

6

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.023.04
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 3 октября 2022 г. № 53

О присуждении Тану Найнг Со, гражданину республики союза Мьянмы, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Облученные космическими лучами метеоритные оливины как инструмент поиска сверхтяжелых элементов в природе» по специальности 01.04.01 — «Приборы и методы экспериментальной физики» принята к защите 20 июня 2022 года, протокол №48 диссертационного совета Д 002.023.04, созданного 9 ноября 2012 года приказом № 717/нк на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П. Н. Лебедева Российской академии наук, 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д. 53 (ФИАН).

Соискатель Тан Найнг Со, 1983 года рождения, Окончил МИФИ в 2009 г. по специальности «техники и технологии по направлению техническая физика». В 2012 году после окончания магистратуры Тан Найнг Со поступил в аспирантуру МФТИ и был прикомандирован к ЛЭЧ ФИАН для выполнения научной работы. В 2016 году, по окончании аспирантуры, защитил кандидатскую диссертацию на тему «Исследование на основе трековой методики элементарных частиц и ядер в экспериментах по поиску сверхтяжёлых ядер в природе и в тестовых работах по изучению

безнейтринного двойного бета-распада» в ФИАНе. В 2019 году Тан Найнг Со поступил в докторантуру ФИАН. Диссертационная работа Тана Найнг Со выполнена в Лаборатории элементарных частиц Физического института им. П. Н. Лебедева РАН.

Официальные оппоненты:

1. Карпов Александр Владимирович, доктор физико-математических наук, ученый секретарь лаборатории, (Объединенный институт ядерных исследований), г. Дубна;
2. Болоздыня Александр Иванович доктор физико-математических наук, заведующий научно-исследовательской лабораторией, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва;
3. Мухамедшин Рауф Адгамович, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник (с возложением исполн.обяз. зав.лаб.), ОЛВЭНА, Лаборатория нейтринной астрофизики, (Институт ядерных исследований Российской академии наук), г. Москва;

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация — Федеральное государственное бюджетное учреждение «Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», г. Гатчина — в своем положительном заключении, составленным доктором физико-математических наук Виктором Тимофеевичем Кимом- Зам. руководителя ОФВЭ по научной работе и заведующим лабораторией физики элементарных частиц, ПИЯФ и утвержденном профессором, доктором физико-математических наук Ворониным Владимиром Владимировичем- Зам. директора ФГБУ «ПИЯФ им. Б.П.Константинова НИЦ КИ» - указала, что диссертация

соответствует всем критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора наук, установленным в «Положении о порядке присуждения ученых степеней», утверждённом постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842 с дополнениями от 21 апреля 2016 год № 335, а соискатель заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук.

Результаты по теме диссертации излагаются в 27 печатных работ, 25, входящих в базы данных Scopus-10, Web Of Science-9 и только в базу данных ВАК-6.

Результаты по теме диссертации опубликованы в следующих рецензируемых журналах:

1. А.С.Барабаш, ..., Тан Найнг Со, //Определение точности измерения энергии заряженных частиц по их пробегу в ядерной фотоэмульсии// Журнал «Краткие сообщения по физике»2012, № 10,стр.35-42.
2. В.Д. Ашитков, ..., Тан Найнг Со, //Результаты разработки методики использования ядерной фотоэмульсии для эксперимента по поиску двойного безнейтринного бета-распада//Журнал «Краткие сообщения по физике»2013, № 12,стр.49-61.
3. А.В.Багуля, ..., Тан Найнг Со, //Зарядовый спектр сверхтяжелых ядер галактических космических лучей, полученный в эксперименте Олимпия// Журнал «Краткие сообщения по физике»2015, № 5, стр.49-56
4. A.B. Aleksandrov, ..., Than Naing Soe, V.E. Tioukov, M.S. Vladimirov, //Test Experiments on muon radiography with emulsion track detectors in Russia// Physics of Particles and Nuclei Letters, 2015, Vol. 12, No. 5, pp. 713–719.
5. A.V. Bagulya, ..., Than Naing Soe //Charge distribution of Superheavy Elements in Galactic Cosmic Rays on base of Investigations in

Olivine Crystals from Meteorites//AIP Conference Proceedings, volume 1702.Issue 1, AIP Conference Proceedings 1702, 110005 (2015)

