



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ПРОТОКОЛ №26

Научно-технического совета

Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка

23.04.2021 г.

Численный состав НТС: 35 чел.

Присутствовало на заседании: 25 чел.

Повестка заседания

1. Предзащита диссертации, представляемой на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.01 (1.3.2) - «Приборы и методы экспериментальной физики».

Тема диссертации: **«Экспериментальные методы нейтронной радиографии и томографии на импульсном высокопоточном реакторе ИБР-2 и стационарном исследовательском реакторе ВВР-К».**

Докладчик: **С.Е. Кичанов.**

2. Предложение об открытии нового проекта «Эмиссия Нейтронов и Гамма-квантов в Реакциях, Индуцированных Нейтронами (ЭНГРИН)» в рамках темы 1128.

Докладчик: **Ш. Зейналов.**

1.1. Заседание НТС ЛНФ проходило в онлайн режиме в системе Cisco Webex.

1.2. Слушали: сообщение **Кичанова Сергея Евгеньевича** о содержании, основных положениях и выводах диссертационной работы «Экспериментальные методы нейтронной радиографии и томографии на импульсном высокопоточном реакторе ИБР-2 и стационарном исследовательском реакторе ВВР-К», представляемой на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики».

В дискуссии приняли участие к.ф.-м.н. Лычагин Е.В., д.ф.-м.н. Авдеев М.В., д.ф.-м.н. Франк А.И., к.ф.-м.н. Дорошкевич А.С., к.ф.-м.н. Тропин Т.В., к.ф.-м.н. Куклин А.И., д.ф.-м.н. Козленко Д.П.

Д.П. Козленко ознакомил НТС ЛНФ с результатами заседания НТС НЭОНИКС ЛНФ, где диссертация С.Е. Кичанова была рассмотрена и рекомендована к рассмотрению на НТС ЛНФ.

В целом было отмечено, что работа выполнена на высоком научном уровне и имеет большое научное и практическое значение. Отмечается, что диссертант внес определяющий вклад в решение ряда сложных научно-технических задач: создании нового актуального научного направления в экспериментальной нейтронной физике, реализации технических решений для метода нейтронной радиографии и демонстрации экспериментальных возможностей метода нейтронной радиографии и томографии на импульсном высокопоточном реакторе ИБР-2 и стационарном исследовательском реакторе ВВР-К. Было признано, что по научной новизне, объему и практической значимости работа отвечает требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, и соответствует специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики». Диссертация рекомендована к защите.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ О ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ Кичанова С.Е.

Диссертационная работа «Экспериментальные методы нейтронной радиографии и томографии на импульсном высокопоточном реакторе ИБР-2 и стационарном исследовательском реакторе ВВР-К» посвящена разработке и реализации технических решений для экспериментальных установок метода нейтронной радиографии и томографии на двух источниках нейтронов: импульсном высокопоточном реакторе ИБР-2 (ОИЯИ, г. Дубна, Россия) и исследовательском реакторе ВВР-К (ИЯФ, г. Алматы, Республика Казахстан). На этих источниках нейтронов созданы экспериментальные станции нейтронной радиографии и томографии. Технические решения для основных узлов этих станций подробно освещены в диссертационной работе Кичанова С.Е. Помимо разработки новых приборов и развития подходов в анализе двумерных и трехмерных данных, в диссертационной работе продемонстрированы возможности метода в прикладных исследованиях цементных материалов, метеоритов, горных пород и объектов культурного наследия. Тема диссертационной работы является актуальной, поскольку развитие и реализация методов нейтронной радиографии и томографии является перспективным направлением экспериментальной физики, и, в частности, методов неразрушающей структурной диагностики материалов. Научный вклад и новизна диссертации состоит в следующем: 1) разработке технических решений для детекторной техники метода нейтронной радиографии и томографии; 2) разработке технических решений основных узлов экспериментальных станций; 3) адаптации алгоритмов анализа двумерных и трехмерных нейтронных радиографических данных; 4) развитию научно-технических подходов для решения прикладных исследовательских задач методом нейтронной радиографии и томографии. Продемонстрированные в диссертационной работе научные результаты являются уникальными благодаря как выбору исследуемых объектов, так и набору приемов и методов анализа нейтронных данных. Диссертационная работа представляет собой комплексное научное исследование, в котором технические решения для экспериментальных станций

нейтронной радиографии и томографии позволили получить новые научные результаты по исследованиям микронных структурных неоднородностей в широком круге исследуемых объектов. Новые подходы в анализе нейтронных данных и привлечение комплиментарных методов нейтронной дифракции и рамановской спектроскопии дали новую структурную информацию об особенностях внутренней организации, морфологических параметрах, временных характеристиках динамических процессов в цементных материалах, метеоритах, горных породах и объектах культурного наследия. По своему уровню, объёму, научной новизне и практической значимости работа соответствует требованиям, предъявляемым к докторской диссертации.

