

Заключение диссертационного совета Д 002.098.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики микроструктур Российской академии наук по диссертации Водолазова Дениса Юрьевича “Резистивное состояние и неравновесные эффекты в узких сверхпроводящих пленках” на соискание ученой степени доктора наук

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 11.06.2015 № 5

О присуждении Водолазову Денису Юрьевичу, гражданство Российская Федерация, ученой степени доктора физико-математических наук

Диссертация “Резистивное состояние и неравновесные эффекты в узких сверхпроводящих пленках” по специальности 01.04.07 физика конденсированного состояния принята к защите 05 марта 2015г. протокол № 1 диссертационным советом Д.002.098.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики микроструктур Российской академии наук, 607680, ул. Академическая, д. 7, д. Афоново, Нижегородская обл., Кстовский район, Россия, приказ № 105/нк от 11.04.2012г.

Соискатель Водолазов Денис Юрьевич 1974 года рождения, диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук “Влияние краевого барьера на магнитные характеристики сверхпроводников II рода” защитил в 2000 году, в диссертационном совете, созданном на базе Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, работает старшим научным сотрудником в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт физики микроструктур Российской академии наук.

Диссертация выполнена в отделе физики сверхпроводников (120 отдел) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики микроструктур Российской академии наук (ИФМ РАН)

Официальные оппоненты:

Девятов Игорь Альфатович, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, отдел микроэлектроники, Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцина Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова;

Пудалов Владимир Моисеевич доктор физико-математических наук, заведующий отделом высокотемпературной сверхпроводимости и сверхпроводниковых наноструктур, Физический институт им. П.Н.Лебедева Российской академии наук;

Рахманов Александр Львович доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией теоретической электродинамики конденсированного состояния, Институт теоретической и прикладной

электродинамики Российской академии наук,  
дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московский педагогический государственный университет, Москва в своем положительном заключении, подписанном Подольским Владимиром Евгеньевичем, доктором физико-математических наук, и.о. проректора по научной работе указала, что работа Водолазова Д.Ю. “выполнена на высоком научном уровне, результаты оригинальны и достоверны, обладают высокой научной и практической значимостью. В частности диссертация вносит существенный вклад в исследования и реализацию однофотонных сверхпроводниковых детекторов”.

Соискатель имеет 72 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 39 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях 26. Наиболее значительные работы:

- A1. Vodolazov, D.Y. Stationary phase slip state in quasi-one-dimensional rings / D.Y. Vodolazov, B. J. Baelus, F. M. Peeters // Phys. Rev. B – 2002. – Vol. 66. – N. 054531. Вклад соискателя – 60%.
- A2. Vodolazov, D.Y. Dynamic transitions between metastable states in a superconducting ring / D.Y. Vodolazov, F. M. Peeters // Phys. Rev. B – 2002. – Vol. 66. – N. 054537. Вклад соискателя – 80%.
- A3. Michotte, S. Condition of the occurrence of phase slip centers in superconducting nanowires under applied current or voltage / S. Michotte, L. Piraux, S. Matefi-Tempfli, D.Y. Vodolazov, F.M. Peeters // Phys. Rev. B - 2004. – Vol. 69. – N. 094512. Вклад соискателя – 40%.
- A4. Grigorieva, I.V. Long-range nonlocal flow of vortices in narrow superconducting channels / I.V. Grigorieva, A. K. Geim, S.V. Dubonos, K. S. Novoselov, D.Y. Vodolazov, F.M. Peeters, P. H. Kes, M. Hesselberth // Phys. Rev. Lett. – 2004. – Vol. 92. – N. 23700. Вклад соискателя – 40%.
- A5. Vodolazov, D.Y. Symmetric and asymmetric states in mesoscopic superconducting wire in voltage driven regime / D. Y. Vodolazov, F. M. Peeters // Phys. Rev. B -2007. – Vol. 75. - N. 104515. Вклад соискателя – 80%.
- A6. Vodolazov, D.Y. Rearrangement of the vortex lattice due to instabilities of vortex flow / D. Y. Vodolazov, F. M. Peeters // Phys. Rev. B -2007. – Vol. 76. – N. 014521. Вклад соискателя – 80%.
- A7. Otto, F. Reversal of Nonlocal Vortex Motion in the Regime of Strong Nonequilibrium / F. Otto, A. Bilusic, D. Babic, D. Yu. Vodolazov, C. Seurgers, Ch. Strunk // Phys. Rev. Lett. – 2010. – Vol. 104. – N. 027005. Вклад соискателя – 40%.
- A8. Vodolazov, D.Yu. Saddle point states in two-dimensional superconducting film biased near the depairing current / D.Yu. Vodolazov // Phys. Rev. B –

