

,ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора физико-математических наук Рогановой Татьяны Михайловны на диссертационную работу **Шманина Евгения Владимировича** «Разработка радиационно-стойкого модуля электромагнитного калориметра спектрометра LHCb», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики».

Диссертационная работа **Шманина Евгения Владимировича** на тему «**Разработка радиационно-стойкого модуля электромагнитного калориметра спектрометра LHCb**» выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физическом институте им.П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН им. П.Н.Лебедева). Диссертация посвящена решению актуальной задачи модернизации электромагнитного калориметра - одной из подсистем спектрометра LHCb (Large Hadron Collider beauty). Эксперимент LHCb является крупнейшим экспериментом на LHC наряду с ATLAS, CMS и ALICE.

Физическая программа эксперимента LHCb в ЦЕРН посвящена изучению физики частиц, содержащих с- и b-кварки, поскольку в их распадах ожидается наличие эффектов так называемой Новой физики, не описанных Стандартной Моделью.

С начала работы Большого адронного коллайдера в эксперименте LHCb уже получены важнейшие результаты. В настоящий момент происходит первая фаза модернизации, направленная на выполнение требований, необходимых при работе в условиях повышенной светимости. **Актуальность** избранной диссертантом темы определяется необходимостью модернизации электромагнитного калориметра спектрометра LHCb ввиду повышения радиационных нагрузок на подсистемы детектора, что требует создания качественно нового устройства, функционирующего при нагрузках порядка 100 МРад без значительного ухудшения энергетических и временных характеристик прибора.

Цель работы – создание модуля электромагнитного калориметра, удовлетворяющего требованиям, предъявляемым к устройству подобного типа в эксперименте LHCb по радиационной стойкости, временному и энергетическому разрешению.

В работе подробно рассматривается и описывается

- процесс разработки модуля электромагнитного калориметра, выполненного по технологии спагетти-калориметра,
- проведение Монте-Карло моделирования его работы,
- создание модернизированный прототипа радиационно-стойкого модуля электромагнитного калориметра и его тестирование на пучке электронов.

Научная новизна и практическая значимость работы состоит в исследовании радиационной стойкости сцинтилляционных кристаллов, предложении конструкции радиационно-стойкого модуля типа спагетти с кристаллическими волокнами и экспериментальных исследованиях разработанных модулей на пучках релятивистских частиц.

В работе приведены данные радиационных испытаний сцинтилляционных материалов, потенциально применимых в создании радиационно-стойкого прибора, описание технологии разрабатываемого модуля, математического моделирования исследуемых прототипов модуля модернизированного калориметра, создание прототипов и их экспериментальные исследования на пучках релятивистских частиц.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и двух приложений. Полный объём диссертации составляет 141 страницу с 98 рисунками и 11 таблицами. Список литературы содержит 121 наименование.

Во введении представлена подробная историческая справка развития методов регистрации излучений, дано общее описание работы, сформулированы цели и задачи исследования, актуальность и новизна работы.

В первой главе работы приводится подробное описание эксперимента LHCb на Большом Адронном Коллайдере (БАК), представлены основные цели и задачи эксперимента, а также главные достижения коллаборации за время сеансов набора данных экспериментом. Кроме того, глава содержит подробное описание подсистем спектрометра LHCb и основную мотивацию необходимости проведения модернизации электромагнитного калориметра данного детектора.

Вторая глава посвящена описанию разработки возможной конструкции модуля, а именно: выбору материала поглотителя для прототипа, мотивации выбора сцинтиллирующего материала и его радиационные испытания на пучке релятивистских протонов с энергией 24 ГэВ, демонстрирующие его высокую радиационную стойкость. Также в главе приводятся оценки наведенной радиоактивности в исследуемых кристаллах, показывающие приемлемые значения наведенной активности при работе в радиационных условиях, приближенных к ожидаемым после повышения светимости БАК.

В третьей главе подробно описан процесс математического моделирования энергетического разрешения, а также создания первого прототипа спагетти-калориметра с использованием радиационно-стойких сцинтилляционных волокон и его тестирования на пучке релятивистских мюонов и электронов. Показано, что проведенные экспериментальные исследования демонстрируют соответствие предлагаемой технологии требованиям к электромагнитному калориметру LHCb по энергетическому разрешению, однако временное разрешение прибора требует улучшения.

В четвертой главе приведены данные о модернизации существующего прототипа с целью улучшения временного разрешения, моделирование энергетического разрешения и проверка результатов моделирования экспериментальными исследованиями. Приведенные данные демонстрируют достижимость требований, предъявляемых к электромагнитному калориметру LHCb по энергетическому и временному разрешению.

В заключении автор приводит 4 основных результата диссертационной работы:

1. Проведены испытания радиационной стойкости сцинтилляционных кристаллов потенциально применимых в модернизации электромагнитного калориметра и выдерживающих радиационную нагрузку порядка 100 МРад.
2. Предложена обновленная конструкция электромагнитного калориметра спектрометра LHCb, заключающаяся в использовании сцинтилляционных волокон и плотного абсорбера.

3. Математическое моделирование в инструментарии GEANT4 показало достижимость требуемых значений энергетического разрешения прибора при использовании обновленной конфигурации.
4. Собраны и протестированы прототипы радиационно-стойких модулей электромагнитного калориметра. Результаты тестовых испытаний демонстрируют соответствие характеристик прототипов электромагнитного калориметра на основе спагетти-технологии требованиям по энергетическому и временному разрешению, предъявляемым к электромагнитному калориметру спектрометра LHCb.

