

Директор
Дагестанского федерального
исследовательского центра РАН,
член-корреспондент РАН, д.ф.-м.н.

Муртазаев А.К.

18.11.2021

ОТЗЫВ

ведущей организации – Дагестанского федерального исследовательского центра РАН – на диссертационную работу Алероевой Тамилы Ахмадовны «Структурные особенности, магнитные и ядерно-магнитные свойства фаз Лавеса $\text{Sm}_{0.2}(\text{Tb}_{1-x}\text{Y}_x)_{0.8}\text{Fe}_2$ », представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 1.3.8 - Физика конденсированного состояния и 1.3.12 - Физика магнитных явлений

Актуальность темы диссертации. Диссертационная работа Т.А. Алероевой посвящена выяснению взаимосвязей между составом, атомно-кристаллическим строением и магнитными свойствами, в том числе, обменными и сверхтонкими взаимодействиями в новых, многокомпонентных фазах Лавеса кубической симметрии $\text{Sm}_{0.2}(\text{Tb}_{x-1}\text{Y}_x)_{0.8}\text{Fe}_2$ в зависимости от состава, что является актуальной задачей физики конденсированного состояния. А исследование магнитных, магнитострикционных и ядерно-магнитных свойств в зависимости от структурных превращений с ростом параметра замещения x достаточно важно для физики магнитных явлений в связи с поиском сплавов с наиболее оптимальными магнитострикционными характеристиками.

В связи с этим, вызывают к себе несомненный интерес интерметаллические соединения редкоземельных металлов с одним из 3d - переходных металлов, в частности, с железом стехиометрии RFe_2 (R-редкоземельный элемент). Это так называемые фазы Лавеса, которые получили большое распространение в науке и технике, благодаря своим особым магнитным свойствам, таким как высокая температура Кюри, «гигантская» магнитострикция и большой магнитокалорический эффект. Указанные соединения обладают либо кубической (C15), либо гексагональной (C14) структурами. Наиболее интересны их магнитные свойства, которые зависят, прежде всего, от их структурных особенностей.

С этой точки зрения представляют интерес многокомпонентные сплавы, в которых, в частности, сочетаются редкоземельные атомы (ионы) разного типа (легкие и тяжелые, высоко- и низкоанизотропные и др.). Это обстоятельство позволяет синтезировать и исследовать квазитернарные и более сложные системы на основе редкоземельных соединений со структурами фаз Лавеса с тем, чтобы формировать новые магнитные материалы с заданным комплексом оптимальных физико-химических характеристик. Поэтому объектами данного исследования являлась серия новых поликристаллических образцов $\text{Sm}_{0.2}\text{Tb}_{0.8}\text{Fe}_2$, $\text{Sm}_{0.2}(\text{Tb}_{0.8}\text{Y}_{0.2})_{0.8}\text{Fe}_2$, $\text{Sm}_{0.2}(\text{Tb}_{0.6}\text{Y}_{0.4})_{0.8}\text{Fe}_2$, $\text{Sm}_{0.2}(\text{Tb}_{0.4}\text{Y}_{0.6})_{0.8}\text{Fe}_2$, $\text{Sm}_{0.2}(\text{Tb}_{0.2}\text{Y}_{0.8})_{0.8}\text{Fe}_2$ и $\text{Sm}_{0.2}\text{Y}_{0.8}\text{Fe}_2$.

Важность исследования магнетизма соединений типа фаз Лавеса в практическом отношении вытекает из того, что эти материалы являются перспективными для применения в качестве магнитоотрицательных элементов в ряде устройств ультразвуковой техники, автоматики, оптоэлектроники и радиотехники, в качестве рабочих тел в магнитных холодильных устройствах.

С этой точки зрения тема настоящей диссертационной работы, посвященная комплексному исследованию фазового состава, атомно-кристаллической структуры, магнитных свойств, а также обменных и сверхтонких взаимодействий в многокомпонентных фазах Лавеса кубической симметрии $\text{Sm}_{0.2}(\text{Tb}_{1-x}\text{Y}_x)_{0.8}\text{Fe}_2$, является весьма актуальной.

Общая характеристика диссертационной работы

Структурно диссертация состоит из введения, 5 глав, основных результатов и выводов, списка цитируемой литературы.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы диссертации, сформулированы цель и задачи диссертационной работы. Показаны научная новизна и практическая значимость полученных результатов, методология и методы исследования. Представлены положения, выносимые на защиту. Приведены сведения об апробации работы, публикациях по теме диссертации, личном вкладе автора, а также о структуре и объеме работы.

