ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 004.003.01 НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ФИЗИКИ МЕТАЛЛОВ ИМЕНИ М.Н. МИХЕЕВА УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ИФМ УрО РАН) МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 14.05.2021, № 7

О присуждении Урусовой Наталье Вадимовне, гражданке России, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Структурное состояние и магнитные свойства магнитоэлектриков на основе $LiNi_{1-x}M_xPO_4$» по специальности 01.04.11 – Физика магнитных явлений принята к защите 26.02.2021, протокол № 4, диссертационным советом Д 004.003.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук (ИФМ УрО РАН), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 620108, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 18, приказы Минобрнауки РФ № 714/нк от 02.11.2012 и № 188/нк от 26.02.2015.

Соискатель Урусова Наталья Вадимовна, 1992 года рождения, в 2015 году соискатель окончила Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский федеральный университет им. первого Президента Б.Н. Ельцина» по направление подготовки 03.04.02 «Физика». Урусова Н.В. освоила программу подготовки научно-педагогических кадров в очной аспирантуре при Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования

«Уральском федеральном университете им. первого Президента Б.Н. Ельцина», год окончания аспирантуры 2019, работает в должности научного сотрудника в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте химии твердого тела Уральского отделения Российской академии наук Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре магнетизма и магнитных наноматериалов Института естественных наук и математики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Уральского федерального университета им. первого Президента Б.Н. Ельцина».

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук Пирогов Александр Николаевич работает профессором-исследователем кафедры магнетизма и магнитных наноматериалов ИЕНиМ ФГАОУ ВО «Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», старшим научным сотрудником отдела работ на атомном реакторе (ОРАР) (Обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в г. Заречном).

Официальные оппоненты:

1) Курбаков Александр Иванович, доктор физико-математических наук, руководитель отделения нейтронных исследований ФГБУ «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ), г. Гатчина;

2) Медведев Михаил Владимирович, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник лаборатории теоретической физики ФГБУН

«Институт электрофизики» Уральского отделения Российской академии наук (ИЭФ УрО РАН), г. Екатеринбург

–дали положительные отзывы о диссертации Н.В. Урусовой.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Челябинский государственный университет», г. Челябинск, в своем положительном заключении, подписанном Бучельниковым Василием Дмитриевичем, доктором физико-математических наук, профессором, заведующим кафедрой конденсированного состояния, указала, что «Диссертация содержит большой и хорошо обсуждённый экспериментальный материал, она логично построена, её структура и содержание соответствуют цели и задачам исследования. Она достаточно хорошо оформлена, исключая относительно небольшое число опечаток и стилистических неточностей. Личный вклад автора не вызывает сомнения. Автореферат полностью отражает содержания диссертации.

Диссертация Урусовой Натальи Вадимовны «Структурное состояние и магнитные свойства магнитоэлектриков на основе $LiNi_{1-x}M_xPO_4$» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой получены новые результаты. По актуальности темы исследования, научной новизне, практической значимости и достоверности полученных результатов, обоснованности выводов и положений, представленная диссертационная работа удовлетворяет требования п. 9 «Положения о присуждении степеней» ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Урусова Наталья Вадимовна заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 – Физика магнитных явлений».

Соискатель имеет 25 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 17 работ, из них статей, опубликованных в рецензируемых российских и зарубежных научных изданиях и входящих в перечень ВАК– 7,

тезисов докладов в материалах российских и международных конференций – 10. Общий объем научных изданий 13.32 печатных листов.

В результате проведённых исследований автором установлено влияние концентрации и типа замещающих ионов 3*d*-переходного металла на структурное состояние, магнитное упорядочение и магнитные свойства литиевых ортофосфатов Li*M*PO_4 (*M* = Ni, Co, Fe, Mn).