Исследования по тематике диссертационной работы были выполнены автором в период 2013 – 2021 гг. в Лаборатории нейтронной физики им. И.М. Фра́нка (ОИЯИ, г. Дубна, Россия) и Республиканском государственном предприятии «Институт ядерной физики» Министерства энергетики Республики Казахстан (г. Алматы, Республика Казахстан). Личное участие автора в работах, составляющих основу диссертации, является определяющим.

Основные результаты работы:

1. Разработана, скомпонована и протестирована детекторная система с переменным фокусным расстоянием на основе двухзеркальной схемы для подавления эффектов деградации электроники видеокамеры для установок нейтронной радиографии и томографии на импульсном высокопоточном реакторе ИБР-2 и исследовательском реакторе ВВР-К. Эта детекторная система успешно применяется для регистрации нейтронных радиографических изображений с пространственным разрешением до 132 мкм и изменяемыми зонами детектирования от 200×200 мм до 50×50 мм.
2. Разработана и реализована схема томографической моды для установки нейтронной радиографии и томографии на импульсном высокопоточном реакторе ИБР-2 и исследовательском реакторе ВВР-К. Системы автоматизации экспериментов позволяют получать набор до 720 угловых нейтронных радиографических проекций с временами экспозиции одного радиографического изображения от 10 до 120 сек. Разработаны, модифицированы уже существующие и применены алгоритмы первичной нормировки и сегментации двумерных нейтронных данных; алгебраических и итерационных алгоритмов восстановления данных нейтронной томографии; алгоритмов сегментации, морфологических расчетов и статистического анализа трехмерных нейтронных данных для прикладных исследований с помощью метода нейтронной радиографии и томографии.
3. Разработан и скомпонован блок нейтронных фильтров для подавления паразитных излучений для установки нейтронной радиографии и томографии на импульсном высокопоточном реакторе ИБР-2. Получены нейтронные спектры пропускания для монокристаллических сапфировых и висмутовых фильтров.
4. Разработаны и скомпонованы основные узлы установки нейтронной радиографии и томографии на исследовательском реакторе ВВР-К (г. Алматы, Республика Казахстан): блок съемных коллиматоров и нейтронных фильтров, коллиматорной вакуумированной системы, системы биологической защиты. Схема реализации блок съемных коллиматоров и нейтронных фильтров позволяет варьировать пространственное разрешение этой станции в зависимости от характеристического параметра L/D от 232.2(3) до 144.8(8) мкм. Применение нейтронного фильтра из монокристаллического сапфира увеличивает характерное соотношение тепловых нейтронов и гамма-излучения с 5.0(7) до 58.6(1).
5. Из данных нейтронной томографии получены пространственные распределения размеров трещин и полостей в цементных материалах, используемых в строительстве хранилищ радиоактивных отходов, по данным метода нейтронной томографии. Установлены зависимости количественных характеристик внутренних объемов богатых водой от особенностей химического синтеза цементных материалов.

6. Установлены изменения коэффициентов ослабления нейтронного пучка в процессе затвердевания цементных паст в присутствии алюминия и процессах проникновения воды в строительные цементные материалы. Из данных нейтронной радиографии определены временные характеристики динамических процессов в цементных материалах, рассчитаны величины пористости цементов. Обнаружено повышение температуры плавления смеси кварцевых зерен и льда до 4 К при увеличении размеров кварцевых гранул из данных метода нейтронной радиографии и дифракции.
7. Получены пространственные распределения минералов в метеоритах Сеймчан и Челябинск методом нейтронной дифракции и томографии. Рассчитаны объемные распределения и морфологические характеристики для металлических компонент этих метеоритов. Из данных нейтронной томографии получены морфологические и размерные параметры для оливиновой компоненты метеорита Сеймчан.
8. Получены объемные и ориентационные распределения зерен минерала биотита в модельных образцах горных пород: гранитах и гнейсах из Кольской сверхглубокой скважины с использованием алгоритмов сегментации трехмерных нейтронных данных. Получены пространственные распределение и морфологические параметры зерен биотита в этих геофизических образцах.
9. С помощью методов нейтронной томографии и дифракции выявлены конструкционные особенности, элементы скрытого декора, фазовый состав и пространственное распределение фаз в объектах культурного наследия Российской Федерации.
10. Обнаружена фазовая сегрегация в серебрянных монетах древней Булгарии и Боспора. Определены пространственные распределения фаз меди и серебра в монетах, получены объемные фракции этих фаз.