6. Victor Alexeev, ..., **Than Naing Soe**, // Charge Spectrum of Heavy and superheavy components of galactic cosmic rays results of the OLIMPIYA experiment// The Astrophysical Journal, 829(2):120 (18pp), 2016 October 1.
7. В. В. Дубинина, ..., **Тан Найнг Со**, // Применение ядерной фотоэмульсии для поиска легкой темной материи// Журнал «Краткие сообщения по физике»2016, № 4, стр.52-58.
8. В.А.Алексеев,...,**Тан Найнг Со**, //Поиск Острова стабильности сверхтяжёлых ядер с помощью природных трековых детекторов// Журнал «Краткие сообщения по физике»2017, № 11,стр.41-47
9. Алексеев В.А., ..., **Тан Найнг Со** //Изучение следов сверхтяжелых ядер галактических космических лучей в оливинах палласитов трековым методом//Труды ВЕСЭМПГ-2017, стр.180-183.
10. Alexeev V.A.,,**Than Naing Soe**, //The track studies of olivine crystals in the pallasites//Problems of Planetology, Cosmochemistry and Meteoritica//Institute of Experimental Mineralogy//Experiment in Geosciences 2018, Volume 24 N 1,стр.6-9.
11. В. А. Алексеев, ..., **Тан Найнг Со**, //Изучение радиационной истории палласитов методом трекового анализа// Журнал «Краткие сообщения по физике»2019, № 8, стр.15-22
12. А. В. Aleksandrov , ... , **Than Naing Soe** , // Determination of Charges of Superheavy Nuclei in Finding them in Nature// Bulletin of the Lebedev Physics Institute, 2019, Vol. 46, No. 12, pp. 383-386
13. Y. Suzuki,..., **Than Naing Soe**, /Sensitivity of the SHiP experiment to Heavy Neutral Leptons//journal of high energy physics, 2019. Vol. 1904. No. 77. JHEP 04 2019 077, <https://arxiv.org/abs/1811.00930>
14. S. Takahashi1, ..., **Than Naing Soe**, //The experimental facility for the Search for Hidden Particles at the CERN SPS, Journal of Instrumentation (JINST), 2019, Volume 14, P03025, DOI 10.1088/1748-0221/14/03/P03025

15. Y. Suzuki, ..., **Than Naing Soe**, //Fast simulation of muons produced at the SHiP experiment using Generative Adversarial Networks, Journal of Instrumentation (JINST), 2019, Volume 14, P11028, DOI 10.1088/1748-0221/14/11/P11028 .
16. M.E. Stramaglia, ..., **Than Naing Soe**, //The Magnet of the Scattering and Neutrino Detector for the SHiP experiment at CERN, Journal of Instrumentation, Volume 15, January 2020, P01027 , <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-0221/15/01/P01027>
17. S. Takahashi, ..., **Than Naing Soe**, // Measurement of the muon flux from 400 GeV/c protons interacting in a thick molybdenum tungsten target// The European Physical Journal C volume 80, Article number: 284 (2020) // <https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-020-7788-y>
18. **Than Naing Soe**, N. Poluhina , and N. Starkov// Investigation of the Features of Etched Tracks of Superheavy Nuclei in Olivines from Meteorites // Physics of Atomic Nuclei, 2020, Vol. 83, No. 9, pp. 1297–1303.
19. A. B. Alexandrova, ..., **Than Naing Soe**, // Anomaly of the Charge Spectrum of Galactic Cosmic Ray Nuclei in Olivines as Evidence of Meteorite Radiation History// Bulletin of the Lebedev Physics Institute, 2020, Vol. 47, No. 12, pp. 381–384.
20. **Than Naing Soe**, N. G. Polukhina & N. I. Starkov//Algorithm for Determining the Thickness of the Cut Olivine Layer when Determining Charges of Galactic Nuclei//Bulletin of the Lebedev Physics Institute, 2021, volume 48, pp.131–134.
21. Г.В.Калинина, **Тан Найнг Со**, Н.И. Старков// Аномалия в спектре ядер галактических космических лучей в оливинах из метеоритов// Ядерная физика, 2021, том 84, №6, стр. 490–495.
22. **Than Naing Soe**, N. G. Polukhina, and N. I. Starkov//Investigation of Dynamics of Heat Propagation in Meteorite Matter and Its Influence on Geometric Features of Tracks of Nuclei in Olivine Crystals from Meteorites// Physics of Atomic Nuclei, 2021, Vol. 84, No. 5, pp. 643–648.

