

## Отзыв научного руководителя на диссертационную работу

Куринова Кирилла Олеговича

“Изучение энергетического спектра космических лучей в области энергий 10-100 ПэВ с использованием нейтронной компоненты ШАЛ”,  
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.15 «Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий»

Проблема происхождения и механизмов ускорения космических лучей, особенно в области энергий «колена», остается одной из фундаментальных и актуальных задач астрофизики элементарных частиц. Традиционные методы регистрации широких атмосферных ливней (ШАЛ) основаны на электромагнитной и мюонной компонентах, в то время как адронная компонента, несущая ключевую информацию о первичной частице и развитии каскада, ранее была труднодоступна для прямых измерений. Предложенный Ю.В. Стенькиным метод регистрации тепловых нейтронов открыл новые возможности для мультикомпонентного анализа ШАЛ, однако его практическая реализация и применение для реконструкции энергии требовали разработки новых методов анализа и моделирования.

Куринов Кирилл Олегович окончил магистратуру НИЯУ МИФИ в 2021 году и с того времени работает над диссертацией под моим руководством в рамках гранта РФФИ «Моделирование эксперимента ENDA-LHAASO». Его работа посвящена разработке и применению передовых методов анализа данных для установки ENDA-INR, регистрирующей нейтронную компоненту ШАЛ.

В диссертационной работе К.О. Куринова решена комплексная задача создания полной цепочки анализа данных для эксперимента ENDA-INR: от выделения сигналов тепловых нейтронов до реконструкции параметров ливня и энергии первичной частицы. Им разработан и успешно применен метод выделения нейтронных импульсов с использованием сверточных нейронных сетей (CNN), показавший точность классификации 99% и превзошедший существовавший базисный метод. Для моделирования эксперимента им создана высокоэффективная программа быстрого Монте-Карло, согласованная с моделированием в Geant4, но превосходящая её по скорости вычислений в ~2000 раз.

Особого внимания заслуживает разработанный К.О. Куриновым метод реконструкции энергии первичной частицы с использованием данных о нейтронной компоненте и методов машинного обучения (градиентный бустинг над деревьями). Этот метод позволил улучшить точность восстановления первичной энергии по сравнению с традиционными подходами. Впервые для установок такого типа проведена оценка неопределенности реконструкции с помощью ансамблевых методов.

Важным практическим результатом работы является обработка и анализ экспериментальных данных установки ENDA-INR. Получены временные и пространственные распределения тепловых нейтронов в ШАЛ, зависимости числа

нейтронов от мощности ливня, а также интегральные спектры по числу нейтронов. Результаты находятся в хорошем согласии с данными установок KASCADE и PRISMA-32. Вклад К.О. Куринова во все перечисленные результаты является определяющим. Основные результаты диссертации опубликованы в 5 рецензируемых статьях в журналах, рекомендованных ВАК, а также доложены на ряде всероссийских и международных конференций. Работа поддержана грантом РНФ, а её программные реализации зарегистрированы как свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Считаю, что диссертационная работа Куринова Кирилла Олеговича является актуальной, обладает высокой научной новизной и практической значимостью, полностью соответствует требованиям ВАК, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.15 «Физика атомного ядра и элементарных частиц».

11.11.2025 г.

Научный руководитель

старший научный сотрудник ОЛВЭНА ИЯИ РАН,

к.ф.-м.н. Щеголев Олег Борисович

Адрес: 117312, Москва, проспект 60-летия Октября, 7а

Телефон: 8 (499) 783-92-91

E-mail: [shchegolev@inr.ac.ru](mailto:shchegolev@inr.ac.ru)

Подпись Щеголева О.Б. удостоверяю

Ученый секретарь ИЯИ РАН к.ф.-м.н. Вересникова Анна Васильевна \_\_\_\_\_