

ОТЗЫВ

официального оппонента Кима Виктора Тимофеевича на диссертационную работу Шоркина Романа Андреевича «Исследование лептонной универсальности в распадах В-мезонов на Большом адронном коллайдере», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.15 – «Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий»

Одной из самых актуальных проблем современной фундаментальной физики является поиск Новой физики, расширяющей рамки Стандартной Модели (СМ) элементарных частиц, которая в данный момент не имеет достаточно значимых расхождений с имеющимися измерениями.

Поэтому **актуальность** диссертации Шоркина Романа Андреевича «Исследование лептонной универсальности в распадах В-мезонов на Большом адронном коллайдере», посвященной прецизионному измерению лептонной универсальности в распадах В мезонов в эксперименте LHCb на Большом адронном коллайдере (БАК) и развитию соответствующих экспериментальных методов для такого измерения, не вызывает сомнений.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения, а также списка использованной литературы, содержащего 161 наименование. Объем диссертации составляет 149 страниц, включая 39 рисунков и 21 таблицу.

Во **Введении** обоснована актуальность исследований, сформулированы цели и задачи научной работы. Описаны объекты и методы исследования, изложены обоснования достоверности полученных результатов, а также их научная новизна и значимость. Приведены положения, выносимые на защиту. Представлена информация о личном вкладе диссертанта, а также об апробации работы на конференциях и опубликованных по теме диссертации статьях.

В **Первой главе** дано теоретическое введение, описание нейтральных токов с изменением аромата. Обсуждены механизмы распада адронов,

содержащих b кварки, обоснована возможность экспериментального поиска отклонений от СМ в таких процессах.

Вторая глава посвящена обзору экспериментальных исследований в рассматриваемой области. Введено понятие оптимизированных параметров – величин, наиболее простых для измерения и имеющих наименьшую погрешность. Приведены результаты измерения таких параметров, подчёркнуты случаи с указаниями на расхождение с СМ.

В Третьей главе описаны дизайн, конструкция и программное обеспечение эксперимента ЛНСб, специализированного для исследования распадов B мезонов. Достаточно подробно описаны системы и компоненты, значимые для данной работы.

Четвёртая глава посвящена описанию измерения величины R_K . Описана общая стратегия анализа и изложены основные этапы, включающие моделирование событий методом Монте-Карло, отбор сигнальных событий, введение поправок к моделированию, параметризацию распределений инвариантных масс в исследуемой области, расчёт систематических погрешностей. Изложены полученные результаты, а также выполненные проверки, подтверждающие достоверность методологии.

В пятой главе изложены методические исследования в области анализа данных, проведённые диссертантом. Первое из них посвящено исследованию возможностей использования электромагнитного калориметра ЛНСб для идентификации частиц. Описан эксперимент с модулем типа «шашлык» на выведенных тестовых пучках, содержащих частицы различного типа и энергий. Второе представляет интерес при поиске гипотетических частиц Новой физики и представляет собой анализ эффективности обучения алгоритма отбора сигнальных событий при смешении фона и редкого сигнала в неизвестных пропорциях.

В Заключении сформулированы основные результаты работы и сделаны выводы.

Новизна и научная значимость диссертационной работы состоит в том, что описанное в ней измерение отношения вероятностей R_K для полуплептонных распадов заряженных B мезонов в мюонную или в электронную пары, впервые выполнено в области больших переданных импульсов. Точность представленного нового измерения ($\sim 10\%$) превосходит полученные ранее экспериментами Belle и BaBar результаты (точности $\sim 30\%$ и $\sim 60\%$ соответственно). Полученный результат дополняет другое новое измерение LHCb, проведенное в области средних переданных импульсов, и подтверждает равенство параметра R_K единице в пределах точности измерений в согласии с лептонной универсальностью СМ.

Научная значимость работы, указанная выше, дополняется **практической**. Так, разработанная автором методика идентификации частиц при помощи модуля электромагнитного калориметра, может быть использована в экспериментах на тестовых пучках. Исследование устойчивости алгоритмов машинного обучения (BDT) для отбора редких событий в условиях преобладания фона важно для будущих поисковых экспериментов. Полученные результаты диссертации могут быть использовать при анализе данных экспериментов в ведущих ускорительных мировых центрах физики высоких энергий: ЦЕРН, БНЛ, Джефф. Лаб, КЕК, ОИЯИ и др., а также в российских институтах НИЦ КИ – ИФВЭ, НИЦ КИ - ПИЯФ, ИЯИ РАН, ИЯФ СО РАН, ФИАН, МГУ, СПбГУ, МИФИ, МФТИ и др.

На основании полученных Шоркиным Р. А. результатов, сделанных выводов и выдвинутых научных положений следует считать, что поставленная цель исследований успешно достигнута. Результаты, полученные диссертантом обладают научной **новизной**, корректно сформулированы и **обоснованы**. **Достоверность** результатов обеспечивалась использованием методов контроля набора данных и работы детекторной установки LHCb, выполнением калибровочных измерений и использованием стандартных программных пакетов эксперимента. Анализ данных сопровождался процедурой внутреннего рецензирования LHCb. Результаты диссертации

прошли апробацию на конференциях и совещаниях, а также опубликованы в трех статьях в рецензируемых научных журналах, входящих в список ВАК и индексируемых Scopus. **Автореферат** правильно и полно отражает содержание диссертации.

