

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.245.01 НА БАЗЕ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УЧРЕЖДЕНИЯ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «КРИСТАЛЛОГРАФИЯ И ФОТНИКА»  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК» ПО ДИССЕРТАЦИИ  
СНЕГИРЁВА НИКИТЫ ИГОРЕВИЧА НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 05 октября 2023 г., протокол № 11.

О присуждении **Снегирёву Никите Игоревичу**, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Структура, магнитные свойства и ядерный гамма-резонанс в монокристаллах на основе бората железа  $\text{FeBO}_3$ » по специальности 1.3.20. – «кристаллография, физика кристаллов» принята к защите 18.07.2023 г., протокол № 5, диссертационным советом 24.1.245.01, созданным на базе Федерального государственного учреждения «Федеральный научно-исследовательский центр «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук» (ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН), Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт»), 119333, г. Москва, Ленинский проспект, дом 59. Диссертационный совет 24.1.245.01 создан приказом Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Снегирёв Никита Игоревич, 23.08.1995 года рождения, в 2019 г. окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» по специальности 03.04.02 «Физика». В 2023 г. Снегирёв Н.И. окончил аспирантуру ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН.

В настоящее время Снегирёв Н.И. работает в лаборатории резонансных методов исследования Института кристаллографии имени А.В. Шубникова РАН, ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Федерального государственного бюджетного учреждения «Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт») в должности младшего научного сотрудника.

Диссертационная работа выполнена в Институте кристаллографии им. А.В. Шубникова ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Федерального государственного бюджетного учреждения «Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт»).

Научный руководитель – **Любутин Игорь Савельевич**, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник, заведующий отделом ядерных методов и магнитных структур Института кристаллографии им. А.В. Шубникова ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН.

Официальные оппоненты:

**Андреева Марина Алексеевна** – доктор физико-математических наук, доцент, главный научный сотрудник кафедры физики твердого тела Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова».

**Семенов Валентин Георгиевич** – доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры аналитической химии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет».

— дали **положительные отзывы** на диссертацию.

Ведущая организация **Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»** (г. Москва) в своём **положительном отзыве**, подписанном доктором физико-математических наук, доцентом, заведующим кафедрой физики твердого тела и наносистем № 70 НИЯУ «МИФИ» Рудневым Игорем Анатольевичем, доктором физико-математических наук, доцентом, директором Института лазерных и плазменных технологий НИЯУ «МИФИ» Кузнецовым Андреем Петровичем, доктором физико-математических наук, профессором, председателем Совета по аттестации и подготовке научно-педагогических кадров Кудряшовым Николаем Алексеевичем и утвержденном доктором физико-математических наук, ректором НИЯУ «МИФИ» Шевченко Владимиром Игоревичем, указала, что диссертационная работа Снегирёва Н.И. посвящена изучению кристаллической структуры, магнитных и резонансных свойств монокристаллов бората железа  $\text{FeVO}_3$  и твердых растворов  $\text{Fe}_{1-x}\text{Ga}_x\text{VO}_3$ .

**Актуальность работы** обусловлена тем, что высококачественные образцы  $\text{FeVO}_3$  находят практическое применение в современных отраслях науки и техники, в частности – в синхротронных установках последнего поколения, где используются в качестве резонансных монохроматоров рентгеновского излучения. Кроме того, кристаллы бората железа являются известным и классическим модельным объектом для исследований в области физики твердого тела, оптики и магнетизма.

**Научная новизна и практическая значимость** рассмотренной работы заключаются в следующих положениях. Определены диапазоны структурной стабильности и изучена трансформация фаз в кристаллах  $\text{FeVO}_3$  и  $\text{Fe}_{1-x}\text{Ga}_x\text{VO}_3$  при воздействии высоких температур в различных химических средах. Установлено, что характер трансформаций существенно различен для «чистых» фаз ( $\text{FeVO}_3$ ,  $\text{GaVO}_3$ ) и для кристаллов смешанного состава. По результатам прецизионных рентгеновских измерений, в том числе во внешних магнитных полях, показано, что наличие в кристалле  $\text{FeVO}_3$  магнитоупругих взаимодействий приводит к уширению рентгеновских кривых дифракционного отражения, расщеплению рефлексов в узлах обратной решетки



