

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.133.01,
СОЗДАННОГО 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 ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ
НАУК**

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 13.10.2023, № 9

О присуждении Ваулину Артёму Александровичу, гражданину России, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Несоизмеримые магнитные структуры и ближний магнитный порядок в редкоземельных интерметаллидах Ho_3Co , Ho_7Rh_3 , $R_5\text{Pd}_2$ ($R = \text{Ho}, \text{Er}$)» по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений принята к защите 23.06.2023, протокол № 4, диссертационным советом 24.1.133.01, созданным 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 Ваулин Артём Александрович, 1993 года рождения, в 2018 году окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» по специальности «Физика». Ваулин А.А. освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в очной аспирантуре при Федеральном

государственном бюджетном учреждении науки Институте физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург, год окончания аспирантуры 2022, работает в должности младшего научного сотрудника лаборатории перспективных магнитных материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург.

Диссертация выполнена в лаборатории перспективных магнитных материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург.

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, Губкин Андрей Фёдорович, ведущий научный сотрудник, заведующий лаборатории нейтронных исследований вещества Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург.

Официальные оппоненты:

- 1) Кокорина Елена Евгеньевна, кандидат физико-математических наук, ученый секретарь Института электрофизики Уральского отделения Российской академии наук, старший научный сотрудник лаборатории теоретической физики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института электрофизики Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург;
 - 2) Ховайло Владимир Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор кафедры функциональных наносистем и высокотемпературных материалов Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет МИСИС», г. Москва
- дали положительные отзывы на диссертацию А.А. Ваулина.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение Петербургский институт ядерной физики им. Б.П.

Константинова национального исследовательского центра «Курчатовский институт», г. Гатчина, в своем положительном заключении, подписанном Курбаковым Александром Ивановичем, доктором физико-математических наук, руководителем Отделения нейтронных исследований, заведующим Лабораторией исследования материалов, указала, что «диссертация представляет собой законченное научное исследование, выполненное на высоком уровне. Основные представленные к защите результаты являются новыми, актуальными и заслуживают общей положительной оценки работы. Материалы диссертации представляют интерес для исследователей, работающих в области физики магнетизма и магнитных явлений, а также материаловедении магнитных материалов. Качественные результаты работы могут быть использованы при анализе новых магнитных явлений и новых перспективных магнитных материалов.

Диссертация А.А. Ваулина «Несоизмеримые магнитные структуры и ближний магнитный порядок в редкоземельных интерметаллидах Ho_3Co , Ho_7Rh_3 , $R_5\text{Pd}_2$ ($R = \text{Ho}, \text{Er}$)» соответствует всем критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, установленным в «Положении о порядке присуждения ученых степеней», утверждённом постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года, № 842 с дополнениями от 21 апреля 2016 № 335, а сам Артём Александрович Ваулин безусловно заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12 – физика магнитных явлений».

Соискатель имеет 23 (11.66 п.л.) опубликованные работы, в том числе по теме диссертации 15 работ, из них статей, опубликованных в рецензируемых российских и зарубежных научных изданиях и входящих в перечень ВАК – 5, тезисов докладов в материалах российских и международных конференций – 10.

В результате проведённых исследований автором были решены задачи количественного описания несоизмеримых магнитных фаз и установления их влияния на магнитные, электрические и тепловые свойства четырех

бинарных редкоземельных интерметаллидов с высоким содержанием редкоземельного элемента: Ho_3Co , Ho_7Rh_3 , Ho_5Pd_2 и Er_5Pd_2 .