В первой главе рассмотрены структура интерметаллических соединений с общей формулой RM_2 (где $\text{R} = \text{PЗЭ}$, а M - 3d-переходной металл), характер обменных взаимодействий в них, природа локальных полей на ядрах редкоземельных элементов, 3d-переходных и немагнитных элементов в магнитоупорядоченных веществах, а также приведен краткий обзор типов структурных, магнитных, спин-ориентационных фазовых переходов.

Во второй главе описаны способы приготовления образцов, их аттестация, установки для измерения намагниченности в статических и импульсных магнитных полях, теплового расширения, магнитоотрицательности и эффекта Мессбауэра, приведены ошибки измерений. С помощью метода

атомно-силовой микроскопии проведены исследования морфологии поверхности полученных образцов.

В третьей главе приведены результаты исследования магнитных, магнитоотрицательных свойств, обменных и сверхтонких взаимодействий в фазах Лавеса $\text{Sm}_{0.2}\text{R}_{0.8}\text{Fe}_2$ ($\text{R} = \text{Tb}$ и Y). Данные составы являются крайними среди исследованных сплавов системы $\text{Sm}_{0.2}(\text{Tb}_{x-1}\text{Y}_x)_{0.8}\text{Fe}_2$: $\text{Sm}_{0.2}\text{Tb}_{0.8}\text{Fe}_2$ и $\text{Sm}_{0.2}\text{Y}_{0.8}\text{Fe}_2$.

Для данных сплавов проведено дифрактометрическое исследование структуры сплавов в интервале температур от 90 до 760 К, которое показало, что данные составы обладают структурой кубической фазы Лавеса C15 с некоторыми ромбоэдрическими искажениями элементарной ячейки в составах с Tb. Построена магнитная фазовая диаграмма.

Проведены исследования намагниченности указанных сплавов в интервале температур от 4,2 до 300 К в полях до 12 кЭ ($\text{Sm}_{0.2}\text{Y}_{0.8}\text{Fe}_2$) и в полях до 14 Тл ($\text{Sm}_{0.2}\text{Tb}_{0.8}\text{Fe}_2$). Определены основные магнитные характеристики сплавов: намагниченность насыщения, температуры Кюри, магнитный момент на формульную единицу и магнитный момент на атоме железа.

Из результатов исследования температурных и полевых зависимостей продольной и поперечной магнитоотрицательности обнаружено, что при низких температурах преобладает вклад в магнитоотрицательность от подрешетки Sm, в то время как при высоких температурах становится доминирующим вклад от подрешетки железа. Измерения были проведены в интервале температур от 85 до 320 К в полях до 12 кЭ.

В четвертой главе приведены результаты исследования магнитных свойств и сверхтонких взаимодействий в квазитернарных сплавах системы $\text{Sm}_{0.2}(\text{Tb}_{0.8}\text{Y}_{0.2})_{0.8}\text{Fe}_2$, $\text{Sm}_{0.2}(\text{Tb}_{0.6}\text{Y}_{0.4})_{0.8}\text{Fe}_2$, $\text{Sm}_{0.2}(\text{Tb}_{0.4}\text{Y}_{0.6})_{0.8}\text{Fe}_2$, $\text{Sm}_{0.2}(\text{Tb}_{0.2}\text{Y}_{0.8})_{0.8}\text{Fe}_2$.

Для каждого состава определена температура Кюри из температурных исследований ас-восприимчивости. Исследования в стационарных и сильных магнитных полях в широком температурном интервале от 4,2 до 300 К показали, что кривые намагниченности соединений $\text{Sm}_{0.2}(\text{Tb}_{1-x}\text{Y}_x)_{0.8}\text{Fe}_2$ достаточно быстро выходят на насыщение. Обнаружено, что в одном из сплавов системы $\text{Sm}_{0.2}(\text{Tb}_{0.4}\text{Y}_{0.6})_{0.8}\text{Fe}_2$ наблюдается явление магнитной компенсации по концентрации и по температуре ($x = 0.6$).

