

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.262.03 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ФИЗИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ИМ. П.Н.
ЛЕБЕДЕВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело №

решение диссертационного совета от 12 ноября 2025 г. № 15

О присуждении Щедриной Татьяне Викторовне, гражданке Российской Федерации, учёной степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Новые детекторные решения на основе ядерных фотоэмульсий в фундаментальных экспериментах по физике элементарных частиц и мюнографии объектов культурного наследия» по специальности 1.3.2 — «Приборы и методы экспериментальной физики» принята к защите 4 июня 2025 года (протокол заседания № 12) диссертационным советом 24.1.262.03, созданным 18 октября 2023 года приказом № 1973/нк на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН), 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д. 53.

Соискатель Щедрина Татьяна Викторовна, 31 марта 1980 года рождения, работает высококвалифицированным старшим научным сотрудником в ФИАНе. Диссертацию на соискание степени кандидата физико-математических наук на тему «Исследование фрагментации релятивистских ядер ^{14}N методом ядерной фотографической эмульсии» защитила в 2008 году в диссертационном совете Д 002.023.04 в Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН.

Диссертационная работа Т.В. Щедриной выполнена в лаборатории элементарных частиц (ЛЭЧ) отделения ядерной физики и астрофизики (ОЯФА) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института имени П.Н. Лебедева Российской академии наук

(ФИАН).

Официальные оппоненты:

1. Мухамедшин Рауф Адгамович, доктор физико-математических наук, в.н.с., заведующий Лабораторией Нейтринной Астрофизики, Институт ядерных исследований РАН
2. Цукерман Илья Ильич, доктор физико-математических наук, с.н.с. лаборатории нейтринной физики Курчатовского комплекса теоретической и экспериментальной физики НИЦ «Курчатовский институт»
3. Яшин Игорь Иванович, доктор физико-математических наук, НОЦ НЕВОД Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация — Международная межправительственная научно-исследовательская организация Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ), Московская область, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, д.6, в своем положительном отзыве, составленном и подписанным доктором физико-математических наук, начальником Отдела физики элементарных частиц Лаборатории ядерных проблем им. В.П. Джелепова ОИЯИ Александром Григорьевичем Ольшевским и ученым секретарем ЛЯП ОИЯИ, кандидатом физико-математических наук, Ириной Викторовной Симоненко и утвержденным доктором физико-математических наук, академиком РАН Трубниковым Григорием Владимировичем, указала, что диссертация является самостоятельным, завершённым научным исследованием высокого уровня, в котором решена актуальная научная задача. Отмечено, что работа демонстрирует значительный потенциал предложенных новых детекторных решений для решения широкого круга фундаментальных и прикладных задач. Работа соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 года, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, а её автор - Т.В. Щедрина несомненно заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.2 – приборы и методы экспериментальной

физики.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается высокой научной квалификацией оппонентов и сотрудников ведущей организации, полученными ими научными результатами мирового уровня и многолетним опытом проведения научных исследований по сходной тематике.

По теме диссертации соискателем опубликовано 34 работы в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в международной базе данных Web of Science. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах. Наиболее значимые результаты по теме диссертации опубликованы в работах:

1. Alexandrov A.B., Vladimirov M.S., Polukhina N.G., Starkov N.I., Shchedrina T.V. System for processing emulsion data of the OPERA experiment using the PAVICOM facility and prospects of its application to scan objects by muon radiography methods // Bull.Lebedev Phys.Inst. 2012. Vol. 39. P. 269–276.
2. OPERA collaboration, Shchedrina T. Determination of the energy measurement accuracy for charged particles by their range in nuclear photoemulsion // JINST. 2012. Vol. 39. P. 300–304.
3. OPERA collaboration, Shchedrina T. Evidence for ν_μ to ν_τ appearance in the CNGS neutrino beam with the OPERA experiment // Phys.Rev.D. 2014. Vol. 89, № 5.
4. Alexandrov A., Bozza C., Buonauro A., Consiglio L., D'Ambrosio N., De Lellis G., De Serio M., Di Capua F., Di Crescenzo A., Di Ferdinando D., Di Marco N., Fini R.A., Galati G., Giacomelli G., Grella G., Hosseini B., Kose U., Shchedrina T., Simone S., Tioukov V. Improving the detection efficiency in nuclear emulsion trackers // Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. A Accel. Spectrometers, Detect. Assoc. Equip. 2015. Vol. 776, № 45–49.
5. OPERA collaboration, Shchedrina T. Discovery of tau Neutrino Appearance in the CNGS Neutrino Beam with the OPERA Experiment // Phys.Rev.Lett. 2015. Vol. 12.
6. Aleksandrov A.B., Bagulya A.V., Chernyavskiy M.M., Galkin V.I., Dedenko L.G., Fomenko N.V., Konovalova N.S., De Lellis G., Managadze A.K., Orurk O.I., Polukhina N.G., Roganova T.M., Shchedrina T.V., Sirignano C., Starkov N.I., Tan N.S., Tioukov V.E., Vladimirov M.S., Zemskova S.G. Test Experiments on muon radiography with emulsion track detectors in Russia // Phys.Part.Nucl.Lett. 2015. Vol. 12, № 5. P. 713–719.
7. Alexandrov A., Buonauro A., Consiglio L., D'Ambrosio N., De Lellis G., Di Crescenzo A., Di Marco N., Galati G., Lauria A., Montesi M.C., Pupilli F., Shchedrina T., Tioukov V., Vladymyrov M. A new fast scanning system for the measurement of large angle tracks in nuclear emulsions // JINST. 2015. Vol. 10, № 11. P. 11006.
8. Alexandrov A.B., Bagulya A.V., Chernyavskiy M.M., Konovalova N.S.,

