

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Курбановой Джумы Рамазановны «Фазовые переходы и критические свойства спиновых решеточных моделей с конкурирующими взаимодействиями», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния

Исследование магнитных явлений в твердых телах представляет существенный интерес в теории физики конденсированного состояния. Важное место занимают исследования сложных магнитных структур с учетом многочисленных факторов, присущих реальным кристаллам и не учитываемых в рамках моделей первого приближения. К таким факторам относятся: анизотропия, примеси, диполь-дипольные взаимодействия, колебания решетки, фрустрации и др. В последнее время, особое внимание уделяется изучению тепловых, термодинамических и критических свойств фрустрированных спиновых систем. Это обусловлено тем, что возникновение фрустрированного состояния в магнитных материалах, как оказалось широко распространенное явление и обусловлено наличием конкурирующих взаимодействий и/или геометрией решетки, которые приводят к новым физическим явлениям и может представлять большой интерес для современной электроники, спинтроники и технических устройств.

Существование сильного изотропного обменного взаимодействия и дальнедействующих конкурирующих взаимодействий может приводить к появлению сложных магнитных структур, суперструктур не стандартных магнитных упорядочений, новых явлений и экзотических особенностей упорядочения.

Следует отметить, что в экспериментальных условиях обнаружить эффекты фрустрации крайне сложно, поэтому данные системы исследуются методами вычислительной физики, в частности методами Монте-Карло. Небольшое количество опубликованных результатов численных

экспериментов фрустрированных систем с дальнедействующими взаимодействиями свидетельствует о наличии значительного научного интереса и в тоже время, о недостаточной их изученности. Таким образом, исследования фазовых переходов магнитных состояний, термодинамических и тепловых свойств таких систем являются востребованными и очень актуальными.

Настоящая диссертация посвящена исследованию методами вычислительной физики (различными алгоритмами метода Монте-Карло) фрустрированных спиновых систем с изотропными и сильно анизотропными магнитными свойствами на различных типах решеток.

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка цитированной литературы. Работа изложена на 149 страницах, содержит 76 рисунков, 5 таблиц и список литературы из 201 наименований.

Во **введении** диссертации, обосновывается актуальность темы, формулируются цели и задачи работы. Приведены основные положения, выносимые на защиту. Рассмотрена научная и практическая значимость работы.

В **первой главе** приводится описание используемых методов исследования. Рассмотрен классический метод Монте-Карло применительно к каноническому ансамблю. Описаны решеточные модели, наиболее часто используемые при исследованиях фазовых переходов и критических явлений. Дано описание некоторых вариантов современных алгоритмов метода Монте-Карло, которые были применены автором при данном исследовании.

Вторая глава диссертации посвящена обсуждению природы спиновых стекол, фрустрированных спиновых систем и проблем, связанных с критическим поведением фрустрированных систем на треугольной решетке. Приводится обзор результатов теоретических и экспериментальных исследований статических критических свойств фрустрированных спиновых систем. Дается подробное изложение основных положений теории конечно-

размерного скейлинга. Обсуждаются особенности определения статических критических индексов и критической температуры.

Здесь же приводятся результаты исследования статических критических свойств фрустрированной модели Изинга на квадратной решетке с взаимодействиями первых и вторых ближайших соседей на основе репличного алгоритма и алгоритма Ванга-Ландау метода Монте-Карло. Указаны особенности определения критической температуры и типа фазового перехода в системе. Построена фазовая диаграмма зависимости критической температуры от величины взаимодействия вторых ближайших соседей. Определена точка фрустрации. Проведен анализ результатов численного эксперимента. Получен полный набор основных статических критических индексов для разных значений величины k ($k=J_2/J_1$ – параметр, характеризующий величину взаимодействия вторых ближайших соседей).

Третья глава посвящена исследованию фазовых переходов и статических критических свойств трехмерных антиферромагнитных моделей Изинга и Гейзенберга на объемно-центрированной кубической решетке с взаимодействиями первых и вторых ближайших соседей. Получены температурные зависимости термодинамических параметров (теплоемкости, восприимчивости, параметра порядка, энтропии, энергии и т.д.) в широком диапазоне температур, включая низкотемпературную и критическую область.

