

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

**Физический
ИНСТИТУТ**



имени

П.Н. Лебедева

Российской академии наук

Ф И А Н

119991, Москва, ГСП-1

Ленинский проспект, 53, ФИАН

Телефоны: +7 (499) 135 14 29

+7 (499) 132 65 54

Телефакс: +7 (499) 135 78 80

E-mail: office@lebedev.ru

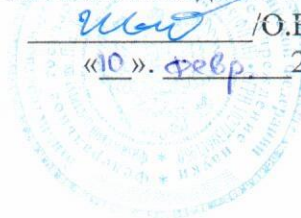
www.lebedev.ru

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора Федерального
государственного бюджетного учреждения
науки Физического института
им. П.Н. Лебедева РАН, к.ф.-м.н.

Иванов /О.В. Иванов/

«10». *Февр.* 2026 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

о диссертации **Дотдаева Альберта Шамилевича** «Электронный транспорт в системах с нетривиальным топологическим инвариантом», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния»

Актуальность темы исследования. В последние два десятилетия топологические состояния материи стали одним из центральных направлений исследований в физике твёрдого тела, что отражено как в интенсивном росте числа теоретических работ, так и в значительном объёме экспериментальных исследований. Существенный прогресс в понимании топологических изоляторов, вейлевских и дираковских полуметаллов, а также мезоскопических одноэлектронных устройств показал, что топологические инварианты и симметричные свойства уравнений движения оказывают определяющее влияние на наблюдаемые транспортные характеристики. В этом контексте аналитическое исследование электронного транспорта в системах с нетривиальными топологическими инвариантами, выполненное в диссертации А. Ш. Дотдаева, является своевременным и актуальным научным направлением, отвечающим современному уровню развития физики конденсированного состояния.

Рассматриваемые в диссертации задачи затрагивают сразу несколько активно развивающихся направлений в современной теории твёрдого тела: физику неравновесных мезоскопических систем, транспорт в топологических полуметаллах, а также теорию краевых состояний топологических изоляторов. Каждое из этих направлений по отдельности характеризуется высокой научной значимостью и интенсивным развитием, а их объединение в рамках единой аналитической работы подчёркивает комплексный и междисциплинарный характер проведённого исследования.

Кроме того, актуальность диссертации усиливается её прямой связью с современными экспериментами, проводимыми на реальных материалах и мезоскопических структурах. Полученные в работе выводы о характере магнитосопротивления анизотропных вейлевских полуметаллов, а также о механизмах рассеяния краевых состояний в топологических изоляторах в магнитном поле, имеют принципиальное значение для корректного анализа экспериментальных наблюдений и планирования дальнейших исследований в данной области.

Структура диссертации. Диссертация Дотдаева А.Ш. состоит из введения, трёх глав, заключения и приложений. Полный объём диссертации - 84 страницы текста с 18 рисунками. Список литературы содержит 109 наименований.

Во **введении** обоснована актуальность выбранной темы исследования, рассмотрена степень её разработанности в современной научной литературе, сформулированы цель и задачи работы, представлен обзор основных литературных источников, а также чётко определены положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** получено решение уравнений движения для одноэлектронного транзистора в неравновесном режиме слабой кулоновской блокады. Показано, что значение диссипативной части действия на найденных решениях является универсальным и не зависит от конкретной реализации неравновесного состояния. Вначале анализируется частный случай неравновесия, обусловленный ограниченным теплоотводом от островка, после чего рассматривается наиболее общий стационарный неравновесный режим, допускающий произвольный вид функций распределения электронов на островке и контактах.

Во **второй главе** выполнен расчёт магнитопроводимости и магнитосопротивления вейлевских полуметаллов с аксиально-анизотропным ненаклонённым конусом Вейля в ультраквантовом режиме при слабом беспорядке. Проведён анализ экранированного потенциала беспорядка и исследовано масштабирование компонент тензора проводимости в зависимости от параметра анизотропии. Далее, в рамках формализма Кубо–Гринвуда произведён расчёт проводимости с учётом суммирования диаграмм первого порядка по степени беспорядка. В результате выявлены функциональные зависимости магнитопроводимости от полярного и азимутального углов, задающих ориентацию оси анизотропии относительно внешних магнитного и электрического полей.

В **третьей главе** построена аналитическая теория рассеяния на краевых дефектах в топологических изоляторах в присутствии магнитного поля. Рассмотрены два взаимодополняющих предельных случая: квазиклассический режим, соответствующий гладким деформациям края, и режим теории возмущений по малому внешнему магнитному полю. Проанализированы различные варианты аналитических свойств профильной функции, описывающей форму края, и получены соответствующие коэффициенты отражения с

использованием метода Покровского–Халатникова и метода теории возмущений. Продemonстрировано полное совпадение результатов, полученных указанными подходами, а также выявлена нетривиальная связь между симметрией по отношению к обращению времени и аналитическими свойствами амплитуды отражения.