23. Тан Найнг Со, Полухина Н.Г, Старков Н.И//Роль ядерного канала взаимодействий при прохождении тяжелых ионов через оливин//Журнал «Краткие сообщения по физике»2021, № 12, стр.42-48.
24. A. Sokolenko, ...,Than Naing Soe,//Sensitivity of the SHiP experiment to dark photons decaying to a pair of charged particles// Eur. Phys. J. C (2021) 81: 451//<https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-021-09224-3>
25. A. Sokolenko, ...,Than Naing Soe, //Sensitivity of the SHiP experiment to light dark matter//Journal of High Energy Physics volume 2021, Article number: 199 (2021)// DOI: 10.1007/JHEP04(2021)199
26. J.L. Tastet, ...,Than Naing Soe,//Track reconstruction and matching between emulsion and silicon pixel detectors for the SHiP-charm experiment// Journal of Instrumentation, Volume 17, March 2022//<https://doi.org/10.1088/1748-0221/17/03/P03013>
27. П. А. Бабаев, ..., Тан Найнг Со , //Оценка эффекта фрагментации при регистрации сверхтяжелых ядер галактических космических лучей в палласитах//ЖЭТФ, 2022, том 161, вып. 4, стр. 610–615

На диссертацию поступил отзыв от научного консультанта диссертации, доктора физико-математических наук Старкова Николая Ивановича — Высоккоквалифицированного главного научного сотрудника, Лаборатория элементарных частиц, ФИАН. В отзыве подчеркивается определяющий личный вклад соискателя в получение физических результатов, составивших содержание диссертации, и их широкое мировое признание. В отзыве отмечается, что диссертационная работа по содержанию и уровню представленных результатов соответствует требованиям, предъявляемым к работам на соискание степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.01 – «Приборы и

методы экспериментальной физики». Критических замечаний в отзыве не содержится.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой компетентностью в физике космических лучей и элементарных частиц и в проведении экспериментальных исследований с детекторами для регистрации частиц космических лучей и эффектов, которые вызываются их взаимодействиями с веществом.

Целью диссертационной работы является поиск и идентификация тяжёлых и сверхтяжёлых ядер космических лучей в оливинах из метеоритов. Для достижения этой цели были поставлены и решены следующие основные задачи:

- Разработка алгоритмов и создание программ на языке C++ для автоматизированного анализа и идентификации следов частиц в трековых детекторах.
- Построение зарядового спектра, исследование его особенностей.
- Исследование влияния отжига треков на зарядовый спектр ядер космических лучей по результатам измерений в оливинах из метеоритов.
- Анализ возможных причин возникновения треков особой формы.
- Анализ фрагментации сверхтяжёлых ядер при их прохождении через вещество метеорита.
- Изучение особенностей треков ядер в метеорите Сеймчан.
- Адаптация созданного программного обеспечения для обработки данных трековых детекторов с целью анализа характеристик высокочувствительной ядерной фотоэмульсии.

На основании выполненных соискателем исследований диссертационный совет отмечает следующие **основные результаты**:

1. Получены данные о зарядовом составе около 26000 ядер ГКЛ с зарядом > 40 , в том числе более 22000 с $Z > 55$, которые согласуются с данными других экспериментов. Результаты работы являются весомым вкладом в мировую статистику экспериментов по поиску сверхтяжелых ядер в природе. Зарегистрировано три ядра, заряд которых оценивается как 119^{+10}_{-6} , оцененное время жизни этих сверхтяжелых ядер – минимум, десятилетия - на много порядков превышает время жизни трансфермиевых ядер, синтезированных на ускорителях. Полученные результаты являются аргументами в пользу теоретической гипотезы о существовании острова стабильности трансфермиевых природных ядер.
2. Разработаны алгоритмы и созданы программы на языке C++ для автоматизированного анализа и идентификации следов частиц в трековых детекторах.
3. Исследовано влияние отжига треков на зарядовый спектр ядер космических лучей по результатам измерений в оливинах из метеоритов.
4. Проведен анализ фрагментации сверхтяжёлых ядер при их прохождении через вещество метеорита.
5. Изучена радиационная история палласитов по данным трекового анализа.
6. Проведен анализ возможных причин возникновения треков особой формы в оливинах из метеоритов.
7. Проведён анализ особенностей треков в метеорите Сеймчан.
8. На основе программных пакетов для автоматизированной обработки изображений в кристаллах оливинов создано программное обеспечение для оценки качества ядерной фотоэмульсии и обработки изображений зёрен AgBr полученных на электронном микроскопе.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- Создана уникальная, не имеющая аналогов, база экспериментальных данных о зарядовом составе космических лучей, включающая около 26000 треков ядер с $Z > 40$.
- Разработаны алгоритмы и созданы программы на языке C++ для успешно реализованного автоматизированного анализа и идентификации следов частиц в трековых детекторах.
- Выполнены оценки распределений вторичных частиц, возникающих при прохождении через метеорит тяжелых ионов и оценки влияния фрагментации ионов на зарядовый спектр на основе расчетных моделей, разработанных на базе программного пакета Geant4.
- Разработана программа на языке C++ для демонстрации влияния отжига треков на зарядовый спектр ядер космических лучей.

Личный вклад автора

Тан Найнг Со внес основной вклад на следующих этапах работы: были найдены и идентифицированы более 26000 треков ядер с $Z > 40$, разработаны алгоритмы и создана программа на языке C++ для автоматизированного анализа и идентификации следов частиц в трековых детекторах, создана программа вычисления толщины срезаемого слоя оливина при определении зарядов космических ядер, реализован алгоритм оценки влияния отжига треков на зарядовый спектр ядер космических лучей. На основе пакета Geant4 были построены модели используемых детекторов и успешно выполнено моделирование для анализа возможных причин возникновения треков особой формы. Использовал свой опыт и созданные программные комплексы для международных проектов SHiP

(Search for hidden particle) в ЦЕРНе, Женева, Швейцария и NEWSdm(Nuclear emulsion for WIMP search –directional measurement) в Национальной лаборатории Гран-Сассо Национального института ядерной физики (LNGS, INFN), Италия.

Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы.

В ходе защиты соискатель Тан Найнг Со ответил на заданные ему вопросы членов диссертационного совета, а также на замечания ведущей организации и оппонентов.

На заседании 3 октября 2022 года диссертационный совет пришёл к выводу, что диссертация является законченной научно-квалификационной работой, которая соответствует критериям, установленным п. 9 действующего Положения о присуждении ученых степеней, и принял решение присудить Тану Найнг Со ученую степень доктора физико-математических наук по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики»- за

-полученные данные о зарядовом составе около 26000 ядер космических лучей с зарядом >40 , в том числе более 22000 с $Z>55$, которые согласуются с данными других экспериментов. Обнаружение трех ядер космических лучей с зарядом 119^{+10}_{-6} ;

- Разработанную новую методику исследования характеристик треков ядер космического излучения в полном объеме кристаллов оливина из метеоритов (включая процедуры травления, автоматизированные алгоритмы измерения и анализа);

- Выполненные модельные расчеты прохождения тяжелых ядер через оливин, проведенный анализ фрагментации сверхтяжёлых ядер при их прохождении через вещество метеорита. По калибровочным измерениям подтверждение правильности модельных расчетов и измерений;

- Исследование влияния отжига треков на зарядовый спектр ядер космических лучей и проведенный анализ возможных причин возникновения треков особой формы в оливинах.

При проведении тайного голосования члены диссертационного совета в количестве 18 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации (01.04.01 — «Приборы и методы экспериментальной физики»), участвовавшие в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали:

за присуждение ученой степени — 18,

против присуждения ученой степени — 0,

недействительных бюллетеней — 0.

Заместитель председателя диссертационного совета,

д. ф.-м. н.

Н.Г.Полухина

Полухина Наталья Геннадьевна

Учёный секретарь диссертационного совета,

д. ф.-м. н.



С.П.Баранов

Баранов Сергей Павлович

3 октября 2022 г.