- Managadze A.K., Orurk O.I., Polukhina N.G., Roganova T.M., Shchedrina T.V., Starkov N.I., Tioukov V.E., Vladymyrov M.S., Zemskova S.G. Muon radiography in Russia with emulsion technique. First experiments future perspectives // AIP Conf.Proc. 2015. Vol. 1702, № 1. P. 110002.
9. Alexandrov A.B., Vladymyrov M.S., Galkin V.I., Goncharova L.A., Grachev V.M., Vasina S.G., Konovalova N.S., Malovichko A.A., Okateva N.M., Polukhina N.G., Roganova T.M., Starkov N.I., Tioukov V.E., Chernyavskiy M.M., Shchedrina T.V. Muon radiography method for fundamental and applied research // Phys.Usp. 2017. Vol. 60, № 12. P. 1277–1293.
 10. Abiev A.K., Bagulya A.V., Chernyavskiy M.M., Dimitrenko A.A., Gadjiev A.K., Gadjiev M.S., Galkin V.I., Gippius A.A., Goncharova L.A., Grachev V.M., Konovalova N.S., Managadze A.K., Okateva N.M., Polukhina N.G., Roganova T.M., Shchedrina T.V., Starkov N.I., Teymurov A.A., Tioukov V.E., Vasina S.G., Zarubin P.I. Muonography of Large Natural and Industrial Objects // Phys.Atom.Nucl. 2020. Vol. 82, № 6. P. 897–901.
 11. Alexandrov A.B., Vasina S.G., Galkin V.I., Goncharova L.A., Konovalov S.I., Konovalova N.S., Korolev P.S., Larionov A.A., Melnichenko I.A., Managadze A.K., Okateva N.M., Polukhina N.G., Roganova T.M., Sadykov Z.T., Shchedrina T.V., Starkov N.I., Starkona E.N., Tioukov V.E., Chernyavskiy M.M., Shevchenko V.I. Search for Hidden Rooms in the Holy Trinity Danilov Monastery by the Muon Radiography Method // Phys.Atom.Nucl. 2021. Vol. 84, № 6. P. 855–859.
 12. SND@LHC collaboration, Shchedrina T. SND@LHC: the scattering and neutrino detector at the LHC // JINST. 2022. Vol. 19, № 05. P. 05067.
 13. Vasilev V.T., Konovalova N.S., Okateva N.M., Polukhina N.G., Sadykov Z.T., Shchedrina T.V., Starkov N.I., Starkona E.N., Chernyavskiy M.M. Modernization of the Automated Scanning Complex for Data Processing of the SND@LHC Experiment // Phys.Atom.Nucl. 2023. Vol. 86, № 10. P. 2251–2255.
 14. Gorbunov S.A., Volkov A.E., Zhukov K.E., Konovalova N.S., Polukhina N.G., Shchedrina T.V., Starkov N.I. Track technique in present-day physics of atomic nuclei and elementary particles, astrophysics, and nanotechnology // Phys.Usp. 2024. Vol. 67, № 8. P. 779–802.
 15. SND@LHC collaboration, Shchedrina T. Results and Perspectives from the First Two Years of Neutrino Physics at the LHC by the SND@LHC Experiment // Symmetry (Basel). 2024. Vol. 16, № 6. P. 702.
 16. SND@LHC collaboration, Shchedrina T. Observation of collider neutrinos without final state muons with the SND@LHC experiment // Phys. Rev. Lett. 2023. Vol. 131.
 17. Alexandrov A.B., Babaev P.A., Gippius A.A., Gorbunov S.A., Grachev V.M., Konovalova N.S., Krasilnikova Y.O., Larionov A.A., Managadze A.K., Melnichenko I.A., Okateva N.M., Paramonov S.S., Petrukhin A.A., Polukhina N.G., Roganova T.M., Sadykov Z.T., Shchedrina T.V., Starkov N.I., Starkona E.N., Strekalina D.M., Tioukov V.E., Chernyavskiy M.M., Shevchenko V.I., Zainutdinov D.I., Volkov A.E. Muography Experiments in Russia with Emulsion-Based Detectors // Phys. At. Nucl. 2024. Vol. 87. P. 305–313.
 18. Abiev A., Bagulya A., Chernyavskiy M., Dashkina A., Dimitrenko A., Gadjiev A.,