Результаты диссертации были представлены автором на более чем 30 международных и национальных конференциях и совещаниях, в том числе на российском Совещании по использованию Рассеяния Нейтронов в Исследованиях Конденсированных Сред (РНИКС - 2018, 2014), международной конференции European Conference on Neutron Scattering (ECNS-2019, ECNS -2016); международной конференции 18th International Balkan Workshop on Applied Physics and Materials Science IBWAP-2018; международной конференции 8th International Topical Meeting on Neutron Radiography; международной конференции Condensed Matter Research at IBR-2 reactor (Dubna, Russia, 12-16 October 2020); международной конференции 10th World Conference on Neutron Radiography и др., а также на научных семинарах в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ и в других научных центрах.

Результаты диссертации вошли в цикл работ, который был удостоен второй Премии на конкурсе работ ОИЯИ по разделу «За научно-технические прикладные работы».

Результаты исследований, представленные в диссертации, опубликованы в 26 рецензируемых научных изданиях, индексируемых международными базами данных Web of Science, Scopus, базой данных Российский индекс цитирования:

1. D.P. Kozlenko, S.E. Kichanov, E.V. Lukin, A.V. Rutkauskas, G.D. Bokuchava, B.N. Savenko, A.V. Pakhnevich, A.Yu. Rozanov "Neutron Radiography Facility at IBR-2 High Flux Pulsed Reactor: First Results" *Physics Procedia*, 69, 87-91 (2015).
2. S.E. Kichanov, D.P. Kozlenko, T.I. Ivankina, A.V. Rutkauskas, E.V. Lukin, B.N. Savenko "The Neutron Tomography Studies of the Rocks from the Kola Superdeep Borehole", *Physics Procedia*, 69, 537 – 541 (2015).
3. E.V. Lukin, D.P. Kozlenko, S.E. Kichanov, A.V. Rutkauskas, G.D. Bokuchava, B.N. Savenko "First attempts on energy-selective neutron imaging at IBR-2", *Physics Procedia*, 69, 271-274 (2015).
4. А. В. Руткаускас, Д. П. Козленко, С. Е. Кичанов, Г. Д. Бокучава, Е. В. Лукин, Б. Н. Савенко «Исследование нейтронных спектров пропускания материалами, перспективными для создания монокристаллических и поликристаллических фильтров»,

Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, №4, с. 5-7 (2015)