В первом и во втором параграфе приводятся результаты численного эксперимента по исследованию критического поведения трехмерной антиферромагнитной модели Изинга на объемно-центрированной кубической решетке с взаимодействиями первых и вторых ближайших соседей. Построена фазовая диаграмма зависимости критической температуры от величины взаимодействия вторых ближайших соседей. Определены типы фазовых переходов реализуемых в системе и впервые обнаружена область, где происходит смена типа фазового перехода. Следует отметить, что автором впервые получены все возможные структуры основного состояния, реализуемые в данной модели. Рассчитаны все основные магнитные

критические индексы при различных значениях k . Проведено сопоставление полученных данных с результатами численных экспериментов других авторов. Показано, что часть результатов автора находится в хорошем согласии с данными других авторов. Это позволяет говорить о достаточно высокой надежности использованного автором подхода для исследования критического поведения моделей с конкурирующими взаимодействиями. Полученные результаты свидетельствуют о существовании нового класса универсальности критического поведения для трехмерной антиферромагнитной модели Изинга на объемно-центрированной кубической решетке.

В этой главе также приводятся результаты исследования фазовых переходов, термодинамического и критического поведения трехмерной антиферромагнитной модели Гейзенберга на объемно-центрированной кубической решетке с учетом взаимодействий первых и вторых ближайших соседей. Построена фазовая диаграмма зависимости критической температуры от величины взаимодействия вторых ближайших соседей. Как и для модели Изинга обнаружена область, где происходит смена рода фазового перехода. В литературе практически нет работ, в которых выполнено исследование критических свойств этой модели с вычислением ее критических параметров. Автором впервые вычислен набор основных критических индексов этой модели для различных значений величины взаимодействия вторых ближайших соседей k . Показано, что трехмерная антиферромагнитная модель Гейзенберга с взаимодействием вторых ближайших соседей в пределах изменения значений $k = 0.0 \div 0.6$ не меняет характер своего критического поведения. Отметим, что значения критических индексов, полученные для этих моделей совпадают с данными для аналогичных решеток, в которых нет фрустрированного состояния.

В заключении кратко сформулированы основные результаты, и представлены обобщающие выводы по результатам диссертационной работы.

Особо следует обратить внимание на достоверность полученных данных. Достоверность их вытекает из того, что при решении задач были использованы как классические апробированные, так и современные алгоритмы, надежность которых не вызывает сомнения: полученные результаты согласуются с известными литературными данными, а их интерпретация проводится с привлечением современных теоретических представлений.

По содержанию диссертационной работы могут быть сделаны следующие замечания:

1. Было бы желательно на фазовой диаграмме более точно определить локализацию точки, в котором происходит смена фазовых переходов первого рода на фазовые переходы второго рода;
2. Следовало бы привести и обсудить примеры практического применения фрустрированных спиновых систем в спинтронике и микроэлектронике;
3. Кроме того, имеются орфографические и пунктуационные ошибки.

Эти замечания не затрагивают основные положения и выводы диссертации. Основные результаты диссертации опубликованы в 34 печатных работах, обсуждались на многочисленных всероссийских и международных научных конференциях и семинарах.

Работа Курбановой Д.Р. выполнена на высоком профессиональном уровне и представляет собой законченное исследование. Она содержит новые результаты, имеющие существенное научное значение и стимулирующие дальнейшие теоретические и экспериментальные исследования. Выводы и заключения автора достаточно обоснованы. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

В заключение отзыва отмечу, что диссертация Курбановой Джумы Рамазановны удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07. - физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент

доктор технических наук, профессор



Эмиров С.Н.

ФГБУН Институт проблем геотермии

Дагестанского научного центра РАН

367030, Республика Дагестан, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, д. 39а

телефон: (8722) 62-93-12; e_mail: wemirov@ipg.dnc.ru

подпись Эмирова С.Н. заверяю

ученый секретарь
ИПГ ДНЦ РАН



Ниналалов С.А.