

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.285.24,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ПЕРВОГО
ПРЕЗИДЕНТА РОССИИ Б.Н. ЕЛЬЦИНА»,
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 21 июня 2018 г. № 6

О присуждении Аникину Максиму Сергеевичу, гражданство Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Магнитные и магнитокалорические свойства квазибинарных соединений с тяжелыми РЗМ типа RT_2 ($T = Fe, Co, Ni$)» по специальности 01.04.11 – Физика магнитных явлений принята к защите 18 апреля 2018 г. (протокол заседания № 3) диссертационным советом Д 212.285.24, на базе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Министерство образования и науки Российской Федерации, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19; приказ Министерства образования и науки Российской Федерации о создании диссертационного совета № 714/нк от 02 ноября 2012 г.

Соискатель Аникин Максим Сергеевич, 1989 года рождения.

В 2013 году соискатель окончил ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» по направлению подготовки 011200 Физика; в 2017 году окончил очную аспирантуру

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» по специальности 01.04.11 – Физика магнитных явлений; работает в должности младшего научного сотрудника отдела магнетизма твёрдых тел НИИ физики и прикладной математики Института естественных наук и математики ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Министерство образования и науки Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре магнетизма и магнитных наноматериалов и в отделе магнетизма твердых тел НИИ физики и прикладной математики Института естественных наук и математики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Министерство образования и науки Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, Кудреватых Николай Владимирович, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого президента России Б.Н. Ельцина», Институт естественных наук и математики, НИИ физики и прикладной математики, отдел магнетизма твердых тел, заведующий отделом.

Официальные оппоненты:

Коледов Виктор Викторович, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН (г. Москва), лаборатория магнитных явлений в микроэлектронике, ведущий научный сотрудник;

Алиев Ахмед Магомедович, кандидат физико-математических наук, ФГБУН «Институт физики им. Х.И. Амирханова» Дагестанского научного центра РАН (г. Махачкала), лаборатория физики низких температур и магнетизма, заведующий лабораторией, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Челябинский

государственный университет», в своем положительном отзыве, подписанном *Бучельниковым Василием Дмитриевичем*, доктор физико-математических наук, профессор, кафедра физики конденсированного состояния, заведующий кафедрой и *Таскаевым Сергеем Валерьевичем*, доктор физико-математических наук, доцент, физический факультет, декан, указали, что «По актуальности темы исследования, научной новизне, практической значимости и достоверности полученных результатов, обоснованности выводов и положений, представленная диссертационная работа «Магнитные и магнитокалорические свойства квазибинарных соединений с тяжелыми РЗМ типа RT_2 ($T = Fe, Co, Ni$)» полностью удовлетворяет требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, *Аникин Максим Сергеевич*, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений.

Соискатель имеет 24 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 24 работы, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 7 работ. Другие публикации по теме диссертации представлены в виде 1 патента на полезную модель и 16 тезисов докладов, опубликованных в материалах всероссийских (6) и международных (10) конференций. Общий объем работ, опубликованных по теме диссертации, составляет 6.70 п.л. / 1.18 п.л. авторский вклад. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации:

1. *Anikin M.S., Tarasov E.N., Kudrevatykh N.V., Osadchenko V.H., Zinin A.V.* About the role of Fe-ions in the formation of magnetocaloric effect in $Ho(Co_{1-x}Fe_x)_2$ compounds // Acta Phys. Pol., A. – 2015. – V. 127. – PP. 635-637; 0.36 п.л. / 0.07 п.л. (Scopus, Web of Science).

2. *Anikin M.S., Tarasov E.N., Kudrevatykh N.V., Zinin A.V.* Untypical temperature dependence of the magnetocaloric effect in the $Dy(Co_{1-x}Fe_x)_2$ ($x = 0.10$;

0.15) compounds // Sol St Phen. – 2015. – V. 233-234. – PP. 247-250; 0.45 п.л. / 0.11 п.л. (Scopus).

3. Anikin M.S., Tarasov E.N., Kudrevatykh N.V., Inishev A.A., Zinin A.V., Teplykh A.E., Pirogov A.N. Magnetic structure and magnetocaloric properties of $\text{Ho}(\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x)_2$ quasibinary intermetallic compounds // Physcs Proc. – 2015. – V. 75. – PP. 1198-1206; 1.04 п.л. / 0.15 п.л. (Scopus, Web of Science).

4. Anikin M.S., Tarasov E.N., Kudrevatykh N.V., Inishev A.A., Semkin M.A., Volegov A.S., Zinin A.V. Features of magnetic and thermal properties of $\text{R}(\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x)_2$ ($x \leq 0.16$) quasibinary compounds with $\text{R} = \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}$ // J Magn Magn Mater. – 2016. – V. 418. – PP. 181–187; 0.81 п.л. / 0.12 п.л. (Scopus, Web of Science).