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Magnetic incommensurability, short-range correlations, and properties of Ho_7Rh_3 / A.F. Gubkin, A.A. Vaulin, T. Tsutaoka, A.F. Prekul, K. P. Skokov, N. V. Baranov // *Physical Review B*. – 2022. – Т. 106. – №. 13. – С. 134419.
2. Magnetic glassiness and crystal field effects on thermal and electrical properties of Er_5Pd_2 -type compounds / A.A. Vaulin, A.M. Chirkova, E.A. Sherstobitova, D.A. Shishkin, E.M. Sherokalova, K.P. Skokov, N.V. Baranov, A.F. Gubkin // *Intermetallics*. – 2022. – Т. 144. – С. 107519.
3. Low-temperature magnetic state of Ho_7Rh_3 studied by neutron diffraction and AC magnetic susceptibility / A.A. Vaulin, A.F. Prekul, T. Tsutaoka, N.V. Baranov, A.F. Gubkin // *Acta Crystallographica Section A: Foundations and Advances*. – 2021. – Т. 77. – С. C445-C445.
4. Анализ несоизмеримых магнитных структур редкоземельных интерметаллидов Tb_3Ni и Ho_7Rh_3 с использованием формализма групп магнитной суперсимметрии / А.Ф. Губкин, А.А. Ваулин, Т. Тсутаока, Н.В. Баранов // *Физика металлов и металловедение*. – 2019. – V. 120. – P. 1250 – 1256.
5. Квазибинарные интерметаллиды $(\text{Lu,Gd})_5\text{Pd}_2$: структурная аттестация и магнитные характеристики / А.А. Ваулин, Д.А. Шишкин, П.Б. Терентьев, Е.А. Шерстобитова, А.Ф. Губкин // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. – 2016. – Т. 13. – №. 1. – С. 43-48.

На диссертацию и автореферат поступило 4 отзыва:

1. От кандидата физико-математических наук, Алтынбаева Евгения Владимировича, заместителя Инжинирингового центра «Нейтронные технологии» по развитию НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ, г. Гатчина.

Замечание 1: «Избыточность количества исследуемых образцов».

Замечание 2: «Рекомендовано использование методов малоугловой нейтронной дифракции для точного определения параметров несоизмеримых магнитных структур».

2. От доктора физико-математических наук, Зверева Владимира Игоревича, научного сотрудника кафедры Магнетизма Физического факультета МГУ, г. Москва.

Замечание: «Эксперимент по малоугловому рассеянию нейтронов мог бы пролить свет на особенности эволюции необычного ближнего магнитного порядка при приложении внешнего магнитного поля в соединении Ho_5Pd_2 ».

3. От кандидата физико-математических наук, Волегова Алексея Сергеевича, доцента кафедры магнетизма и магнитных наноматериалов Института естественных наук и математики УрФУ, г. Екатеринбург. От кандидата физико-математических наук, Незнахина Дмитрия Сергеевича, научного сотрудника отдела магнетизма твердых тел НИИ Физики и прикладной математики Института естественных наук и математики УрФУ, г. Екатеринбург.

Замечание 1: «Непонятно отсутствие в автореферате информации о результатах исследований соединения $(\text{Lu}_{1-x}\text{Gd}_x)_5\text{Pd}_2$. Синтез этой группы соединений заявлен как одна из задач диссертации».

Замечание 2: «При описании фазовых переходов в соединении Ho_7Rh_3 автор говорит о «магнитном фазовом переходе с потерей операции «инверсии времени»». Не совсем понятно, что подразумевается под операцией «временной инверсией»».

Замечание 3: «Непонятно сформулировано утверждение «наблюдаемые частотные зависимости магнитной АС восприимчивости связаны с появлением магнитной вязкости в системе при возникновении слабой спонтанной намагниченности вдоль кристаллографического направления a »: магнитная вязкость свойственна магнитоупорядоченным состояниям с ненулевым суммарным магнитным моментом, однако она не всегда имеет частотную зависимость».

4. От кандидата технических наук, Пастухова Владимира Ивановича, начальника лаборатории конструкционных материалов и нанотехнологий АО «ИРМ», г. Екатеринбург.

Замечание 1: «К незначительному недостатку оформления печатной версии автореферата можно отнести неудачный выбор маркеров черно-белых иллюстраций, вследствие чего графики зависимостей сложно отличить друг от друга».

