

**УТВЕРЖДАЮ**

директор Федерального Государственного  
Бюджетного Учреждения Науки  
Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау  
Российской Академии Наук  
док. физ.-мат. наук  
Игорь Валентинович Колоколов



*Ин* 2022 г.  
*февраль*

**ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

Федерального бюджетного учреждения науки Институт теоретической физики имени Л. Д. Ландау Российской академии наук на диссертацию **Шестакова Вадима Андреевича** “**Влияние немагнитных примесей на сверхпроводящее состояние в многозонных моделях ферропниктидов**”, представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния

Диссертационная работа В.А. Шестакова посвящена теоретическому изучению влияния немагнитных примесей на сверхпроводящие свойства в многозонных сверхпроводниках на основе железа. Рассмотрение проводится с помощью комбинации аналитического подхода в рамках диаграммной техники для нормальной и аномальной функций Грина и численного анализа получаемых уравнений.

**Актуальность темы.** Высокотемпературные сверхпроводники на основе железа (ферропниктиды) были экспериментально открыты почти 15 лет назад. За это время сформировалась новая, отдельная область исследований высокотемпературной сверхпроводимости в материалах на основе железа. Дополнительный интерес к свойствам ферропниктидов связан с тем, что их сверхпроводящие свойства не описываются теорией Бардина-Купера-Шриффера для s-волнового сверхпроводника. В настоящее время вопрос о симметрии сверхпроводящего параметра порядка активно обсуждается как теоретически так и экспериментально. Для окончательного разрешения этого вопроса требуются теоретические предсказания различных сверхпроводящих свойств для случаев различной симметрии параметра порядка, которые могут быть сравнены с экспериментальными данными. Таким образом, тема диссертационного исследования В.А. Шестакова является актуальной.

**Основные цели** диссертационной работы В.А. Шестакова состоят в построении теории описания влияния немагнитных примесей на 1) переход между сверхпроводящими состояниями с  $s_-$  и  $s_+$  симметрией параметра порядка, 2) резонанс в спиновой восприимчи-

вости в сверхпроводящем состоянии, 3) температурную зависимость лондонской глубины проникновения.

**Структура диссертации и основные результаты.** Диссертация В.А. Шестакова состоит из введения, четырёх глав, выводов и списка публикаций автора по теме диссертации и списка литературы.

Во введении дано краткое описание темы диссертации, целей, задач, новизны и актуальности. Сформулированы положения выносимые на защиту. В первой главе представлен детальный обзор литературы по физике сверхпроводников на основе железа, важнейших экспериментальных фактов, а также моделей и методов, используемых для теоретического расчета. Во второй главе представлены результаты теоретического анализа влияния немагнитных примесей на резонанс в спиновой восприимчивости в сверхпроводящем состоянии. Получено, что с ростом темпа примесного рассеяния положение резонанса смещается в сторону больших частот. Проведено сравнение с экспериментальными данными. В третьей главе изучается влияние немагнитных примесей на переход между сверхпроводящими состояниями с  $s_+$ - и  $s_{++}$ -симметрией параметра порядка. Показано, что температура, при которой происходит этот переход, оказывается чувствительна к величине темпа примесного рассеяния. Предсказано возвратное поведение при повышении температуры. В четвертой главе представлен расчет влияния немагнитных примесей на температурную зависимость лондонской глубины проникновения. Особое внимание уделено проявлению перехода между сверхпроводящими состояниями с  $s_+$ - и  $s_{++}$ -симметрией параметра порядка. Предсказано, что температурная зависимость лондонской глубины проникновения может служить индикатором такого перехода.

**Достоверность результатов** диссертации подтверждается как хорошей обоснованностью использованных методов исследования, так и подробным сравнением с имеющимися экспериментальными данными. Результаты диссертационной работы докладывались автором на научных конференциях и семинарах. Все результаты, вошедшие в диссертацию, опубликованы автором в рецензируемых научных журналах.

**Научная и практическая значимость** диссертационной работы В.А. Шестакова не вызывает сомнений. Полученные в диссертации результаты позволяют объяснить с разумной точностью ряд наблюдаемых экспериментальных особенностей в сверхпроводящем состоянии сверхпроводников на основе железа. В частности, стоит отметить объяснение наблюданной немонотонной зависимости лондонской глубины проникновения от степени беспорядка соревнованием между состояниями с  $s_+$ - и  $s_{++}$ -симметрией параметра порядка.

