

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук
Мостового Сергея Дмитриевича
на тему: «Исследование фазовых явлений в решёточных
моделях физики конденсированного состояния вещества и теории поля»
по специальности 1.3.3. – «теоретическая физика»

Работа посвящена исследованию поведения корреляционных функций и термодинамических величин как функций параметров решёточных моделей, используемых для описания различных систем в физике конденсированного состояния вещества, а также в теории поля. Исследование проводилось методом Монте-Карло моделирования. Существенная часть работы посвящена разработке новых методов компьютерного моделирования квантовых систем, содержащих фермионы и калибровочные поля, - а также соответствующих вычислительных алгоритмов. Такие методы лежат в основе решёточного подхода к непертурбативным вычислениям в теории калибровочных полей, а также к теоретическим расчётам в физике полуметаллов (графен и т. п.) в режиме сильной связи.

Актуальность диссертационной работы обусловлена прежде всего тремя факторами. Во-первых, рассмотренная соискателем компактная электродинамика является парадигматической моделью для изучения вильсоновского критерия конфайнмента, в которой линейно растущий потенциал между статическими источниками был получен аналитически. Поэтому изучение вкладов разных типов конфигураций калибровочного поля может помочь в доказательстве конфайнмента в калибровочных теориях (одной из проблем тысячелетия, по версии института Клэя). Во-вторых, качественное и принципиально новое улучшение широко используемого

метода вспомогательных полей Хаббарда-Стратоновича может найти применение в различных расчётах в физике конденсированного состояния. В-третьих, изучение соискателем влияния примесей и подложки на свойства графена показывает наличие принципиальной возможности перехода графена в диэлектрическое состояние, что позволит использовать его в электронных устройствах. Кроме того, оценка соискателем теплопроводности графена в расширенной модели Хаббарда на гексагональной решетке с взаимодействиями в узле и с ближайшими соседями в широком диапазоне температур открывает перспективу использования предложенных им методов вычислений для более точных моделей.

Диссертация занимает 111 страниц, состоит из введения, 12 глав, заключения и списка литературы из 73 источников.

Во введении автор диссертации указывает основные направления развития решёточного подхода в квантовой теории поля и физике конденсированного состояния. Он обосновывает важность рассмотренных им проблем для данной области науки и формулирует цели и задачи исследования, даёт краткое описание содержания работы по главам, формулируя основные полученные результаты.

Основной раздел имеет три части. В первой части обсуждается задача о фазах $U(1)$ калибровочной теории на решётке с увеличенным статистическим весом магнитных монополей. Вторая часть посвящена улучшению метода полей Хаббарда-Стратоновича для исследования расширенной модели Хаббарда. В третьей части представлены физические результаты изучения зависимости свойств модели Хаббарда на гексагональной решётке от параметров модели.

В **главе 1.1** формулируется изучаемая модель: компактная электродинамика в решёточной регуляризации с дополнительным членом, усиливающим статистический вес магнитных монополей.

В **главе 1.2** описано исследование корреляционных свойств решёточной $U(1)$ теории с дополнительным членом, усиливающим статистический вес магнитных монополей. Определены параметры (в терминах корреляционных функций) для обнаружения перехода конфайнмент-деконфайнмент.

В **главе 1.3** впервые изучены структуры удвоенных токов в рассматриваемой модели. Дается методика построения геометрических объектов на базе удвоенных магнитных токов с целью выявления дальних корреляций, соответствующих различным областям параметров модели. Выявлены свойства объектов типа «нить» и «дерево» в области, соответствующей конфайнменту.

В **главе 2.1** дана общая характеристика методов Монте-Карло.

В **главе 2.2** содержится весьма информативный обзор этих методов, в том числе метода со вспомогательными полями, собственно детерминантного, и гибридного методов Монте-Карло, а также алгоритма молекулярной динамики, необходимых для получения результатов, представленных в 3-й главе.

В **главе 2.3** выведены аналитические формулы для анализа погрешностей с учётом автокорреляций, использованные при вычислениях, описанных в 3-й главе. Рассмотрены методы складного ножа, бинирования данных и особенно подробно - использование автокорреляционных функций.

В **главе 3.1** поставлена задача изучения зависимости свойств модели Хаббарда на гексагональной решетке от параметров модели методом гибридного Монте-Карло, описанного в **части 2** диссертации.

В **главе 3.2** получено эффективное решёточное действие для узловых и рёберных вспомогательных полей Хаббарда-Стратоновича в рассматриваемой модели, сформулированной на языке вторичного квантования. Использование рёберных полей с целью уменьшения автокорреляций предложено соискателем впервые (метод пяти полей).

В **главе 3.3** построен алгоритм молекулярной динамики для полученного действия. Выведены формулы для метода псевдофермионных полей и точных фермионных сил с целью сравнения эффективности этих методик.