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Raman analysis and crystal structure of polycrystalline $LiNi_{1-x}Co_xPO_4$ (x = 0-0.5) / M.A. Semkin, N.V. Urusova, M. Rajesh Kumar, N.A. Kulesh, M.O. Kalinkin, K.V. Grzhegorzhevskii, D.K. Kuznetsov, A.A. Ostroushko, A.N. Pirogov // Appl. Phys. A – 2021. – Vol. 127. – No. 67 – P. 1-11.
2. Structure and magnetic properties of $LiNi_{1-x}Co_xPO_4$ magnetoelectrics with x = (0, 0.1, and 0.2) / M.A. Semkin, N.V. Urusova, S. Lee, M.O. Kalinkin, D.K. Kuznetsov, N.A. Kulesh, D.S. Neznakhin, D.G. Kellerman, A.N. Pirogov // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1389. – P. 012050-6.
3. Analysis of migration maps and features of magnetic properties of $LiNi_{0.9}M_{0.1}PO_4$ (*M* = Co, Mn) single crystals / N. Urusova, M. Semkin, M. Kratochvilova, J. Barykina, A. Volegov, J.-G. Park, S. Lee, A. Pirogov // J. Alloys Compd. – 2019. – Vol. 781. – P. 571-581.
4. Structure and properties of various fast neutron irradiated magnets / S. Lee, V.D. Parkhomenko, Yu.N. Skryabin, S.G. Bogdanov, A.P. Nosov, A.E. Teplykh, N.V. Kudrevatykh, A.L Kholkin, M.A. Semkin, N.V. Urusova, A.N. Pirogov // Physica B: Cond. Mat. – 2018. – Vol. 551. – P. 132-136.
5. Magnetic ordering and crystal structure of Li*M*PO_4 compounds with *M* = (Mn, Fe, Ni/Mn and Ni/Co) / N.V. Urusova, M.A. Semkin, S. Lee, J.A. Barykina, D.G. Kellerman, A.E. Teplykh, A.N. Pirogov, A.S. Volegov, Yu.N. Skryabin // Ferroelectrics. – 2017. – Vol. 509. – P. 74-79.
6. Magnetic and soft X-ray absorption spectroscopy characterization of Mn and Co doped lithium nickel phosphate $LiNiPO_4$ / V.R. Galakhov, V.V Mesilov,

S. Shamin, N. Urusova, Yu. Barykina, D. Kellerman // Phys. Status Solidi B. – 2017. – Vol. 254(4). – P. 1600264-6.

7. Magnetic properties of lithium-transition metal orthophosphates / M. Semkin, K.-Y. Choi, H. Sim, N. Urusova, A. Volegov, J. Barykina, D. Kellerman, J.-G. Park, A. Pirogov // AIP Conference Proceedings. – 2016. – Vol. 1767. – P. 020035-8.

На диссертацию и автореферат поступило 5 отзывов. Все отзывы положительные. В них отмечается актуальность темы диссертационной работы, научная новизна полученных результатов, их теоретическая и практическая значимость.

Отзывы без замечаний поступили: от Гареевой Зухры Владимировны, д.ф.-м.н, доцента, заведующего лабораторией теоретической физики Института физики молекул и кристаллов – обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИФМК УФИЦ РАН), г. Уфа.

Замечания содержатся в следующих отзывах:

1. От Сергея Владимировича Наумова к.ф.-м.н., старшего научного сотрудника лаборатории магнитных полупроводников ФГБУН Института физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург.

Замечания: 1) «В автореферате указано, что химический состав (соотношение Ni/Co) в поликристаллических образцах $LiNi_{1-x}Co_xPO_4$ (x = 0-0.8) был измерен с помощью рентгеновского флуоресцентного спектрометра. Представляется уместным определить катионный состав и в монокристаллах, т.к. в монокристаллах катионный состав вполне может отличаться от номинального.»

2) «В работе следовало бы больше внимания уделить изучению кислородной нестехиометрии ортофосфатов, т.к. от кислородного индекса могут зависеть структурные характеристики.»

2. От Елены Леонидовны Усовой, к.х.н., доцента кафедры общей и специальной химии Строительного института ФГБОУ ВО «Тюменского индустриального университета», г. Тюмень.

Замечания: 1) «В автореферате нет информации о причине выбора двух различных методов синтеза поликристаллических образцов $LiNi_{1-x}M_xPO_4$.»

2) «В автореферате указано, что значения параметров элементарной ячейки и её объёма для поли- и монокристаллических образцов совпадают в пределах погрешности. Данные об этих значения даны для поликристаллических образцов, но не представлены для монокристаллов.»

3 От Эдуарда Зуфаровича Валиева, д.ф.-м.н., ведущего научного сотрудника отдела работ на атомном реакторе Обособленного подразделения ФГБУН Института физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург.

Замечание: «Одно небольшое замечание по поводу оформления автореферата: по моему мнению, рис. 4(а) без дополнительных пояснений мало-информативен, и может быть исключен из текста автореферата.»

4 От Александра Ильича Меренцова, к.ф.-м.н., старшего научного сотрудника лаборатории электрических явлений ФГБУН Института физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург.

Замечания: 1) «Несколько не понятна мотивация выбора монокристаллических образцов в качестве объектов исследования. В чём заключается преимущество монокристаллов по сравнению с поликристаллами в ситуации магнитоэлектриков?»

2) «Из текста автореферата не ясно состояние проблемы литиевых ортофосфатов на основании литературных данных. Это затрудняет понимание того, какие результаты являются действительно новыми. Тем не менее, не сомневаюсь, что выводы о новизне полученных результатов легко сделать при прочтении полного текста диссертации.»

