

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и инновациям НИТУ «МИСиС»

М. Р. Филонов

» \_\_\_\_\_ 2015 г.



## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Шварцберга Александра Владимировича «Спектр возбуждений и фазовые переходы в низкоразмерном сильно фрустрированном магнетике», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — теоретическая физика.

Диссертация А. В. Шварцберга посвящена теоретическому исследованию спиновых свойств квазидвумерных фрустрированных магнетиков. В частности, в рамках сферически симметричного самосогласованного подхода рассмотрены двумерная фрустрированная модель Гейзенберга и ее обобщение, J1-J2-J3 модель Гейзенберга на квадратной решётке. Модель получила широкое распространение при изучении магнитных подсистем таких материалов, как высокотемпературные сверхпроводящие (ВТСП) купратные керамики, слоистые соединения на основе ванадия, и другие. ВТСП-керамики характеризуются обменными константами, лежащими в узкой области положительных значений. Большая часть теоретических исследований до сих пор была сосредоточена именно на этой области. Спиновые подсистемы активно изучаемых в последнее время ванадатов, однако, могут соответствовать также отрицательным значениям параметра J1. Изучение модели представляет большой теоретический интерес. Уже в области  $0 < J2 < J1$  система испытывает квантовые фазовые переходы около точки наибольшей фрустрации  $J2 = 0.5J1$ . При этом относительно характеристик спинового упорядочения вблизи этой точки до сих пор ведутся дискуссии. Ряд фазовых переходов может также происходить в других областях значений обменных параметров. Не малый теоретический интерес представляет также изучение обобщения фрустрированной модели — J1-J2-J3 модели Гейзенберга. Введение третьей обменной константы дает дополнительный настроечный параметр при изучении квантовых фазовых переходов. Не менее важным направлением исследования модели является изучение характеристик системы при отходе от нулевых температур. Таким образом, актуальность диссертационной работы Шварцберга А. В. не вызывает сомнений.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы, содержащего 110 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, ее научная новизна и практическая ценность, перечислены основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава содержит обзор литературы по фрустрированным спиновым системам и по основным объектам исследования — фрустрированной модели Гейзенберга и J1-J2-J3 модели Гейзенберга, а также по материалам, описываемым этими моделями. Подробно рассмотрены используемые методы изучения моделей, как аналитические, так и вычислительные. Вводится понятие квантовой спиновой жидкости.

Во второй главе описывается сферически симметричный самосогласованный подход. Приведена система самосогласованных уравнений для спин-спиновой функции Грина в приближении среднего поля. Численное решение этой системы позволяет находить спин-спиновые корреляционные функции и другие характеристики системы. В рамках метода возможно описание спинового дальнего порядка системы путём введения конденсатной функции. При этом структура спинового дальнего порядка определяется видом спектра спиновых возбуждений системы.

В третьей главе сферически симметричный самосогласованный подход применяется к фрустрированной  $S=1/2$  модели Гейзенберга на квадратной решётке, при этом исследуется полный диапазон обменных параметров J1, J2. В основном состоянии системы исследуется спиновый порядок и квантовые фазовые переходы. Исследованы такие фазы, как шахматная, страйп, ферромагнитная коллинеарная, а также два участка квантовой спиновой жидкости. Показано, что квантовые фазовые переходы, происходящие в системе, являются непрерывными, за исключением перехода



ферромагнетик-антиферромагнетик. Получено, что область ферромагнитного дальнего порядка может быть разделена на две части, одна из которых является промежуточной при переходе к неупорядоченной спин-жидкостной фазе.

Проведено исследование системы при конечных температурах. Изучены спектральные и термодинамические свойства системы. При отходе от основного состояния спиновые свойства системы изменяются непрерывно. Этот факт является одним из косвенных подтверждений тех результатов, которые были получены при исследовании системы в основном состоянии.