В **заключении** подведены итоги и обобщены основные результаты диссертационного исследования.

Научная новизна диссертации. Полученные автором результаты обладают оригинальным характером и не сводятся к техническому обобщению ранее известных подходов.

В частности, в работе впервые построены инстантонные решения для одноэлектронного транзистора в общем стационарном неравновесном режиме в формализме Келдыша. Данный результат существенно расширяет класс известных непертурбативных решений действия Амбегаокара–Эккерн–Шёна. Установлена универсальность значения диссипативной части действия на инстантонных конфигурациях, что представляет собой принципиально новое теоретическое наблюдение, указывающее на наличие глубинных симметрий в неравновесных мезоскопических системах.

Впервые теоретически исследована угловая зависимость магнитосопротивления вейлевских полуметаллов с аксиально-анизотропным ненаклонённым конусом Вейля в ультраквантовом режиме. Полученные аналитические выражения для компонент тензора проводимости демонстрируют качественно новые эффекты, связанные с ориентацией оси анизотропии относительно внешних электрического и магнитного полей. Данные результаты имеют самостоятельную научную ценность и представляют интерес для интерпретации экспериментов на реальных анизотропных вейлевских материалах.

Впервые построена теория рассеяния краевых состояний двумерных топологических изоляторов на краевых дефектах в присутствии магнитного поля. Получен коэффициент отражения электронов с предэкспоненциальной точностью и выявлен квантово-осцилляционный характер отражения как функции магнитного поля.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в том, что полученные результаты углубляют понимание фундаментальных механизмов электронного транспорта в топологически нетривиальных системах и могут быть использованы при интерпретации экспериментальных данных. Результаты данной работы применимы при разработке и оптимизации новых маломощных электронных устройств, спинтронике, метрологии и в перспективных архитектурах квантовых вычислений.

Публикации по теме диссертации. Обсуждаемые в диссертации результаты опубликованы в трёх статьях в рецензируемых журналах из списка ВАК.

Соответствие автореферата основным положениям диссертации. Автореферат диссертации в полном объеме отражает её содержание.

По содержанию диссертационной работы имеются следующие вопросы и замечания:

1. В главе 1 находятся инстантонные решения, и они имеют полюса в определенных точках. Однако из анализа этих решений следует тот факт, что соответствующие фазовые поля комплексные и содержат разрезы. Как придать смысл таким решениям с точки зрения функционального интегрирования?
2. В главе 2 используется определенный вид для корреляционной функции беспорядка $g(r)$. Чем мотивирован данный вид $g(r)$ и насколько полученные результаты универсальны и применимы для реальных систем? Существуют ли какие-то экспериментальные данные на эту тему?
3. В главе 3 показывается, что коэффициент отражения для несимметричного потенциала осциллирует как функция магнитного поля. В чем физический смысл данных осцилляций и отвечают ли они каким-то процессам интерференции? Почему несимметричность существенна для их существования с точки зрения физики явления?
4. Иногда используемые термины выглядят непривычно и не являются общепринятыми для русскоязычной научной литературы. Например, «оператор поляризации», «винтовые краевые состояния» и др.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы.

Результаты работы представляются полезными как для специалистов в физике конденсированного состояния вещества, так и для людей, работающих в области теоретической физики. Последнее особенно справедливо в отношении главы 3. Результаты диссертации могут быть использованы в Национальном исследовательском технологическом университете «МИСИС», Институте физики микроструктур РАН, Институте Теоретической Физики им. Л.Д. Ландау РАН, Институте Физики Твердого Тела им. Ю.А.Осипяна РАН, Физическом Институте им. П.Н. Лебедева РАН.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней:

Диссертационное исследование Дотдаева А.Ш. представляет собой работу, проведенную на высоком уровне, по актуальной тематике. Автореферат правильно и полностью отражает содержание диссертации. Результаты этой работы имеют практическое и теоретическое значение. Диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Дотдаев Альберт Шамилевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния».

Отзыв составил:

ст.н.с. к.ф.-м.н. (специальность 01.04.02)



А.Г.Семенов

Отзыв рассмотрен и утвержден на заседании Ученого совета Отделения Теоретической Физики ФИАН 10.02.2026 (протокол № 01/02/26).

Председатель Ученого
совета Отделения
Теоретической Физики ФИАН
академик



К.П.Зыбин

Ученый секретарь совета
д.ф.-м.н.



А.А.Полежаев