

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.163.01  
НА БАЗЕ Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН)  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА  
НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от **26.02.2026 г. № 40/2**

О присуждении **Куринову Кириллу Олеговичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация “Изучение энергетического спектра космических лучей в области энергий 10-100 ПэВ с использованием нейтронной компоненты ШАЛ” по специальности 1.3.15 – «Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий», принята к защите 11.12.2025 г., протокол № 38/16 диссертационным советом 24.1.163.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН), 117312, г. Москва, пр-т 60-летия Октября, 7а., приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 823/нк от 20 апреля 2023 года.

Соискатель Куринов Кирилл Олегович 1997 года рождения. В 2021 году соискатель освоил программу магистратуры Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования “Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ” по направлению подготовки 14.04.02 – “Ядерная физика и технологии”, (диплом 107704 0258903, выдан 25.06.2021 г.). В 2025 году окончил аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН) по направлению подготовки 03.06.03 – «Физика и астрономия» по специальности 1.3.15 – «Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий». В настоящее время работает в должности стажёра-исследователя в лаборатории лептонов высоких энергий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук.

Диссертация выполнена в лаборатории лептонов высоких энергий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук.

Научный руководитель – Щеголев Олег Борисович, кандидат физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований Российской академии наук, лаборатория лептонов высоких энергий, старший научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

**Лагутин Анатолий Алексеевич**, д.ф.-м.н., профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования “Алтайский государственный университет”, институт цифровых технологий, электроники и физики, заведующий кафедрой радиофизики и теоретической физики,

**Деркач Денис Александрович**, (PhD, университет Париж XI, Франция), Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования “Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики”, институт искусственного интеллекта и цифровых наук, директор института по прикладным исследованиям и разработкам, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования “Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, Научно-образовательный центр НЕВОД, (г. Москва),

в своем положительном заключении, подписанном Громушкиным Дмитрием Михайловичем, кандидатом физ.-мат. наук, доцентом, Научно-образовательного центра НЕВОД Института ядерной физики и технологий НИЯУ МИФИ и утверждённым ректором Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования “Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, доктором физ.-мат. наук, профессором Шевченко Владимиром Игоревичем указала, что работа отвечает требованиям “Положения о присуждении ученых степеней”, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842,

предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор Куринов Кирилл Олегович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.15 – Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий.

Соискатель имеет 5 работ по теме диссертации, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК.

Представленные соискателем сведения об опубликованных им работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, достоверны. Текст опубликованных работ полностью соответствует тематике диссертации, они написаны либо при решающем участии соискателя, либо им самостоятельно.

Список основных работ по результатам диссертационного исследования:

1. Куринов К.О., Кулешов Д.А., Лагуткина А.А. и др. Выделение сигналов от тепловых нейтронов в электронно-нейтронных детекторах с использованием сверточных нейронных сетей в эксперименте ENDA // Журнал Экспериментальной и Теоретической Физики – 2023. – Т. 163. – С. 524 – 530.
2. Kurinov K.O., Kuleshov D.A., Stenkin Yu.V., Shchegolev O.B. // Techniques for data analysis and primary mass reconstruction in the ENDA experiment // Physics of Atomic Nuclei. 2023. Т. 86. № 6. С. 1063-1068.
3. Куринов К.О., Кулешов Д.А., Малий И.О., Стенькин Ю.В., Щеголев О.Б. // Первые экспериментальные результаты, полученные на установке ENDA-INR // Журнал Экспериментальной и Теоретической Физики, 2025, 168(3), с. 343-349.
4. Куринов К.О., Кулешов Д.А., Малий И.О., Стенькин Ю.В., Щеголев О.Б. // Быстрое Монте-Карло моделирование установки ENDA // Краткие сообщения по физике ФИАН, 2025. №9.
5. Куринов К.О., Кулешов Д.А., Малий И.О., Стенькин Ю.В., Степанов В. И., Щеголев О.Б. // Восстановление направления прихода ШАЛ в эксперименте ENDA-INR // Ядерная физика и инжиниринг, 2026, Т. 17. №1, с. 236-240.

Автореферат полно и правильно отражает содержание диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы оппонентов и ведущей организации, в которых отмечено, что диссертация обладает внутренним единством, содержит важные физические и методические результаты, имеющие большое научное значение и ценность. Диссертация полностью отвечает всем

требованиям к кандидатским диссертациям, предъявляемым Положением о порядке присуждения ученых степеней, утверждённым Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается высокой квалификацией оппонентов и сотрудников ведущей организации и наличием работ высокого научного уровня по близкой тематике.

