

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 720.001.02 НА
БАЗЕ МЕЖДУНАРОДНОЙ МЕЖПРАВИТЕЛЬСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ
ОБЪЕДИНЁННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

Решение диссертационного совета от 08.12.2016 № 16-03

о присуждении Литову Леандру Борисову, гражданину Болгарии, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Исследование полуплеptonных распадов каонов» по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц принята к защите 19 ноября 2015 г., протокол № 15-05, диссертационным советом Д 720.001.02 на базе Международной межправительственной организации Объединенный институт ядерных исследований, почтовый адрес: 141980, ул. Жолио-Кюри, д.6, г. Дубна, Московская область, РФ, приказ от 11.04.2014 г. №105/нк.

Соискатель Литов Леандр Борисов 1955 года рождения. В 1980 году окончил физический факультет Софийского университета, Болгария. В 1990 году защитил диссертацию «Исследование эффектов экранирования цвета в адрон-ядерных взаимодействиях» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук в совете при Объединенном институте ядерных исследований. С 1979 г. по 1990 г. работал в должности младшего научного сотрудника, затем научного сотрудника в Лаборатории теоретической физики и Лаборатории ядерных проблем в Международной межправительственной научно-исследовательской организации «Объединенный институт ядерных исследований». С 2002 г. является участником коллаборации NA48 на этапе подготовки и проведения эксперимента NA48/2 по поиску прямого CP нарушения в распадах заряженных каонов и прецизионному измерению характеристик этих распадов, в котором ведущую роль играла группа физиков из Лаборатории физики высоких энергий Объединенного института ядерных исследований. В настоящее время работает в должности доцента в Софийском университете, Болгария. Диссертация выполнена в Лаборатории физики высоких энергий им. В.И. Векслера и А.М. Балдина Объединенного института ядерных исследований.

Официальные оппоненты:

- **Зайцев Александр Михайлович**, доктор физико-математических наук, профессор, заместитель директора по научной работе федерального государственного бюджетного учреждения Государственный научный центр Российской Федерации “Институт физики высоких энергий”, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (почтовый адрес: 142281, Московская область, г.Протвино, пл.Науки, 1, тел. (4967)-71 36 23, e-mail: fgbu@ihep.ru)

- **Ким Виктор Тимофеевич**, доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Высшая школа прикладной физики и космических технологий института физики нанотехнологий и телекоммуникаций, научно-исследовательская лаборатория «Физика элементарных частиц и нейтронные исследования» (почтовый адрес 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29, тел. (812) 552 60 80, e-mail: office@spbstu.ru).

- **Красников Николай Валерьевич**, доктор физико-математических наук, заведующий отделом теоретической физики, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований РАН. (почтовый адрес: 117312, Москва, В-312, проспект 60-летия Октября, дом 7а, тел. (499)-135-77-60, e-mail: inr@inr.ru)

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В.Скобельцына (НИИЯФ МГУ, почтовый адрес: 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, дом 1, стр.1, тел. (495) 939-18-18, e-mail: info@sinp.msu.ru) в своем положительном заключении, составленном доктором физико-математических наук Гладилиным Леонидом Константиновичем, заведующим лабораторией тяжелых частиц и резонансов отдела экспериментальной физики высоких энергий НИИЯФ МГУ, указала: «Совокупность представленных в диссертации

результатов можно оценить как новое крупное научное достижение в развитии физики элементарных частиц. По своей актуальности, новизне полученных результатов и важности научных выводов диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям. Литов Л.Б. заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц». В качестве замечаний отмечается, что в разделе 4.1 не отмечено согласие величины найденного полюса с массой $K^*(892)^0$ мезона, ссылки [116-119] из списка литературы не упоминаются в тексте диссертации, имеется ряд опечаток. Соискатель ответил на замечания.

На диссертацию поступили отзывы от доктора физико-математических наук, профессора Будагова Юлиана Арамовича, главного научного сотрудника научно-экспериментального отдела множественных адронных процессов Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований(141980, Дубна, Московская обл. Жолио-Кюри, 6, (496) 216 23 98, Julian.Budagov@gmail.com) и доктора физико-математических наук, профессора Кекелидзе Владимира Димитриевича, директора Лаборатории физики высоких энергий Объединенного института ядерных исследований(141980, Дубна, Московская обл. Жолио-Кюри, 6, (496) 216 58 15, kekelidze@jinr.ru), споксперсон коллаборации NA48/2.