Личный вклад Шоркина Р. А в опубликованные работы: определяющий вклад в основную статью LHCb по измерению величины R_K - от анализа данных до подготовки публикации в составе международной группы эксперимента, а также моделирование и измерения с тестовым модулем электромагнитного калориметра LHCb, оптимизация отбора редких событий в присутствии неопределенного преобладающего фона на основе BDT и др.

К сильным сторонам представленной диссертационной работы можно отнести: новизну и научную значимость полученного результата, развитие экспериментальной методики для улучшения оптимизации измерений, развитие и применение современных методов компьютерной обработки при анализе большого объема экспериментальных данных, в частности, методов машинного обучения.

Тем не менее, в диссертации были замечены следующие недостатки. Осталось неясным, например, возможно ли повысить эффективность отбора событий при измерении R_K для электронов, используя деревья решений или нейронные сети для обнаружения сигнальных событий, удовлетворяющих критериям по переданному импульсу трекера, а не электромагнитного калориметра. Также, несмотря на то, что диссертационная работа содержит весьма небольшое количество опечаток, имеется местами излишнее употребление сленга и кальки английских слов, например «комплементарный» вместо «дополняющий» и т. д. и т. п.

Однако, приведенные замечания не влияют общую высокую оценку представленной диссертации, ее качества и новизны и актуальности.

Диссертационная работа Шоркина Романа Андреевича «Исследование лептонной универсальности в распадах В-мезонов на Большом адронном

коллайдере» является законченной научно-квалификационной работой, она соответствует заявленной специальности и удовлетворяет требованиям, изложенным в Положении о присуждении ученых степеней № 842, утвержденным Правительством Российской Федерации от 24 сентября 2013 г., а ее автор Шоркин Роман Андреевич заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.15 – «Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий».

Официальный оппонент:

Ким Виктор Тимофеевич

доктор физико-математических наук,
заместитель руководителя Отделения физики
высоких энергий
ФГБУ «Петербургский институт ядерной физики
им. Б. П. Константинова
Национального Исследовательского Центра
«Курчатовский институт»

6.03.2026

Тел.: +7 (81371) 46722, e-mail: kim_vt@pnpi.nrcki.ru
Адрес места работы: 188300, Ленинградская обл., г. Гатчина, мкр. Орлова
роща, д. 1

Подпись Кима В.Т. удостоверяю:

С.И. Воробьев
Ученый секретарь
НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ



6.03.2026.

Список основных публикаций официального оппонента доктора физико-математических наук Кима В.Т. по тематике диссертации Шоркина Р.А. «Исследование лептонной универсальности в распадах В-мезонов на Большом адронном коллайдере» в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. Hayrapetyan A., ..., Kim V. et al. (CMS Collaboration), *Angular analysis of the $B^0 \rightarrow K^*(892)^0 \mu^+ \mu^-$ decay in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV* // Phys. Lett. B. 2025. – 864 (2025) 139406
2. Hayrapetyan A., ..., Kim V. et al. (CMS Collaboration), *Test of lepton flavor universality in semileptonic B_c^+ meson decays in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV* // Phys. Rev. D. 2025. – 111 (2025) 5, L051102
3. Kim V., Zelenov A., *Diquarks for Large- p_{\perp} -Baryon Production at High-Energy p - p Collisions* // Phys. Part. Nucl. Lett. 2025. – 22 (2025) 1, 213-218
4. Hayrapetyan A., ..., Kim V. et al. (CMS Collaboration), *Test of lepton flavor universality in $B^{\pm} \rightarrow K^{\pm} \mu^+ \mu^-$ and $B^{\pm} \rightarrow K^{\pm} e^+ e^-$ decays in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV* // Rept. Prog. Phys. 2024. – 87 (2024) 7, 077802
5. Abazov., V., ..., Kim V. et al (SPD Collaboration), *Technical Design Report of the Spin Physics Detector at NICA* // Natural Sci. Rev. 2024. – 1 (2024) 1
6. Hayrapetyan A., ..., Kim V. et al. (CMS Collaboration), *New Structures in the $J/\psi J/\psi$ Mass Spectrum in Proton-Proton Collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV* // Phys. Rev. Lett. 2024. – 132 (2024) 11, 111901
7. Ahdida C., ..., Kim V. et al (SHiP Collaboration), *The SHiP experiment at the proposed CERN SPS Beam Dump Facility* // Eur. Phys. J. C. 2022. – 82 (2022) 5, 486
8. Abramov V., Aleshko A., Baskov V., ..., Kim V. et al, *Possible Studies at the First Stage of the NICA Collider Operation with Polarized and Unpolarized Proton and Deuteron Beams* // Phys. Part. Nucl. 2021. – 52 (2021) 6, 1044-1119
9. Sirunyan, A., ..., Kim V. et al. (CMS Collaboration), *Search for resonant and nonresonant new phenomena in high-mass dilepton final states at $\sqrt{s} = 13$ TeV* // JHEP. 2021. – 07 (2021) 208