- Gadjiev M., Galkin V., Gippius A., Goncharova L., Grachev V., Konovalova N., Managadze A., Okateva N., Polukhina N., Roganova T., Shchedrina T., Starkov N., Teymurov A., Tioukov V., Vasina S., Zarubin P. Muon Radiography Method for Non-Invasive Probing an Archaeological Site in the Naryn-Kala Citadel // *Appl. Sci.* 2019. Vol. 9, № 10. P. 2040.
19. Konovalova N.S., Konovalov A.S., Okateva N.M., Starkov N.I., Shchedrina T.V. Exploration of Underground Structures in the Holy Trinity Danilov Monastery by Muon Radiography Method // *Bull.Lebedev Phys.Inst.* 2021. Vol. 48, № 6. P. 175–180.
 20. Alexandrov A.B., Vasina S.G., Galkin V.I., Grachev V.M., Konovalov A.S., Konovalova N.S., Korolev P.S., Larionov A.A., Managadze A.K., Melnichenko I.A., Okateva N.M., Polukhina N.G., Roganova T.M., Sadykov Z.T., Shchedrina T.V., Starkov N.I., Starkona E.N., Tioukov V.E., Chernyavskiy M.M., Shevchenko V.I. Muon Radiography of Large Natural and Industrial Objects-A New Stage in the Nuclear Emulsion Technique // *J. Exp. Theor. Phys.* 2022. Vol. 134, № 4. P. 506–510.
 21. Shchedrina T.V., Konovalova N.S., Starkov N.I. Aging of the Nuclear Photographic Emulsion under Various Conditions // *Bull.Lebedev Phys.Inst.* 2022. Vol. 49, № 8. P. 235–241.
 22. Alexandrov A.B., Vasina S.G., Galkin V.I., Gippius A.A., Grachev V.M., Kalinina G.V., Konovalov A.S., Konovalova N.S., Larionov A.A., Managadze A.K., Melnichenko I.A., Okateva N.M., Polukhina N.G., Sadykov Z.T., Shchedrina T.V., Starkov N.I., Starkona E.N., Tioukov V.E., Chernyavskiy M.M., Shevchenko V.I. A Noninvasive Muonography-Based Method for Exploration of Cultural Heritage Objects // *Phys. Part. Nucl.* 2022. Vol. 53, № 6. P. 1146–1175.
 23. Shchedrina T.V., Vasina S.G., Starkov N.I., Polukhina N.G. Results of the Test Experiment on Optimization of the Number of Emulsion Layers in Modern Nuclear Studies with Track Detectors // *Bull.Lebedev Phys.Inst.* 2022. Vol. 49, № 12. P. 429–435.
 24. Alexandrov A.B., Anokhina A.M., Vasina S.G., Gippius A.A., Gorbunov S.A., Grachev V.M., Konovalova N.S., Krasilnikova Y.O., Larionov A.A., Managadze A.K., Melnichenko I.A., Okateva N.M., Paramonov S.S., Petrukhin A.A., Polukhina N.G., Roganova T.M., Sadykov Z.T., Shchedrina T.V., Starkov N.I., Starkona E.N., Tioukov V.E., Chernyavskiy M.M., Shevchenko V.I. Muography of the Cave Church of the Holy Dormition Pskovo-Pechersky Monastery // *Bull.Lebedev Phys.Inst.* 2023. Vol. 50, № 12. P. 603–611.
 25. Alexandrov A.B., Anokhina A.M., Vasina S.G., Gippius A.A., Gorbunov S.A., Grachev V.M., Konovalova N.S., Krasilnikova Y.O., Larionov A.A., Managadze A.K., Melnichenko I.A., Okateva N.M., Paramonov S.S., Petrukhin A.A., Polukhina N.G., Roganova T.M., Sadykov Z.T., Shchedrina T.V., Starkov N.I., Starkona E.N., Tioukov V.E., Chernyavskiy M.M., Shevchenko V.I. Principles of Data Processing of the Muographic Experiment in the Cave Complex of Pskovo-Pechersky Monastery // *Phys.Atom.Nucl.* 2024. Vol. 87, № 6. P. 718–731.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. Восстановлена технология производства ЯФ для российского производителя в промышленных масштабах до $\sim 100 \text{ м}^2$ в год для использования в российских научно-исследовательских институтах и в международных научных организациях.