Отзыв профессора Будагова касается, в основном, личного вклада соискателя в результаты, полученные в рамках коллаборации ГИПЕРОН и вошедшие в диссертацию. В нем говорится: «... как руководитель коллаборации ГИПЕРОН, подтверждаю ключевой вклад Л.Б.Литова во включенные в его докторскую диссертацию исследования каонных распадов K_{e3} и значимость представленных результатов, которые признаны и вошли в престижные мировые таблицы PDG. Для меня нет сомнения, что он полностью заслуживает степень доктора физико-математических наук».

В отзыве профессора Кекелидзе дается оценка личного вклада соискателя в результаты, полученные в рамках коллаборации NA48/2 и вошедшие в диссертацию. В нем говорится: «В целом, следует признать диссертационную работу Леандра Литова соответствующей по содержанию и уровню полученных результатов требованиям, предъявляемым к работам на соискание ученой степени доктора физ.-мат. наук по специальности - «Физика атомного ядра и элементарных частиц», а его вклад в полученные результаты – определяющим».

Критических замечаний в этих двух отзывах не содержится.

Других отзывов на диссертацию и автореферат в совет не поступало.

Соискатель имеет более 500 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 31 работа, из них опубликованы в рецензируемых научных изданиях 19. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. G. S. Bitsadze, ... L. Litov et al., "Characteristics Of Lead Glass Hodoscopic Electromagnetic Calorimeter With Aperture Of 2-M²", Instrum. Exp. Tech. **30**, 808 (1987).

2. G. S. Bitsadze, ... L. Litov et al., "Coordinate Resolution Of A Hodoscopic Electromagnetic Calorimeter Of 2-M² Aperture With Active Converter And Drift Chambers, Instrum. Exp. Tech. **33**, **30**, 5 (1990).

3. A. Akimenko, ... L. Litov et al., Measurement of the $K^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu$ form-factors, Phys. Lett. B **259**, 225 (1991).

4. G. S. Bitsadze, ... L. Litov et al., "Reconstruction of the coordinate and energy of the electromagnetic shower in the lead glass hodoscope calorimeter at different entrance angles of 5 GeV positrons", Nucl. Instrum. Meth. A **311**, 472 (1992).

5. A. Asmolv, ... L. Litov et al., "Spectrometric complex HYPERON for investigation of K-decays", Instrum. Exp. Tech. **37**, 271 (1994).

6. L. Litov [for the NA48 Collaboration], " Particle identification in the NA48 experiment using neural networks", Nucl. Instrum. Meth. A **502**, 495 (2003).

7. J. R. Batley, ... L. Litov et al. [NA48/1 Collaboration], Observation of the rare decay $K_S \rightarrow \pi^0 e^+ e^-$, Phys. Lett. B **576**, 43 (2003).

8. J. R. Batley, ... L. Litov et al. [NA48 Collaboration], "Measurement of the branching ratio and form factors for the decay $K_L \rightarrow \pi^{+/-} \pi^0 e^{-/+} \nu$ ", Phys. Lett. B **595**, 75 (2004).

9. J. R. Batley, ... L. Litov et al. [NA48/1 Collaboration], "Observation of the rare decay $K_S \rightarrow \pi^0 \mu^+ \mu^-$ ", Phys. Lett. B **599**, 197 (2004).

10. A. Lai, ... L. Litov et al. [NA48 Collaboration], "Measurement of the branching ratio of the decay $K_L \rightarrow \pi^{+/-} e^{-/+} \nu$ and extraction of the CKM parameter V_{us} ", Phys. Lett. B **602**, 41 (2004).