В отзывах оппонентов и ведущей организации были высказаны следующие критические замечания и пожелания:

1. Во второй главе диссертации предлагается новая методика выделения нейтронных импульсов с применением сверточных нейронных сетей. Одним из финальных шагов реализации предлагаемого соискателем алгоритма является понижение размерности данных методом стохастического вложения соседей с  $t$ -распределением ( $t$ -SNE) до двух, что в конечном итоге позволяет приписать вероятность принадлежности каждого исследуемого импульса (эмбединга) к заряженной или нейтронной компоненте. Результат  $t$ -SNE представления показан на рисунке 2.5. Однако из этого рисунка создается впечатление, что принадлежность эмбедингов к заряженной или нейтронной компоненте известна еще до преобразования  $t$ -SNE. Хотелось бы получить более подробное пояснение этого этапа работы алгоритма.

2. Методы машинного обучения использовались также в 4 главе, например, при восстановлении направления прихода ливня. Признаками обучения выступали времена срабатывания всех 16 эн-детекторов. Не совсем понятно, откуда берутся значения целевой функции. В параграфе 4.3.1 (стр. 60, третий абзац) приводится непонятная фраза «Для поиска лучшего алгоритма реконструкции было проведено сравнение распределений по углу отклонения  $\psi$  восстановленного вектора прихода от истинного для.» Здесь неясно, что означает «для», а также откуда взято истинное направление прихода ливня.

3. Создается впечатление, что структура работы не совсем логична. Возможно первые 4 параграфа главы 5, в которых обсуждаются детали обработки экспериментальных данных, следовало бы поместить в главу 1. Например, на рисунках 1.6 и 1.7 по смыслу показано то же самое, что на рисунках 5.7 и 5.8.

4. В параграфе 4.2.2 главы 4 (стр. 47) приведена функция пространственного распределения заряженных частиц (4.6) статьи [48]. Однако, в работе [48] нет этого результата.

5. Диссертация нацелена на изучение энергетического спектра космических лучей в области энергий 10-100 ПэВ с использованием нейтронной компоненты ШАЛ. Однако, в работе отсутствует обсуждение полученных результатов по спектру всех частиц в указанной области энергий.

6. В автореферате на стр. 11 и 13 указывается, что «в тексте приводится ...», «далее текст посвящен ...», «далее в тексте приводится ...». Здесь остается непонятным о каком тексте идет речь (возможно, о диссертации).

7. Название диссертации «Изучение энергетического спектра космических лучей в области энергий 10-100 ПэВ с использованием нейтронной компоненты ШАЛ» не совсем соответствует полученным результатам, поскольку энергетический спектр космических лучей в работе практически не обсуждается.

8. При моделировании отклика установки не учитывались времена высвечивания сцинтиллятора, временные характеристики ФЭУ и особенности интегратора-усилителя. В результате приведенная угловая точность восстановления направления оси ливня  $3.3^\circ$  (стр. 61), может оказаться завышенной.

9. В проведенном в работе моделировании максимальное расстояние между осями разыгрываемых ливней и кластером составляет лишь 30 метров. Следовало значительно увеличить это расстояние до нескольких сотен метров для изучения возможного влияния дальних ливней на имитацию внутрикластерных событий.

10. При анализе полученной в работе зависимости числа зарегистрированных нейтронов от реконструированной мощности ливня и функции пространственного распределения тепловых нейтронов ШАЛ отсутствует сопоставление с параметрами аналогичных распределений, полученных ранее на установке УРАН [Ф. А. Богданов и др. ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ФИЗИЧЕСКАЯ, 2021, том 85, № 4, с. 560–562].

11. Отсутствует четкая информация о статистической обеспеченности по числу событий и числу нейтронов в графиках главы 5, в том числе имеются

противоречия. На стр. 89 «Всего было отобрано около 77 000 событий. Событий с осциллограммой, которая записывается в случае большого суммарного энерговыделения ( $N_{ch} > 6000$ ) или большого числа зарегистрированных нейтронов ( $N_n > 4$ ), было 715.», а на стр 98 «Была построена ФПР нейтронной компоненты для событий, в которых  $N_n \geq 4$ , в эксперименте таких событий было 39.»

12. Более мелкие замечания. Нарушена нумерация рисунков ссылка на рис. 4.16 соответствует рис. 4.15, ссылка на рис. 4.17 соответствует рис. 4.16. Нельзя писать «удалось улучшить ..... на  $\sim 10.5\%$ . Не введено сокращение CNN.