Обоснованность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, определяется стабильностью функционирования всех подсистем экспериментальной установки в период набора данных, а также сравнением результатов моделирования с результатами экспериментальных исследований.

Личный вклад. Автор принимал активное участие в реализации проекта на всех стадиях, а именно: проведении радиационных испытаний образцов сцинтилляционных кристаллов, разработке и сборке тестовых прототипов, моделировании прототипов в инструментарии GEANT4, подготовке экспериментальной установки, проведении экспериментальных исследований, а также при решении сопутствующих основной цели задач.

Работа Шманина Е.В. представляет **теоретическую и практическую значимость** для исследований в области разработки электромагнитных калориметров и является проработанным исследованием с **личным вкладом** на всех этапах разработки элемента спектрометра. Результаты прошли **апробацию** и были доложены на школах и конференциях различного уровня, включая международные. **Публикации** по итогам исследований индексируются в наукометрических базах Web of Science и Scopus и **соответствуют требованиям ВАК.**

К недостаткам работы следует отнести:

1. Отсутствует описание основных характеристик и радиационных испытаний кристаллов GFAG, исследуемых в четвертой главе наряду с другими кандидатами радиационно-стойких сцинтилляционных кристаллов.

2. На рисунке 40 следовало поместить численное значение измеренной длины затухания волокон, определяемое из графика.
3. К сожалению, в диссертационной работе, в целом хорошо оформленной и написанной хорошим русским языком, встречаются досадные опечатки. На стр. 13 и в ссылке [30] неверно указана фамилия одного из изобретателей калориметра Мурзина В.С.

Указанные недостатки не влияют на качество, новизну и актуальность работы.

Диссертация Шманина Евгения Владимировича «Разработка радиационно-стойкого модуля электромагнитного калориметра спектрометра ЛНСб» на соискание ученой степени кандидата наук является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи создания модуля электромагнитного калориметра, удовлетворяющего требованиям, предъявляемым к устройству подобного типа в эксперименте ЛНСб по радиационной стойкости, временному и энергетическому разрешению. Диссертация имеет существенное значение для соответствующей отрасли знаний, а именно созданию приборов и разработки методов экспериментальной физики

Диссертация оформлена в соответствии с требованиями Положения о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 года. Основные результаты диссертационной работы Шманина Е.В. докладывались на международных конференциях и совещаниях, опубликованы в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science, Scopus. Материалы диссертации со всей полнотой изложены в опубликованных работах автора. **Автореферат отражает содержание диссертации.**

Диссертация Шманина Евгения Владимировича «Разработка радиационно-стойкого модуля электромагнитного калориметра спектрометра ЛНСб» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая удовлетворяет всем требованиям к кандидатским диссертациям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 года, а её автор, Шманин Евгений Владимирович, заслуживает присуждения степени кандидата

физико-математических наук по специальности 01.04.01– Приборы и методы экспериментальной физики.

Отзыв составила заведующая лабораторией теоретических и экспериментальных исследований взаимодействий и переноса излучений в различных средах Отдела космических наук НИИЯФ МГУ, доктор физико-математических наук



Роганова Татьяна Михайловна

 1 сентября 2022года

119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2.

Тел. +7(495)9393553

e-mail rogatm@yandex.ru

Подпись официального оппонента Рогановой Татьяны Михайловны удостоверяю

Ученый секретарь НИИЯФ МГУ кандидат физико-математических наук



Сигаева Екатерина Александровна

119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2.

Тел. +7(495)9391818

info@sinp.msu.ru

Список основных работ Рогановой Татьяны Михайловны по теме защищаемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15)

1. T. Roganova et al./ OPERA tau neutrino charged current interactions// SCIENTIFIC DATA (8)1, 218, 2021 [DOI]
2. T. Roganova et al. / Sensitivity of the SHiP experiment to light dark matter// Journal of High Energy Physics (2021), 199, 2021 [DOI]
3. T. Roganova et al./ Directional Observation of Cold Dark Matter Particles (WIMP) in Light Target Experiments.// Universe (7)7, 215, 2021 [DOI]
4. T. Roganova et al./ The SPHERE-2 detector for observation of extensive air showers in 1 PeV – 1 EeV energy range // Astroparticle Physics (122)102460, 1-10,2020 [DOI]
5. T. Roganova et al./ Measurements of the muon flux from 400 GeV/c protons interacting in a thick molybdenum/tungsten target // European Physical Journal C. – 2020. – Vol. 80, no. 3. – P. 1–6. [DOI]
6. T. Roganova et al./ Final results on neutrino oscillation parameters from the OPERA experiment in the CNGS beam // Physical Review D. – 2019. – Vol. 100, no 5. – P. 051301–1–051301–8. [DOI]
7. T. Roganova et al./ Study of charged hadron multiplicities in charged-current neutrino-lead interactions in the OPERA detector // European Physical Journal C. – 2018. – Vol. 78, no. 62. – P. 1–8. [DOI]
8. T. Roganova et al./ Method of muonic radiography for fundamental and applied researchers // Physic Uspekhi. – 2017. – Vol. 60, no. 12. – P. 1–18. [DOI]