5. Д.П. Козленко, С.Е. Кичанов, Е.В. Лукин, А.В. Руткаускас, А.В. Белушкин, Г.Д. Бокучава, Б.Н. Савенко «Экспериментальная установка для исследований с помощью методов нейтронной радиографии и томографии на реакторе ИБР-2», Письма в ЭЧАЯ, т.13, №3, с.550-557 (2016)
6. С.Е. Кичанов, К.М. Назаров, Д.П. Козленко, И.А. Сапрыкина, Е.В. Лукин, Б.Н. Савенко «Исследование внутренней структуры древних медных монет методом нейтронной томографии», Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, №6, с. 11-15 (2017)
7. S.E. Kichanov, I.A. Saprykina, D.P. Kozlenko, K. Nazarov, E.V. Lukin, A.V. Rutkauskas, B.N. Savenko, "Studies of Ancient Russian Cultural Objects Using the Neutron Tomography Method", *J. Imaging*, 4(2), 25 (2018)
8. С.Е. Кичанов, М. Кенесарин, М. Балашою, Д. П. Козленко, М. Ничу, Л. Ионеску, А.Ц. Драголич, Ф. Драголич, К. Назаров, Б. Абдурахимов «Исследование процессов затвердевания цементных материалов для хранения алюминиевых радиоактивных отходов методом нейтронной радиографии», Письма в ЭЧАЯ, т.17, №1, с.63-71 (2020)
9. Б. Мухаметулы, С.Е. Кичанов, Е.А. Кенжин, Д.П. Козленко, К.М. Назаров, А.А. Шаймерденов, Е. Базарбаев, Е.В. Лукин «Концепция установки нейтронной радиографии и томографии на исследовательском реакторе ВВР-К в г. Алматы, Казахстан», Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, №9, с. 100-102 (2019)
10. A. El Abd, S.E. Kichanov, M. Taman, K.M. Nazarov, D.P. Kozlenko, W.M. Badawy «Determination of moisture distributions in porous building bricks by neutron radiography», *Applied Radiation and Isotopes*, 156, 108970 (2020).
11. S.E. Kichanov, D.P. Kozlenko, A.K. Kirillov, E.V. Lukin, B. Abdurahimov, N.M. Belozerova, A.V. Rutkauskas, T.I. Ivankina, B.N. Savenko "A structural insight into the Chelyabinsk meteorite: neutron diffraction, tomography and Raman spectroscopy study", *SN Applied Sciences*, 1:1563 (2019).
12. A. El Abd, S.E. Kichanov, M. Taman, K.M. Nazarov "Penetration of water into cracked geopolymer mortars by means of neutron radiography", *Construction and Building Materials*, 256, 119471 (2020).
13. Б.А. Бакиров, С.Е. Кичанов, Р.Х. Храмченкова, А.В. Белушкин, Д.П. Козленко, А.Г. Ситдииков «Исследование монет средневековой волжской Булгарии методами нейтронной дифракции и томографии», Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, №4, с. 69-75 (2020)
14. S.E. Kichanov, D.P. Kozlenko, E.V. Lukin, A.V. Rutkauskas, E.A. Krasavin, A.Y. Rozanov, B.N. Savenko "A neutron tomography study of the Seymchan pallasite", *Meteoritics & Planetary Science*, 53, 10, 2155-2164 (2018)
15. И.А. Сапрыкина, С.Е. Кичанов, Д.П. Козленко, Е.В. Лукин "Возможности нейтронной томографии в археологии на примере исследования древнерусских украшений из тверского клада 2014 г.", *Российская археология*, №3, с. 36-42 (2018).
16. L. Kalvoda, S.E. Kichanov, M. Kučeráková, E.V. Lukin, S. Vratislav, "Ice Melting Kinetics in Sand–Water Mixtures Investigated by Neutron Radiography and Diffraction", *Journal of Cold Regions Engineering*, 33, 3, 04019003 (2019).

17. S.E. Kichanov, K.M. Nazarov, D.P. Kozlenko, M. Balasoiu, M. Nicu, L. Ionascu, A.C. Dragolici, F. Dragolici, B.N. Savenko "Neutron tomography studies of cement-based materials used for radioactive waste conditioning", *Romanian Journal of Physics*, 64, 1-2, 803 (2019).
18. И.А. Сапрыкина, С.Е. Кичанов, Д.П. Козленко «Возможности, ограничения и перспективы нейтронной томографии в сфере сохранения объектов археологического наследия», *Кристаллография*, т.64, №1, с.152-155 (2019).
19. K.M. Nazarov, S.E. Kichanov, E.V. Lukin, A.V. Rutkauskas, B.N. Savenko "A spatial localization of structural degradation areas in the single crystal turbine blades by means of a neutron tomography method", *Eurasian Journal of Physics and Functional Materials*, 4, 122-131 (2020).
20. M. Mednikova, I. Saprykina, S. Kichanov, D. Kozlenko «The Reconstruction of a Bronze Battle Axe and Comparison of Inflicted Damage Injuries Using Neutron Tomography, Manufacturing Modeling, and X-ray Microtomography Data», *Journal of Imaging*, 6, 45 (2020)
21. K.M. Nazarov, S.E. Kichanov, A. El Abd, M. Taman, D.P. Kozlenko, "Study of water infiltration into cement-based mortars using real-time thermal neutron radiography", *Eurasian Physical Technical Journal*, 17, 1(33), (2020)
22. K.M. Nazarov, B. Muhametuly, E.A. Kenzhin, S.E. Kichanov, D.P. Kozlenko, E.V. Lukin, A.A. Shaimerdenov "New neutron radiography and tomography facility TITAN at the WWR-K reactor", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 164572 (2020)
23. I.Y. Zel, M. Petruzalek, S.E. Kichanov, K.M. Nazarov, T. Lokajicek, D.P. Kozlenko, I. Turkova, M. Kotrly, O. Raden "Contribution of neutron tomography to 3D heterogeneity analysis of granitic rocks", *Acta Geodyn. Geomater.*, Vol. 17, No. 3 (199), 259–267, 2020
24. A.V. Pakhnevich, L.V. Zaytseva, O.S. Samylina, S.E. Kichanov «The Use of Modern Physical Methods of Instrumental Analytics in the Study of Stromatolites», *Paleontological Journal*, 54, 8, 936-945 (2020)
25. A.V. Pakhnevich, L.V. Zaytseva, O.S. Samylina, S.E. Kichanov «The Use of Modern Physical Methods of Instrumental Analytics in the Study of Stromatolites», *Paleontological Journal*, 54, 8, 936-945 (2020)
26. К.М. Подурец, С.Е. Кичанов, В.П. Глазков, Е.С. Коваленко, М.М. Мурашев, Д.П. Козленко, Е.В. Лукин, Е.Б. Яцишина «Современные методы нейтронной радиографии и томографии в исследованиях внутреннего строения объектов», *Кристаллография*, т. 66, №2, с. 254-267 (2021).