11. A. Lai, ... L. Litov et al. [NA48 Collaboration], "Measurement of K_{Le3}^0 form factors", Phys. Lett. **B 604**, 1 (2004).
12. A. Lai, ... L. Litov et al. [NA48 Collaboration], "Measurement of the radiative K_{Le3}^0 branching ratio", Phys. Lett. **B 605**, 247 (2005).
13. A. Lai, ... L. Litov et al., « Measurement of $K_{L\mu3}^0$ form factors", Phys. Lett. **B 647** (2007) 341-350.
14. A. Lai, ... L. Litov et al., "Measurement of the ratio $\Gamma(K_{2\pi})/\Gamma(K_{e3})$ and extraction of the CP violation parameter $|\eta_{+-}|$ ", Phys. Lett. **B 645**, (2007) 26-35.
15. J.R. Batley, ... L. Litov et al. (NA48/2 Collaboration), « Determination of the relative decay rate $\Gamma(K_S^0 \rightarrow \pi e \nu)/\Gamma(K_L^0 \rightarrow \pi e \nu)$ ", Phys. Lett. **B 653**, (2007) 145—150.
16. J.R. Batley, ... L. Litov et al. (NA48/2 Collaboration), « New high statistics measurement of K(e4) decay form factors and $\pi\pi$ scattering phase shifts", Eur. Phys. J. **C 54**, (2008) 411--423.
17. J.R. Batley, ... L. Litov et al. (NA48/2 Collaboration), « New measurement of the charged kaon semileptonic K_{e4} decay Branching Ratio and Hadronic Form Factors", Phys. Lett. **B 715**, (2012) 105--115.
18. J.R. Batley, ... L. Litov et al. (NA48/2 Collaboration), « Precise measurement of the $K^\pm \rightarrow \pi^\pm e^+ e^-$ decay ", Phys. Lett. **B 677**, (2009) 246--254.
19. J.R. Batley, ... L. Litov et al. (NA48/2 Collaboration), Addendum to "New measurement of the charged kaon semileptonic K_{e4} decay Branching Ratio and Hadronic Form Factors", Phys. Lett. **B 740** (2015) 364.

Вклад соискателя в эти работы определяющий.

Основные результаты диссертации были представлены автором на следующих конференциях и семинарах:

1. VIII International Workshop on Advanced Computing and Analysis Techniques in Physics Research ACAT'2002, June 24-28, 2002, Moscow;
2. 32nd International Conference on High Energy Physics (ICHEO04), Beijing, China, 2004;
3. International workshop KAON 2005, Northwestern University, Evanston, Illinois, 2005;

4. На семинарах в ЦЕРН, NERNY Vienna, Bern University, ОИЯИ Дубна, Софийского Университета, на совещаниях международных коллабораций NA48 и NA62;

5. Основные результаты диссертации были представлены на семинаре ЛФВЭ ОИЯИ 17 июля 2015 г..

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обусловлен как особенностями и направлениями их исследований, так и специальностью, по которой выполнена работа соискателя.

Профессор А.М.Зайцев является признанным специалистом по физике элементарных частиц. С его участием получены важнейшие результаты, такие как экспериментальные ограничения на сечения образования кварков; обнаружение ядер антигелия; экспериментальные ограничения на P-нечетные μN взаимодействия; обнаружение и исследование радиационных распадов мезонных резонансов; измерение характеристик образования J/ψ частиц и мюонных пар в πN взаимодействиях; исследование характеристик Z-бозона; обнаружение и исследование аномальных распадов резонанса $\pi(1800)$; обнаружение и исследование мезонных состояний с экзотическими квантовыми числами; обнаружение резонансного усиления нарушения изотопической инвариантности; разработка методики и создание калориметров для сверхвысоких энергий; создание канала сепарированных каонов. Он является координатором российского участия в эксперименте ATLAS на Большом адронном коллайдере

Профессор В.Т.Ким является признанным специалистом в области теоретических и экспериментальных исследований по физике высоких энергий, в частности, физики на Большом адронном коллайдере. Он ведет исследования по физике бозонов Хиггса, редких распадов B-мезонов, поиску новых бозонов и т.п. на основе данных, полученных международными коллаборациями ATLAS, CMS, LHCb.

Доктор Красников Н.В. является известным физиком-теоретиком, внесшим большой вклад в квантовую теорию поля и физику высоких энергий. Ему принадлежат пионерские работы по теории образования барионной асимметрии Вселенной, разработке метода конечноэнергетических правил сумм в квантовой хромодинамике, работы по исследованию сложной структуры вакуума в калибровочных теориях, по проблеме стабильности вакуума в электрослабой теории, по проблеме нарушения суперсимметрии в струнных

теориях, по суперсимметричной феноменологии и по поиску новой физики на суперколлайдерах. Вносит большой вклад в разработку программы физических исследований на Большом адронном коллайдере CERN.

Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ является известным исследовательским центром по физике элементарных частиц. Сотрудники этого института являются активными участниками исследований, ведущихся крупнейшими международными научными коллаборациями, такими как ATLAS, CMS, LHCb на адронном коллайдере LHC в CERN (Женева, Швейцария) и D0 в Национальной ускорительной лаборатории им. Э.Ферми (Батавия, Иллинойс, США).

