

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук Гиппиуса Андрея Андреевича на диссертационную работу Хорошилова Артема Леонидовича «Особенности магнитотранспорта и теплоемкости каркасных стекол $\text{Ho}_x\text{Lu}_{1-x}\text{B}_{12}$ », представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Сильно коррелированные электронные системы привлекают внимание большого числа исследователей физики конденсированного состояния прежде всего благодаря богатейшему разнообразию присущих им физических особенностей. Среди наблюдающихся в них уникальных явлений особо выделяются высокотемпературная сверхпроводимость и колоссальное магнетосопротивление ввиду перспектив их практического использования. С другой стороны, фундаментальный интерес к данным соединениям вызывают их многокомпонентные фазовые диаграммы, наблюдающаяся в них сильная взаимосвязь спиновых, решеточных и электронных степеней свободы, фазовое расслоение, структурная и электронная неустойчивости, переходы наблюдаемые в них эффектом колоссального магнетосопротивления и развитием фазового расслоения в присутствии структурной или зарядовой неустойчивости, часто сопровождающихся возникновением системы магнитных кластеров или спин-стекольной фазы. Представляется интересным изучение влияния вышеуказанных видов неоднородностей на свойства зарядового транспорта на примере гораздо более простых по составу и структуре модельных систем редкоземельных додекаборидов, не уступающих при этом мanganитам по сложности магнитной фазовой диаграммы и разнообразию наблюдающихся в них явлений. Благодаря относительно слабой связи редкоземельных ионов с борным каркасом в таких соединениях додекабориды хорошо подходят для исследования эффектов структурной неустойчивости и локального беспорядка. С целью выявления общих закономерностей, отвечающих таким эффектам, в диссертационной работе А.Л. Хорошилова проведено комплексное исследование магниторезистивных и термодинамических свойств антиферромагнитных твердых растворов замещения $\text{Ho}_x\text{Lu}_{1-x}\text{B}_{12}$ при различных конфигурациях внешнего магнитного поля. Таким образом, тема диссертационной работы представляется актуальной, а выбор объектов и методики исследования оправданным.

Структура диссертации

Диссертация состоит из введения, литературного обзора, пяти глав, заключения, списка работ автора по теме диссертации и списка цитируемой литературы. Объем диссертационной работы составляет 166 страниц, включая 67 рисунков и 1 таблицу, список цитируемой литературы содержит 202 наименования.

Первая глава является литературным обзором, в котором рассмотрены ключевые особенности наиболее известных представителей семейства сильно коррелированных электронных систем, в частности, магнетосопротивление. Кроме того, описаны характеристики кристаллической структуры редкоземельных додекаборидов RB_{12} и их связь с переходом в состояние «каркасного стекла» при азотных температурах, а также приведены основные физические свойства исходных модельных систем LuB_{12} и HoB_{12} .

Вторая глава содержит описание методики получения монокристаллов $\text{Ho}_x\text{Lu}_{1-x}\text{B}_{12}$ и последующей подготовки образцов к экспериментам, описание экспериментальных установок, применявшихся в работе для изучения магниторезистивных, тепловых и магнитных свойств данных соединений.

В третьей главе обсуждаются результаты измерений теплоемкости каркасных стекол $\text{Ho}_x\text{Lu}_{1-x}\text{B}_{12}$ в полях до 90 кЭ, а также намагниченности с $x \geq 0.5$ в полях до 50 кЭ. Особо следует отметить зарегистрированную зависимость величины теплоемкости от направления внешнего магнитного поля для состава с $x = 0.01$. Установлено, что анизотропия теплоемкости достигает 20%. Для этой концентрации гольмия также показано, что в полях выше 20 кЭ экспериментальные данные достаточно хорошо совпадают с расчетными кривыми теплоемкости, полученными в рамках модели кристаллического электрического поля кубической симметрии для невзаимодействующих моментов. Для составов $\text{Ho}_x\text{Lu}_{1-x}\text{B}_{12}$ ($x \geq 0.5$) приводятся магнитные фазовые диаграммы для направления поля вдоль каждого из трех главных кристаллографических направлений.

