ОТЗЫВ

официального оппонента д.ф.-м.н. Панкратова Андрея Леонидовича, ведущего научного сотрудника отдела ТГц спектрометрии Института физики микроструктур РАН, филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук» на диссертацию **Кузьмичевой Татьяны Евгеньевны «Сверхпроводящий параметр порядка пниктидов и халькогенидов железа семейств 122 и 1144»**, представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8 «Физика конденсированного состояния»

В диссертационной работе Т.Е. Кузьмичевой представлены важные экспериментальные результаты по определению фундаментальных параметров сверхпроводящего состояния и оценке типа симметрии куперовского спаривания в железосодержащих пниктидах и халькогенидах родственных семейств Ba-122, 122-Se и 1144. Разработанный автором методологический подход, сочетающий спектроскопию планарных фазово-когерентных и некогерентных туннельных структур на микротрещине, позволил детально изучить особенности сверхпроводящих свойств данных систем.

Актуальность диссертационной работы Т.Е. Кузьмичевой связана с огромным интересом, проявляемым в мире к теме исследования сверхпроводимости в материалах, содержащих магнитные атомы, а также к исследованию неклассических сверхпроводников на основе железа. Новизна диссертационного исследования определяется большим объемом проведенных исследований по прямому определению амплитуд, характеристических отношений и температурных зависимостей сверхпроводящих параметров порядка пниктидов семейств Ba-122 и 1144 и халькогенидов семейства 122-Se, не имеющее аналогов в мировой литературе.

Фундаментальная важность работы Т.Е. Кузьмичевой заключается в наборе большой статистики исследованных образцов различных составов, что, несомненно, важно для верификации теоретических моделей. **Практическая значимость** полученных результатов заключается в важных потенциальных приложениях исследованных типов сверхпроводников, связанных с их большими критическими полями. Это сильноточная электроника, а также изготовление магнитных экранов для экранирования сверхпроводящих квантовых сенсоров в присутствии сильных магнитных полей для задач поиска частиц темной материи.

Структура и содержание диссертации

Диссертация состоит из Введения, шести глав, Заключения, списка сокращений и списка литературы. Общий объем диссертации — 298 страниц, включая 116 рисунков и 7 таблиц, список литературы содержит 417 наименований.

Во введении описываются актуальность исследования, его цели и задачи, научная новизна и практическая значимость работы, положения, выносимые на защиту, степень апробации результатов, а также список публикаций по теме диссертации.

Первая глава посвящена обзору работ по теме диссертации, при котором анализируется более 300 источников, дано подробное описание современного состояния исследований сверхпроводящих свойств пниктидов и халькогенидов железа, а также теоретических исследований, направленных на изучение щелевых особенностей различных сверхпроводников и андреевского транспорта в структурах различной геометрии и проницаемости туннельных барьеров.

Во второй главе описываются особенности спектроскопии эффекта многократных андреевских отражений, приводится описание двухзонных сверхпроводников на основе теории БКШ, подробно описывается оригинальная техника создания планарных механически регулируемых контактов на микротрещине, виды исследуемых туннельных наноструктур слоистых сверхпроводников, а также методика измерения вольт-амперных характеристик и дифференциальной проводимости туннельных структур.

Третья глава посвящена исследованию однощелевой сверхпроводимости феррохалькогенидов, обсуждается туннельная спектроскопия соединений и возможность наблюдения второй сверхпроводящей щели в халькогенидах железа.

В четвертой главе приводятся результаты исследований двухщелевой сверхпроводимость пниктидов семейства Ba(Fe2-xNix)As2 передопированных, оптимальных и недодопированных составов, а также исследований температурных зависимостей сверхпроводящих параметров порядка пниктидов этого семейства с вариацией степени электронного замещения.

Пятая глава посвящена исследованию двухщелевой сверхпроводимости пниктидов семейства 1144. Проведены измерения ВАХ стопочных SnS-контактов моно- и поликристаллических образцов, исследована температурная зависимость андреевского избыточного тока. В результате исследований показано, что полученные экспериментальные зависимости могут быть описаны в рамках расширенной модели Москаленко и Сула.