2012. – Vol. 85. – N. 174507. Вклад соискателя – 100%.
- A9. Zotova, A. N. Photon detection by current-carrying superconducting film: A time-dependent Ginzburg-Landau approach / A. N. Zotova, D. Y. Vodolazov // Phys. Rev. B – 2012. – Vol. 85. – N. 024509. Вклад соискателя – 70%.
- A10. Vodolazov, D.Y. Vortex-induced negative magnetoresistance and peak effect in narrow superconducting films / D.Y. Vodolazov // Phys. Rev. B – 2013. – Vol. 88. – N. 014525. Вклад соискателя – 100%.
- A11. Vodolazov, D.Y. Current dependence of the red boundary of superconducting single-photon detectors in the modified hot-spot model / D. Yu. Vodolazov // Phys. Rev. B – 2014. – Vol. 90. – N. 054515. Вклад соискателя – 100%.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

- отзыв из Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики твердого тела Российской академии наук от профессора, доктора физ.-мат. наук, заведующего лабораторией сверхпроводимости Рязанова Валерия Владимировича. Отзыв положительный, не содержит замечаний.
- отзыв из Федерального государственного унитарного предприятия Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики от ведущего научного сотрудника, Центр фундаментальных и прикладных исследований, доктора физ.-мат. наук Погосова Вальтера Валентиновича. Отзыв положительный, не содержит замечаний.
- отзыв из Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики, от профессора, доктора физ.-мат. наук Арутюнова Константина Юрьевича. Отзыв положительный, не содержит замечаний.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их научными интересами и опытом работы в области исследований, которым соответствует тематика диссертации Д.Ю. Водолазова, что подтверждается их публикациями в рецензируемых изданиях. Д.ф.-м.н. Д.А. Девятов является известным специалистом в области микроскопической теории электронного транспорта в структурах сверхпроводник – нормальный металл, а также имеет работы по расчету флуктуаций в сверхпроводящих проволоках с током и детектированию электромагнитного излучения сверхпроводниками. Д.ф.-м.н. В.М. Пудалов известен своими работами в области магнитных и транспортных свойств сверхпроводников. Д.ф.-м.н. А.Л. Рахманов имеет большой опыт работы в области сверхпроводников, в частности по динамике вихрей и исследованию неравновесных эффектов в сверхпроводниках. Выбор ведущей организации обоснован тем, что она широко известна своими достижениями в области сверхпроводниковых однофотонных детекторов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- предложена модель, описывающая влияние неравновесных эффектов (возникающих из-за изменения модуля сверхпроводящего параметра порядка во времени) на переходы между различными метастабильными состояниями в сверхпроводящих кольцах при температурах, близких к критической;
- обнаружено необычное устойчивое квазивихревое состояние в неоднородном (по ширине) алюминиевом кольце субмикронного радиуса. Данное состояние реализуется, когда магнитный поток сквозь кольцо равен половине кванта магнитного потока, и характеризуется обращением в ноль сверхпроводящего параметра порядка в узком месте кольца и возникновением разности фаз, равной  $\pi$ , около этой области;
- доказано, что вблизи критической температуры сверхпроводника величина тока возврата, при котором сверхпроводящий мостик переходит из резистивного состояния в сверхпроводящее и динамический процесс проскальзывания фазы прекращается, зависит от времени релаксации энергии квазичастиц за счет неупругого электрон-фононного взаимодействия, длины мостика, граничных условий на его концах, и может иметь немонотонную зависимость от внешнего магнитного поля;
- доказано, что нелокальный отклик в сверхпроводнике в виде холловского мостика связан с межвихревым взаимодействием. Доказано, что при больших скоростях вихрей большую роль в величине нелокального отклика играют неравновесные эффекты, связанные с движением вихрей – нагрев квазичастиц при низких температурах и охлаждение квазичастиц при температурах близких к критической;
- доказано подавление сверхпроводимости с помощью приложенного напряжения в сверхпроводящем мостике, окруженном нормальными берегами, а также наличие в мостике состояний, с асимметричным распределением сверхпроводящего параметра порядка относительно центра мостика;
- доказано, что отрицательное магнитосопротивление и немонотонная полевая зависимость критического тока узких сверхпроводящих пленок, обнаруженные в многочисленных экспериментах, связаны с влиянием краев пленки на движение вихрей и на межвихревое взаимодействие;
- предложена оригинальная модель, описывающая механизм работы однофотонного сверхпроводникового детектора. В модели предполагается, что резистивный отклик возникает в сверхпроводящей пленке за счет рождения пар вихрь-антивихрь вблизи ‘горячего’ пятна (области с подавленной сверхпроводимостью, возникающей в месте поглощения фотона).