В четвертой главе представлены данные измерений удельного сопротивления и поперечного магнетосопротивления $\text{Ho}_x\text{Lu}_{1-x}\text{B}_{12}$ при фиксированном направлении тока через образец ($\mathbf{I} \parallel [1\bar{1}0]$) и направлении внешнего магнитного поля $\mathbf{H} \parallel [001]$ в неупорядоченной и антиферромагнитной фазах. Показано, что магнетосопротивление в парамагнитной фазе определяется суммой положительного квадратичного вклада и отрицательного вклада, пропорционального квадрату функции Ланжевена. Исходя из оценки микроскопических параметров, отвечающих данным вкладам, делается вывод об образовании магнитных кластеров ионов Ho^{3+} в парамагнитной фазе $\text{Ho}_x\text{Lu}_{1-x}\text{B}_{12}$ в температурной области $T_N < T < 15$ К. Установлено, что магнетосопротивление в антиферромагнитной фазе определяется положительным линейным и отрицательным квадратичным вкладами. Подобное закономеренное поведение магнетосопротивления интерпретируются как следствие конкуренции различных механизмов рассеяния носителей заряда на особенностях магнитной структуры.

В пятой главе детально рассматривается анизотропия удельного сопротивления и поперечного магнетосопротивления $\text{Ho}_x\text{Lu}_{1-x}\text{B}_{12}$ при различной ориентации вектора внешнего магнитного поля \mathbf{H} относительно главных кристаллографических направлений. Построены круговые диаграммы рассеяния носителей заряда в парамагнитной фазе, хорошо иллюстрирующие наличие области максимальных значений магнетосопротивления при направлении поля $\mathbf{H} \parallel [001]$. Построенные круговые магнитные фазовые диаграммы в антиферромагнитной фазе для составов с $x \geq 0.5$ демонстрируют наличие аналогичной области вдоль направления [001] и схожей с ней области вдоль направления [110]. При этом сама диаграмма антиферромагнитного состояния имеет весьма нетривиальный вид малтийского креста и содержит множество магнитных фаз. В рамках приведенной в работе интерпретации в парамагнитной фазе квадратичный по полю положительный вклад в рассматривается как результат рассеяния носителей заряда на динамических зарядовых страйпах, формирующихся в $\text{Ho}_x\text{Lu}_{1-x}\text{B}_{12}$ в интервале температур ниже перехода в состояние каркасного стекла ($T < T^* = 60$ К) вдоль направления [110] вследствие кооперативного динамического эффекта Яна-Теллера в борной подрешетке. Тогда как отрицательный вклад отвечает рассеянию носителей заряда на моментах кластеров ионов Ho^{3+} . В антиферромагнитной фазе $\text{Ho}_x\text{Lu}_{1-x}\text{B}_{12}$ линейный положительный вклад в магнетосопротивление интерпретируется как следствие рассеяния носителей заряда на волне спиновой плотности, сформированной из многочастичных спин-поляризованных 5d-состояний зоны проводимости, а

квадратичный отрицательный вклад задается характером рассеяния носителей на локальных 4f-5d спиновых флуктуациях в окрестности ионов гольмия.

В заключении кратко изложены результаты диссертационной работы. Выводы диссертации обоснованы и апробированы на 8 международных и 4 российских научных конференциях. Обоснованность выводов и полнота изложения материалов диссертации обеспечена публикацией 39 работ, включая 7 статей в журналах из списка ВАК и 32 тезисов докладов на российских и международных конференциях. Таким образом, достоверность диссертационной работы не вызывает сомнений.