кристалла и к различному характеру теплового расширения выше и ниже точки магнитного перехода. Определены прецизионные значения параметров кристаллической структуры и сверхтонкой структуры в мёссбауэровских спектрах кристаллов  $\text{FeVO}_3$  в области температуры магнитного фазового перехода. Описано влияние магнитной доменной структуры на форму и интенсивность резонансных линий. Определены перспективные с точки зрения практического применения составы твердых растворов замещения  $\text{Fe}_{1-x}\text{Ga}_x\text{VO}_3$ . Изученные монокристаллы могут быть полезны в синхротронных технологиях, основанных на ядерном резонансе. Такие методики запланированы к реализации в перспективных российских синхротронных центрах «СИЛА» (Протвино) и «СКИФ» (Новосибирск). Кроме того, образцы с температурой Нееля около  $42^\circ\text{C}$  могут быть интересны для биомедицинских применений.

**Обоснованность и достоверность научных положений и выводов** определяется тем, что в проведенных исследованиях применен широкий спектр экспериментальных методик (выращивание кристаллов из раствора в высокотемпературном расплаве, отжиг кристаллических образцов, рентгеновский фазовый, структурный и флуоресцентный анализ, рентгеновская дифракция высокого разрешения и топография, электронная микроскопия и энергодисперсионный анализ, SQUID-магнитометрия и мёссбауэровская спектроскопия в широком диапазоне температур). Исследования выполнены на современном оборудовании, их данные являются взаимодополняющими. Это обеспечивает высокую степень достоверности полученных результатов. Следует отметить высокую публикационную активность диссертанта и широкую апробацию материала. В основе диссертации лежат результаты, изложенные в **13 научных статьях**, опубликованных в изданиях, индексируемых в системах Web of Science и Scopus и входящих в перечень ВАК РФ. Наиболее значимые результаты опубликованы в высокорейтинговых международных научных изданиях. Снегирёв Н.И. также является соавтором **2 патентов** по тематике диссертации.

**Личный вклад автора** состоит в подборе экспериментальных методик и разработке стратегии исследования, проведении работ по выращиванию кристаллов, разработке экспериментальной установки и выполнении экспериментов по отжигу образцов, аттестации кристаллов с помощью рентгенофазового и рентгенофлуоресцентного анализа, участию в экспериментах по высокоразрешающей рентгеновской дифрактометрии, проведении мёссбауэровских исследований и компьютерной обработке результатов, анализе и обобщению всех данных, подготовке и написанию научных статей, в участии в конференциях с докладами.

**Автореферат и научные публикации полностью отражают содержание самой диссертации.** Тематика, методы исследования и полученные результаты полностью соответствуют паспорту специальности 1.3.20. – Кристаллография, физика кристаллов.

Представленная диссертационная работа «**Структура, магнитные свойства и ядерный гамма-резонанс в монокристаллах на основе бората железа  $\text{FeBO}_3$** » является законченной научно-исследовательской работой, выполненной на высоком уровне. По своему содержанию, объему, новизне, научной и практической значимости результатов она отвечает критериям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842, а ее автор Снегирёв Никита Игоревич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.20. – кристаллография, физика кристаллов за результаты комплексных исследований структурных, магнитных и резонансных свойств кристаллов на основе бората железа  $\text{FeBO}_3$ .

По теме диссертационной работы опубликовано 13 статей в рецензируемых научных журналах и 2 патента РФ на изобретения. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах. Наиболее значимые результаты отражены в работах:

1. Yagupov, S. Development of a Synthesis Technique and Characterization of High-Quality Iron Borate  $\text{FeBO}_3$  Single Crystals for Applications in Synchrotron Technologies of a New Generation / S. Yagupov, M. Strugatsky, K. Seleznyova, Y. Mogilenec, N. Snegirev, N. V. Marchenkov, A.G. Kulikov, Y.A. Eliovich, K. V. Frolov, Y.L. Ogarkova, I.S. Lyubutin // *Crystal Growth and Design*. – 2018. – Vol. 18. – № 12. – P. 7435-7440.

2. Smirnova, E.S. Flux growth, structure refinement and Mössbauer studies of  $\text{Fe}_{1-x}\text{Ga}_x\text{BO}_3$  single crystals / E.S. Smirnova, N.I. Snegirev, I.S. Lyubutin, S.S. Starchikov, V. V. Artemov, M. V. Lyubutina, S. V. Yagupov, M.B. Strugatsky, Y.A. Mogilenec, K.A. Seleznyova, O.A. Alekseeva // *Acta Crystallographica Section B Structural Science, Crystal Engineering and Materials*. – 2020. – Vol. 76. – № 6. – P. 1100-1108.