Четвёртая глава содержит исследование системы при выходе за рамки приближения самосогласованного поля. В выражение для спин-спиновой функции Грина вводится дополнительный член, отвечающий затуханию спиновых возбуждений. Изучено влияние затухания магнонов на характеристики спинового упорядочивания и фазовую диаграмму системы. Увеличение затухания приводит к увеличению конденсатной функции, т.е. к усилению спинового упорядочивания, при этом сужаются области, соответствующие спин-жидкостной фазе. Приведено аналитическое обоснование этого явления.

Пятая глава содержит исследование обобщенной  $J_1$ - $J_2$ - $J_3$   $S=1/2$  модели Гейзенберга на квадратной решётке в рамках сферически симметричного самосогласованного подхода. При  $T=0$  получены фазовые диаграммы системы при различных знаках первого обменного параметра  $J_1$ . Исследуются квантовые фазовые переходы между упорядоченными фазами, а также между упорядоченными фазами и спиновой жидкостью. Обнаружен ряд видов спинового упорядочивания, которые не могли наблюдаться в исходной  $J_1$ - $J_2$  модели — это различные геликоидальные фазы. Отдельно рассмотрена двуупорядоченная фаза, возникающая при переходе из шахматной фазы в страйп-фазу при достаточно больших отрицательных значениях  $J_3$ . Указано на возможность сосуществования различных видов дальнего порядка и в других областях фазовой диаграммы. Также, как и для  $J_1$ - $J_2$  модели, проведено подробное исследование структуры спинового упорядочивания и спектра спиновых возбуждений системы.

В заключении приведены основные результаты работы.

В работе фрустрированная модель Гейзенберга впервые исследована в полном диапазоне обменных параметров в рамках единого подхода. Исследованы термодинамические свойства системы, спектр спиновых возбуждений, а также характеристики спинового порядка. Исследовано влияние затухания спиновых возбуждений на спиновое упорядочивание. Исследованы свойства обобщенной фрустрированной модели на случай ненулевого обменного параметра  $J_3$ . Проведено детальное исследование фазовых диаграмм этих моделей.

Основные результаты, полученные в диссертации, опубликованы в четырёх статьях в журналах из перечня ВАК, в том числе в одном зарубежном, а также доложены на всероссийских и международных конференциях. Произведённое сравнение приведённых результатов с данными, полученными альтернативными методами исследования, указывают на их достоверность. Положения, выдвинутые на защиту, являются обоснованными.

По диссертации можно высказать следующие замечания:

1. Для полноты изложения в главе 5 можно было бы также привести исследование термодинамических свойств системы.

2. В главе 4 в спин-спиновую функцию Грина вводится добавка, отвечающая затуханию спиновых возбуждений. Эта добавка выбрана не зависящей от квазиимпульса магнона и его частоты, однако не приведено достаточного обоснования такого приближения. Самосогласованный расчет добавки с помощью диаграммной техники функций Грина явился бы интересным продолжением работы в будущем.

Эти недостатки не снижают общую положительную характеристику работы. В целом, диссертационная работа А. В. Шварцберга выполнена на высоком научном уровне. Оформление диссертации соответствует установленным требованиям. Автореферат достаточно точно и полно отражает содержание диссертации.

Научная значимость работы А. В. Шварцберга заключается в том, что на основе расчётов методом двухвременных запаздывающих спин-спиновых самосогласованных функций Грина, проведены комплексные исследования фазовых диаграмм двумерных решеточных моделей фрустрированных магнетиков, представляющих интерес для понимания механизма спаривания фермионов в новых Fe-содержащих высокотемпературных сверхпроводниках. Материалы диссертационной работы могут быть использованы в организациях, проводящих исследования в области физики низких температур и материаловедения сверхпроводников и квантовых магнетиков, а также наноматериалов и наноструктур, таких, например, как Физический и Химический

факультеты МГУ им. М. В. Ломоносова, Московский физико-технический институт (государственный университет), Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Институт физики высоких давлений им. Л. Ф. Верещагина РАН, Физический институт имени П. Н. Лебедева РАН, Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН, Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН, Институт физики твердого тела РАН.

