

УТВЕРЖДАЮ

Проректор МГУ имени М.В. Ломоносова
доктор физико-математических наук, профессор



А.А. Федянин
А.А. Федянин

марта
_____ 2016 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова" (Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына) о диссертации Жохова Романа Николаевича "Фазовые переходы под влиянием внешних условий в низкоразмерных моделях теории поля", представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 --теоретическая физика.

Актуальность темы диссертационного исследования. В последние десятилетия в различных областях физики большое внимание уделялось изучению низкоразмерных квантово-механических и теоретико-полевых моделей. Интерес к таким моделям обусловлен несколькими причинами. В физике конденсированных сред такие модели позволяют описать ряд эффектов, в частности, квантовый эффект Холла в двумерных системах и линейный закон дисперсии электронов в графене, изучению которого в последнее время было посвящено множество теоретических и экспериментальных исследований. Также низкоразмерные модели с нетривиальной топологией могут быть использованы для изучения углеродных нанотрубок. В квантовой теории поля низкоразмерные модели можно рассматривать как полигон, на котором отрабатываются и проверяются новые методы, применение которых в реалистических четырехмерных теориях встречается со значительными трудностями. Действительно, низкоразмерные теории имеют более простую структуру, и полученные в их рамках результаты могут быть полезны для лучшего понимания различных физических явлений, происходящих в реальном четырехмерном мире, таких, например, как динамическое нарушение симметрии, цветовая сверхпроводимость и так далее. Интересной низкоразмерной моделью, имеющей много общих черт с квантовой хромодинамикой, является модель Гросса-Невё. Исследованию этой модели и ее различных модификации и посвящена рассматриваемая диссертация. Таким образом, актуальность темы диссертационной работы не вызывает

сомнений.

Научная новизна. В диссертации детально исследована трехмерная модель типа Гросса-Невё с двумя каналами взаимодействия, киральным и сверхпроводящим, при конечной температуре, ненулевом химическом потенциале и внешнем магнитном поле и получен ряд новых результатов. В частности, для такой модели был вычислен термодинамический потенциал, на его основе был исследован фазовый портрет модели, и было обнаружено, что при любой температуре ненулевой химический потенциал и параллельное магнитное поле приводят к появлению в системе сверхпроводящей фазы. Было показано, что в таких моделях имеют место эффект магнитного катализа нарушения киральной симметрии и связанное с ним скачкообразное поведение динамической массы фермионов в зависимости от внешнего магнитного поля, то есть эволюция системы при изменении магнитного поля сопровождается несколькими различными фазами с нарушенной киральной симметрией. Также впервые была исследована фазовая структура трехмерной модели Гросса-Невё с одним компактифицированным измерением под влиянием внешнего магнитного поля, направленного вдоль некомпактифицированного измерения, при конечной температуре и ненулевом химическом потенциале с учетом взаимодействия спинового магнитного момента электронов с магнитным полем.

Практическая значимость. Полученные в диссертации результаты могут найти применение в теории конденсированных сред при исследовании влияния магнитных полей на фазовые переходы в квазипланарных системах, а также для качественного анализа фазовых переходов в углеродных нанотрубках. Приведенные в работе численные оценки показывают, что изученные в диссертации фазовые переходы могут наблюдаться в реальных двух- и одномерных системах при значениях внешнего магнитного поля, достижимых в лабораторных условиях.

Достоверность полученных результатов обеспечивается последовательным использованием хорошо проверенных методов континуального интегрирования и $1/N$ разложения. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в четырех статьях в научных журналах и были представлены на ряде международных конференций.

Общая характеристика работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав основного содержания, заключения, приложения и списка литературы. Общий объем диссертации — 136 страниц, включая 48 рисунков. Список литературы включает 143 наименования.

В первой главе, которая представляет собой введение, автор рассматривает основные модели с четырехфермионным взаимодействием в пространства-времени различных размерностей и обсуждает актуальность исследования этих моделей. В частности, он приводит аргументы в пользу того, что эти модели обладают общими свойствами с квантовой хромодинамикой. Кроме

того, автором здесь рассматривается возможность применения таких моделей к описанию систем конденсированного состояния вещества.

Во второй главе автором исследуется фазовый портрет трехмерной модели типа Гросса-Невё с безмассовыми фермионами, принадлежащими векторному предоставлению группы $O(N)$, которые обладают четырехфермионными взаимодействиями в фермион-антифермионном (киральном) и фермион-фермионном (сверхпроводящем) каналах при конечной температуре и ненулевом химическом потенциале. Исследование проводилось в рамках ведущего порядка $1/N$ разложения и поэтому является непертурбативным. Автор показывает, что система может находиться в трех фазах: в симметричной фазе, в фазе с нарушенной киральной симметрией, когда конденсат $\langle \bar{\psi}\psi \rangle$ отличен от нуля, и в сверхпроводящей фазе, когда отличен от нуля конденсат $\langle \psi^T C \psi \rangle$. Им рассмотрены возможные фазовые переходы между этими фазами при изменении внешних условий и показано, что увеличение химического потенциала приводит к появлению сверхпроводящего конденсата в системе, при этом в сверхпроводящей фазе плотность числа частиц отлична от нуля.

