

603087, Нижегородская область,
Кстовский район, д. Афонино,
ул. Академическая, д. 7
Федеральный исследовательский центр
Институт прикладной физики
Российской академии наук
Диссертационный совет Д002.069.03

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Вадимова Василия Львовича “Неоднородные состояния и неравновесные явления в сверхпроводящих структурах с нарушенной симметрией относительно обращения времени”, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук (специальность 01.04.07 - физика конденсированного состояния).

Актуальность. До сих пор исследование различных аспектов сверхпроводящего состояния вещества остается актуальной задачей физики конденсированного состояния. В последнее время интерес сместился к сверхпроводникам с необычным спариванием. В диссертации изучаются свойства сверхпроводящего состояния с нарушенной симметрией по отношению к обращению времени, которое реализуется в киральных p -волновых сверхпроводниках (основной кандидат Sr_2RuO_4), а также в структурах сверхпроводник-ферромагнетик. Теоретические исследования явлений в сверхпроводящем состоянии можно проводить хорошо отработанными теоретическими методами: уравнением Гинзбурга-Ландау, кинетическим уравнением для квазичастиц, диаграммной техникой Келдыша.

В диссертации представлены результаты теоретического анализа ряда фундаментальных задач, относящихся к описанию сверхпроводящих свойств материалов. В первой главе диссертации представлен теоретический анализ генерации магнитного поля за счет неоднородного разогрева локального пятна лазерным импульсом в киральном p -волновом сверхпроводнике. Во второй главе изучается электронная структура вихрей запиннигованных на колумнарных дефектах в киральных p -волновых сверхпроводниках. Актуальность задач, рассмотренных в первой и второй главе диссертации, связана с тем, что их решение отражает специфику кирального p -волнового сверхпроводящего состояния, а значит, может быть использовано для экспериментального подтверждения именно такого типа спаривания в реальных материалах, например, в Sr_2RuO_4 . В третьей главе диссертации изучается влияние мейсснеровской экранировки на энергию цилиндрического магнитного

домена в ферромагнитной пленке с анизотропией типа «легкая ось», обладающего отличным от нуля топологическим зарядом. Актуальность этой задачи состоит в том, что в данный момент имеется огромный интерес к взаимодействию скирмионов и сверхпроводящих вихрей, так как в таких системах могут возникать майорановские состояния. В четвертой главе диссертации изучаются моды Хиггса в гибридной системе сверхпроводник-нормальный металл. Решена задача о собственных колебаниях параметра порядка в такой системе в предположении о туннельной границе между сверхпроводником и нормальным металлом. Актуальность рассмотренной задачи связана с недавними противоречивыми экспериментальными попытками обнаружить моду Хиггса.

Новизна и достоверность. В диссертационной работе впервые получен ряд принципиально важных новых результатов, имеющих фундаментальное значение для физики конденсированного состояния. Наиболее интересные из них следующие. Во-первых, изучена электронная структура вихрей запиннированных на колумнарных дефектах в киральных p -волновых сверхпроводниках. Во-вторых, показана возможность генерации доменов в p -волновых сверхпроводниках по механизму Киббла–Зурека при осуществлении фазового перехода в сверхпроводящее состояние с нарушенной симметрией относительно обращения времени. В-третьих, показана возможность стабилизации скирмионов в ферромагнитных пленках с наноструктурированным сверхпроводящим слоем. В четвертых, впервые изучены собственные колебания параметра порядка в гибридной структуре сверхпроводник-нормальный металл.

Научная и практическая значимость Научная значимость диссертации состоит в ряде новых фундаментальных результатов, полученных впервые. Наиболее интересны два из результатов диссертации: доказана возможность генерации доменов в p -волновых сверхпроводниках по механизму Киббла–Зурека при осуществлении фазового перехода в сверхпроводящее состояние с нарушенной симметрией относительно обращения времени и предсказана возможность стабилизации магнитных скирмионов в гибридных структурах сверхпроводник-ферромагнетик с наноструктурированным сверхпроводящим слоем.

Исходя из вышесказанного, можно с уверенностью сказать, что научная и практическая значимость всех результатов диссертации высока и несомненна.

Результаты диссертации В.Л. Вадимова могут быть рекомендованы к использованию в организациях, проводящих экспериментальные исследования в области сверхпроводимости (ИРЭ РАН, ИС РАН, НЦ КИ ПИЯФ, МГУ, ФИАН, ИФТТ РАН, и др.).

Диссертация В.Л. Вадимова написана понятным языком и содержит достаточное количество иллюстраций. В ней четко сформулированы цели исследования, достаточно полно описаны и проанализированы использованные теоретические методы и обсуждены полученные результаты.

Замечания. По диссертации следует высказать несколько вопросов и замечаний, не имеющих принципиального характера:

- В главе 1 считается, что распределение частиц в пятне будет квазиравновесным (т.е. может характеризоваться температурой). Почему так можно считать? Какие можно сделать оценки для времен релаксации в рассматриваемых системах?
- В главе 2 проводимость вычисляется в рамках классического подхода кинетического уравнения. Какое условие применимости результатов 2.39 и 2.40?
- Как полученные в главе 3 результаты зависят от реального профиля скирмиона? (Ступенька, которая рассматривается в диссертации, является сильным упрощением.) Для какого типа скирмионов (неелевского или блоховского) будут качественно справедливы полученные результаты?
- В главе 4 рассматривается задача о спектре хиггсовской моды в гибридной SN структуре. Отмечу, что так как при решении не обсуждается вопрос об возбуждении этой моды в условиях реального эксперимента, а лишь вычисляется функция Грина соответствующей моды, то не ясен выбор теоретической техники. Казалось бы все те же результаты можно было бы получить и в мацубаровской диаграммной технике, которая проще чем келдышевская. Также было полезно указать чему равны ширины резонансов на частотах $2\Delta_0$, $\Delta_0 + \Delta_i$, $2\Delta_i$ в случае ненулевого значения Γ_p .
- Так как диссертация посвящена сверхпроводникам с нарушенной симметрией по отношению к обращению времени, то что можно сказать про то, как будут устроены моды Хиггса в гибридной структуре сверхпроводник — ферромагнетик?

Эти замечания не влияют на общую высокую оценку работы, которая выполнена на научном уровне, достаточном для кандидата наук.

Научные положения и результаты диссертации хорошо аргументированы и обоснованы. Основные результаты диссертации опубликованы в 6-ти научных работах в

отечественных (Письма в ЖЭТФ) и зарубежных журналах (Phys. Rev. Lett., Phys. Rev. B, Appl. Phys. Lett., J. Low Temp. Phys.), доложены на российских и международных конференциях. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа В.Л. Вадимова является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение новой научной задачи об описании неоднородных состояний и неравновесных явлений в сверхпроводящих структурах с нарушенной симметрией относительно обращения времени. Решение этой задачи является важным этапом в развитии современной физики конденсированного состояния. Диссертационная работа удовлетворяет требованиям "Положения о присуждении ученых степеней" утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 года, предъявляемым к кандидатским диссертациям. В.Л. Вадимов безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности **01.04.07 - физика конденсированного состояния.**

доктор физико-математических наук,
специальность 01.04.02 - теоретическая физика
зам. директора
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау
Российской академии наук
Бурмистров Игорь Сергеевич
8 ноября 2019 г.
142432, Московская обл., г. Черноголовка, просп. Академика Семенова, д. 1-А
тел. 8 495 7029317, e-mail: burmi@itp.ac.ru

Подпись И.С. Бурмистрова, заверяю
ученый секретарь
ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН
к.х.н. С.А. Крашаков