3. Lyubutin, I.S. Magnetic and electric hyperfine parameters of antiferromagnet  $\text{FeBO}_3$  intended for monochromatization of synchrotron radiation / I.S. Lyubutin, N.I. Snegirev, M.A. Chuev, S.S. Starchikov, E.S. Smirnova, M.V. Lyubutina, S.V. Yagupov, M.B. Strugatsky, O.A. Alekseeva // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2022. – Vol. 906. – P. 164348.

4. Snegirev, N. Structural perfection of  $\text{Fe}_{1-x}\text{Ga}_x\text{BO}_3$  single crystals designed for nuclear resonant synchrotron experiments N. Snegirev, I. Lyubutin, A. Kulikov, D. Zolotov, A. Vasiliev, M. Lyubutina, S. Yagupov, Y. Mogilenec, K. Seleznyova, M. Strugatsky // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2021. – Vol. 889. – P. 161702.

5. Снегирёв, Н.И. Влияние магнитной доменной структуры на поляризационные эффекты в мёссбауэровских спектрах монокристаллов бората железа  $\text{FeBO}_3$  / Н.И. Снегирёв, М.А. Чуев, И.С. Любутин, С.С. Старчиков, С.В. Ягупов, и М.Б. Стругацкий // *Письма в журнал экспериментальной и теоретической физики*. – 2023 – № 10 – С. 770-776.



На диссертацию и автореферат поступило **5 положительных отзывов**.

**1. Кубрин Станислав Петрович** – к.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник отдела аналитического приборостроения НИИ физики ЮФУ, – без замечаний.

**2. Овчинников Сергей Геннадьевич** – д.ф.-м.н., профессор, заведующий лабораторией физики магнитных явлений Института физики им. Л.В. Киренского СО РАН; **Казак Наталья Валерьевна** – к.ф.-м.н., старший научный сотрудник лаборатории физики магнитных явлений Института физики им. Л.В. Киренского СО РАН, – без замечаний.

**3. Зубов Виктор Евгеньевич** – д.ф.-м.н., профессор, главный научный сотрудник физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, – без замечаний.

**4. Мухамеджанов Энвер Хамзяевич** – д.ф.-м.н., советник президента Центра по синхротронно-нейтронным исследованиям НИЦ «Курчатовского института» отметил следующее замечание:

Можно отметить не вполне удачный термин «значения параметров сверхтонкого взаимодействия монокристалла». Сверхтонкое взаимодействие – это взаимодействие мёссбауэровского ядра с его окружением, но не монокристалла.

**5. Гиппиус Андрей Андреевич** – д.ф.-м.н., профессор, главный научный сотрудник Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, – без замечаний.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается** тем, что оппоненты являются ведущими специалистами в области кристаллографии, физики твердого тела и структурных методов исследования, в частности, электронной микроскопии, а в ведущей организации активно проводятся работы по получению и исследованию структуры и свойств неорганических материалов и наноструктур.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований** определены диапазоны структурной стабильности и изучена трансформация фаз в кристаллах  $\text{FeVO}_3$  и  $\text{Fe}_{1-x}\text{Ga}_x\text{VO}_3$  при воздействии высоких температур в различных химических средах. Было установлено, что изоморфное замещение железа на галлий в кристалле  $\text{FeVO}_3$  приводит к понижению степени структурного совершенства твердых растворов  $\text{Fe}_{1-x}\text{Ga}_x\text{VO}_3$  по сравнению с кристаллами «чистых» фаз  $\text{FeVO}_3$  и  $\text{GaVO}_3$ .

Показано, что наличие в кристалле  $\text{FeVO}_3$  магнитоупругих взаимодействий приводит к уширению рентгеновских кривых дифракционного отражения, расщеплению рефлексов в узлах обратной решетки и к различному характеру теплового расширения выше и ниже точки магнитного перехода.

Из экспериментальных мёссбауэровских спектров и результатов их компьютерной обработки определены значения параметров сверхтонкого взаимодействия монокристаллов бората железа  $\text{FeVO}_3$  в широком диапазоне температур,

включая область магнитного фазового перехода. Изучено влияние магнитной доменной структуры на поляризационные эффекты в мёссбауэровских спектрах  $\text{FeVO}_3$ . Показано, что даже небольшая концентрация примесного диамагнитного галлия существенно влияет на кристаллическую структуру и магнитные свойства монокристаллов  $\text{FeVO}_3$ . В частности, кристаллы  $\text{Fe}_{1-x}\text{Ga}_x\text{VO}_3$  отличаются повышенной антиферромагнитной восприимчивостью. Введение галлия в структуру  $\text{FeVO}_3$  ведет к существенному изменению сверхтонкой структуры ядер  $^{57}\text{Fe}$ , что выражается в появлении дополнительных компонент и сложной температурной зависимости мёссбауэровских спектров монокристаллов  $\text{Fe}_{1-x}\text{Ga}_x\text{VO}_3$ .