В результате исследования полевых и температурных зависимостей продольной, поперечной, объемной и анизотропной магнитоотрицательности соединений $\text{Sm}_{0.2}(\text{Tb}_{x-1}\text{Y}_x)_{0.8}\text{Fe}_2$ обнаружена инверсия знака констант магнитоотрицательности в области магнитоотрицательного фазового перехода в интервале концентраций иттрия, соответствующих значению параметра замещения $x = 0.6 - 1$. Анализ полученных магнитоотрицательных данных свидетельствует об аддитивности вкладов в магнитоотрицательность от подрешеток

железа, самария и тербия, а также о преобладании одноионного механизма возникновения магнитострикционных деформаций.

Определены зависимости изотропного и анизотропного сверхтонких полей на ядрах ^{57}Fe , константы квадрупольного расщепления и изомерного сдвига мессбауэровской линии в системе $\text{Sm}_{0.2}(\text{Tb}_{x-1}\text{Y}_x)_{0.8}\text{Fe}_2$ от концентрации ионов иттрия, замещающих ионы тербия.

Установлена взаимная корреляция найденных сверхтонких параметров для всех исследуемых составов. Обнаружено, что при изменении соотношения атомов Tb и Y, окружающих атом Fe, плотность заряда s-электронов на ядре ^{57}Fe остается постоянной.

Построены концентрационные зависимости всех указанных параметров от концентрации иттрия для всех сплавов системы $\text{Sm}_{0.2}(\text{Tb}_{x-1}\text{Y}_x)_{0.8}\text{Fe}_2$, где $x = 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$.

В пятой главе диссертации проведено исследование магнитных свойств сплавов системы $\text{Sm}_{0.2}(\text{Tb}_{x-1}\text{Y}_x)_{0.8}\text{Fe}_2$ в стационарных до 14 Тл и импульсных до 60 Тл магнитных полях. Исследования в статических полях показали, что кривые намагниченности соединений $\text{Sm}_{0.2}(\text{Tb}_{1-x}\text{Y}_x)_{0.8}\text{Fe}_2$ достаточно быстро выходят на насыщение. Эта же картина наблюдается в импульсных полях. В работе определены величины значений намагниченности насыщения, которые хорошо соотносятся с теоретическими расчетами. Исследования в импульсных полях до 60 Тл показали, что данных полей недостаточно для наблюдения, индуцированного внешним магнитным полем ферромагнитного состояния в соединениях $\text{Sm}_{0.2}(\text{Tb}_{1-x}\text{Y}_x)_{0.8}\text{Fe}_2$.

Характеризуя диссертацию в целом, можно утверждать, что проведенный цикл исследований, положенных в ее основу, носит заверченный характер и представляет собой решение логически связанных друг с другом задач. Рассматриваемая диссертационная работа представляет собой завершенную научно-исследовательскую работу на актуальную тему.

В обсуждаемой диссертационной работе получен **целый ряд новых, интересных и существенных результатов**, к числу которых, несомненно, следует отнести:

1. Детальное исследование особенностей кристаллической структуры сплавов системы методами рентгеновской дифракции и тензометрическим методом, результатом которого стало обнаружение структурных и спин-переориентационных фазовых переходов в зависимости как от состава, так и от температуры. Построена фазовая диаграмма для системы $\text{Sm}_{0.2}(\text{Tb}_{1-x}\text{Y}_x)_{0.8}\text{Fe}_2$ в координатах «состав-температура».
2. Определение для указанной системы областей магнитного упорядочения и основных магнитных характеристик: температура Кюри T_c , магнитный момент на формульную единицу $\mu_{\text{ф.ед.}}$, магнитный момент на атоме железа μ_{Fe} , намагниченность насыщения M_{sat} и спонтанная намагниченность M_s .

Кроме того, значения температур Кюри сплавов установлены разными методами и полученные значения взаимно коррелируют.

3. Определение области концентрации иттрия, где происходит взаимная компенсация констант магнитострикции и намагниченностей редкоземельной и железной подрешеток. Это сплав с параметром замещения $x = 0.6$, т.е. состав $\text{Sm}_{0.2}(\text{Tb}_{0.4}\text{Y}_{0.6})_{0.8}\text{Fe}_2$. При $T = 140 \text{ K}$ состав $\text{Sm}_{0.2}(\text{Tb}_{0.4}\text{Y}_{0.6})_{0.8}\text{Fe}_2$ также демонстрирует явление магнитной компенсации по температуре.
4. Обнаружение инверсии знака констант магнитострикции в области больших концентраций иттрия.
5. Установление взаимной корреляции сверхтонких параметров, рассчитанных для всех исследуемых составов.
6. Исследованные составы могут представлять интерес как магнитокалорические материалы, в которых значительный магнитокалорический эффект может наблюдаться не только вблизи T_C , но и в широкой области температур.