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1) Разработана новая методика прецизионного измерения характеристик полуплептонных распадов каонов с высокой эффективностью распознавания частиц и корректным учетом радиационных поправок.

2) Измерены с наилучшей точностью параметры матричных элементов полуплептонных распадов K_{l3} . Исследован возможный вклад скалярных и тензорных взаимодействий. Эти результаты внесли существенный вклад в разработку теоретических моделей адронных взаимодействий при малых переданных импульсах.

3) Проведено измерение относительных вероятностей K_{l3} -распадов. На основании этих измерений пересмотрены значения относительных вероятностей всех основных мод каонных распадов и внесены изменения в таблицы свойств элементарных частиц PDG.

4) Измерена относительная вероятность радиационного распада $K^0 \rightarrow \pi e \nu$. Это измерение устранило расхождение между теорией и экспериментом.

5) Измерено отношение ширины распадов $K_{2\pi}$ и K_{e3} и определена относительная вероятность CP-нарушающего распада $K_L \rightarrow \pi^+ \pi^-$ и значение CP-нарушающего параметра $|\eta_{+-}|$. Полученный результат является одним из трех наиболее точных измерений данного параметра.

6) Проведено исследование K_{e4} -распадов и измерение его параметров. Впервые достигнута точность измерений сопоставимая с точностью теоретических предсказаний, что вносит существенный вклад в определение

низкоэнергетических констант киральной теории возмущений и позволяет провести строгую проверку предсказаний низкоэнергетических моделей КХД.

7) Впервые наблюдались редкие распады $K_S \rightarrow \pi^0 e^+ e^-$ и $K_S \rightarrow \pi^0 \mu^+ \mu^-$. Измерены относительные вероятности этих распадов. На рекордной статистике измерена в полном кинематическом диапазоне относительная вероятность распада $K^+ \rightarrow \pi^+ e^+ e^- (\gamma)$. Формфактор W был параметризован согласно предсказаниям нескольких моделей и получены наиболее точные значения соответствующих параметров теории. Впервые исследована разница ширины распадов K^+ и K^- , что может быть проявлением CP-нарушения, и поставлена соответствующая верхняя граница на 90% уровне достоверности.

8) Впервые для поиска и идентификации редких распадов каонов предложена и реализована методика определения типа частиц, основанная на концепции нейронных сетей и достигнуто 40-кратное уменьшение вероятности ошибочного распознавания пионов как электронов, при сохранении вероятности идентификации электронов выше 95%. Это достижение стало ключевым условием успешных исследований полулептонных распадов в эксперименте NA48/2.

Актуальность и новизна

Стандартная Модель (СМ) электрослабых и сильных взаимодействий в пределах своей применимости дает описание практически всех известных фактов физики элементарных частиц. При этом остается ряд вопросов, которые не находят ответа в рамках этой модели. За последнее время было предложено множество расширений СМ, в рамках которых предсказываются ряд новых физических явлений. Поиск экспериментальных указаний на существование таких явлений это в настоящее время одна из самых актуальных задач физики элементарных частиц.

В рамках СМ для описания сильных взаимодействий при малых переданных импульсах наиболее популярной моделью является киральная теория возмущений. Главным недостатком этой модели является наличие большого числа параметров, которые определяются экспериментально.

Используя данные о полулептонных распадах каонов, можно провести прецизионную проверку СМ. Одновременно с этим можно получить жесткие ограничения на параметры разных расширений СМ, что будет стимулировать дальнейшее развитие теоретических моделей.

Представленные в диссертации результаты исследований полуплептонных распадов каонов вносят существенный вклад в решение ряда самых актуальных задач современной физики элементарных частиц.

Приведенные в диссертации результаты получены впервые, либо измерены с точностью, существенно превосходящей достигнутую ранее.

Теоретическая и практическая значимость

Измерение формфакторов полуплептонных распадов каонов внесло существенный вклад в определение параметров киральной теории возмущений и позволило провести наиболее строгую проверку предсказаний низкоэнергетических моделей КХД.

Результаты исследования полуплептонных распадов каонов привели к пересмотру величин относительных вероятностей всех основных мод каонных распадов. При этом современные значения, приведенные в таблицах PDG, определяются, в основном, результатами представленных в диссертации измерений. Определение значения элемента V_{us} матрицы Каббиво-Кобаяши-Маскавы с точностью лучше 1% решило проблему унитарности и стимулировало развитие теоретических методов вычисления формфакторов каонных распадов.