В **главе 3.4** рассмотрена задача различения двух фаз и вычисления теплоемкости электронной подсистемы графена. Формирование экситонного конденсата рассмотрено с микроскопической точки зрения. Приводится аналитический вид параметров порядка для выявления коллективных свойств электронных возбуждений в разных фазах. Здесь же впервые используется оператор квадрата гамильтониана, аналитический вид которого вынесен в Приложение.

Глава 3.5 посвящена доказательству преимуществ метода пяти полей, предложенного соискателем: метод даёт значительное уменьшение автокорреляций, ликвидирует нефизические «хвосты» распределения конфигураций по потенциальной энергии и т.д.. При помощи метода пяти полей сделана оценка теплоёмкости электронной подсистемы графена, что является нетривиальной задачей.

В **главе 3.6** в рамках расширенной модели Хаббарда показано, что, модифицируя взаимодействие электронов в узле на двух подрешётках, чего можно добиться путём подбора подложек, можно получить щель в спектре электронных возбуждений графена.

ВЫВОДЫ ПО ДИССЕРТАЦИИ

В целом о диссертационной работе С.Д.Мостового можно сделать следующие выводы:

1. Тема диссертации актуальна и соответствует научной специальности 1.3.3 – «Теоретическая физика».
2. Результаты работы являются новыми, получены автором самостоятельно и представляют несомненный научный интерес. Соискателем выдвигается

новый способ анализа корреляционных свойств магнитных токов в абелевой решеточной калибровочной теории и разработано обобщение метода полей Хаббарда-Стратоновича для изучения свойств расширенной модели Хаббарда, Полученные результаты проверялись разными способами, выявлены наиболее точные и эффективные алгоритмы в рамках монте-карловского моделирования. Особо следует отметить, что методика точных фермионных сил, метод пяти полей, предложенный соискателем, а также изучение зависимости статсуммы компактной электродинамики от активности монополей могут, при их дальнейшем развитии, привести к неожиданным и значимым результатам. Все утверждения диссертации сформулированы точным и ясным языком. Результаты опубликованы в 4 статьях в рецензируемых журналах из списка ВАК.

3. Результаты диссертации имеют теоретический характер и могут быть использованы в научных и прикладных исследованиях, проводимых в МГУ имени М.В. Ломоносова, НИЦ «Курчатовский институт» и других научно-исследовательских учреждениях, производящих исследования в области конденсированного состояния вещества, физики элементарных частиц, ядерной физики и теории поля. Это определяет теоретическую и прикладную ценность результатов диссертации.

4. Структура и содержание работы соответствуют поставленным целям и задачам исследования. Автореферат полно и правильно отражает содержание диссертации.

ЗАМЕЧАНИЯ ПО ДИССЕРТАЦИИ

1. В Главе 1 рассмотрены решётки размером $L=10$, что недостаточно для различения фазового перехода и кроссовера. Можно было бы лишь говорить об указаниях на возможный фазовый переход в пределе бесконечного объёма.

2. В первом абзаце на стр.57 содержится следующий комментарий к формуле (2.13): «На практике для подавления флуктуаций в T суммирование прекращают при появлении первого отрицательного слагаемого в сумме.» Однако, следует заметить, что эмпирическая автокорреляционная функция $A(t)$, определяемая на стр.53, приводит к смещённой оценке автокорреляционной функции (2.10), что ясно видно, например, в случае независимых величин O_n с нулевыми средними — в этом случае автокорреляционная функция получается не нулевой, а отрицательной. Использование несмещённой оценки автокорреляционной функции могло бы улучшить критерий прекращения суммирования.

3. Автор несколько раз в автореферате и диссертации использует определение «рафинированные» применительно к методам статистической обработки данных (неудачная калька с английского «refined») вместо «улучшенные» .

Однако, эти замечания не могут поколебать результаты, полученные соискателем, скорее, это пожелание к будущим исследованиям.

Безусловно, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.3. – «теоретическая физика» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Мостовой Сергей Дмитриевич несомненно заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3. – «теоретическая физика».

Официальный оппонент:

Кандидат физико-математических наук,
Старший научный сотрудник
Отдела теоретической физики
НИЦ «Курчатовский Институт» – Институт физики высоких энергий
Рогалёв Роман Николаевич

Контактные данные:

тел.: 7(903)539-30-10, e-mail: Roman.Rogalyov@ihep.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация: 01.04.02 – Теоретическая физика

Адрес места работы:

142281, Московская область, город Протвино, площадь Науки, дом 1
НИЦ «Курчатовский Институт» - ИФВЭ, ОТФ
Тел.: 7(903)539-30-10; e-mail: Roman.Rogalyov@ihep.ru

Подпись сотрудника НИЦ «Курчатовский Институт» - ИФВЭ
Р.Н. Рогалёва удостоверяю:

НИЦ «Курчатовский Институт» - ИФВЭ,