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- изучено влияние материальных параметров (длины, характерного времени электрон-фононного неупругого рассеяния), а также магнитного поля на вольт-амперные характеристики сверхпроводящих мостиков;
- обнаружен эффект перестройки структуры движущейся решетки вихрей Абрикосова вблизи критической температуры сверхпроводника, обусловленный большим (вследствие неравновесных эффектов) временем изменения модуля сверхпроводящего параметра порядка;
- изучено влияние неравновесных эффектов различной природы на нелокальный резистивный отклик в сверхпроводнике, имеющем форму холловского мостика, что позволило объяснить ряд экспериментов;
- впервые изучено влияние поворотов сверхпроводящей пленки на флуктуационный вход вихрей в сверхпроводник, что позволяет оценить вероятность темновых отсчетов в однофотонных сверхпроводниковых детекторах, имеющих форму меандра;
- изложены аргументы в пользу вихревого механизма детектирования фотонов однофотонным сверхпроводниковым детектором;
- проведена модернизация существующих численных методов, позволяющая эффективно (быстро и точно) находить различные седловые состояния в сверхпроводящих пленках.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- представлены вольт-амперные характеристики узких сверхпроводящих мостиков в широком диапазоне материальных параметров сверхпроводников;
- определены параметры, при которых могут существовать состояния с асимметричным распределением параметра порядка в сверхпроводящем мостике, ограниченном нормальными берегами;
- представлены результаты расчета энергетического барьера для входа вихрей как в прямые сверхпроводящие пленки, так и в пленки с поворотом, демонстрирующие возможность определить вероятность темновых отсчетов в однофотонных сверхпроводниковых детекторах, выполненных в форме меандров;
- определен диапазон ширин сверхпроводящих пленок и диапазон магнитных полей, в которых отрицательное магнетосопротивление наиболее заметно;
- создана модель, описывающая механизм работы однофотонного сверхпроводникового детектора, которая может быть использована для оптимизации его работы.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- использованы как стандартные, так и оригинальные вычислительные методы для решения поставленных в диссертации теоретических задач.

Оригинальные численные методы были предварительно проверены для задач с известным аналитическим решением;

- установлено соответствие теоретических результатов с доступными экспериментальными результатами. Часть экспериментов была инициирована теоретическими расчетами, проведенными автором диссертации;

- установлено соответствие оригинальных результатов с теоретическими результатами, полученными другими исследователями, в области их применимости.

Личный вклад соискателя состоит в постановке задач и разработке теоретических моделей. Им лично были выполнены все численные расчеты, представленных в диссертации задач, сделаны аналитические оценки и предложено большинство физических интерпретаций экспериментальных результатов. Результаты главы 5 получены без соавторов. Теоретические результаты главы 6 были получены частично в соавторстве с аспирантом Зотовой А.Н.

На заседании диссертационный совет принял решение присудить Водолазову Денису Юрьевичу ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 6 докторов наук по специальности 01.04.07 физика твердого тела, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту нет человек, проголосовали: за 18, против нет, недействительных бюллетеней нет.

Председатель  
диссертационного совета

Гапонов С.В.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Гайкович К.П.

16 июня 2015г.

