

ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертацию
Романа Николаевича Жохова "Фазовые переходы под влиянием внешних условий в
низкоразмерных моделях теории поля",
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.02 - теоретическая физика**

Изучение низкоразмерных моделей квантовых теорий поля, в частности теорий с четырехфермионными взаимодействиями, является актуальной задачей, о чем свидетельствует большое количество современных научных исследований по этой тематике. Есть целая серия работ, посвященных исследованию фазового портрета моделей Гросса-Неве и Намбу-Йона-Лазинио под влиянием внешних условий.

Такой интерес объясняется тем, что эти модели, в отличие от их $(3+1)$ -мерных аналогов, являются перенормируемыми и имеют общие свойства с квантовой хромодинамикой, тем самым они могут быть использованы как лаборатория для изучения сильных взаимодействий. Многие явления были впервые изучены в рамках этих моделей. Одним из примеров таких явлений является нарушение киральной симметрии под действием магнитного поля, то есть эффект магнитного катализа. В связи с относительно простой структурой эти модели очень полезны в разработке новых методов квантовой теории поля. Результаты по изучению термодинамических свойств таких моделей интересны с точки зрения развития физической программы комплекса НИКА, строительство которого ведется в Дубне.

В рамках низкоразмерных моделей теории поля могут описываться многие реальные системы конденсированного состояния вещества, такие как графен, углеродные нанотрубки, купраты и другие. Полиацителен может быть описан с помощью $(1+1)$ -мерных моделей теории поля. Графен, первый экспериментально полученный двумерный кристалл, в последнее время притягивает большое внимание как теоретиков, так и экспериментаторов. Именно изучению различных $(2+1)$ -мерных теорий поля под влиянием внешних условий посвящена диссертация. $(2+1)$ -мерные модели с компактификацией одного пространственного измерения могут быть использованы для моделирования углеродных нанотрубок. Этому вопросу посвящена Глава 5 диссертации.

Эффект магнитного катализа, который упоминался выше, ранее не был исследован в контексте приложения к физике конденсированного состояния вещества, не был учтен спин электронов и его взаимодействие с внешним магнитным полем, хотя это взаимодействие может давать заметный вклад и менять фазовую структуру модели. Этот вопрос был исследован автором в Главе 4 данной диссертации.

Во **Введении** (Глава 1) обсуждается актуальность исследования моделей с четырехфермионным взаимодействием. Также приводится обзор основных моделей этого типа и их свойств. Основное внимание уделяется моделям Гросса-Неве в $(1+1)$ и $(2+1)$ -мерном пространстве-времени, модели Намбу-Йона-Лазинио и модифицированной

модели Гросса-Неве (называемой моделью Ходоса). Последняя обобщена в диссертации на случай $(2+1)$ -мерного пространства-времени.

В **Главе 2** модель типа Гросса-Неве с четырехфермионными взаимодействиями в фермион-антифермионном (киральном) и фермион-фермионном (сверхпроводящем) каналах (случай модели Ходоса) изучается в случае $(2+1)$ -мерного пространства-времени. Исследуется фазовая структура модели при конечной температуре и ненулевом химическом потенциале. При различном соотношении между константами связи и внешними условиями система может находиться или в сверхпроводящей фазе, или в фазе с нарушенной киральной симметрией, или в симметричной фазе, в которой оба конденсата равны нулю. Изучается борьба между двумя явлениями: образование сверхпроводящего и кирального конденсата, и исследуется фазовый портрет модели. Основным результатом этой главы является установление того, что с увеличением химического потенциала система переходит в сверхпроводящую фазу.

В **Главе 3** исследуется фазовый портрет $(2+1)$ -мерной модели Ходоса под влиянием внешнего параллельного плоскости системы магнитного поля. В модель вводится дополнительный спиновый индекс фермионов и учитывается зеемановское взаимодействие спина с магнитным полем. Параллельное магнитное поле в отсутствие химического потенциала играет ту же роль, что и химический потенциал, за исключением того, что в системе удваивается количество степеней свободы. При ненулевом химическом потенциале магнитное поле приводит к тому, что в системе появляются два эффективных химических потенциала для фермионов с разными проекциями спина. Наиболее интересным выводом этой главы является то, что увеличение параллельного магнитного поля приводит к переходу системы в сверхпроводящую фазу. Эта фаза оказывается парамагнитной. Также показано, что в системе существуют две фазы с нарушенной киральной симметрией, с нулевой и ненулевой плотностью числа частиц и намагниченностью, в случае если химический потенциал и внешнее параллельное магнитное поле отличны от нуля.

Ранее изучалось влияние перпендикулярного магнитного поля на $(2+1)$ -мерную модель Гросса-Неве (без учета зеемановского взаимодействия) и было выяснено, что перпендикулярное магнитное поле приводит к нарушению киральной симметрии (эффект магнитного катализа). Позже было рассмотрено влияние параллельного магнитного поля, которое влияет на систему только посредством зеемановского взаимодействия. Было выяснено, что параллельное магнитное поле действует на систему, как химический потенциал, то есть восстанавливает киральную симметрию.