Впервые наблюдаемые редкие распады $K_S \rightarrow \pi^0 e^+ e^-$ и $K_S \rightarrow \pi^0 \mu^+ \mu^-$ и измеренные параметры их матричных элементы и относительные вероятности позволяют оценить вероятность CP-нарушающих распадов $K_L^0 \rightarrow \pi^0 l^+ l^-$ и целенаправленно планировать проведение экспериментов по их поиску.

Результаты диссертации могут быть использованы для проведения как теоретических, так и экспериментальных исследований во всех Российских и мировых зарубежных центрах физики элементарных частиц.

Достоверность результатов

Достоверность полученных в диссертации результатов подтверждена независимыми экспериментальными измерениями, компьютерным моделированием и согласием с теоретическими ожиданиями и вычислениями. Результаты, на которых основана диссертация, получили заслуженное мировое признание: 17 результатов включены в таблицы Particle Data Group. Достигнутая точность представленных в диссертации измерений для широкого спектра наблюдаемых величин практически исчерпала на ближайшее время необходимость в дальнейшем экспериментальном исследовании ряда ключевых

проблем физики слабых взаимодействий в распадах каонов. Результаты, приведенные в диссертации, опубликованы в ведущих научных журналах и регулярно цитируются в научной литературе.

Личный вклад соискателя.

В рамках эксперимента ГИПЕРОН соискатель внес ключевой вклад на всех этапах подготовки и проведения эксперимента, включая физическую программу, модернизацию всех базовых структур аппаратно-программного комплекса спектрометра, развитие годоскопического электромагнитного калориметра, триггера, исследование его эффективности регистрации одно- и многотрековых событий, моделировании эксперимента. Он принимал участие в наборе данных на ускорителе и внес главный вклад в обработку и анализ данных и подготовку публикаций.

В рамках эксперимента NA48/2 соискателем была предложен, разработан и внедрен метод нейронных сетей, который позволил решить задачу создания системы надежной идентификации электронов при максимально возможном подавлении адронного фона, используя уже существовавший жидкокриптоновый электромагнитный калориметр и другие детекторы. Л.Б.Литов принял активное участие в подготовке и проведению эксперимента NA48/2 на всех его этапах – оптимизации условий эксперимента путем моделирования исследуемых процессов, подготовке элементов детектора к работе, проведению сеансов набора данных на ускорителе и их анализу. Он возглавил группу исследователей из Болгарии и лично сам активно участвовал в анализе распадов каонов, в которых присутствуют как лептоны, так и пионы, т.н. K_{e3} и K_{e4} распады. Были получены наиболее точные данные о ширинах этих распадов и формфакторах, характеризующих соответствующие матричные элементы. Опубликованные по этим работам результаты получили широкое научное признание и позволили сделать ряд важных выводов, уточняющих параметры некоторых расчетных моделей и подтвердить на новом уровне справедливость Стандартной модели. Учитывая значительный вклад Л.Б.Литова в полученные результаты, коллаборация доверила ему представлять эти результаты на ряде престижных международных конференций. Он неоднократно выступал с результатами своей работы как на внутренних совещаниях коллаборации, так и на семинарах различного уровня.

На заседании 8 декабря 2016 года диссертационный совет сделал вывод о том, что диссертация Литова Л.Б. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований получены результаты, имеющие важное значение для проверки Стандартной модели, определения параметров смешивания и поиска новой физики вне рамок Стандартной модели, что может быть квалифицировано как новое крупное научное достижение в развитии физики элементарных частиц. Диссертация соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней. Совет принял решение присудить Литову Леандру Борисову учёную степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 27 человек, из них 8 докторов наук по специальности защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из 31 человек, входящих в состав совета, дополнительно введенных на разовую защиту нет, проголосовал: за присуждение учёной степени 25, против присуждения учёной степени нет, недействительных бюллетеней 2.

Заключение подготовили:

Доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник
Водопьянов Александр Сергеевич

Доктор физико-математических наук, профессор
Панебратцев Юрий Анатольевич

Кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник
Арефьев Валентин Александрович

Председатель диссертационного совета,
доктор физико-математических наук
профессор



Малахов Александр Иванович

Ученый секретарь диссертационного совета
Кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник



Арефьев Валентин Александрович

«16» декабря 2016 года