарпов. Почтовый адрес: 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д.53, тел. 8(499)132-65-54, e-mail: [polikarpovsm@lebedev.ru](mailto:polikarpovsm@lebedev.ru).

17 апреля 2026 года



Сергей Михайлович Поликарпов

высококвалифицированный ведущий научный сотрудник,  
и.о. заведующего Лабораторией тяжелых кварков и лептонов,  
доктор физико-математических наук, профессор  
e-mail: [druckojag@lebedev.ru](mailto:druckojag@lebedev.ru)



Алексей Георгиевич Друцкой

Подписи Поликарпова С. М. и Друцкого А. Г. заверяю  
Ученый секретарь ФГБУН Физического института им. П. Н. Лебедева РАН,  
кандидат физико-математических наук



Андрей Владимирович Колобов

Контакты ведущей организации:  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки,  
Физический институт им. П. Н. Лебедева Российской академии наук  
Почтовый адрес:  
119991, ГСП-1, г. Москва, Ленинский проспект, д. 53, ФИАН  
Тел.: +7 (499) 132-65-54  
Факс: +7 (499) 135-78-80  
E-mail: [office@lebedev.ru](mailto:office@lebedev.ru)  
Сайт организации: <http://www.lebedev.ru/>