

ОТЗЫВ

официального оппонента Васильева Александра Николаевича на диссертационную работу Дильмиевой Эльвины Тимербулатовны «Структура и магнитокалорические свойства сплавов Гейслера семейств Ni-Mn-Z ($Z = \text{Ga}, \text{Sn}, \text{In}$) и соединения MnAs в сильных магнитных полях», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния

Актуальность темы. Диссертационная работа Дильмиевой Э.Т. посвящена решению актуальных задач физики конденсированного состояния, касающихся изучению особенностей магнитоструктурных фазовых переходов 1-го рода в сплавах Гейслера различных семейств и соединения MnAs, а также сопровождающего магнитокалорического эффекта под действием сильных магнитных полей. За последние 20 лет исследованию магнитоструктурного фазового перехода 1-го рода в различных магнитных материалах и связанных с ним эффектов посвящено множество работ, причем с каждым годом количество подобных работ возрастает экспоненциально. Интерес к таким исследованиям в настоящее время стимулируется потребностью развития альтернативных технологий энергосбережения.

Структура и содержание диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 232 наименований. Полный объем диссертации составляет 180 страниц текста с 99 рисунками. Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы основные цели работы и изложены основные положения, выносимые на защиту. В первой и второй главе приводится обширный литературный обзор состояния исследований в данной научной области в настоящее время, и описываются стандартизованные и оригинальные экспериментальные методики, используемые в работе, соответственно. Третья и четвертая главы содержат результаты экспериментальных исследований. В заключении изложены наиболее важные результаты и выводы диссертационной работы.

Научная новизна и достоверность. В диссертационной работе впервые получен ряд важных новых результатов, имеющих как фундаментальное, так и прикладное значение. В первую очередь, необходимо отметить, что работа характеризуется применением прямых и усовершенствованных методов исследования магнитокалорического эффекта, при этом не только в адиабатических условиях, но и в изотермических. Также отличительной положительной чертой работы является разработка оптического метода по наблюдению за мартенситным переходом в широком диапазоне температур в разных термодинамических режимах в сильных магнитных полях. С применением такого полного набора прямых методов получены следующие наиболее интересные результаты.

1. Получена и объяснена зависимость магнитокалорического эффекта сплавов Гейслера семейства $\text{Ni}_{43}\text{Mn}_{(50-y)}\text{In}_y\text{Co}_7$ ($12.35 \geq y \geq 12.1$), определённого прямым методом в сильных магнитных полях, от химического состава.

2. В монокристаллическом соединении MnAs наиболее достоверным прямым методом установлено, что $\Delta T_{ad} = 15$ К и $q = 9.3$ кДж/кг в магнитном поле 10 Тл. Полученные значения в совокупности являются рекордными среди известных в литературе для твердотельных магнитокалорических материалов для $\mu_0 H = 10$ Тл.

3. Проведено исследование магнитоструктурного фазового перехода 1-го рода в сплавах Гейслера семейств Ni-Mn-Ga, Ni-Mn-Sn путем наблюдения эволюции мартенситной фазы под действием сильных магнитных полей как в изотермических условиях, так и в адиабатических в широком интервале температур.

4. В работе представлена качественная модель, объясняющая разницу протекания мартенситного перехода в сплавах Гейслера семейства Ni-Mn-Ga в разных термодинамических условиях.

5. В работе на сплаве Гейслера семейства Ni-Mn-Sn, обладающим обратным магнитокалорическим эффектом, наглядно показано влияние остаточной низкотемпературной фазы, сформировавшейся после первого цикла включения-выключения магнитного поля, на магнитокалорический эффект при последующих включениях магнитного поля.

Все основные результаты диссертации, являются оригинальными и получены автором впервые. Этим определяется научная новизна работы. Автор в диссертационной работе использует современные апробированные методы исследования с использованием высокочувствительной регистрирующей аппаратуры, анализом погрешностей измерений, многократной воспроизводимостью экспериментальных результатов и их согласием с литературными данными. Поэтому не возникает сомнений в достоверности полученных результатов.