В шестой главе проведено сравнение сверхпроводящей щелевой структуры халькогенидов железа с различными типами изовалентного замещения, а также исследуется эволюция микроскопического сверхпроводящего параметра порядка и его анизотропии для пниктидов и халькогенидов семейств 122 и 1144.

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертационной работы, основным результатам и выводам.

Научная обоснованность положений, выносимых на защиту, и выводов диссертационного исследования подтверждается апробацией результатов на всероссийских и международных научных конференциях и семинарах, а также большим числом публикаций в ведущих российских и международных изданиях, прошедших независимое рецензирование. **Достоверность результатов и выводов** обусловлена как использованием уникальной методики создания планарных механически регулируемых контактов на микротрещине, позволяющей получать чистые сколы наноструктур в вакууме, так и воспроизводимостью результатов для различных типов образцов, а также детальным сравнением с имеющимися теоретическими предсказаниями и данными из литературы.

Результаты диссертации опубликованы в 18 статьях в рецензируемых периодических научных изданиях, индексируемых в международных базах данных Web of Science и Scopus, и были представлены Т.Е. Кузьмичевой в 29 докладах на профильных всероссийских и международных конференциях.

Наиболее интересными научно-значимыми результатами, полученными в работе, представляются:

1. Показано, что характеристическое отношение сверхпроводниковой щели в исследованных феррохалькогенидах превышает БКШ-предел слабой связи и указывает на реализацию сильной связи в куперовской паре.

2. Показано, что среди железосодержащих сверхпроводников семейства 122 селениды железа, несмотря на сложный фазовый состав, имеют наиболее простую структуру сверхпроводящего параметра порядка. В каждом из типов исследованных ферроселенидов обнаружен единственный микроскопический сверхпроводящий параметр порядка с *s*-волновым типом симметрии без точек нулей. Показано отсутствие куперовских пар с иной энергией связи с помощью измерений температурной зависимости андреевского избыточного тока и туннельного сверхтока.

3. Показано, что в исследованных образцах пниктидов ниже критической температуры реализуется анизотропная и как минимум двухщелевая сверхпроводимость со схожей структурой сверхпроводящего параметра порядка.

Замечания по работе

По работе имеются скорее не замечания, а вопросы, которые возникли при чтении диссертации:

1. Проводились ли все основные измерения в дьюаре с жидким гелием? Каким образом осуществлялось управление поворотом винта? Был ли это механический привод в «макалке», или использовались шаговые, либо пьезодвигатели? В диссертации явно не хватает общей схемы измерительной установки и ее фото.
2. Переходит ли In-Ga-припой в сверхпроводящее состояние при низкой температуре, или все измерения проводились при температуре выше 3.4 К? Может ли переход припоя в состояние сверхпроводимости влиять на характеристики измеряемых образцов из-за эффекта близости?
3. Играл ли In-Ga-припой функцию клея, не давая образцу упасть, или же п-образцый держатель образца на Рис. 34а на самом деле был перевернут вверх ногами?
4. «Температура измерялась с помощью калиброванного в диапазоне T = 2.5–230 К полупроводникового резистора» - просьба пояснить какой именно термометр имеется в виду и как он был откалиброван. Обычно для измерений в указанном диапазоне температур используются кремниевые диоды Lakeshore, откалиброванные производителем, но требующие перекалибровки при длительном использовании.
5. В формуле (11), приведенной из работы [343], содержится опечатка, размерный множитель Δ/eRn должен быть вынесен перед всем выражением, включая –4/3.

В диссертации содержится ряд мелких опечаток, связанных, в основном, с пропусками букв в словах, например: «микротещине», «четыреточечного» и пр.

Отмеченные выше недостатки не снижают научной ценности работы и не ставят под сомнение основные результаты и вывод работы.