Замечание 2: «Автором указана задача по аттестации фазового состава и кристаллической структуры синтезированных образцов методом металлографии. Данный метод не является прямым для аттестации фазового состава, также его использование не упоминается в тексте автореферата».

Выбор официальных оппонентов доктора физико-математических наук, Ховайло Владимира Васильевича и кандидата физико-математических наук Кокориной Елены Евгеньевны, а также ведущей организации Федерального государственного бюджетного учреждения Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова национального исследовательского центра «Курчатовский институт», г. Гатчина, обосновывается публикациями оппонентов, тематикой структурного подразделения ведущей организации, относящимися к сфере исследований, которым посвящена диссертация.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. На примере соединения Ho_7Rh_3 впервые показано, что магнитный фазовый переход в магнитоупорядоченное состояние с несоизмеримой магнитной структурой в семействе бинарных редкоземельных интерметаллидов вида $R_7\text{Rh}_3$ может идти по одному неприводимому представлению $m\Delta_6$. Показано, что появление спонтанной намагниченности в области низких температур в интерметаллиде Ho_7Rh_3 связано с магнитным фазовым переходом в одну из подгрупп индекса 2: $Cmc'2_1'(00g)000$ или $Cm'c2_1'(00g)s0s$.

2. На примере соединения Ho_7Rh_3 впервые для семейства бинарных редкоземельных интерметаллидов типа $R_7\text{Rh}_3$ получены прямые доказательства существования ближнего антиферромагнитного порядка, сохраняющегося вплоть до температур, двукратно превышающих температуру Нееля $T_N \approx 32$ К.

3. Получены экспериментальные данные, подтверждающие существование пространственно-неоднородного низкотемпературного магнитного состояния в Ho_5Pd_2 . Показано, что приложение внешнего магнитного поля приводит к магнитоструктурному переходу в состояние с дальним ферромагнитным порядком и ромбоэдрической кристаллической структурой, описываемой пространственной группой $R-3m$.

4. Впервые показано, что соединение $\text{Er}_{4.8}\text{Pd}_2$ обладает рекордными значениями теплоемкости в области температур ниже 50 К. Получены количественные оценки основных вкладов в теплоемкость $\text{Er}_{4.8}\text{Pd}_2$. Установлено, что причина высоких значений низкотемпературной теплоемкости в данном соединении связана с комбинацией вкладов от эффекта кристаллического поля и пространственно-неоднородного магнитного состояния типа «кластерного стекла».

5. Установлено, что приложение внешнего магнитного поля до 70 кЭ подавляет низкотемпературную аномалию на температурной зависимости электросопротивления $\rho(T)$ и восстанавливает металлический характер проводимости в $\text{Er}_{4.8}\text{Pd}_2$. Величина магниторезистивного эффекта в области низких температур достигает значения $\Delta\rho(H)/\rho(0) = -2.8\%$, что связано с возникновением пространственно-неоднородного магнитного и электронного состояний при охлаждении ниже 40 К.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что были установлены механизмы возникновения спонтанной намагниченности в области низких температур в несоизмеримых антиферромагнетиках бинарных редкоземельных интерметаллидов Ho_3Co и Ho_7Rh_3 . Было показано, что эволюция гармонической спиновой волны для Ho_3Co по направлению к магнитной структуре типа «антифазных доменов» при охлаждении ниже $T_t \approx 11$ К порождает фазу «спинового проскальзывания» с раскомпенсацией антиферромагнитной подрешетки. Появление спонтанной намагниченности в области низких температур в интерметаллиде Ho_7Rh_3 связано с магнитным фазовым переходом в одну из подгрупп $Cmc'2_1'(00g)000$ или

$Sm'c2_1'(00g)s0s$. Полученные данные могут быть использованы при построения новых теоретических моделей для исследования эволюции магнитных структур в редкоземельных интерметаллидах.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что установленная модель магнитной структуры соединения Ho_7Rh_3 , построенная в рамках использования формализма магнитных суперпространственных групп, была оформлена в виде карточки по стандартизированной форме и внесена в международную базу данных магнитных структур MAGNDATA на Кристаллографическом сервере Университета Бильбао. На сегодняшний день это единственная карточка магнитной структуры соединений семейства R_7Rh_3 в базе данных MAGNDATA. Полученные результаты могут использоваться в дальнейших экспериментальных и теоретических исследованиях эффектов магнитного упорядочения в соединениях семейства R_7Rh_3 .