Считаем, что диссертация «Спектр возбуждений и фазовые переходы в низкоразмерном сильно фрустрированном магнетике» соответствует требованиям, предъявляемым Положением о присуждении ученых степеней, а ее автор, А. В. Шварцберг, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — теоретическая физика.

Доклад А. В. Шварцберга по данной диссертации заслушан на заседании кафедры теоретической физики и квантовых технологий 29 января 2015 года.

Отзыв утвержден на заседании кафедры теоретической физики и квантовых технологий 29 января 2015 года, протокол № 75/15.

Вр. и. о. заведующего кафедрой  
теоретической физики и квантовых технологий,  
доктор физико-математических наук

М. А. Черников

Профессор кафедры  
теоретической физики и квантовых технологий,  
доктор физико-математических наук

Ю. Х. Векилов

Адрес:

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
«Национальный исследовательский  
технологический университет «МИСиС»  
119049, Москва, Ленинский проспект, 4  
Тел. (495) 955-00-32, Факс: (499) 236-21-05  
Эл. почта: [kancela@misis.ru](mailto:kancela@misis.ru)



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и инновациям НИТУ «МИСиС»

М. Р. Филонов



» \_\_\_\_\_ 2015 г.

Список основных публикаций сотрудников кафедры теоретической физики и квантовых технологий НИТУ «МИСиС», опубликованных за последние 5 лет по теме диссертации А. В. Шварцберга «Спектр возбуждений и фазовые переходы в низкоразмерном сильно фрустрированном магнетике», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — теоретическая физика

1. S.I. Mukhin, T.R. Galimzyanov, High Superconducting  $T_c$  and Suppressed Isotope Effect in the Instantonic Condensate State of the Fermi-System: Analytic Solution // Journal of Superconductivity and Novel Magnetism — 2013 — 26 — pp. 2679-2683
2. S.I. Mukhin, T.R. Galimzyanov, Single fermion Green's function in the quantum ordered Fermi-system: Analytic solution // Physica B, Condensed Matter — 2012 — v. 407 — p. 1882-1884
3. S.I. Mukhin, Spontaneously Broken Matsubara's Time Invariance in Fermionic System: Macroscopic Quantum Ordered State of Matter // Journal of Superconductivity and Novel Magnetism — 2011 — v. 24 — pp. 1165-1171
4. S.I. Mukhin, Euclidian crystals in many-body systems: breakdown of Goldstone's theorem // Journal of Superconductivity and Novel Magnetism — 2013 — v. 27 — pp. 945-950
5. Andreas Moor, Pavel A. Volkov, Anatoly F. Volkov, and Konstantin B. Efetov, Dynamics of order parameters near stationary states in superconductors with a charge-density wave // Physical Review B — 2014 — v. 90 — p. 024511
6. S.I. Mukhin, M.V. Fistul, Generation of non-classical photon states in superconducting quantum metamaterials // Superconductor Science and Technology — 2013 — v. 26 — p. 084003
7. Ya.I. Rodionov, I.S. Burmistrov, N.M. Chitchekatchev, Relaxation dynamics of the electron distribution in the Coulomb-blockade problem // Phys. Rev. B — 2010 — v. 82 — p. 155317
8. Ya.I. Rodionov, I.S. Burmistrov, Out-of-equilibrium admittance of single electron box under strong Coulomb blockade // JETP Lett. — 2010 — v. 92 — pp. 696-702

Вр. и. о. заведующего кафедрой  
теоретической физики и квантовых технологий

М. А. Черников

Адрес:

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
«Национальный исследовательский  
технологический университет «МИСиС»  
119049, Москва, Ленинский проспект, 4  
Тел. (495) 955-00-32, Факс: (499) 236-21-05  
Эл. почта: [kancela@misis.ru](mailto:kancela@misis.ru)