5. Anikin M.S., Tarasov E.N., Kudrevatykh N.V., Semkin M.A., Volegov A.S., Inishev A.A., Zinin A.V. Features of Magnetocaloric Effect in $\text{Er}(\text{Co-Fe})_2$ Laves phases // KnE Materials Science. – 2016. – PP. 5-10; 0.69 п.л. / 0.10 п.л. (Web of Science).

6. Anikin M.S., Tarasov E.N., Kudrevatykh N.V., Semkin M.A., Volegov A.S., Inishev A.A., Zinin A.V. Features of magnetocaloric effect in rare-earth based $\text{R}(\text{Co-Fe})_2$ Laves phases, with $\text{R} = \text{Ho}, \text{Er}$ // Refr Sci T. – 2016. – PP. 236-239; 0.46 п.л. / 0.06 п.л. (Scopus, Web of Science).

7. Anikin M.S., Tarasov E.N., Kudrevatykh N.V., Inishev A.A., Semkin M.A., Volegov A.S., Zinin A.V. Magnetic and magnetocaloric properties of $\text{Gd}(\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_x)_2$ quasi-binary Laves phases with $x = 0.04 \div 0.16$ // J Magn Magn Mater. – 2018. – V. 449. – PP. 353–359; 0.81 п.л. / 0.12 п.л. (Scopus, Web of Science).

На автореферат диссертации поступили положительные отзывы от:

Кучина Анатолия Георгиевича, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН (г. Екатеринбург), лаборатория ферромагнитных сплавов, ведущий научный сотрудник. Отзыв не содержит замечаний и вопросов.

Никитина Сергея Александровича, Заслуженный профессор МГУ, доктор физико-математических наук, профессор кафедры общей физики и физики конденсированного состояния; и *Панкратова Николая Юрьевича*, кандидат

физико-математических наук, старший научный сотрудник кафедры общей физики и физики конденсированного состояния, Физический факультет, ФГБОУ ВО Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова. В отзыве содержится замечание:

Следовало бы провести сопоставление величин хладоемкости и МКЭ, полученных автором для исследованных соединений, с аналогичными характеристиками в других классах магнитокалорических материалов, в том числе с материалами обладающих переходами первого рода. Это позволило бы найти области применения изученных соединений.

Карпенкова Дмитрия Юрьевича, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник кафедры функциональных наносистем и высокотемпературных материалов, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (г. Москва). В отзыве содержится замечание:

Аникин упоминает хладоемкость (q) как параметр для оценки эффективности использования магнитокалорического материала. Однако, из мировой литературы известно, что q является неверным описанием применимости магнитокалорического материала. Более того, в последней книге Андрея Китановского «Преобразование магнитокалорической энергии от теории к приложениям», автор полностью игнорирует эту величину. Стоит отметить, что большинство недавно созданных прототипов магнитных рефрижераторов основаны на цикле активного магнитного регенератора (AMP). Поскольку использование последнего обеспечивает наибольшее значение рабочего диапазона температур. Для применения в AMP циклах магнитокалорический материал должен обладать большим значением адиабатического изменения температуры (ΔT_{ad}), нежели изотермического изменения энтропии. Это объясняется требованиями к максимизации процесса теплопередачи, между материалом и теплопередающей средой. К тому же, принимая во внимание определение AMP, трудно представить, что разница между горячим и холодным концом регенеративной колонны в устройстве с

использованием исследуемых материалов может достигать 150-300 °С при максимально $\Delta T_{ad} = 0.6$ К/Тл в материале. Таким образом, это не позволяет отнести исследуемые соединения к разряду перспективных материалов для изготовления рабочих тел магнитных холодильных устройств (рефрижераторов) функционирующих в районе комнатной и ниже температур.

Герасимова Евгения Германовича, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории ферромагнитных сплавов «ФГБУН Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН (г. Екатеринбург). Отзыв не содержит замечаний и вопросов.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широкой известностью и достижениями в области физики магнитных явлений, наличием аналитических работ и цитируемых публикаций с результатами исследований магнитных материалов и способностью определить научную и практическую значимость диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Установлено, что во всех исследованных соединениях $R(\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x)_2$ с увеличением концентрации железа (x) увеличивается параметр кристаллической решетки (a) и до $x = 0.80$ температуры Кюри (T_C). Все соединения испытывают фазовый переход второго рода за исключением соединений с $R\text{Co}_2$, где $R = \text{Dy}, \text{Ho}, \text{и Er}$.

