

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.228.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО НАУЧНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «КРАСНОЯРСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК» (ФИЦ
КНЦ СО РАН, КНЦ СО РАН), ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 06.06.2025 г. № 6
о присуждении Кубатаеву Зауру Юсуповичу,
гражданину Российской Федерации,
учёной степени кандидата физико-математических наук

Диссертация «Структурно-динамические свойства и спектры комбинационного рассеяния света композиционных ионных систем на основе перхлоратов щелочных металлов» по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния принята к защите 28.03.2025 г. (протокол заседания №3) диссертационным советом 24.1.228.01, созданным на базе «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (ФИЦ КНЦ СО РАН), 660036 Красноярск, Академгородок, д. 50, приказ Минобрнауки №1513/нк от 25.11.2016 г.

Соискатель Кубатаев Заур Юсупович, 10 декабря 1988 года рождения, в 2011 г. окончил очную магистратуру факультета физики и информационных технологий Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский педагогический государственный университет» по направлению «Физика».

Работает научным сотрудником в аналитическом центре коллективного пользования Института физики им. Х.И. Амирханова – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Дагестанского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИФ ДФИЦ РАН).

Диссертация выполнена в аналитическом центре коллективного пользования Института физики им. Х.И. Амирханова – обособленное подразделение Федераль-

ного государственного бюджетного учреждения науки Дагестанского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИФ ДФИЦ РАН).

Научный руководитель – Гафуров Малик Магомедович, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Института физики им. Х.И. Амирханова – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Дагестанского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИФ ДФИЦ РАН).

Официальные оппоненты:

Уваров Николай Фавстович, доктор химических наук, доцент, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией ионики твердого тела Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт химии твердого тела и механохимии Сибирского отделения Российской Академии наук;

Пугачев Алексей Маркович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории спектроскопии конденсированных сред Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт автоматизации и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук – дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения Российской академии наук в своём положительном отзыве, подписанном В.А. Володиным, доктором физико-математических наук, ведущим научным сотрудником Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения Российской академии наук (ИФП СО РАН), указала что диссертационная работа Кубатаева З.Ю. является завершённой научно-квалификационной работой, содержащей новые результаты о структурно-динамических и колебательных свойствах композиционных ионных систем на основе перхлоратов щелочных металлов. В работе изучено влияние наноразмерных добавок оксидов алюминия и кремния на физические и химические свойства этих систем, уделяя особое внимание механизму ионного переноса и факторам, влияющим на ионную проводимость. Эти результаты будут способствовать разработке новых высокоэффективных материалов для применения в электрохимических устройствах, таких как литий-ионные батареи и суперконденсаторы.

Соискатель имеет 14 опубликованных работ по теме диссертации в рецензируемых научных журналах, входящих в базы данных «Web of Science», «Scopus» и РИНЦ:

1. Akhmedov M.A., Gafurov M.M., Rabadanov R.Sh., Kubataev Z.Yu. The Effect of Mechanical Activation on the Conductivity in the System $\text{KNO}_3\text{--Al}_2\text{O}_3$ // Russian Journal of Electrochemistry. – 2023. – Vol. 59, No. 8. – P. 589-597. – DOI 10.1134/s1023193523080037.
2. Kubataev Z.Yu., Gafurov M.M., Rabadanov K.Sh. Effect of Nanosized Oxides on Structural and Dynamic Properties of Composites Based on LiClO_4 // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. – 2023. – Vol. 87, No. S1. – P. S21–S28. – DOI 10.1134/s1062873823704361.
3. Гафуров М.М., Рабаданов К.Ш., Кубатаев З.Ю. Колебательная и ориентационная релаксация нитрат-иона в системе $\text{LiNO}_3\text{--KNO}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ // Расплавы. – 2019. – № 5. – С. 434–443. – DOI 10.1134/S0235010619050050.
4. Кубатаев З.Ю., Гафуров М.М., Рабаданов К.Ш. Колебательная релаксация перхлорат-иона в наноккомпозитах состава $(1 - x)\text{LiClO}_4 + x\text{Al}_2\text{O}_3$ // Вестник Дагестанского государственного университета. Серия 1: Естественные науки. – 2019. – Т. 34, № 3. – С. 102–108. – DOI 10.21779/2542-0321-2019-34-3-102-108.
5. Kubataev Z.Yu., Gafurov M.M., Rabadanov K.Sh. Investigation of Raman Spectra and Ionic Conductivity of Composites Based on NaClO_4 and KClO_4 Salts Obtained by Mechanoactivation // Electrochemical Materials and Technologies. – 2024. – Vol. 3, No. 1. – P. 20243030. – DOI 10.15826/elmattech.2024.3.030.
6. Amirov A.M., Akhmedov M.A., Kubataev Z.Yu. Effect of lithium perchlorate addition on $\text{LiNO}_3\text{--KNO}_3$ nitrate eutectic // Ionics. – 2024. Vol. 30, – P. 6089–6096 – DOI 10.1007/s11581-024-05715-x.
7. Kubataev Z.Yu., Gafurov M.M., Rabadanov K.Sh. The Effect of the Nanosized Oxide Filler on the Structure and Conductivity of Composite $(1 - x)(\text{LiClO}_4\text{--NaClO}_4)\text{--}x\text{Al}_2\text{O}_3$ // Russian Journal of Electrochemistry. – 2023. – Vol. 59, No. 8. – P. 598–603. – DOI 10.1134/s1023193523080050.
8. Gafurov M.M., Rabadanov K.S., Kubataev Z.Yu. Research of the structure and dynamic interactions of particles in the $\text{Li}_{0.42}\text{K}_{0.58}\text{NO}_3 - \text{R}$ ($\text{R}=\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3, \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3, \text{SiO}_2$) and $(\text{LiNO}_3 - \text{LiClO}_4) - \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ composites in various temperature conditions and phase states // Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Bio-molecular Spectroscopy. – 2021. – Vol. 257. – P. 119765. – DOI 10.1016/j.saa.2021.119765.

9. Гафуров М.М., Рабаданов К.Ш., Кубатаев З.Ю. Колебательные спектры и ион-молекулярные взаимодействия в системе поливиниловый спирт+соль лития (LiNO_3 , LiClO_4 , LiBF_4) // Журнал прикладной спектроскопии. – 2019. – Т. 86, № 5. – С. 691–696.
10. Гафуров М.М., Амиров А.М., Кубатаев З.Ю. Колебательные спектры и структура системы $(1 - x)\text{Li}_{0.42}\text{K}_{0.58}\text{NO}_3 - x\text{Al}_2\text{O}_3$ // Журнал структурной химии. – 2019. – Т. 60, № 3. – С. 422–429. – DOI 10.26902/JSC_id39480.
11. Рабаданов К.Ш., Гафуров М. М., Кубатаев З.Ю. Ионная проводимость и колебательные спектры композитов $\text{LiNO}_3 - \text{KNO}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ // Электрохимия. – 2019. – Т. 55, № 6. – С. 750–756. – DOI 10.1134/S0424857019060173.
12. Гафуров М.М., Рабаданов К.Ш., Кубатаев З.Ю. Температурно-фазовая зависимость спектральных и молекулярно-релаксационных характеристик композита $(1 - x)\text{RbNO}_3 + x\text{Al}_2\text{O}_3$ // Журнал прикладной спектроскопии. – 2017. – Т. 84, № 1. – С. 13–18.
13. Гафуров М.М., Рабаданов К.Ш., Кубатаев З.Ю. Спектры комбинационного рассеяния и строение систем $(1 - x)\text{RbNO}_3 + x\text{Al}_2\text{O}_3$ // Журнал структурной химии. – 2015. – Т. 56, № 3. – С. 457–465. – DOI 10.15372/JSC20150304.
14. Гафуров М.М., Рабаданов К.Ш., Кубатаев З.Ю. Структурно-динамические свойства нанокompозитов $\text{LiNO}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ // Физика твердого тела. – 2015. – Т. 57, № 10. – С. 2011–2017.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы (все положительные):

