

**ОТЗЫВ официального оппонента  
на диссертацию на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук  
Комлева Алексея Степановича  
на тему: «Релаксация намагниченности в объектах различной  
размерности на основе сплава FeRh»  
по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений**

Исследованию магнитных материалов различной размерности в настоящее время уделяется особое внимание. Это связано как с фундаментальным, так и огромным прикладным интересом к проблеме изменения свойств материалов при понижении или повышении размерности. Фундаментальный интерес основан, прежде всего, на выяснении основных механизмов взаимосвязи микроструктурных особенностей с наблюдаемыми магнитными свойствами. Прикладной интерес обусловлен широкими перспективами возможного практического использования выявленных механизмов. Особо необходимо отметить, что в качестве единственного объекта исследования в данной работе выбран сплав Fe-Rh. Уникальность данного сплава состоит в том, что он обладает достаточно простой кристаллической структурой (кубической), что важно для моделирования его свойств, а также демонстрирует магнитный фазовый переход типа «порядок - порядок» при температурах, близких к комнатной, что важно для его практического использования. Данный переход является фазовым переходом первого рода и связан с изменением магнитной структуры (ферромагнитной и антиферромагнитной). Как результат, в области фазового перехода наблюдается значительный магнитокалорический и эластокалорический эффект. В данной работе особое внимание уделяется релаксационным процессам, которые имеют место при фазовом переходе. А сами образцы исследуются в виде наночастиц, тонких пленок и объемных объектов с различным соотношением железа и родия. Таким образом, актуальность избранной темы исследования, сомнений не вызывает.

Диссертационная работа Комлева А.С. состоит из введения, пяти глав, основных результатов, заключения, списка условных обозначений и списка цитируемой литературы. Объем диссертации составляет 123 страницы, включая 33 рисунка, 3 таблицы, 27 формул и списка цитируемой литературы из 124 наименований.

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, формулируется цель и задачи исследования, а также положения, выносимые на защиту. Поясняется и обосновывается научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, их достоверность, личный вклад автора, апробация работы, публикации по материалам диссертации. Приведены сведения о структуре диссертационной работы.

**В первой главе** представлен обзор, касающийся, прежде всего, практической значимости материалов с магнитными фазовыми переходами первого рода, а также, касающийся экспериментальных и теоретических исследований, выполненных по теме диссертации. Обзор посвящен исследованиям структурных и магнитных свойств бинарных сплавов Fe-Rh и объектов различной размерности на их основе. В первой главе прослеживается четкая связь между теми исследованиями, которые уже были проведены ранее и новыми исследованиями, представленными в последующих главах диссертационной работы.

**Вторая глава** содержит описание применяемых в диссертационной работе экспериментальных методов и теоретических подходов. В общей сложности для исследования особенностей микроструктуры и магнитных свойств было использовано 9 экспериментальных методик, среди которых основными являются микроскопия (магнитосиловая, сканирующая, просвечивающая и др.) и магнитометрия. Для интерпретации полученных экспериментальных данных было использовано несколько теоретических подходов и расчётов (констант магнитной анизотропии, намагниченности, изменения энтропии и др.). Следует отметить, что использование такого количества методик позволяет автору не только повысить степень

достоверности полученных результатов, но и значительно углубить и расширить понимание наблюдаемых эффектов как в однофазных, так и многофазных образцах, а также в объемных и наноразмерных объектах.

**Третья глава** посвящена, главным образом, свойствам объемных образцов Fe-Rh с различным соотношением железа и родия и с различным фазовым составом. В этой же главе представлены для сравнения основные свойства пленочного образца Fe-Rh. Установлено, что зарождение ферромагнитной фазы при магнитном фазовом переходе из антиферромагнитного состояния в ферромагнитное в сплавах Fe-Rh происходит на поверхности образцов, а рост фазы происходит в несколько этапов. Среди множества полученных результатов хотелось бы выделить создание для описания динамики фазового перехода феноменологической модели одномерной системы на основе метода молекулярной динамики. Данная модель может и должна получить дальнейшее развитие в недалеком будущем.

**Четвертая глава** посвящена исследованию особенностей поведения магнитных и электрических свойств пленочных образцов сплава Fe-Rh в области фазового перехода. В качестве важного результата следует отметить определение основных особенностей роста ферромагнитной фазы и изменения её микромагнитной структуры при магнитном фазовом переходе первого рода, а также влияние на данный процесс внешних факторов, таких как температура и внешнее магнитное поле.

