

“УТВЕРЖДАЮ”
Директор НИЦ
«Курчатовский институт» - ИФВЭ
академик



С.В. Иванов

19 января 2018 г.

О Т З Ы В

ведущей организации Федерального государственного бюджетного учреждения «Институт физики высоких энергий имени А.А. Логунова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» на диссертационную работу Хайдукова Захара Викторовича «Коллективные явления в киральных средах», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 - теоретическая физика.

Диссертационная работа Хайдукова З.В. посвящена исследованию актуальной проблемы квантовой теории поля – роли киральной симметрии в свойствах сильновзаимодействующей материи. Под киральной средой (термин вынесен в название диссертации) следует понимать среду с безмассовыми фермионами, взаимодействие которых кирально инвариантно. Огромный интерес в последнее время вызывают аномальные транспортные явления в системах с киральными фермионами, от физики высоких энергий – кварк-глюонная плазма, компактные звезды – до физики конденсированного состояния – графен, дираковские полуметаллы. Важную роль в киральной среде играет аксиальная аномалия. Эффекты, связанные с аксиальной аномалией, также наблюдаются как в квантовой теории поля, так и в физике конденсированного состояния. Это, в частности, приводит к уникальной возможности проверки теоретических результатов, полученных в рамках квантовой теории поля, в экспериментах физики твердого тела.

В диссертационной работе Хайдукова З.В. рассмотрен целый ряд актуальных задач квантовой теории поля и физики конденсированных сред. Основное внимание в диссертации уделено следующим проблемам: влияние индуцированной гравитации на уровни Ландау в графене, эффект кирального разделения и его связь с топологией импульсного пространства, киральная аномалия в решеточных калибровочных теориях, модель конденсации топ-кварка со сверхтяжелым фермионом. Исследование этих задач, тесно

связанных с проблемами, описанными выше, безусловно делает диссертацию актуальной.

Диссертация состоит из пяти глав: Введения (Глава 1), четырех глав основного текста (Главы 2-5), заключения, приложения и списка литературы, который включает 159 наименований. Объем диссертации составляет 100 страниц.

Во Введении (первая глава) сформулированы цели диссертационной работы, дан краткий обзор диссертационной работы, обозначены новизна и актуальность данной работы, указано её практическое и научное значение, перечислены результаты, выносимые на защиту.

В Главе 2 представлены результаты изучения уровней Ландау в графене в присутствии индуцированных магнитного и гравитационного полей, возникающих вследствие упругих деформаций. Высокая подвижность носителей заряда (максимальная подвижность электронов среди всех известных материалов) делает графен перспективным материалом для использования в самых различных приложениях, в частности, как возможную замену кремния в интегральных микросхемах. Графен также является уникальной лабораторией для экспериментальной проверки результатов, полученных в формализме квантовой теории поля применительно к физике конденсированных сред.

Низкоэнергетическое разложение в графене в окрестности точек Ферми задается гамильтонианом Вейля, что означает, что низкоэнергетические возбуждения представляют собой безмассовые Ферми-частицы в 2+1 измерении. Как хорошо известно, во внешнем магнитном поле в такой системе должны возникать уровни Ландау. Поле деформации может иметь аналогичный эффект. Помимо индуцированного магнитного поля возникает индуцированное гравитационное поле. Последнее может оказывать влияние на свойства уровней Ландау.

Как было показано в диссертационной работе, в присутствии эффективной гравитации вырождение уровней Ландау может получать поправки, вид которых зависит от конкретного вида поля деформации. В работе получена зависимость вырождения от размера образца, что означает зависимость найденной поправки от формы графена. Также вычислены поправки к энергии уровней Ландау. Следует отметить, что в диссертации предложена экспериментальная проверка полученных результатов. Таким образом, результаты, полученные при исследовании графена, важны как для теоретической физики, так и для практических приложений.

Третья глава посвящена изучению физического эффекта, связанного с аксиальной аномалией, а именно, кирального эффекта разделения. Под киральным эффектом разделения понимается возникновение аксиального тока в системе с киральными фермионами во внешнем магнитном поле при ненулевом барионном химическом потенциале. Этот ток направлен вдоль магнитного поля и не подвергается затуханию в среде. Следует отметить, что в последнее время различные механизмы переноса без диссипации

привлекают к себе значительный интерес как в квантовой теории поля, так и в физике конденсированного состояния; этим обусловлено интенсивное изучение не только кирального эффекта разделения, но и кирального магнитного эффекта, а также кирального вихревого эффекта. В диссертационной работе киральный эффект разделения рассматривается в формализме квантовой теории поля без регуляризации и в случае решеточной регуляризации. Показана связь этого и других аналогичных аномальных эффектов с топологическими инвариантами в импульсном пространстве. Получено выражение для этого инварианта. Показано, что киральный эффект разделения возникает для двух случаев решеточной регуляризации для фермионов – для вильсоновских фермионов и для «перекрывающихся» фермионов. Приведены аргументы, указывающие на справедливость данного вывода для других решеточных регуляризаций с правильным континуальным пределом. Полученные в этой главе результаты представляют значительный интерес для решеточных калибровочных теорий. Они могут быть проверены с помощью численного моделирования квантовой хромодинамики (КХД) в решёточной регуляризации без динамических фермионов или в решеточной КХД с динамическими фермионами с мнимым барионным химическим потенциалом.

Глава 4 посвящена выводу выражения для киральной аномалии в решеточных калибровочных теориях. Формализм, использованный в главе 3 при выводе выражения для кирального эффекта разделения, применяется для вычисления дивергенции аксиального тока. Показано, что универсальность коэффициента в выражении для киральной аномалии обеспечивается топологическим инвариантом в импульсном пространстве. Для подтверждения этого утверждения получено выражение для дивергенции аксиального тока, как для решеточного фермионного действия Вильсона, так и в рамках теории без регуляризации. Ранее независимость коэффициента перед аномалией от взаимодействия доказывалась отдельно для каждой конкретной модели. В диссертации получен универсальный критерий существования аномалий в решеточных теориях, который связан со стабильностью точки Ферми.