2. Реализован эксперимент по старению ЯФ в различных условиях и изучены изменения свойств ЯФ с течением времени.

3. Эмпирическим путем подобраны параметры для “рефрешинг” процедуры (уничтожения фона, набранного при длительном хранении эмульсии от момента ее производства) ЯФ российского производства для экспериментов с регистрацией однозарядных частиц, прежде всего, в фундаментальных исследованиях на ускорителях с минимальной потерей эффективности фотоэмульсионного слоя.

4. Адаптировано программное обеспечение сканирующего комплекса ПАВИКОМ для обработки и физического анализа экспериментов OPERA, SND@LHC. Результаты эксперимента OPERA, отсканированных и обработанных в ФИАН, занесены в единую базу данных эксперимента в ЦЕРН.

5. Реализован эксперимент по оценке минимального количества фотоэмульсионных слоев в детекторе для мюонографических экспериментов.

6. Проведены первые в России тестовые эксперименты по мюонографии с использованием эмульсионных детекторов, выработаны методические подходы для конструирования детекторов и определения оптимальных условий экспозиции.

7. Впервые в России проведена серия мюонографических экспериментов по исследованию памятников культурного наследия: архитектурного комплекса цитадели Нарын-Кала (г. Дербент, Дагестан), Свято-Троицкого Данилова монастыря (г. Переславль-Залесский), подземной части храмового комплекса Свято-Успенского Псково-Печерского монастыря (Псковская область, г. Печоры). Выявлены ранее неизвестные структурные особенности исследуемых объектов.

8. Проведённая серия мюонографических экспериментов убедительно демонстрирует, что авторские технические решения и методы обработки и анализа данных позволяют исследовать внутренние особенности структуры объектов без повреждения их целостности, что открывает новые возможности в самых различных областях: для мониторинга крупных природных объектов (вулканов, геологических плит, карстовых пещер, ледников), промышленных и архитектурных конструкций (шахт и рудников,

установок ядерно-энергетического комплекса, скрытых от прямого наблюдения фрагментов зданий), исследования объектов культурного наследия, анализа сейсмических процессов.

Представленная работа внесла значительный вклад в развитие актуального направления экспериментальной ядерной физики, связанного с исследованиями на базе эмульсионных детекторов и их высокотехнологичной обработкой на автоматизированных сканирующих комплексах.

Научная новизна, достоверность и практическая значимость работы:

- Разработана комплексная методика микроскопического анализа и контроля качества современной ядерной фотоэмульсии, что позволило не только восстановить ее производство в России на уровне лучших мировых стандартов, но и обеспечить выход на международный рынок. Выполненная в процессе отработки технологии производства эмульсии серия новых уникальных методических исследований российской ядерной фотоэмульсии подтвердила стабильность ее технических характеристик. Это делает возможным использование российской ядерной фотоэмульсии в фундаментальных исследованиях на ускорителях с минимальной потерей эффективности фотоэмульсионного слоя и с длительным временем экспозиции.

- Сканирование и физический анализ эмульсионных пленок, в том числе, автором на комплексе ПАВИКОМ, в рамках международного эксперимента OPERA позволили получить убедительные доказательства осцилляций нейтрино. Открытие осцилляций мюонных нейтрино в таонные со статистической значимостью $6,1\sigma$ на основе наблюдения десяти ν_τ событий стало главным результатом эксперимента OPERA.