И в 7 публикациях в других изданиях:

1. А.В. Пахневич, Л.В. Зайцева, О.С. Самылина, С.Е. Кичанов «Возможности изучения строматолитов при совместном использовании методов томографии, сканирующей электронной микроскопии и рентгеноспектрального микроанализа», статья в книге «Эволюция биосферы с древнейших времен до наших дней. К 85-летию Г.А. Заварзина» ред. Л.М. Мельников, С.В. Рожнов., с.106.
2. И.А. Сапрыкина, Л.А. Пельгунова, О.Л. Гунчина, И.Г. Равич, С.Е. Кичанов, Д.П. Козленко, К.М. Назаров «Некоторые замечания о технике изготовления боспорских статеров из фанагорийского клада 2011 г.» в книге «Фанагория. Результаты археологических исследований. Под общей редакцией В. Д Кузнецова. Том 5.» М.: Институт археологии РАН. – 2017. 748 с.

3. S.E. Kichanov, D.P. Kozlenko, I.A. Saprykina, E.V. Lukin, A.V. Rutkauskas, K.M. Nazarov, B.N. Savenko "A Study of the Archeological Objects by Means of a Neutron Tomography Method" JINR NEWS, 1, 20-23 (2017)
4. D.P. Kozlenko, S.E. Kichanov, E.V. Lukin, A.V. Rutkauskas, A.V. Belushkin, G.D. Bokuchava, B.N. Savenko "Experimental Station of Neutron Radiography and Tomography at the Pulsed High-Flux IBR-2 Reactor: First Results" JINR NEWS, 1, 31-34 (2015)
5. S.E. Kichanov, I.A. Saprykina, D.P. Kozlenko "Old Russian treasures meet with neutrons in Dubna", International NR Newsletter, №12, p.12-13 (2017)
6. S.E. Kichanov "The first steps in neutron tomography processing: a freeware solution for newbies", International NR Newsletter, №12, p.13-17 (2017)
7. B. Muhametuly, D.P. Kozlenko, E.A. Kenzhin, S.E. Kichanov, E.V. Lukin, A.A. Shaimerdenov, K.M. Nazarov, B.N. Savenko « The First Scientific Results Obtained Using the Experimental Setup for Neutron Radiography and Tomography at the WWR-K Reactor», JINR NEWS, 1, 20-23 (2020)

По результатам открытого голосования (25 – за, против – нет, воздержавшихся – нет)

Постановили:

1. Рекомендовать к защите представленную Кичановым С.Е. диссертационную работу «Экспериментальные методы нейтронной радиографии и томографии на импульсном высокопоточном реакторе ИБР-2 и стационарном исследовательском реакторе ВВР-К» на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики».
2. Утвердить текст заключения НТС ЛНФ о диссертационной работе Кичанова С.Е.

2.1. Слушали: Ш. Зейналова с предложением об открытии нового проекта «Эмиссия Нейтронов и Гамма-квантов в Реакциях, Индуцированных Нейтронами (ЭНГРИН)» в рамках темы 1128 (руководитель темы: Е.В. Лычагин) на 3 года.

В обсуждении принимали участие: Е.В. Лычагин, Ю.Н. Копач, В.И. Боднарчук, А.И. Франк, В.И. Фурман, Д. Худоба, В.Н. Швецов.

Постановили: по результатам открытого голосования (24 – за, против – нет, воздержавшихся – 1):

1. Рекомендовать ПКК ОИЯИ по ядерной физике открыть новый проект в рамках темы «Исследования взаимодействия нейтронов с ядрами и свойств нейтрона» (руководитель темы: Е.В. Лычагин) на три года.

Руководитель проекта: Ш. Зейналов.

Председатель НТС ЛНФ



А.И. Франк

Секретарь НТС ЛНФ



Т. В. Тропин