На температурных зависимостях высокополевой восприимчивости $\chi_{hf}(T)$ железосодержащих соединений $R(\text{T}_{1-x}\text{Fe}_x)_2$, где $R = \text{Gd}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{T} = \text{Co}, \text{Ni}$, *обнаружено* появление второго низкотемпературного максимума при температурах $\ll T_C$. Его появление связывается с ориентационным упорядочением внешним магнитным полем магнитных моментов атомов R-подрешетки, частично разрушенного тепловыми флуктуациями вследствие слабого межподрешеточного R-3d обменного взаимодействия. Что подтверждено нейтронографическим методом на соединении $\text{Ho}(\text{Co}_{0.88}\text{Fe}_{0.12})_2$.

Показано, что температурные зависимости теплоемкости $C_p(T)$ соединений с железом имеют значительный магнитный вклад в теплоемкость (C_{mag}) наблюдаемый в широкой области температур ниже T_C . Такое поведение $C_{mag}(T)$ указывает на значительное снижение степени магнитного порядка в подсистеме редкоземельных ионов исследованных соединений, в широкой области температур ниже температуры Кюри.

На температурных зависимостях изменения магнитной части энтропии – $\Delta S_m(T)$ квазибинарных соединений $R(\text{Co-Fe})_2$ обнаружено уширение максимумов $\Delta S_m(T)$ с ростом концентрации Fe, при увеличении атомного номера редкоземельного металла, и при увеличении напряженности внешнего магнитного поля. Аналогичное уширение максимумов экспериментально обнаружено при прямом измерении адиабатического изменения температуры (ΔT_{ad}).

Установлено, что в соединениях $\text{Gd}(\text{Ni-Fe})_2$ наблюдаемые особенности магнитных и магнитотепловых свойств более ярко выражены, чем в системах с кобальтом, что может быть связано с меньшей энергией обменного взаимодействия R-Ni, по сравнению с R-Co. В целом, выявленные особенности $\Delta S_m(T)$, $C_p(T)$ и $\Delta T_{ad}(T)$ у всех изученных соединений с железом можно качественно интерпретировать в рамках модели «слабой магнитной подрешетки» К.П. Белова.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

На основе полученных температурных зависимостей магнитного вклада в теплоемкость и магнитокалорического эффекта в соединениях типа $R(\text{T}_{1-x}\text{Fe}_x)_2$, где R – тяжелые редкоземельные металлы, T = Co, Ni, и их зависимостей от концентрации железа (x), напряженности внешнего магнитного поля и атомного номера редкоземельного элемента можно построить модель или провести расчет энергий межподрешеточного и внутримолекулярного обменных взаимодействий данных соединений.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

Найдено шесть соединений составов $\text{Ho}(\text{Co}_{0.88}\text{Fe}_{0.12})_2$, $\text{Ho}(\text{Co}_{0.84}\text{Fe}_{0.16})_2$ и $\text{Gd}(\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_x)_2$ ($x = 0.04-0.16$), у которых величины хладоемкости – (q) и ширина максимума $\Delta S_m(T)$ или $\Delta T_{ad}(T)$ на полувысоте (ΔT_{FWHM}) превышают аналогичные параметры для металлического Gd, и как следствия данные соединения могут быть использованы для изготовления рабочих тел магнитных холодильных устройств (рефрижераторов) работающих по циклу Эриксона. Так же, полученные данные будут полезны при разработке новых более эффективных и дешевых магнитокалорических материалов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

Достоверность полученных результатов обеспечивалась за счет аттестации образцов современными методами, измерением кристаллической и магнитной структуры, магнитных и магнитотепловых свойств образцов с использованием современных методик и оборудования, согласованностью результатов между собой и с имеющимися литературными данными.

Личный вклад соискателя:

Соискатель принимал активное участие в постановке задач, методическом обеспечении экспериментов и их проведении. Соискателем лично сделано следующее: синтезирована большая часть материалов; проведены все измерения их намагниченности на температурном вибромагнитометре 7407 VSM (Lake Shore Cryotronics, США); все измерения адиабатического изменения температуры прямым способом на установке MagEq MMS SV3 (AMT&C, Россия); выполнена большая часть обработки экспериментальных данных и их физическая интерпретация. Также автор активно участвовал в обсуждении и подготовке публикаций по теме диссертации.

Диссертационная работа Аникина Максима Сергеевича соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней и является значимой научно-квалификационной работой, в которой решена важная научная задача определение причин возникновения уширенных пиков магнитного вклада в теплоемкость и магнитокалорического эффекта в соединениях типа $\text{R}(\text{T}_{1-x}\text{Fe}_x)_2$, где R – тяжелые редкоземельные металлы, T = Co, Ni, и установление

зависимости этих свойств от концентрации железа (х), напряженности внешнего магнитного поля и атомного номера редкоземельного элемента в данных соединениях. Полученные в ней результаты характеризуются высокой степенью новизны и практической значимостью для развития физики магнитных явлений.

На заседании 21 июня 2018 года диссертационный совет принял решение присудить Аникину М.С. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 15 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета

21 июня 2018 г.



Памятных Евгений Алексеевич

Свчинников Александр Сергеевич