Достоверность полученных результатов.

Основные результаты и выводы диссертационной работы являются достоверными и обоснованными. Это подтверждается комплексным подходом к исследованию сплавов системы $\text{Sm}_{0.2}(\text{Tb}_{1-x}\text{Y}_x)_{0.8}\text{Fe}_2$ с применением самых современных методов изучения структуры, магнитных свойств, выполненных на новейшем научном оборудовании в ведущих научных центрах нашей страны (ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», Москва, РФ) и Европы (лаборатория сильных магнитных полей, г. Дрезден, Германия), с применением алгоритмов и методов математической обработки экспериментальных данных с помощью современных программных комплексов. Результаты исследований согласуются с теоретическими и практическими результатами, полученными другими учеными, опираются на фундаментальные физические представления.

Практическая значимость

Разбавление редкоземельной подрешетки, содержащей атомы самария и тербия, атомами иттрия в системе $\text{Sm}_{0.2}(\text{Tb}_{1-x}\text{Y}_x)_{0.8}\text{Fe}_2$ позволяет получить состав с полной компенсацией намагниченности (компенсационный состав при значении параметра замещения $x = 0.6$), а также сплавы с различным типом магнитного упорядочения (как с ферри-, так и ферромагнитным).

На основе сплавов $\text{Sm}_{0.2}(\text{Tb}_{1-x}\text{Y}_x)_{0.8}\text{Fe}_2$ могут быть разработаны функциональные материалы, демонстрирующие широкое разнообразие свойств, таких как инварианное поведение в заданном интервале температур,

инверсия знака магнитострикции в области спин-переориентационного перехода (СПП) и др., что важно для технических устройств различного назначения. СПП, который демонстрирует соединение SmFe_2 и достаточно привлекателен для практического использования, сохраняется и в соединении с высоким содержанием иттрия $\text{Sm}_{0.2}\text{Y}_{0.8}\text{Fe}_2$, что расширяет возможности практического использования сплавов данной системы.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации. Результаты диссертационной работы могут найти практическое применение в организациях и вузах, занимающихся исследованиями в области физики конденсированного состояния и физики магнитных явлений, а также разработки функциональных магнитных материалов - МГУ им. М.В. Ломоносова, Санкт-Петербургский университет им. Петра Великого, Казанский, Челябинский, Тверской государственные университеты, МИРЭА, ИРЭ, ИФМ УрО РАН, Институт физических проблем им. П.Л. Капицы РАН, Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Институт физики им. Л.В. Киренского РАН, АО «Спецмагнит», ОАО НПО «Магнетон», НИТУ «МИСиС», Институт физики им. Х.И. Амирханова ДФИЦ РАН.

Основное содержание диссертации изложено в 8 статьях в российских и зарубежных рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК, и в 8 публикациях в сборниках материалов и тезисах докладов всероссийских и международных конференций.

По диссертации имеются следующие замечания:

1. В главе 3 вывод о магнитной природе фазовых переходов делается на основе измерения теплового расширения, что не совсем очевидно, и только в главе 4 приведены температурные зависимости магнитной восприимчивости для некоторых исследованных сплавов. В частности, вывод о спиновой переориентации делается на основе сравнения полученных двумя немагнитными методами результатов с информацией о спин-переориентационном переходе в бинарном сплаве SmFe_2 . Также автору диссертационной работы было бы желательно провести некоторые дополнительные измерения, например, с помощью метода магнитной нейтронографии для определения магнитной структуры сплавов прямыми методами или хотя бы магнитной восприимчивости в области температур СПП. Это же замечание относится и к автореферату, в котором утверждается, что «Обнаружено, что при температуре $T = 541$ К происходит изменение наклона кривой $a(T)$, что свидетельствует о переходе образца из магнитоупорядоченного в неупорядоченное состояние (см. вставку к рис. 1)».