В 5-й главе рассмотрена модель составного бозона Хиггса. Идея составного бозона Хиггса, состоящего из топ-кварка была предложена в работе Миранского 1989 года. Недавно Воловик и Зубков рассмотрели модель конденсации топ-кварка, в которой бозон Хиггса возникает как псевдолестоуновский бозон. В диссертации исследовалась модификация этой модели. Симметрии модели и их нарушения подобраны таким образом, чтобы в низкоэнергетическом пределе получался спектр стандартной модели. Помимо бозона Хиггса в модели присутствует ряд существенно более тяжелых бозонов. Для этой модели вычислены спектр и основные константы, которые сравниваются с экспериментальными данными. В рамках данной модели автор делает предсказания, которые претендуют на экспериментальное обнаружение, что говорит о перспективности работы в

данном направлении.

В Заключении подведены итоги работы и изложены основные результаты диссертации.

Следует отметить следующие недостатки рассматриваемой диссертации.

1) В главе 2, посвященной исследованию эффекта кирального разделения, нет обсуждения недавних результатов, полученных П.В. Буйвидовичем (Phys.Rev.Lett. 118 (2017) no.19, 192003) в рамках решеточного моделирования квантовой хромодинамики приближении «замороженных» фермионов. Это пока единственный результат, полученный для эффекта кирального разделения в решеточной теории с взаимодействием. Автор диссертации мог бы объяснить эти численные результаты, используя технику главы 2.

2) Автору следовало упомянуть, что модель, рассматриваемая в главе 5, является неперенормируемой, а также привести доводы, обосновывающие возможность использования такой модели. Кроме того, следовало бы дать более основательную феноменологическую мотивацию для столь тщательного изучения рассматриваемого расширения Стандартной модели.

3) Присутствует небрежность в оформлении текста и списка литературы. Например, на странице 10 два предложения повторяются дважды,

Сделанные замечания не снижают общую положительную оценку диссертации и не влияют на основные выводы и значимость полученных результатов. Результаты научных исследований докторанта являются новыми. Они найдут применение в организациях, занимающихся теоретическим и экспериментальным изучением квантовой теории поля, физики высоких энергий, физики конденсированного состояния.

Тема докторской работы важна и актуальна. Анализ содержания работы свидетельствует о том, что она представляет законченную научно-исследовательскую работу, выполненную на высоком научном уровне. Автор демонстрирует отличное владение современными методами теоретической физики. Докторская написана строгим научным языком, структура докторской хорошо продумана и отличается целостностью. Результаты докторской, выносимые на защиту, обоснованы, их новизна, достоверность и практическая ценность не вызывают сомнения. Результаты докторской работы опубликованы в 4-х статьях в журналах из списка ВАК. Абстракт правильно и полно отражает содержание докторской.

Докторская работа Хайдукова Захара Викторовича «Коллективные явления в киральных средах» удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским докторантам в «Положении о присуждении учёных степеней», утвержденном постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года №842. Хайдуков З.В. заслуживает присуждения ему звания кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – «теоретическая физика».

Результаты докторской заслушаны, обсуждены и одобрены на

семинаре Отдела теоретической физики НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ 19 декабря 2017 г.

Отзыв составил кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник Отдела теоретической физики
НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ
Тел. (4967) 71-35-75, Адрес эл. почты: rnr@ihep.ru

Р.Н. Рогалёв

Секретарь семинара Отдела теоретической физики
НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ
доктор физико-математических наук
главный научный сотрудник

Ю.М. Зиновьев

Начальник Отдела теоретической физики
НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ
профессор

В.А. Петров

1. Heavy quarkonium formation via gluon-gluon fusion at LHC, V. G. Bornyakov, B. E. Boos, A. S. Kondratenko, A. V. Nikityuk, V. I. Tchernov, Phys. Rev. D 95 (2017) no. 9, 094029.
2. Heavy quarkonium state in the framework of the chiral quark model, V. G. Bornyakov, B. E. Boos, A. V. Nikityuk and V. S. Zinov'ev, Phys. Rev. D 95 (2017) no. 10, 104019.
3. Heavy quarkonium formation via gluon-gluon fusion at LHC: Comparison of an NJL model with isovector, isospin, and charge-conjugation electric potentials, V. Ebert, T.G. Knaufka, K.S. Klimenko, Phys. Rev. D 95 (2017) no. 7, 074016.
4. Price mechanism in heavy quarkonium formation via gluon-gluon fusion under the influence of external fields, V. Ebert, A.G. Klymenko, F.B. Kudryavtsev, V.C. Zhukovskiy, Sov. J. Nucl. Phys. 37 (1983) 383-393.
5. Comparison and duality correspondence between chiral and supersymmetric channels in $F(2+1)$ -dimensional four fermion models with fermion numbers and chiral chemical potentials, O. Ebert, T.S. Knaufka, K.S. Klimenko, V.C. Zhukovskiy, Phys. Rev. D 93 (2016) no. 16, 165022.
6. Many-body effects on electric conductivity, Quantum Monte Carlo calculations, D.L. Borsig, V. Ebert, M.I. Krasnenko, and M.V. Litvinenko, Phys. Rev. E 94 (2016) no. 5, 052142.
7. Catastrophe of quarkonium formation due to breaking by QCD Chiral Symmetry, V. Ebert, T.S. Knaufka, M.I. Krasnenko, and M.V. Litvinenko, Phys. Rev. D 94 (2016) no. 11, 114030.