**Теоретическая значимость исследования подтверждается тем, что в ней изучен механизм фазовых и структурных трансформаций в кристаллах на основе борате железа при воздействии высоких температур в различных химических средах. Кроме того, обнаружены эффекты влияния магнитоупругих взаимодействий на степень совершенства кристаллов  $\text{FeVO}_3$ , параметры дифракционных отражений и характер теплового расширения. Проведено исследование поляризационные эффектов в мёссбауэровских спектрах бората железа  $\text{FeVO}_3$  и их связи с магнитной доменной структурой, что позволило получить информацию о конфигурации магнитных доменов. Установлены эффекты влияния допирования галлием кристаллов  $\text{FeVO}_3$  на кристаллическую структуру, параметры дифракционных отражений и магнитные свойства.**

**Значение полученных соискателем результатов исследований для практики подтверждается прежде всего тем, что кристаллы  $\text{FeVO}_3$  и  $\text{Fe}_{1-x}\text{Ga}_x\text{VO}_3$  могут применяться в качестве монохроматоров синхротронного излучения для ядерно-резонансных методов исследования материалов. Полученные результаты будут способствовать развитию метода синхротронной мёссбауэровской спектроскопии, которая является эффективным способом изучения структурных и физико-химических свойств материалов и нанообъектов, в том числе в экстремальных условиях высоких давлений, низких и высоких температур. Важнейшим применением такого метода является исследование новых высоко-энергонасыщенных материалов и сверхпроводников, создаваемых в условиях высоких давлений. В рамках национальных научных проектов такая методика запланирована к реализации в перспективных российских синхротронных центрах «Протвино» и «СКИФ».**

**Оценка достоверности результатов диссертационной работы выявила, что в работе было использовано современное измерительное и аналитическое оборудование, а также специализированное программное обеспечение для обработки и анализа экспериментальных данных. Полученные в диссертационной работе результаты хорошо согласуются между собой и с известными литературными экспериментальными данными по теме диссертации. Достоверность результатов подтверждается многочисленными**



публикациями результатов работы в высокорейтинговых международных научных журналах и докладами на международных научных конференциях.

**Личный вклад соискателя состоит в** подборе экспериментальных методик и разработке стратегии исследования, проведении работ по выращиванию кристаллов (в составе научной группы), разработке экспериментальной установки и выполнении экспериментов по отжигу образцов, аттестации кристаллов с помощью рентгенофазового и рентгенофлуоресцентного анализа, участию в экспериментах по высокоразрешающей рентгеновской дифрактометрии, проведении мёссбауэровских исследований и компьютерной обработке результатов, анализе и обобщению всех данных, подготовке и написанию научных статей и отчетов, в участии в конференциях с докладами.

Диссертация отвечает на ключевые вопросы поставленной научной проблемы и соответствует критерию внутреннего единства. Объединяющим фактором и основной идейной линией является изучение свойств монокристаллов семейства боратов железа, которые чрезвычайно востребованы в новых высокотехнологичных отраслях. Результатом проведенных комплексных исследований является сведения об атомной структуре, параметрах дифракционных отражений и магнитных свойствах кристаллов  $\text{FeVO}_3$  и  $\text{Fe}_{1-x}\text{Ga}_x\text{VO}_3$ .

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая полностью соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения учёных степеней, утверждённым постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в действующей редакции).

На заседании 05 октября 2023 года диссертационный совет принял решение присудить Снегирёву Никите Игоревичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.20. – «кристаллография, физика кристаллов».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 5 докторов наук по специальности 1.3.20. – «кристаллография, физика кристаллов», участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 17, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Заместитель председателя диссертационного совета,  
доктор физико-математических наук

В.М. Каневский

Учёный секретарь диссертационного совета,  
кандидат физико-математических наук

К.В. Фролов

«05» октября 2023 г.

Ученый секретарь  
ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН  
кандидат физико-математических наук



А.Е. Крюкова