Ведущая организация (ИФП СО РАН). Отзыв положительный. Замечания:

1. В диссертации пункт 1.2. звучит как «Исследование КИС методами колебательной спектроскопии». Вместе с тем, в этом пункте сообщается об изучении КИС с помощью КРС, которая, действительно, является разновидностью методов колебательной спектроскопии. Данных по изучению КИС другими методами колебательной спектроскопии, таких как, например, ИК спектроскопия, в диссертации не представлено, поэтому корректно было бы говорить не о методах колебательной спектроскопии, а о комбинационном рассеянии света. 2. ИК спектроскопия является взаимодополняющим методом для КРС, использование которого позволило бы получить полную картину о колебательном спектре исследуемых материалов, что отмечается во введении. Из диссертации неясно, почему автор не использует такой простой и информативный метод как ИК спектроскопия. 3. В диссертации не обсуждается электронное строение компо-

зитов, в связи с чем неясен вопрос выбора длины волны возбуждения в экспериментах по КРС. 4. На Рис.3.3, 3.6, 3.7, 3.11 и др. не указано экспериментальное отклонение. 5. В диссертации отсутствует список сокращений, что несколько затрудняет чтение диссертации.

Д.х.н. Уваров Николай Фавстович – официальный оппонент. Отзыв положительный. Замечания: 1. В работе часто используется фраза «композит, наполненный нанокристаллическим оксидом». Так как оксиды, используемые в работе, не являются пористыми добавками, а состоят из отдельных наночастиц, то использование термина «наполненный» некорректно. 2. В композитах $\text{LiClO}_4 - \text{SiO}_2$ наблюдается добавочный тепловой эффект с некой интенсивностью в области низких температур. Предполагается, что эффект связан с нахождением соли в порах оксида. Чем подтверждается это предположение? 3. Предполагается, что «...наполнитель в зависимости от эффективного заряда на его поверхности может способствовать некоторому «замораживанию» подвижности анионной либо катионной системы» (с. 63). Это предположение не согласуется с такими экспериментальными фактами, как уменьшение частот колебаний перхлорат-аниона (указывающее на снижение потенциального барьера для колебаний) или рост ионной проводимости (указывающее на существенное увеличение подвижности катионов). Так как поверхность оксидов экранирована ионами кислорода, то взаимодействовать с ней должны в первую очередь катионы, а не анионы. При этом результатом взаимодействия является аморфизация приконтактной области. 4. Не ясно, в чем причина фазового перехода перхлората лития при 229.4° в композите $0.5\text{LiClO}_4 - 0.5\text{Al}_2\text{O}_3$. Сделанное предположение о том, что этот переход связан с «динамическими процессами в аморфной фазе солевой подрешетки» не подтверждено никакими экспериментальными данными. 5. На стр. 72 сказано, что в композитах $\text{NaClO}_4 - \text{Al}_2\text{O}_3$ добавка оксида алюминия «существенно изменяет микроструктуру этого композита», однако не приведено изображений СЭМ или ПЭМ, подтверждающих это утверждение. 6. Имеется ряд неудачных выражений, например, на стр. 79 при описании возможных механизмов проводимости KClO_4 аррениусовы зависимости названы линейными зависимостями электропроводности от температуры.

