

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д002.100.02 (24.1.136.01),
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА ИМЕНИ
Ю.А. ОСИПЬЯНА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 21 июня № 30

О присуждении Кайсину Борису Дмитриевичу, гражданину России, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Коллективные возбуждения в сильнокоррелированных двумерных электронных системах в гетероструктурах ZnO/MgZnO» по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния принята к защите 12.04.21 (протокол заседания № 27) диссертационным советом Д 002.100.02, созданном на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики твердого тела имени Ю.А. Осипьяна Российской академии наук, 142432, г. Черноголовка, Московская область, ул. Академика Осипьяна, д. 2, приказ Минобрнауки от 17.10.2019 № 965/нк.

Соискатель Кайсин Борис Дмитриевич 1993 года рождения, в 2017 году окончил магистратуру федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)» по специальности «03.04.01 Прикладные математика и физика». Справка об обучении в аспирантуре № 03509 выдана 27 марта 2021 г. Федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» (МФТИ). Кайсин Борис Дмитриевич работает младшим научным сотрудником в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт физики твердого тела

имени Ю.А. Осипьяна Российской академии наук (ИФТТ РАН). Диссертация выполнена в лаборатории неравновесных электронных процессов ИФТТ РАН.

Научный руководитель - доктор физико-математических наук, профессор, академик РАН, Кукушкин Игорь Владимирович, заведующий лабораторией неравновесных электронных процессов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики твердого тела имени Ю.А. Осипьяна Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

Волков Владимир Александрович – доктор физико-математических наук по специальности 01.04.10 – «Физика полупроводников», главный научный сотрудник Лаборатории методов получения тонких пленок и пленочных структур Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук (ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН),

Сапега Виктор Федорович – доктор физико-математических наук по специальности 01.04.10 – «Физика полупроводников», ведущий научный сотрудник Лаборатории спиновых и оптических явлений в полупроводниках Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт спектроскопии Российской академии наук (ИСАН), г. Троицк, в своем положительном заключении, подписанном Лозовиком Юрием Ефремовичем, кандидатом физико-математических наук, заведующим лабораторией спектроскопии наноструктур ИСАН, профессором МФТИ, и утвержденном директором ИСАН, доктором физико-математических наук, профессором Задковым Виктором Николаевичем, указала, что объектом изучения диссертационной работы Б.Д. Кайсина являются эффекты, вызванные межчастичным взаимодействием, а их исследование проводится посредством анализа спектра коллективных возбуждений. Спектры коллективных

возбуждений в двумерных электронных системах несут уникальную информацию об основном состоянии системы, ее спиновой поляризации, а также о масштабе многочастичных энергетических членов, которые обуславливают дисперсионные законы данных возбуждений. Анализ структуры возбуждений позволяет выявить физическую природу нетривиальных явлений, исследуемых в данной работе. Полученные результаты обуславливают высокую актуальность диссертационной работы и представляют фундаментальный интерес для изучения сильно коррелированных систем.

В качестве замечаний было отмечено:

1. Во введении к главе 4 говорится, что одночастичная модель пересечения спиновых подуровней неприменима для описания ферромагнитного перехода в системах с сильным взаимодействием. Однако на вставке к рисунку 4.4 приводятся зависимость спиновой восприимчивости от концентрации электронов в двумерном канале, вычисленная из одночастичного выражения 4.1, которое описывает пересечение спиновых подуровней в невзаимодействующих системах. На каком основании данная модель применяется в случае сильновзаимодействующих систем?

Связанный с этим вопрос. В ряде мест диссертации дается интерпретация наблюдаемых спектральных линий и их изменений в терминах электронных переходов между конкретными уровнями Ландау. В то же время, величина кулоновского взаимодействия в системе настолько велика, что большую роль должно играть смешивание уровней Ландау, так что возбуждаемые при неупругом рассеянии света переходы должны иметь существенно многочастичную природу. Что же имеется в виду?

2. На рисунке 4.9а представлены спектры неупругого рассеяния света на циклотронном спин-флип возбуждении в парамагнитной фазе вблизи фактора заполнения 2, на этом же спектре присутствует спектральная линия спинового экситона, хотя ранее было сказано, что при парамагнитном упорядочении спиновой подсистемы данное возбуждение отсутствует. Нет

ли здесь противоречий с описанными в работе характерными оптическими признаками проявления парамагнитной и ферромагнитной фаз?

3. В диссертации имеется ряд опечаток.

Сделанные замечания не снижают общей весьма высокой оценки работы. Диссертация Кайсина Б. Д. представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу, выполненную на мировом научном уровне. Результаты диссертационной работы опубликованы в ведущих отечественных и зарубежных журналах (из списка ВАК), докладывались на российских конференциях и хорошо известны специалистам. Диссертация и автореферат написаны хорошим и понятным языком. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Соискатель имеет 11 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 7 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, общим объёмом 4.62 печатных листа.

Список публикаций по теме диссертации:

1. A. B. Van'kov, B. D. Kaysin, V. E. Kirpichev, V. V. Solovyev, and I. V. Kukushkin, «Observation of collective excitations in MgZnO/ZnO two-dimensional electron systems by resonant Raman scattering», Phys. Rev. B 94, 155204 (2016).
2. A. B. Van'kov, B. D. Kaysin, and I. V. Kukushkin, «Optical manifestation of the Stoner ferromagnetic transition in 2D electron systems», Phys. Rev. B 96, 235401 (2017).
3. Л. В. Кулик, А. Б. Ваньков, Б. Д. Кайсин, И. В. Кукушкин, «Межподзонный магнитоплазмон как детектор спиновой поляризации в ДЭС», Письма в ЖЭТФ 105, 358 (2017).
4. A.B. Van'kov, B. D. Kaysin, and I. V. Kukushkin, «Soft inter-Landau-level spin-flip magnetoexciton as a precursor of ferromagnetic instability», Phys. Rev. B

98, 121412(R) (2018).