В **Главе 4** диссертации исследуется влияние произвольно направленного внешнего магнитного поля на систему, описываемую $(2+1)$ -мерной моделью Гросса-Неве. При этом учитывается взаимодействие магнитного поля со спином фермионов и с орбитальным моментом импульса фермионов. В диссертации было показано, что учет взаимодействия магнитного поля со спином фермионов заметно меняет поведение системы даже в случае только перпендикулярной компоненты магнитного поля. Основным результатом этой главы является обнаружение того, что эффект магнитного катализа имеет место только при малых значениях магнитного поля, а при увеличении магнитного поля или его наклоне

киральная симметрия восстанавливается. В диссертации было выяснено, что в системе при достаточно сильном взаимодействии могут существовать две фазы с нарушенной киральной симметрией, одна из которых является диамагнитной, а вторая парамагнитной. Было обнаружено, что при малых значениях перпендикулярной компоненты магнитного поля имеет место эффект осцилляции намагниченности. Автором были выполнены численные оценки, которые показывают, что рассмотренные эффекты соответствуют значениям внешнего магнитного поля, достижимым в лабораторных условиях.

В **Главе 5** изучается $(2+1)$ -мерная модель Гросса-Неве с компактифицированным измерением под влиянием внешнего магнитного поля при конечной температуре и ненулевом химическом потенциале с учетом спина фермионов и зеемановского взаимодействия с магнитным полем.

Получено выражение для термодинамического потенциала и исследован фазовый портрет модели. Было также получено выражение для термодинамического потенциала модели методом дзета-регуляризации. Автором проведены численные оценки для величины магнитного поля, при которой происходят фазовые переходы.

В целом, диссертация написана хорошим языком. Приводятся необходимые детали вычислений, часть из которых вынесена в Приложения.

По диссертации есть несколько замечаний:

- 1) При чтении, я обнаружил лишь незначительное число опечаток, но одна из них сделана в имени соавтора микроскопического подхода к описанию сверхпроводимости — в фамилии «Шриффер» пропущена буква «р». Эта же досадная опечатка присутствует и в автореферате. Аналогично заслуживает упоминания неправильная постановка апострофа в имени другого нобелевского лауреата — Джерарда 'т Хоофта.
- 2) В ряде случаев в рассматриваемых моделях осуществлялся переход к пределу бесконечно большого числа ароматов фермионов N . При этом практически не обсуждается чему такое приближение соответствует в реальных случаях (графен, КХД и т. п.).
- 3) К достоинствам диссертации можно отнести аккуратное использование научной терминологии, но в некоторых случаях автор допустил использование жаргона, например, «сверхпроводящая щель» в подписи к Рис.2.3.
- 4) В Главе 3 утверждается, что сколь угодно малое продольное магнитное поле (при $g_1 > 0$ и $g_2 > 0$) переводит систему в сверхпроводящую фазу. Хотелось бы узнать об устойчивости данного перехода по отношению к малым возмущениям других параметров системы.
- 5) В диссертации по делу цитируется большое количество литературы, однако, как ни странно, отсутствуют ссылки на некоторые основополагающие работы, например, касательно явления размерной трансмутации а также — предела 'т Хоофта в КХД.

Сделанные замечания не снижают общей высокой оценки диссертации, которая является законченной научно-исследовательской работой, в которой автор внес существенный вклад в исследование (2+1)-мерных теорий поля. Все результаты являются оригинальными и достоверными, получены с помощью хорошо известных и опробованных методов квантовой теории поля. Результаты диссертации своевременно опубликованы в ведущих научных журналах, рекомендованных ВАК, известны специалистам и неоднократно докладывались на международных конференциях. Автореферат правильно и полностью отражает содержание диссертации.

Подводя итог, можно с уверенностью сказать, что диссертация Р.Н. Жохова "Фазовые переходы под влиянием внешних условий в низкоразмерных моделях теории поля" отвечает всем требованиям ВАК РФ, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор, безусловно заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 - теоретическая физика.

Официальный оппонент



д.ф.-м.н., заместитель директора ЛТФ ОИЯИ

А.Б.Арбузов

09.03.2016

Подпись заместителя директора ЛТФ ОИЯИ А.Б. Арбузова заверяю:

ученый секретарь ЛТФ ОИЯИ



С.Н.Неделько

Сведения об оппоненте:

Арбузов Андрей Борисович
доктор физико-математических наук, без звания,
заместитель директора Лаборатории
теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова,
Объединенный институт ядерных исследований,
адрес: ул. Жолио-Кюри, д.6, г. Дубна, 141980
тел. 8(496)2163343, e-mail: arbuzov@theor.jinr.ru