К.ф-м.н. Пугачев Алексей Маркович – официальный оппонент. Отзыв положительный. Замечания: 1. В работе утверждается, что в увеличении проводимости при добавке примеси решающую роль играет аморфная фаза, локали-

зованная в окрестности примеси. Физические механизмы этого явления изложены в статьях и монографиях других авторов, на которые автор ссылается в тексте диссертации. Тем не менее в тексте отсутствует понятная физическая интерпретация этого важного результата, что затрудняет понимание результатов работы. 2. Непонятно также, почему образуется именно аморфная фаза, нет ли в природе аморфной модификации перхлоратов, чтобы в этих образцах измерить КРС и убедиться, что «крыло» пика, соответствующего колебаниям Cl–O соответствует именно этой фазе и почему она «не видна» в ДСК? 3. При описании спектров КРС в системе $(1 - x)\text{LiClO}_4 - x\text{Al}_2\text{O}_3$ допущена небрежность: на с. 14 автореферата сказано, что при больших концентрациях оксидов исчезают скачкообразные изменения спектральных характеристик. Но на Рис. 6 автореферата показано, что это справедливо только для примеси Al_2O_3 . 4. В таблицах 3, 4 в автореферате приведены характеристики колебания $\nu_1(\text{A})$. Из автореферата совершенно непонятно, что это за параметры (за исключением позиции и ширины). Несмотря на это, именно на анализе данных из вышеупомянутых таблиц автор делает вывод о влиянии примеси на однородное и неоднородное уширение в спектрах КРС (непонятно, на какие параметры надо обратить внимание?). 5. По какой-то причине рост ионной проводимости в системе $0.4\text{NaClO}_4 - 0.6\text{Al}_2\text{O}_3$ приведен для температур 320 °С (возле фазового перехода). Возникает вопрос, почему этот очень важный эффект не измерен (не упомянут?) при комнатной температуре? 6. Ввиду важности эффекта увеличения проводимости, обусловленного наличием примеси, представляется важным увидеть отсутствующие в тексте диссертации особенности эксперимента по измерению электропроводности, показывающие, что в приведенных в работе экспериментах измеряется объемная, а не поверхностная проводимость образцов.

Д.ф-м.н. Курзина Ирина Александровна. Отзыв положительный. Замечания: 1. Какие критерии послужили основанием для выбора конкретных концентраций наноразмерных оксидов (Al_2O_3 и SiO_2)? Планировались ли эксперименты с более широким диапазоном концентраций для нахождения оптимального состава? 2. Был ли проведен сравнительный анализ полученных результатов с данными других исследователей, работающих над похожими композициями и проблемами ионного транспорта? 3. Есть ли планы продолжения исследований в направлении изучения влияния иных классов оксидов или новых механизмов допирования, позволяющих повысить ионную проводимость композитов?

Д.х.н. Кулова Татьяна Львовна. Отзыв положительный. Замечания: 1. Почему в исследовании выбран именно тот диапазон спектра, который соответствует полносимметричному валентному колебанию ν_1 ? 2. Насколько важно использование оксида алюминия именно в гамма-модификации в данной работе? 3. Требуется дополнительно пояснить, почему именно метод комбинационного рассеяния света был избран среди большого числа возможных методов исследования.

Д.ф-м.н. Асваров Абил Шамсудинович. Отзыв положительный. Замечания: 1. Первое замечание носит технический характер. В начале автореферата автор вводит ряд аббревиатур (например, ХИТ, НИС, МЧВ, КТЭ), которые далее в тексте нигде не используются. Наряду с этим, многократно используемая в тексте аббревиатура «ДСК» расшифровывается впервые только в конце автореферата в выводах на стр.21. 2. Поскольку спецификой подготовки композитов обычно является как можно более равномерное распределение компонентов, то желательно было более наглядно продемонстрировать однородность композита, например, с использованием методик растровой электронной микроскопии и зондового микроанализа. В свою очередь, просвечивающая электронная микроскопия могла бы однозначно продемонстрировать фазовое состояние (аморфное или нанокристаллическое) ионных солей в приповерхностной области оксидных наночастиц. 3. К сожалению, в самом автореферате отсутствуют подробности эксперимента по измерению проводимости композита методом импеданс-спектроскопии (каким именно условиям соответствуют измеренные значения электропроводности?).