13. В работе не уделено достаточного внимания оценке влияния различных критериев отбора событий на конечные результаты, особенно с учётом применения новых методов анализа.

14. Интерпретация полученных спектральных характеристик могла бы быть более подробной в контексте современных теоретических моделей.

В целом, диссертация написана четким и понятным языком, но не лишена небольшого количества опечаток, грамматических и стилистических ошибок. Сделанные замечания не влияют на общую высокую оценку работы. Соискатель Куринов К. О. ответил на заданные в ходе защиты вопросы и высказанные замечания.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. Разработан метод выделения сигналов от тепловых нейтронов с использованием сверточных нейронных сетей в эн-детекторах.

2. Разработан метод реконструкции энергии первичной частицы с использованием данных о нейтронной компоненте ШАЛ и с оценкой неопределенности такого восстановления с помощью методов машинного обучения.

3. По результатам моделирования эксперимента ENDA-INR, с использованием программ CORSIKA и разработанной в ходе выполнения работы программы быстрого Монте-Карло моделирования получены функция пространственного распределения тепловых нейтронов в ливне и интегральный спектр по числу нейтронов в ШАЛ.

4. С использованием разработанной методики обработки событий найдена точность восстановления параметров ШАЛ (направление прихода и положение оси ливня, полное число адронов и заряженных частиц).

5. По данным эксперимента найдена функция пространственного распределения тепловых нейтронов в ливне для установки ENDA-INR.

6. По данным эксперимента найден интегральный спектр по числу нейтронов в ШАЛ для установки ENDA-INR.

Теоретическая и практическая значимость исследования обоснована тем, что:

- Независимое измерение энергетического спектра космических лучей в области энергий 10 – 100 ПэВ необходимо для проверки теоретических моделей, объясняющих их происхождение и механизмы ускорения.
- Использование методов машинного обучения при обработке данных позволяет улучшить точность результатов, за счет более эффективного использования информации.

Представленные в диссертации научные результаты являются новыми, обоснованными и достоверными. Достоверность полученных результатов обеспечивается с помощью различных проверок, проведенных в данной работе, сравнением с результатами других экспериментов, а также публикацией результатов данной работы в рецензируемых научных журналах и апробацией на научных конференциях.

Личный вклад автора в получение научных результатов, лежащих в основе диссертации, является определяющим. Автором были выполнены этапы по предобработке данных, выборе архитектуры и обучению сверточной нейронной сети для задачи выделения сигналов от тепловых нейтронов в эн-детекторах. Также автором была создана программа быстрого Монте-Карло моделирования отклика установки ENDA-INR, которая была основана на зависимостях и распределениях, полученных из программы моделирования в Geant4. Автор разработал методику реконструкции параметров ШАЛ с использованием методов машинного обучения, которая включает в себя оценку неопределенности восстановленных параметров, а также провел сравнение с традиционными методами реконструкции для установки ENDA-INR. Автором был разработан метод реконструкции энергии первичной частицы с использованием информации

о нейтронной компоненте с использованием методов машинного обучения и проведено сравнение качества реконструкции для трёх алгоритмов (линейная регрессия с полиномиальными признаками, случайный лес и градиентный бустинг над решающими деревьями), а также с результатами двух базисных подходов. Разработанные методы позволяют с повышенной точностью изучать энергетический спектр первичных космических лучей. Автором была проведена предобработка экспериментальных данных установки ENDA-INR, работа по определению временных задержек между детекторами и временного разрешения, получена функция пространственного распределения тепловых нейтронов в ШАЛ, а также интегральный спектр по числу нейтронов в ливне, проведено сравнение с результатами моделирования и с экспериментальными результатами установок PRISMA-32, PRISMA-YBJ и KASCADE.

На заседании 26 февраля 2026 года диссертационный совет принял решение присудить **Куринову Кириллу Олеговичу** ученую степень кандидата физико-математических наук за разработку новых методов моделирования и обработки данных установок для регистрации нейтронов ШАЛ с использованием методов машинного обучения.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **19** человек, из них **5** докторов наук по специальности 1.3.15. – «Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий», участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – **19**, против - 0, недействительных бюллетеней - 0.

Председатель

диссертационного совета 24.1.163.01

доктор техн. наук, чл.-корр. РАН

\_\_\_\_\_ Кравчук Л. В.

Ученый секретарь

диссертационного совета 24.1.163.01

кандидат физ.-мат. наук

\_\_\_\_\_ Демидов С. В.

26.02.2026

М.П.