**Пятая глава** посвящена свойствам наночастиц сплава на основе Fe-Rh. В отличие от образцов, рассмотренных выше, наночастицы с размерами менее 20 нм сохраняют ферромагнитное упорядочение вплоть до низких температур, что подтверждает колоссальное влияние размерного эффекта. Более того, установлено, что наночастицы покрыты оксидным слоем, а, следовательно, имеет место структура «ядро-оболочка». Среди основных результатов хотелось бы особо выделить получение информации о внутренних параметрах таких объектов с помощью Мессбауэровской спектроскопии.

В финальной части диссертации автор формулирует **основные результаты**, полученные в диссертационной работе, а также делает небольшое **заключение** по работе. Важно отметить, что все научные результаты, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, а также положения, выносимых на защиту, вполне обоснованы и не вызывают сомнений и нареканий.

Однако при ознакомлении с диссертационной работой возникли следующие **вопросы и замечания**:

1. В литературном обзоре отсутствует анализ работ проф. С.А. Никитина и его докторанта Анноразова М.П., посвященных исследованию сплавов Fe-Rh и наблюдению ими гигантского магнитокалорического эффекта, превышающего величину адиабатического изменения температуры, которая наблюдается другими исследователями.

2. Замечание по главам 3 - 5, в которых изложены экспериментально-теоретические результаты исследования, сводится к отсутствию выводов и формулировки основных достижений по отдельным главам.

3. Для объемных и пленочных образцов необходимо было измерить магнитокалорический эффект прямым методом, а не ограничиваться косвенным.

4. Также нужно было исследовать и учесть магнитострикционный эффект в данных сплавах.

5. Все параметры фазового перехода первого рода для всех исследованных образцов должны были бы быть помещены в единую сводную таблицу по результатам исследований, изложенных в главах 3-5.

6. Устанавливалась ли связь между микро- и макроскопическими параметрами по результатам Мессбауэровской спектроскопии и магнитометрии.

7. Замечание по организации текста диссертации сводится к использованию неопределенных фраз типа «наиболее значительные и

быстрые скачки», «длительную релаксацию намагниченности», «количество кристаллических дефектов» и др.

Сделанные замечания и имеющиеся технические неточности в оформлении не снижают общего положительного впечатления о диссертации и не влияют на высокую оценку диссертационной работы. В целом диссертация Комлева А.С. является важным и оригинальным исследованием, а полученные результаты, обладая научной новизной, будут стимулировать дальнейшее развитие исследований в области магнетизма и физики фазовых переходов в магнетиках. **Научная новизна** диссертации заключена в сравнительном, достаточно подробном экспериментально-теоретическом исследовании свойств (структурных, магнитных, включая магнитокалорических, электрических и др.) большого количества объектов различной размерности на основе сплава FeRh в области магнитного фазового перехода первого рода. **Достоверность** таких исследований, использующих практически весь основной набор самых современных экспериментальных методов не может вызывать никаких сомнений. Все исследования проводились на хорошо аттестованных образцах. Многообразие используемых методик позволяет доверять полученным результатам и установленным закономерностям, а также позволяет разрабатывать на их основе феноменологические модели.

Все основные результаты диссертации Комлева А.С. опубликованы в открытой печати в ведущих российских и зарубежных журналах. Кроме того, результаты обсуждались на многочисленных всероссийских и международных научных конференциях в виде устных и стендовых докладов. Автореферат и публикации соответствуют содержанию диссертации.

Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении

ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. Таким образом, соискатель Комлев Алексей Степанович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,  
ведущий научный сотрудник кафедры физики твёрдого тела  
физического факультета  
ФГБОУВО «МГУ имени М.В. Ломоносова»  
Терёшина Ирина Семёновна  
Дата

Контактные данные:

тел.: +7(495) 939-4243, e-mail: [tereshina@physics.msu.ru](mailto:tereshina@physics.msu.ru)  
Специальность, по которой официальным оппонентом  
защищена диссертация:  
01.04.11. – Физика магнитных явлений

Адрес места работы:

119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, Дом 1, строение 2.  
ФГБОУВО «МГУ имени М.В. Ломоносова», физический факультет  
Тел.: +7 495 939-16-82; e-mail: [info@physics.msu.ru](mailto:info@physics.msu.ru)

Подпись сотрудника МГУ имени М.В. Ломоносова

И.С. Терёшиной удостоверяю:

Ученый секретарь физического факультета

МГУ имени М.В. Ломоносова

д.ф.-м.н. профессор С.Ю. Стремоухов

Дата