В третьей главе автор изучает влияние внешнего магнитного поля, лежащего в плоскости системы, на фазовый портрет трехмерной модели типа Гросса-Невё с двумя каналами взаимодействия. Для этого автором учитывалось взаимодействие магнитного поля с собственным магнитным моментом фермионов посредством введения в лагранжиан соответствующего члена. При этом спин описывался с помощью дополнительного индекса у фермионных полей. Было показано, что как химический потенциал, так и параллельное магнитное поле приводят к появлению в системе сверхпроводящей фазы. В этой фазе намагниченность отлична от нуля, и фаза является парамагнитной. Также автором показано, что если химический потенциал и внешнее магнитное поле отличны от нуля, то в системе могут реализоваться две фазы с нарушенной киральной симметрией: с нулевой и ненулевой плотностью числа частиц и намагниченностью.

В четвертой главе автор исследует влияние произвольно направленного внешнего магнитного поля на нарушение киральной симметрии в трехмерной модели Гросса-Невё. А именно, рассматривается произвольно направленное магнитное поле и учитывается взаимодействие магнитного поля как с орбитальным магнитным моментом фермионов, так и со спиновым магнитным моментом фермионов. Автором было выяснено, что учет взаимодействия со спиновым магнитным моментом заметно меняет поведение системы даже в случае только перпендикулярной компоненты магнитного поля. Так, в этой главе показано, что при некоторых условиях достаточно слабое внешнее магнитное поле индуцирует спонтанное нарушение киральной симметрии, а при увеличении магнитного поля или

его наклоне киральная симметрия восстанавливается. Таким образом, эффект магнитного катализа может иметь место только при малых значениях магнитного поля.

При достаточно сильном взаимодействии в фермион-антифермионном канале автором было обнаружено скачкообразное поведение динамической массы фермионов в зависимости от внешнего магнитного поля, то есть эволюция системы при изменении магнитного поля сопровождается несколькими различными фазами с нарушенной киральной симметрией. Автор также нашел, что фазы с нарушенной киральной симметрией отличаются знаком намагниченности, одна из фаз является парамагнитной, а другая диамагнитной. Кроме того, здесь показано, что имеет место эффект осцилляции намагниченности при малых значениях перпендикулярной компоненты магнитного поля. Наконец, автором проведены численные оценки в контексте физики конденсированного состояния вещества.

Пятая глава посвящена изучению трехмерной модели Гросса-Невё с одним компактифицированным измерением под влиянием внешнего магнитного поля, направленного вдоль некомпактифицированного измерения, при конечной температуре и ненулевом химическом потенциале с учетом взаимодействия спинового магнитного момента электронов с магнитным полем. Автором получено выражение для термодинамического потенциала в двух разных видах, каждый из которых удобен для численного исследования при различных условиях, исследована фазовая структура модели и проведены численные оценки магнитного поля, при котором происходят фазовые переходы. Интересным результатом этой главы является то, что при любых граничных условиях при больших магнитных полях есть область радиусов компактифицированного измерения, где симметрия может восстанавливаться или нарушаться несколько раз при незначительных изменениях радиуса. Автор приводит также численные оценки, которые показывают, что рассмотренные в этой и предыдущей главах эффекты происходят при значениях магнитных полей, которые достижимы в лабораторных условиях, что указывает на возможность экспериментального исследования данных эффектов.

В Заключение автором еще раз подробно сформулированы полученные в диссертации результаты.

В Приложения вынесены вспомогательные материалы расчетного характера.

Диссертация не лишена недостатков. Например, иногда одни и те же физические величины в разных главах обозначаются по-разному. Так, в третьей и пятой главах химические потенциалы фермионов с противоположными проекциями спина почему-то обозначаются одной и той же буквой с разными индексами. То же самое происходит с термодинамическим потенциалом, в выражение для которого в одних главах множитель числа "цветов" N включен, а в других на него поделено. К недостаткам можно также отнести отсутствие подробного обсуждения уравнения Дирака

в трехмерном пространстве-времени, которое постоянно используется в работе. В приложении автор приводит только вид матриц Дирака для трехмерного пространства, хотя было бы полезно обсудить свойства этого уравнения более подробно.

Однако сделанные замечания не снижают общей высокой оценки работы и никак не влияют на основные выводы и значимость полученных результатов. Выводы и положения диссертации соответствуют представленным результатам. Настоящая работа является законченным научно-квалификационным исследованием, которое выполнено на высоком научном уровне и вносит значительный вклад в актуальное направление современной теоретической физики – исследование свойств низкоразмерных моделей в квантовой теории поля и физике конденсированных сред. Автореферат диссертации достаточно полно отображает содержание диссертационной работы и оформлен в соответствии с требованиями ВАК РФ, предъявляемыми к авторефератам диссертационных работ на соискание ученой степени кандидата наук. Требования ВАК к публикациям по теме диссертации на соискание ученой степени кандидата наук полностью выполнены.

Диссертация Жохова Романа Николаевича "Фазовые переходы под влиянием внешних условий в низкоразмерных моделях теории поля" полностью соответствует предъявляемым к кандидатским диссертациям требованиям "Положения о присуждении ученых степеней", утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года №842, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Диссертация обсуждена и одобрена на семинаре Отдела теоретической физики высоких энергий НИИЯФ МГУ 21 октября 2015 г. Отзыв составлен ведущим научным сотрудником Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, доктором физико-математических наук Волобуевым Игорем Павловичем.

Директор НИИЯФ МГУ,
доктор физико-математических наук,
профессор



М.И. Панасюк

Заведующий ОТФВЭ НИИЯФ МГУ,
доктор физико-математических наук,
профессор

В.И. Саврин

Ведущий научный сотрудник ОТФВЭ НИИЯФ МГУ,
доктор физико-математических наук

И.П. Волобуев

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова" (Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына)

Адрес: 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы дом 1 строение 2

Телефон: +7 (495) 9393572

E-mail: volobuev@theory.sinp.msu.ru