Научная новизна

Автором впервые обнаружена значительная зависимость теплоемкости от направления магнитного поля (до 20%) в сильных полях в каркасных стеклах $\text{Ho}_{0.01}\text{Lu}_{0.99}\text{B}_{12}$, а также сильная (до 50%) анизотропия магнетосопротивления в парамагнитной фазе каркасных стекол $\text{Ho}_x\text{Lu}_{1-x}\text{B}_{12}$ ($0 \leq x \leq 1$). Также впервые построены угловые диаграммы рассеяния носителей заряда в парамагнитной и антиферромагнитной фазах $\text{Ho}_x\text{Lu}_{1-x}\text{B}_{12}$ ($0.5 \leq x \leq 1$), обнаружено, что магнитная фазовая диаграмма антиферромагнитной фазы имеет форму малтийского креста, установлены границы магнитоупорядоченных фаз в антиферромагнитном состоянии. Показано, что эффект анизотропии в антиферромагнитной фазе $\text{Ho}_x\text{Lu}_{1-x}\text{B}_{12}$ ($0.5 \leq x \leq 1$), в основном, определяется уменьшением почти в 3 раза коэффициента линейного положительного вклада в магнетосопротивление с ростом внешнего магнитного поля поля $\mathbf{H} \parallel [111]$ в интервале 5-15 кЭ. Перечисленные результаты можно отнести к важнейшим результатам диссертационной работы А.Л. Хорошилова.

Научная и практическая значимость работы

Полученные в диссертационной работе результаты способствуют выяснению механизмов, лежащих в основе эффекта колоссального магнетосопротивления в окрестности магнитного фазового перехода антиферромагнетик-парамагнетик, а также дальнейшему развитию фундаментальных представлений о природе сильных электронных корреляций, определяющих аномалии физических свойств и особенности формирования сложного магнитного основного состояния соединений с тяжелыми фермионами.

Замечания по работе

По диссертационной работе А.Л. Хорошилова могут быть сделаны следующие замечания:

1. Не обсуждается подробно физическая природа многочисленных фаз (I-X (стр.126)) и фазовых переходов на магнитной фазовой диаграмме антиферромагнитного состояния.
2. Термин «ориентационный магнитный фазовый переход» (стр.70) используется автором без привязки к конкретным особенностям спиновой структуры.
3. В литературном обзоре не рассмотрена модель «динамических зарядовых страйпов», активно используемая автором для интерпретации полученных экспериментальных результатов.
4. Результаты теплоемкости, намагниченности и магнетосопротивления образца $\text{Ho}^{11}\text{B}_{12}$, обогащенного изотопом ^{11}B , логичнее сравнивать с аналогичными для образца HoB_{12} с естественным содержанием изотопов бора, а не с составом $\text{Ho}_{0.8}\text{Lu}_{0.2}\text{B}_{12}$ (см., например, Рис.17,28)
5. В тексте присутствуют неточности в нумерации рисунков: «рис.14-15» (стр.73) на самом деле Рис.27-28; «рис.1а» (стр.53) – Рис.14а; «рис.8а-8б» (стр.90) - Рис.37.
6. В работе имеются неудачные формулировки (например, «преобладающее направление спиновых флуктуаций» (стр.139), «нацентровое рассеяние» (стр.139)), а также незначительное количество опечаток.

Заключение

Несмотря на сделанные замечания, диссертационная работа А.Л. Хорошилова заслуживает высокой положительной оценки. Диссертация представляет собой полноценную экспериментальную работу, рассмотренные в ней вопросы актуальны и представляют в настоящее время значительный интерес для физики конденсированного состояния.

Диссертация соответствует паспорту специальности 01.04.07. – «Физика конденсированного состояния» и полностью отвечает требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842. Диссертант А.Л. Хорошилов заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент

Доктор физико-математических наук
(специальность 01.04.09 – физика низких температур),
профессор кафедры физики низких температур и
сверхпроводимости Физического факультета
Московского государственного университета имени
М.В. Ломоносова

Гиппиус Андрей Андреевич



119991, ГСП-1, Москва
Ленинские горы, МГУ имени
М.В. Ломоносова
дом 1, строение 2
Физический факультет
Тел.: +7(495)939-2085
e-mail: gippius@mail.ru

Подпись Гиппиуса А.А. заверяю.
Декан Физического факультета
Московского государственного университета
имени М.В. Ломоносова,
доктор физико-математических наук, профессор

«_07_» __ноября____ 2019 г.