Заключение

Диссертационная работа Кузьмичевой Татьяны Евгеньевны «Сверхпроводящий параметр порядка пниктидов и халькогенидов железа семейств 122 и 1144» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, удовлетворяющую всем требованиям к докторским диссертациям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор, Кузьмичева Татьяна Евгеньевна, заслуживает

присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8 — Физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент:
доктор физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник
отдела ТГц спектрометрии
Института физики микроструктур РАН,
филиала «ФИЦ Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН»
Панкратов Андрей Леонидович

23.10.2026 г.

Контактные данные:
Тел.: (831) 417−94−86 (+155)
e-mail: alp@ipmras.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация, — 01.04.03 «Радиофизика»; — 05.27.01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах».

Адрес места работы: 603087, г. Нижний Новгород, ул. Академическая, д.7.

Подпись д.ф.-м.н., ведущего научного сотрудника А.Л. Панкратова заверяю:
Ученый секретарь ФИЦ Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН
к.ф.-м.н. Корюкин Игорь Валерьевич

Список основных публикаций официального оппонента д.ф.-м.н., ведущего научного сотрудника А.Л. Панкратова по теме защищаемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. A.A. Yablokov, E.I. Glushkov, A.L. Pankratov, A.V. Gordeeva, L.S. Kuzmin, E.V. Il'ichev, Resonant response drives sensitivity of Josephson escape detector, Chaos, Solitons and Fractals 148, 111058 (2021). Q1

2. L.S. Revin, A.L. Pankratov, Detection of bias inhomogeneity in Josephson junctions by switching current distributions, Chaos, Solitons and Fractals 149, 111068 (2021). Q1

3. L.S. Revin, D.V. Masterov, A.E. Parafin, S.A. Pavlov, A.L. Pankratov, Nonmonotonous temperature dependence of Shapiro steps in YBCO grain boundary junctions, Beilstein J. Nanotechnol. 12, 1279 (2021). Q2

4. A. L. Pankratov, L. S. Revin, A. V. Gordeeva, A. A. Yablokov, L. S. Kuzmin, E. V. Il'ichev, Towards a microwave single-photon counter for searching axions, npj Quantum Information, 8, 61 (2022). Q1

5. D.A. Pimanov, V.A. Frost, A.V. Blagodatkin, A.V. Gordeeva, A.L. Pankratov, L.S. Kuzmin, Efficiency of electron cooling in cold-electron bolometers with traps, Beilstein J. Nanotechnol. 13, 896 (2022). Q2

6. V.Yu. Safonova, A.V. Gordeeva, A.V. Blagodatkin, D.A. Pimanov, A.A. Yablokov, O.L. Ermolaeva, A.L. Pankratov, Investigation of Hafnium Thin Films for Design of TES Microcalorimeters. Materials, 17, 222 (2024). Q2

7. A.L. Pankratov, D. A. Ladeynov, L. S. Revin, A. V. Gordeeva, E. V. Il'ichev, Quantum and phase diffusion crossovers in small Al Josephson junctions, Chaos, Solitons and Fractals 184, 114990 (2024). Q1

8. A.L. Pankratov, A.V. Gordeeva, A.V. Chiginev, L.S. Revin, A.V. Blagodatkin, N. Crescini, L. S. Kuzmin, Detection of single-mode thermal microwave photons using an underdamped Josephson junction, Nature Communications 16, 3457 (2025). Q1

9. A.V. Gordeeva, V.Yu. Safonova, A.V. Blagodatkin, A.A. Yablokov, A.L. Pankratov, Hf-based transition-edge sensor with a critical temperature below 100 mK, Supercond. Sci. Technol., 39, 075014 (2026). Q1

10. A.L. Pankratov, D.A. Pimanov, L.S. Revin, A.V. Chiginev, A.V. Blagodatkin, Photon-noise enhancement due to the joint effect of bolometer and phase-diffusion source, Phys. Rev. Appl. 26, L011010 (2026). Q1