Практическая значимость полученных результатов. В работе систематически исследованы адиабатическое изменение температур и изотермическое выделение/поглощение тепла прямыми методами в сильных магнитных полях и широком интервале температур в сплавах Гейслера семейств Ni-Mn-Z ($Z = \text{Ga}, \text{Sn}, \text{In}$) и монокристалле MnAs. Данные результаты позволяют спрогнозировать параметры будущих холодильных и тепловых устройств, например, максимальную разность температур при охлаждении и количества тепла, передаваемое за один цикл. Выявленные особенности протекания магнитоструктурного фазового перехода 1-го рода под действием сильных магнитных полей в поли и монокристаллических сплавах Гейслера в разных

термодинамических условиях позволят спрогнозировать реальную картину реализации наиболее эффективных термодинамических циклов.

Публикации и апробирование результатов диссертационной работы. Основные результаты работы опубликованы в 7 научных работах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК и 9 публикациях в зарубежных изданиях, входящие в системы цитирования Scopus и Web of Science, а также доложены на российских и международных конференциях.

По работе имеются следующие замечания:

1. Автор при описании изучаемых сплавов акцентирует внимание на наличие кардинально разных магнитоструктурных фазовых переходах 1-го рода в сплавах Гейслера: переход из высоконамагниченного мартенсита в низконамагниченный аустенит и превращение из низконамагниченного мартенсита в высоконамагниченный аустенит, соответственно. При этом в работе не затронуты физические основы реализации различных типов магнитоструктурных фазовых переходов 1-го рода в материалах, относящихся к единой группе под названием «сплавы Гейслера».
2. В разделе 3.2.1 описаны результаты исследования кристаллической структуры сплавов Гейслера семейства $Ni_{43}Mn_{(50-y)}In_yCo_7$, где $12.35 \geq y \geq 12.1$. Сообщается, что синтезированные в работе образцы семейства Ni-Mn-In-Co при низких температурах находятся в мартенситной фазе, которая, в свою очередь, по результатам нейтронных исследований представляет собой модулированные моноклинные структуры. Однако, в работе не обсуждаются механизмы возникновения модуляций низкотемпературных фаз исследуемых сплавов Гейслера. Этому вопросу необходимо было бы уделить дополнительное внимание в диссертационной работе.
3. В работе рассматривается вопрос магнитного упорядочения низкотемпературной фазы синтезированных сплавов Гейслера семейства Ni-Mn-In-Co. По результатам нейтронной дифракции автор делает заключение об отсутствии антиферромагнитного упорядочения низкотемпературной фазы. При этом по результатам исследования температурной зависимости намагниченности высказывается предположение о наличии спин-стекольного состояния при низких температурах. Однако, для полного доказательства существования спин-стекольного состояния при низких температурах необходимо было провести дополнительные эксперименты, например, исследования магнитной восприимчивости в зависимости от частоты переменного магнитного поля.
4. В работе нет ответа на вопрос: магнитный момент какого атома вносит основной вклад в общую намагниченность изученных сплавов Гейслера семейств Ni-Mn-Z (Z = Ga, In, Sn)?

5. Имеются некоторые замечания по оформлению диссертационной работы. Например, на рисунках 3.26 и 4.6 некоторые надписи приведены на английском языке.

Сделанные замечания имеют частный характер и не влияют на общую высокую оценку диссертационной работы Дильмиевой Э.Т., которая содержит оригинальные и достоверные научные результаты. Автором продемонстрировано хорошее владение синтезом интерметаллических материалов, методами современной экспериментальной физики, глубокое понимание физических основ магнитоструктурных фазовых переходов.

Основываясь на проведенном анализе представленных материалов, считаю, что диссертационная работа Дильмиевой Э.Т., является законченным научным исследованием, выполненным на высоком научном уровне, и вносит существенный вклад в понимание магнитных и структурных фазовых переходов сплавов Гейслера семейств Ni-Mn-Z ($Z = \text{Ga, In, Sn}$) и соединения MnAs. По объему выполненных исследований, их актуальности, научному уровню диссертационная работа отвечает всем требованиям (п. II. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Эльвина Тимербулатовна Дильмиева заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент:

Заведующий кафедрой физики низких температур и сверхпроводимости физического факультета ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова»


Адрес: 119991, г. Москва, ул. Академика Хохлова стр.8, Ленинские горы д.1, ГСП-2.

Тел.: +7 (495) 939-4811

<http://mig.phys.msu.ru/>

E-mail: vasil@mig.phys.msu.ru

Доктор физико-математических наук, профессор

 А.Н. Васильев



17» сентября 2018 г.

Декан физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, профессор

 Н.Н. Сысоев