Диссертация В.А. Шестакова 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. Однако по диссертации можно высказать **несколько замечаний**, не имеющих принципиального характера:

1. Так называемая “теорема Андерсона” работает только в пределе  $k_Fl$  к бесконечности. При любом конечном значении  $k_Fl$  потенциальный беспорядок влияет на s-волновую сверхпроводимость. Поэтому было бы полезно обсудить чему равно  $k_Fl$  в материалах, которые обсуждаются в диссертации.
2. Полезно обсудить роль связанных состояний (типа Ю-Шибы-Русинова), которые могут образовываться на сильной потенциальной примеси в многозонном сверхпроводнике, в эффектах, обсуждаемых в диссертации.
3. Не понятно к какой модели относится расчет спиновой восприимчивости и какие физические процессы определяют ширину пика на Рис 2.4. Полезно было бы это описать.
4. Было бы полезно явно сформулировать предположения про зависимость  $\Lambda_{\mu\nu}$  от мацубаровской частоты в ур. 3.1 и 3.2. Также было бы полезно пояснить как вычислялся  $\det K$ , в частности указать сколько бралось мацубаровских частот (т.е. какого размера была матрица).
5. Было бы полезно привести в диссертации качественное соображение возникновения экстремума на Рис 4.1, например, как конкуренции двух разных факторов.

Высказанные замечания не влияют на общую высокую оценку работы, которая выполнена на научном уровне, соответствующем уровню кандидата наук.

Научные положения и результаты диссертации хорошо аргументированы и обоснованы. Основные результаты диссертации опубликованы в 6-ти научных работах в рецензируемых научных журналах, доложены на российских и международных конференциях. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа В.А. Шестакова является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение новой научной задачи о теоретическом описании влияния немагнитных примесей на ряд сверхпроводящих свойств двухзонных сверхпроводников на основе железа. 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.А. Шестаков безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности **1.3.8. Физика конденсированного состояния**.

Доклад В.Л. Шестакова по результатам диссертационной работы был заслушан на семинаре сектора квантовой мезоскопики ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН, протокол №1 от 14 января 2022 г.

Отзыв заслушан и одобрен на заседании Ученого Совета ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН 4 февраля 2022 г., протокол заседания №4 от 4 февраля 2022 г.

Отзыв составил:

зам. дир. ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН  
док. физ.-мат. наук, И.С. Бурмистров  
[burmi@itp.ac.ru](mailto:burmi@itp.ac.ru)

Отзыв заверяю:

Ученый секретарь ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН  
канд. хим. наук, С.А. Крашаков  
[sakr@itp.ac.ru](mailto:sakr@itp.ac.ru)



Контакты ведущей организации:

Федеральное бюджетное учреждение науки Институт теоретической физики имени Л. Д. Ландау Российской академии наук, 142432, Московская обл., г. Черноголовка, просп. акад. Семёнова, д. 1А, тел. +7(495)7029317 e-mail: [office@itp.ac.ru](mailto:office@itp.ac.ru) сайт: <http://www.itp.ac.ru>

#### Публикации сотрудников ведущей организации по теме диссертации:

1. I.S. Burmistrov, I.V. Gornyi, A.D. Mirlin, Multifractally-enhanced superconductivity in thin films, *Annals of Physics*, 435, 168499 (2021)
2. E.S. Andriyakhina, I.S. Burmistrov, Interaction of a Néel-type skyrmion and a superconducting vortex, *Phys. Rev. B* 103, 174519 (2021)
3. A.S. Osin, Ya.V. Fominov, Superconducting phases and the second Josephson harmonic in tunnel junctions between diffusive superconductors, *Phys. Rev. B* 104, 064514 (2021)
4. D. Kiselov, M. Feigel'man, Theory of superconductivity due to Ngai's mechanism in lightly doped SrTiO<sub>3</sub>, *Phys. Rev. B* 104, L220506 (2021).
5. I.S. Burmistrov, The effect of superconducting fluctuations on the ac conductivity of a 2D electron system in the diffusive regime, *Annals of Physics*, 418, 168201 (2020).
6. K.S. Tikhonov, A.V. Semenov, I.A. Devyatov, M.A. Skvortsov, Microwave response of a superconductor beyond the Eliashberg theory, *Annals of Physics*, 417, 168101 (2020).
7. C. Carillet et al., Spectroscopic evidence for strong correlations between local superconducting gap and local Altshuler-Aronov density of states suppression in ultrathin NbN films, *Phys. Rev. B* 102, 024504 (2020).
8. A.D. Semenov et al., Local thermal fluctuations in current-carrying superconducting nanowires, *Phys. Rev. B* 102, 184508 (2020)
9. K.S. Tikhonov, M.V. Feigel'man, Strange metal state near quantum superconductor-metal transition in thin films, *Annals of Physics*, 417, 168138 (2020)
10. B. Sacépé, M. Feigel'man, T.M. Klapwijk, Quantum breakdown of superconductivity in low-dimensional materials, *Nature Physics* 16, 734-746 (2020)
11. A.A. Kamashev et al., Superconducting spin-valve effect in heterostructures with ferromagnetic Heusler alloy layers, *Phys. Rev. B* 100, 134511 (2019)
12. Ya.V. Fominov, A.A. Mazanik, M.V. Razumovskiy, Surface density of states in superconductors with inhomogeneous pairing constant: Analytical results, *Phys. Rev. B* 100, 224513 (2019)