- В новом черновском эксперименте SND@LHC для нейтринной мишени разработана концепция чередования эмульсионных слоев с вольфрамовыми пластинами. Для достижения амбициозной цели эксперимента SND@LHC по идентификации различных типов нейтрино и обратного рассеяния слабо взаимодействующих частиц потребовалось создание гибридного детектора, сочетающего в себе технологию ядерной эмульсии и электронные детекторы. Таким образом, детектор SND@LHC позволяет различать взаимодействия нейтрино всех трех ароматов и исследовать процесс рождения чармированных частиц в области псевдобыстрот, недоступных для других экспериментов. В 2023 году обнаружены восемь событий-кандидатов на взаимодействия мюонных нейтрино с превышением сигнала над фоном семь стандартных отклонений.

Этот результат подтверждает эффективность использования компактных эмульсионных детекторов для регистрации ускорительных нейтрино высоких энергий и открывает возможности для их изучения на высокой статистике.

- Впервые в России проведена серия мюнографических экспериментов с использованием эмульсионных детекторов по неинвазивному исследованию объектов культурного наследия, в ходе которых выявлены неизвестные ранее их скрытые структурные особенности. Разработаны рекомендации по оптимальному количеству эмульсионных слоев для эффективного распознавания треков атмосферных мюонов и механическая конструкция детекторов, определены оптимальные условия экспозиции, созданы эффективные алгоритмы обработки и анализа данных.

Достоверность полученных в работе результатов была многократно подтверждена:

-при экспертных проверках качества российской эмульсии в ЦЕРНе и Университете Фредерико II в Неаполе;

-при публикации результатов фундаментальных исследований в высокорейтинговых журналах с прохождением детализированной процедуры рецензирования;

-в ходе обсуждения полученных результатов на международных и российских конференциях;

-при успешной реализации серии мюнографических экспериментов, подтвердивших правильность созданной комплексной авторской методики исследований;

-путем проверки данных, полученных на ПАВИКОМ путем их перекрестного сканирования в лабораториях Швейцарии и Италии;

-данными архивных документов об исследованных объектах культурного наследия;

-путем успешного распознавания с использованием авторского программного обеспечения визуально проверяемых элементов в ходе выполнения мюнографических работ.

Все выносимые на защиту положения получены с определяющим вкладом автора. Автором разработана уникальная комплексная методика микроскопического анализа и контроля качества эмульсионных слоев в процессе восстановления её производства. Автором были созданы скрипты для сканирования и реконструкции треков с использованием внешних параметров и пакета FEDRA для экспериментов OPERA, SND@LHC, а также мюнографических экспериментов, что минимизирует «человеческий

фактор» при реконструкции и автоматизирует данный процесс. Опыт автора по обработке и физическому анализу данных эксперимента OPERA на базе сканирующего комплекса ПАВИКОМ в настоящее время активно используется при обработке и анализе данных эксперимента SND@LHC. При определяющем вкладе автора выработаны методические подходы для конструирования мюнографических детекторов, определения их оптимальных условий экспозиции и проведена серия мюнографических экспериментов по исследованию памятников культурного наследия.

Проведённые эксперименты убедительно демонстрируют, что авторские технические решения и методы обработки и анализа данных для мюнографических работ на основе эмульсионных трековых детекторов позволяют исследовать внутренние особенности структуры объектов природного и искусственного происхождения, не разрушая их, что открывает новые возможности, в том числе, для изучения и сохранения памятников культурного наследия. Мюнография имеет широкие внедренческие перспективы в области геологии, ядерной энергетики, вулканологии, дефектоскопии, археологии и других областях. Эффективный, экономичный и экологически безопасный метод может применяться, в частности, с целью создания систем мониторинга проблемных объектов для прогнозирования и предупреждения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, для минимизации последствий возможных природных и техногенных катастроф для населения, инфраструктуры и окружающей среды.

В ходе защиты соискатель Щедрина Т.В. полно и аргументированно ответила на заданные вопросы, а также на замечания ведущей организации и официальных оппонентов.

На заседании 12 ноября 2025 года диссертационный совет принял решение: за разработку положений, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в экспериментальной физике, присудить Щедриной Т.В. ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 10 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации (1.3.2. «Приборы и методы экспериментальной физики»), участвовавшие в заседании, из 14 человек, входящих в состав совета, проголосовали:

за присуждение ученой степени 10,
против присуждения ученой степени 0,
недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного совета
академик РАН, д.ф.-м.н.,
профессор



Данилов Михаил Владимирович

Ученый секретарь диссертационного совета
д.ф.-м.н.

A purple ink signature, likely belonging to the academic secretary, is written over the text.

Баранов Сергей Павлович

12 ноября 2025 г.