5. А. Б. Ваньков, Б. Д. Кайсин, И. В. Кукушкин, «Термодинамика изинговых квантово-холловских ферромагнетиков при $\nu = 2$ », Письма в ЖЭТФ 107, 110 (2018).

6. А. Б. Ваньков, Б. Д. Кайсин, И. В. Кукушкин, «О спиновой деполяризации холловского ферромагнетика вблизи $\nu = 1$ в двумерных электронных системах на основе ZnO», Письма в ЖЭТФ 110, 268 (2019).

7. A.B. Van'kov, B. D. Kaysin, S.Volosheniuk and I. V. Kukushkin, «Exchange energy renormalization in quantum Hall ferromagnets with strong Coulomb interaction», Phys. Rev. B 100, 041407(R) (2019).

На диссертацию и автореферат поступило два отзыва, оба положительные, в которых отмечается, что диссертационная работа Кайсина Б.Д. является законченным исследованием, выполненным в актуальном направлении, а также, что по новизне, актуальности и значимости диссертация удовлетворяет всем требованиям Высшей аттестационной комиссии.

Загороднев Игорь Витальевич (кандидат физико-математических наук старший научный сотрудник лаборатории №184 «Методов получения тонких пленок и пленочных структур» Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН). Без замечаний.

Заболотных Андрей Александрович (кандидат физико-математических наук старший научный сотрудник лаборатории №184 «Методов получения тонких пленок и пленочных структур» Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН). Замечание:

При прочтении автореферата в отношении графиков на рис. 3 и 4(с) возник следующий вопрос. На данных рисунках нанесены как экспериментальные, так и теоретически рассчитанные результаты; в обсуждении сказано, что полученные данные хорошо согласуются, однако из графиков видно, что расхождение между экспериментом и расчётными значениями составляет

порядка 5% на рис. 3 (левая часть, $v=1$; правая часть, $v=2$) и порядка 20% на рис. 4(с) (область $v \approx 1.1$). Можно ли такое расхождение считать малым и говорить о хорошем согласовании?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что

Волков Владимир Александрович, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник лаборатории №184 “Методов получения тонких пленок и пленочных структур” ФГБУН Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, является ведущим специалистом в области наноплазмоники, и в круг его научных интересов входит изучение низкоразмерных электронных систем в полупроводниковых наноструктурах. Автор более 140 научных работ.

Сапега Виктор Фёдорович, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории спиновых и оптических явлений в полупроводниках ФГБУН Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе РАН, является ведущим специалистом в области физики полупроводников; в круг его научных интересов входит исследование низкоразмерных структур методом комбинационного рассеяния света. Автор более 100 научных работ.

Сотрудники ведущей организации ФГБУН Институт спектроскопии РАН широко известны своими достижениями в соответствующей области науки и способны оценить актуальность, новизну, научную и практическую значимость диссертационной работы. В ИСАНе проводятся теоретические и экспериментальные исследования по физике наноструктур и низкоразмерных систем, а также изучаются коллективные эффекты в двумерных электронных системах, вызванные межчастичным взаимодействием.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- предложен подход для описания ферромагнитного перехода в режиме квантового эффекта Холла, учитывающий эффекты многочастичного взаимодействия в двумерных электронных системах;

- установлена причина спонтанного нарушения спинового упорядочения при ферромагнитном переходе на факторе заполнения 2 в системах с сильным межчастичным взаимодействием;
- исследована термодинамическая устойчивость квантово-холловского ферромагнетика при факторе заполнения 2.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- получена фазовая диаграмма квантово-холловского ферромагнетика при факторе заполнения 2 для сильно взаимодействующих систем на основе гетероструктур ZnO/MgZnO;
- показано, что ферромагнитный переход в режиме квантового эффекта Холла наступает вследствие обнуления многочастичной энергетической щели над основным состоянием, обуславливаемой нижайшим по энергии коллективным возбуждением;
- установлена перенормировка энергии обменного взаимодействия в сильнокоррелированных системах при факторе заполнения 1.

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

- представлены методы определения спиновой поляризации системы в режиме квантового эффекта Холла, основанные на анализе спектров неупругого рассеяния света на коллективных возбуждениях;
- определены условия для формирования ферромагнитного перехода в сильно взаимодействующих системах в режиме квантового эффекта Холла при факторе заполнения 2.

Достоверность результатов исследования доказывается тем, что результаты, полученные в ходе выполнения исследовательской работы, согласуются с ранее полученными результатами изучения аналогичных гетероструктур магнито-транспортными и магнито-оптическими методами и с результатами теоретических исследований. Все экспериментальные результаты, приведенные в диссертационной работе соискателя, опубликованы в ведущих мировых

и российских научных журналах и неоднократно докладывались на конференциях, что также подтверждает их достоверность.

Личный вклад соискателя состоит в проведении экспериментальных исследований, обработке и интерпретации результатов экспериментов, а также в проведении численных расчетов.

Диссертация Кайсина Бориса Дмитриевича является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний, отвечает всем критериям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, недостоверные сведения об опубликованных работах, в которых изложены основные научные результаты, в диссертации отсутствуют.

На заседании 21.06.21 диссертационный совет принял решение присудить Кайсину Б.Д. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении открытого голосования диссертационный совет в количестве 22 человек, из них 22 доктора наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 28 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» 22, «против» нет.

Председатель

диссертационного совета

доктор физ.-мат. наук

Левченко Александр Алексеевич

Ученый секретарь

диссертационного совета

доктор технических наук

Курлов Владимир Николаевич

22 июня 2021г.