Д.х.н. Кушхов Хасби Билялович. Отзыв положительный. Замечания: 1. Можно ли утверждать, что изменение колебательной динамики перхлорат-ионов в присутствии наноразмерных оксидов вызвано только аморфизацией приграничных слоев соли или имеются другие вероятные механизмы? 2. В автореферате не указан материал электродов, использованных для измерения электропроводности. 3. Почему не рассматривались концентрации оксидов ближе к нижней границе допустимых долей (~0.1–0.3 мол.)? Могут ли там наблюдаться интересные эффекты?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается соответствием направлений научных исследований, выполняемых оппонентами и реализуемых в ведущей организации, тематике представленной диссертаци-

онной работы, наличием публикаций и высоких достижений в соответствующей области исследований.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– Впервые проведены систематические исследования концентрационных и температурных зависимостей спектров комбинационного рассеяния света композитов на основе перхлоратов щелочных металлов, допированных наноразмерными частицами порошков SiO_2 и Al_2O_3 , а также бинарных эвтектических систем. Показано, что наноразмерные оксиды (Al_2O_3 , SiO_2) оказывают существенное влияние на динамику перхлорат-иона, усиливая вклад неоднородного уширения в полуширину линий внутренних колебаний иона.

– В результате проведенных комплексных исследований композитов методами спектроскопии комбинационного рассеяния, дифференциальной сканирующей калориметрии и рентгенофазового анализа обнаружена аморфизация исследуемого перхлората в приповерхностной области частиц оксидов алюминия и кремния. В спектрах комбинационного рассеяния света в области полного симметричного колебания перхлорат-иона при этом наблюдается появление дополнительной широкой линии со стороны меньших волновых чисел.

– Установлено, что в исследованных композитах, приготовленных с применением метода механоактивации, величины удельной ионной проводимости увеличиваются на два–три порядка по сравнению с чистым перхлоратом.

– В эвтектическом композитном материале $0.3(\text{LiClO}_4 - \text{NaClO}_4)_{\text{эвт}} - 0.7 \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ зафиксировано увеличение ионной проводимости на шесть порядков по сравнению с чистой эвтектической системой, что указывает на значительное улучшение транспортных свойств композита, обусловленное введением наноразмерных частиц оксида алюминия.

Теоретическая значимость результатов исследования определяется получением комплекса новых данных по спектроскопии комбинационного рассеяния света, рентгеновской дифрактометрии, дифференциальной сканирующей калориметрии и измерений импеданса о микроструктуре и молекулярно-релаксационных явлениях в композитных ионных системах, способствующих глубокому пониманию механизмов переноса заряда в композитных твердых электролитах.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики заключается в разработке эффективных композитных твердых электроли-

тов с повышенной ионной проводимостью, что открывает новые возможности для создания высококачественных источников энергии, таких как твердотельные аккумуляторы и суперконденсаторы.

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием современных экспериментальных методов исследования, адекватных поставленным задачам, воспроизводимостью результатов и согласием установленных закономерностей с имеющимися литературными данными.

Личный вклад соискателя заключается в выборе методов исследования, синтезе исследуемых электролитов, проведении спектроскопических исследований, написании публикаций и подготовке докладов на конференциях.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

На заседании 06.06.2025 г. диссертационный совет сделал вывод о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, содержит решение научной задачи, имеющей значение для развития физики конденсированного состояния, соответствует критериям, установленным Положением ВАК РФ о порядке присуждения ученых степеней, и принял решение присудить Кубатаеву З.Ю. ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 7 докторов наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени – 17, против присуждения ученой степени – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета 24.1.228.01
д.ф.-м.н., академик РАН

Учёный секретарь
Диссертационного совета 24.1.228.01
д.ф.-м.н., с.н.с



Шабанов Василий
Филиппович

Втюрин Александр
Николаевич

06 июня 2025 года