

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу  
Проценко Владимира Сергеевича «Электронные свойства и проводимость  
систем квантовых точек», представленную на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 –  
Физика конденсированного состояния

Диссертационная работа Проценко В.С. посвящена исследованию методом функциональной ренормгруппы влияния электрон-электронных корреляций на магнитные и транспортные свойства систем двух и четырех квантовых точек в равновесном и неравновесном состояниях при наличии асимметрии параметров перескока между квантовыми точками.

**Актуальность темы диссертации:** тема диссертации, несомненно, является актуальной как с точки зрения исследования фундаментальных физических эффектов, связанных с электрон-электронными корреляциями, так и в прикладном смысле. Исследованные в работе системы квантовых точек с кольцевой геометрией представляют интерес в связи с нетривиальным влиянием кулоновского взаимодействия, наличие которого приводит к возможности квантовых фазовых переходов в состояния с локальными магнитными моментами. Благодаря наличию различных путей рассеяния электронов, в данных системах существенны эффекты квантовой интерференции, которые могут приводить к весьма нетривиальным магнитным свойствам. В настоящее время такие системы исследуются довольно затратными численными подходами, например методом численной ренормализационной группы, применимость которых существенно ограничена. Это обстоятельство ограничивает дальнейшие исследования механизмов формирования локального магнитного момента и проводимости в кольцевых системах квантовых точек при асимметричных геометриях систем или неравновесных режимах. Представленная диссертационная работа направлена на рассмотрение данных актуальных вопросов, что достигается за счет использования сравнительно недавно предложенного метода функциональной ренормализационной группы. Приведенные результаты обладают несомненной научной актуальностью, позволяя глубже понять роль электронных корреляций в системах квантовых точек, и имеют практическую значимость для предсказания свойств и проектирования новых систем наноэлектроники и спинтроники, основанных на квантовых точках.

**Структура и основное содержание работы:** представленная диссертационная работа состоит из введения, трёх глав и заключения.



Во **Введении** приводится анализ актуальности и текущего состояния проблемы исследования, определены цели и задачи проводимых в диссертации теоретических исследований, отмечена их новизна, научная и практическая значимость.

**Глава 1** посвящена рассмотрению теоретической модели систем квантовых точек и подробному обзору метода функциональной ренормализационной группы.

**В Главе 2** автор применяет метод функциональной ренормализационной группы для анализа электронных свойств и проводимости системы двух квантовых точек.

Предложена модификация метода функциональной ренормгруппы, заключающаяся во включении вспомогательного магнитного поля в ренормгрупповой поток. Такой подход позволяет корректно описать возникновение локального магнитного момента и электронный транспорт в фазе сингулярной ферми-жидкости.

Производится детальный анализ возможности формирования локального магнитного момента в системе и особенностей электронного транспорта при различных типах асимметрии параметров перескока.

**В Главе 3** методом функциональной ренормгруппы исследуется система четырех квантовых точек как в равновесном, так и в неравновесном состоянии. Для описания неравновесного состояния, когда между контактами приложено конечное напряжение смещения, развит метод функциональной ренормгруппы для неравновесных функций Грина Келдыша.

**В Заключении** сформулированы основные результаты диссертационной работы.

**Научная новизна** диссертационной работы состоит в существенном развитии метода функциональной ренормгруппы для адекватного описания магнитных свойств и электронного транспорта систем квантовых точек, которые в силу необходимости учета эффектов электрон-электронного взаимодействия являются достаточно сложными для теоретического анализа объектами. Новыми являются все основные результаты работы:

1. Предложена модификация метода функциональной ренормгруппы, позволяющая описывать корреляционные эффекты в системах квантовых точек, находящихся в фазе сингулярной ферми-жидкости, где электрон-электронное взаимодействие приводит к возможности формирования локальных магнитных моментов.
2. Исследованы достаточно сложные системы двух и четырех квантовых точек при наличии асимметрии параметров перескока между квантовыми точками и контактами. Продемонстрирована, в зависимости от характера асимметрии параметров перескока,



возможность двух типов квантовых фазовых переходов в состояние сингулярной ферми-жидкости. В системе четырех квантовых точек найдены условия, при которых имеет место подавление проводимости для одной из проекций спина.