В работе показано, что соединение $Er_{4.8}Pd_2$ обладает высокой теплоемкостью в области температур ниже 50 К. Благодаря этому обстоятельству, соединение $Er_{4.8}Pd_2$ может использоваться при изготовлении регенераторов для рефрижераторов замкнутого цикла, работающих в области низких температур. Особый интерес представляет изготовление композитного материала $Er_3Ni + Er_{4.8}Pd_2$, поскольку Er_3Ni демонстрирует пик на теплоемкости при температуре $T_N \approx 6$ К, а $Er_{4.8}Pd_2$ демонстрирует широкий максимум при температурах ниже 50 К.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что экспериментальные исследования, представленные в диссертационной работе, проведены с помощью метрологически аттестованного оборудования и апробированных методик. Выводы, приведенные в работе, не противоречат литературным данным, опубликованным в открытой печати.

Личный вклад соискателя состоит в том, что постановка целей и задач исследования проводилась диссертантом Ваулиным А.А. совместно с научным руководителем к.ф.-м.н. Губкиным А.Ф. Автор принимал участие в

синтезе поликристаллических образцов Ho_3Co , Ho_7Rh_3 , Lu_5Pd_2 и $(\text{Lu}_{1-x}\text{Gd}_x)_5\text{Pd}_2$, выполнил синтез поликристаллических образцов Lu_5Pd_2 и $(\text{Lu}_{1-x}\text{Gd}_x)_5\text{Pd}_2$. Автором проведена фазовая и структурная аттестация полученных образцов методами нейтронографии и рентгенографии, выполнена подготовка образцов для измерений их макроскопических свойств, проведена обработка и анализ результатов экспериментальных данных. Автор принимал непосредственное участие в нейтрон-дифракционном эксперименте на образце Ho_5Pd_2 в Берлинском центре рассеяния нейтронов HZB, измерениях магнитной восприимчивости, удельной теплоёмкости и электросопротивления, участвовал пуско-наладочных работах, аттестации и эксперименте на дилатометрической опции для установки PPMS. Ваулиным А.А. разработан код в среде Python для анализа данных измерений теплоемкости и теплового расширения, проведено уточнение моделей кристаллической и магнитной структур по данным нейтронной и синхротронной дифракции при помощи программных пакетов FullProf Suite и JANA2006. Автор принимал непосредственное участие в обсуждении результатов, написании статей и тезисов докладов, представлял результаты на российских и международных конференциях.

Диссертация Ваулина Артема Александровича представляет собой научно-квалификационную работу, посвящённую исследованию магнитных, тепловых и электрических свойств редкоземельных интерметаллидов с высоким содержанием редкоземельного элемента, а также установлению роли несоизмеримых магнитных фаз в аномальном поведении магнитных, тепловых и электрических свойств данных систем, установлению магнитной структуры бинарных редкоземельных интерметаллидов при низких температурах с использованием дифракции тепловых нейтронов, и соответствует критериям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 (в редакции от 26.05.2022 г. № 751 с изменениями от 18.03.2023 г. № 415).

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

На заседании 13.10.2023, проведённом в очном режиме, диссертационный совет принял решение присудить Ваулину Артёму Александровичу учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации 1.3.12. Физика магнитных явлений, 6 докторов наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния, 5 докторов наук по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту – нет, проголосовали: «за» – 17, «против» – нет, «недейств.» – нет.

Председатель заседания,
заместитель председателя
диссертационного совета
доктор физ.-мат. наук



Handwritten signature in blue ink.

Н.Г. Бебенин

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор физ.-мат. наук



Handwritten signature in blue ink.

Т.Б. Чарикова

16 октября 2023 г.