3) «Поскольку в качестве допантов в работе выбраны три 3d-переходных металла (Fe, Co, Mn), хотелось бы понимать, как степень заполнения 3d-оболочки допанта влияет на магнитные свойства $LiNi_{1-x}M_xPO_4$. В автореферате приведены концентрационные срезы по каждому допанту в отдельности, однако не приведено сравнение свойств материалов при одинаковой концентрации, но разной степени заполнения 3d-оболочки.»

4) «В качестве одного из допантов указано железо, однако в тексте автореферата не приведены данные по влиянию его концентрации на кристаллическую и магнитную структуру, а также магнитные свойства ортоосфатов лития. Приведены ли эти данные в основном тексте диссертационной работы?»

Выбор официальных оппонентов доктора физико-математических наук, А.И. Курбакова, доктора физико-математических наук, М.В. Медведева, а также ведущей организации обосновывается публикациями оппонентов, тематикой структурного подразделения ведущей организации и публикациями доктора физико-математических наук В.Д. Бучельникова, относящимися к сфере исследований, которым посвящена диссертация.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. Показано, что частично-замещённые ортофосфаты $LiNi_{1-x}M_xPO_4$ (M = Co, Mn) являются низкотемпературными антиферромагнетиками, в которых в узком интервале температур ниже температуры Нееля формируется несоизмеримая антиферромагнитная структура, переходящая при охлаждении в соизмеримую магнитную структуру.
2. Установлено, что в ортофосфате $LiNi_{0.9}Co_{0.1}PO_4$ несоизмеримая антиферромагнитная структура сосуществует с соизмеримой антиферромагнитной структурой.
3. Обнаружено немонотонное концентрационное изменение температуры Нееля в системе $LiNi_{1-x}Co_xPO_4$.

4. Построена магнитная H–T фазовая диаграмма для ортофосфата $LiNi_{0.9}Co_{0.1}PO_4$. Показано, что внешнее магнитное поле, приложенное вдоль оси лёгкого намагничивания, приводит к уменьшению температур фазовых переходов от соизмеримой антиферромагнитной структуры к несоизмеримой, а также от несоизмеримой структуры к парамагнитному состоянию; при приложении магнитного поля (до 7 Тл) вдоль оси трудного намагничивания изменения температур магнитных фазовых переходов не обнаружено.

5. Установлено, что замещение ионов Ni в $LiNiPO_4$ ионами Co (при концентрации выше 50 %) или ионами Mn (при концентрации выше 10 %) подавляет несоизмеримую антиферромагнитную фазу.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что результаты данной работы развивают современные представления о физических свойствах литиевых ортофосфатов и могут быть использованы при построении теоретических моделей магнитного упорядочения и магнитоэлектрических взаимодействий в соединениях $LiMPO_4$ (M = Ni, Co, Fe, Mn).

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что полученные подробные данные о структурном состоянии и температурах магнитных фазовых переходов представляют интерес при разработке новых функциональных материалов на основе литиевых ортофосфатов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что экспериментальные результаты, полученные с помощью различных широко апробированных методик, с использованием надежно аттестованных образцов, хорошо воспроизводимы; экспериментальные данные корректно обработаны; данные исследований согласуются между собой и не противоречат известным научным представлениям и результатам; выводы

работы не имеют принципиальных расхождений с имеющимися экспериментальными и теоретическими данными других исследователей;

Личный вклад соискателя состоит в участии в постановке цели и задач исследования, в синтезе образцов, в проведении рентгеновских дифракционных исследований структуры монокристаллических образцов $LiNi_{1-x}M_xPO_4$ и измерений их магнитных свойств с помощью СКВИД магнитометра, в участии в проведении нейтронографических экспериментов, в выполнении расчетов структурных параметров по данным рентгеновской и нейтронной дифракции, в уточнении магнитных структур и определении магнитных моментов и в выполнении анализа результатов измерений намагниченности и теплоёмкости.

Диссертация представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой содержится решение актуальной задачи исследования влияния концентрации и типа замещающих ионов 3*d*-переходного металла на структурное состояние, магнитное упорядочение и магнитные свойства литиевых ортофосфатов $LiMPO_4$ (M = Ni, Co, Fe, Mn), и соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842. с изменениями от 21.04.2016 г. № 335.

На заседании 14.05.2021 года, проведённом в удаленном (очно-заочном интерактивном) режиме, диссертационный совет принял решение присудить Урусовой Наталье Вадимовне учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении открытого голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации 01.04.11 – Физика магнитных явлений, 6 докторов наук по специальности 01.04.11 – Физика конденсированного

состояния, 6 докторов наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту – нет, проголосовали: за – 18, против – нет, «воздержался» – нет.

Председатель заседания, зам. председателя диссертационного совета
доктор физ.-мат. наук А.П. Носов

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор физ.-мат. наук Т.Б. Чарикова

17 мая 2021 г.