3. Методом функциональной ренормгруппы для функций Грина-Келдыша проанализировано формирование локальных магнитных моментов в системе двух и четырех квантовых точек при приложении конечного напряжения к контактам. Установлена связь особенностей электронного транспорта и переходов между различными магнитными состояниями систем. В частности, показано, что формирование локальных магнитных моментов возможно в широком диапазоне напряжений смещения вблизи равновесия. Вне данного диапазона рост напряжения между контактами приводит к разрушению локальных магнитных моментов в один или два этапа в зависимости от параметров систем.

**Достоверность** результатов диссертационной работы не вызывает сомнений. Для исследования электрон-электронного взаимодействия автор применяет метод функциональной ренормализационной группы, который надежно описывает электронные свойства низкоразмерных электронных систем в том числе и в неравновесном состоянии. Автор также демонстрирует достоверность полученных результатов путем их сравнения с данными независимых работ и применением других методов, в том числе, сравнением с данными метода численной ренормализационной группы.

#### **Замечания по диссертационной работе**

1. Основные уравнения функциональной ренормгруппы (FRG) существенно упрощаются, если пренебрегать частотной зависимостью всех вершинных функций, в том числе и для собственно энергетической части (СЭЧ) одночастичной функции Грина, что и делалось в диссертации. Однако в теории динамического среднего поля DMFT, которая является одним из самых мощных методов описания сильных электронных корреляций больших кристаллических систем СЭЧ существенно зависит от частоты, более того, вся информация о электронных корреляциях «сидит» в этой частотной зависимости. Соответственно возникает вопрос о возможности пренебрежения частотной зависимостью в FRG и анализировалось ли это кем-то хотя-бы на уровне наиболее простых схем усечения ренормгрупповых уравнений?
2. Все рассмотренные системы квантовых точек анализировались в пределе нулевой температуры, хотя развитый в первой главе формализм с использованием мацубаровской техники позволяет анализировать и конечные  $T$ . Соответственно,



возникает вопрос насколько особенности, связанные с формированием локальных моментов, сохраняются при конечных  $T$  и пожелание в дальнейшей работе рассмотреть эволюцию таких особенностей с ростом температуры.

### Заключение

Представленная диссертационная работа является цельным и законченным научным исследованием. По результатам этого исследования опубликовано четыре статьи в ведущих международных рецензируемых журналах, входящих в Перечень ВАК. Результаты работы доложены на 5 российских и международных конференциях. Диссертационная работа соответствует пункту 5 Паспорта специальности 01.04.07 — Физика конденсированного состояния. Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы.

Считаю, что диссертационная работа «Электронные свойства и проводимость систем квантовых точек» соответствует всем требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Проценко Владимир Сергеевич достоин присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Ведущий научный сотрудник,  
заведующий лабораторией теоретической физики  
ФГБУН Институт электрофизики Уральского отделения  
Российской академии наук (ИЭФ УрО РАН)  
доктор физико-математических наук

*М*  
< > Э.З. Кучинский  
«22» декабря 2020 г.

Почтовый адрес: 620016, Екатеринбург, ул. Амундсена, 106  
Тел.: (+7 343) 2678823  
E-mail: [kuchinsk@iep.uran.ru](mailto:kuchinsk@iep.uran.ru)

С отзывом ознакомлен  
29.12.20  
*Проценко В.С.*

Подпись Э.З. Кучинского заверяю  
ученый секретарь ФГБУН ИЭФ УрО РАН,  
кандидат физико-математических наук



Е.Е. Кокорина



**СВЕДЕНИЯ ОБ ОФИЦИАЛЬНОМ ОППОНЕНТЕ**  
 по диссертации Проценко Владимира Сергеевича  
 на тему «Электронные свойства и проводимость систем квантовых точек»,  
 представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по  
 специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния

ФИО	Кучинский Эдуард Зямович
Гражданство	Российская Федерация
Ученая степень	доктор физико-математических наук
Научная специальность	01.04.07– Физика конденсированного состояния
Полное наименование организации	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт электрофизики Уральского отделения Российской академии наук
Краткое наименование организации	ИЭФ УрО РАН
Место нахождения	г. Екатеринбург, ул. Амундсена, 106
Почтовый адрес	Россия, 620016, Екатеринбург, ул. Амундсена, 106
Телефон организации	(+7 343) 267-87-96
Адрес электронной почты; адрес официального сайта организации	<a href="mailto:admin@iep.uran.ru">admin@iep.uran.ru</a> ; <a href="http://www.iep.uran.ru">http://www.iep.uran.ru</a>
Должность	ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией теоретической физики ФГБУН ИЭФ УрО РАН
Адрес электронной почты; телефон официального оппонента	Тел.: (+7 343) 2678823; E-mail: <a href="mailto:kuchinsk@iep.uran.ru">kuchinsk@iep.uran.ru</a>
Список основных публикаций в сфере исследований, которым посвящена диссертация (за последние 5 лет)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kuchinskii E. Z., Kuleeva N. A., Sadovskii M. V. Temperature Dependence of Paramagnetic Critical Magnetic Field in Disordered Attractive Hubbard Model // Journal of Experimental and Theoretical Physics. – 2018. – Т. 127. – №. 4. – С. 753-760.</li> <li>2. Kuchinskii E. Z., Kuleeva N. A., Sadovskii M. V. Temperature dependence of the upper critical field in disordered Hubbard model with attraction // Journal of Experimental and Theoretical Physics. – 2017. – Т. 125. – №. 6. – С. 1127-1136.</li> <li>3. Kuchinskii E. Z., Kuleeva N. A., Sadovskii M. V. Ginzburg–Landau expansion in strongly disordered attractive Anderson–Hubbard model // Journal of Experimental and Theoretical Physics. – 2017. – Т. 125. – №. 1. – С. 111-122.</li> </ol>

	<p>4. Kuchinskii E. Z., Kuleeva N. A., Sadovskii M. V. Ginzburg–Landau expansion in BCS–BEC crossover region of disordered attractive Hubbard model // Low Temperature Physics. – 2017. – Т. 43. – №. 1. – С. 17-26.</p> <p>5. Kuchinskii E. Z., Kuleeva N. A., Sadovskii M. V. Attractive Hubbard Within the Generalized DMFT: Normal State Properties, Disorder Effects and Superconductivity // Journal of Superconductivity and Novel Magnetism. – 2016. – Т. 29. – №. 4. – С. 1097-1103.</p> <p>6. Kuchinskii E. Z., Sadovskii M. V. DMFT+ <math>\Sigma</math> approach to disordered hubbard model // Journal of Experimental and Theoretical Physics. – 2016. – Т. 122. – №. 3. – С. 509-524.</p> <p>7. Kuchinskii E. Z., Kuleeva N. A., Sadovskii M. V. Attractive Hubbard model: Homogeneous Ginzburg–Landau expansion and disorder // Journal of Experimental and Theoretical Physics. – 2016. – Т. 122. – №. 2. – С. 375-383.</p> <p>8. Kuchinskii E. Z., Kuleeva N. A., Sadovskii M. V. Attractive hubbard model with disorder and the generalized anderson theorem // Journal of Experimental and Theoretical Physics. – 2015. – Т. 120. – №. 6. – С. 1055-1063.</p>
--	---

Дано согласие на обработку персональных данных и размещение их в свободном доступе в сети «Интернет» и в единой информационной системе.

Официальный оппонент:


Ведущий научный сотрудник,

заведующий лабораторией теоретической физики

ФГБУН Институт электрофизики Уральского отделения

Российской академии наук (ИЭФ УрО РАН)

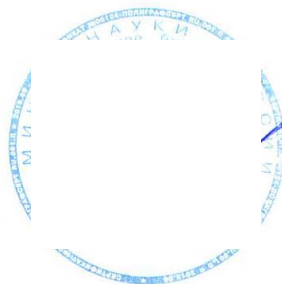
доктор физико-математических наук

 Э.З. Кучинский  
«22» сентября 2020 г.

Подпись Э.З. Кучинского заверяю

ученый секретарь ФГБУН ИЭФ УрО РАН,

кандидат физ.-мат. наук



Е.Е. Кокорина