2. Автор на стр. 40 говорит, что в полученных сплавах содержание второй фазы типа RFe_3 варьировалось от 5 до 10 %. Но в диссертации нечего не сказано о влиянии этой фазы на полученные результаты.
3. В тексте встречаются ошибки грамматического и стилистического характера, а также противоречия текста и рисунков:
 - на стр. 56 говорится: «В отсутствие спин-переориентационного фазового перехода в этой области температур, можно предположить, что аномалия в данном трехподрешеточном магнетике связана с различным температурным поведением намагниченности отдельных подрешеток (подрешетки Fe, Tb и Sm) [43]». В то же время, на рис. 17 есть указание на СПИ.
 - Диссертант пишет, что «Намагниченность измерялась в МГУ, лаборатория Терешинной или Никитина. Если это важно подчеркнуть, нужно, наверное, привести название лаборатории.
 - Параграф 4.3 начинается с «В данной главе...».
 - На стр. 59 ссылка приведена в виде in Ref. [50].
4. Небрежное оформление некоторых рисунков. Это относится к рис. 39, 41, 43. Если в первом случае непонятно почему выделена часть оси ординат, то в двух последних случаях – составы сплавов на самих рисунках приведены с ошибками: $Sm_{0.2}(Tb_{0.64}Y_{0.16})_{0.8}Fe_2$ вместо: $Sm_{0.2}(Tb_{0.8}Y_{0.2})_{0.8}Fe_2$ или $Sm_{0.2}(Tb_{0.64}Y_{0.16})Fe_2$ и т.д. Имеются также ошибки в ссылках на рисунки (31 вместо 32, 33 вместо 34, несоответствие нумерации рис. 42 тексту).
5. Для новых и интересных эффектов, полученных в диссертационной работе, таких как инверсия знака константы продольной магнитострикции в Т-поле при различных параметрах замещения тернарных сплавов, отсутствует должная теоретическая интерпретация. Это же относится к классификации магнитоструктурных фазовых переходов и к мессбауэровским константам квадрупольного расщепления на ядрах железа.

Указанные замечания не имеют принципиального характера и не снижают общей высокой оценки работы. Диссертационная работа изложена четко, грамотно, построена логично. Личный вклад автора, состоящий в планировании и проведении экспериментов, синтезе системы, обработке и интерпретации экспериментальных и теоретических результатов, в написании статей и тезисов докладов, апробации результатов исследований на всероссийских и международных конференциях, указан в автореферате.

Автореферат достаточно полно и правильно отражает основное содержание диссертационной работы, новые научные результаты и выводы.

Подводя итог, можно заключить, что диссертация Т.А. Алероевой «Структурные особенности, магнитные и ядерно-магнитные свойства фаз

Лавеса $\text{Sm}_{0.2}(\text{Tb}_{1-x}\text{Y}_x)_{0.8}\text{Fe}_2$ » является законченной научно-квалифицированной работой, результаты которой имеют существенное значение для развития некоторых актуальных направлений физики конденсированного состояния и физики магнитных явлений.

Содержание диссертации соответствует специальностям 1.3.8 - Физика конденсированного состояния и 1.3.12 - Физика магнитных явлений (ВАК РФ).

Это позволяет утверждать, что по объему выполненных исследований, их актуальности и научному уровню данная диссертационная работа отвечает всем требованиям (п. П. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013г.), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор, Алероева Тамила Ахмадовна, несомненно, заслуживает присуждения искомой степени по специальностям 1.3.8 - физика конденсированного состояния и 1.3.12 - физика магнитных явлений.

Доклад по материалам диссертационной работы Алероевой Т.А. заслушан, обсужден и одобрен на заседании научного семинара Института физики ДФИЦ РАН «18» ноября 2021 года, протокол № 5.

Присутствовало 45 человек, проголосовали за - 45 чел., против – нет

Кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Дагестанского федерального исследовательского центра РАН Алиев Ахмед Магомедович, специальность 01.04.07 – физика конденсированного состояния

Кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Дагестанского федерального исследовательского центра РАН Агаларов Агалар Магомедзакиевич, специальность 01.04.02 – теоретическая и математическая физика.

Адрес: 367000, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Магомеда Гаджиева, д. 45. Тел./факс +7(8722) 67-06-20, E-mail: dncran@mail.ru

На обработку персональных данных согласен
Алиев Ахмед Магомедович

На обработку персональных данных согласен
Агаларов Агалар Магомедзакиевич

18.11.2021