

Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу
Васильченко Александра Анатольевича «Теоретическое исследование коллективных явлений в электронных и электронно-дырочных системах в низкоразмерных структурах», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Актуальность темы.

Физика низкоразмерных структур - актуальнейшая и наиболее динамично развивающаяся область современной физики. Исследования низкоразмерных структур в полупроводниках занимают в последние годы ведущее место в физике конденсированных сред. Интерес к этой области связан как с принципиально новыми фундаментальными научными проблемами, так и с перспективами создания на основе низкоразмерных структур новых квантовых приборов и устройств.

В полупроводниковых наноструктурах начинает отчетливо проявляться квантовомеханическая природа носителей заряда, в результате чего квантовые эффекты играют ключевую роль в физических процессах. Свойства полупроводниковых низкоразмерных структур в значительной степени определяются взаимодействием носителей зарядов, и особенно актуальной задачей является исследование влияния сильных электронных и электронно-дырочных взаимодействий на оптические, магнитные и электронные свойства наноструктур.

Диссертационная работа А.А. Васильченко посвящена как раз теоретическим исследованиям влияния взаимодействия носителей заряда, размерных параметров наноструктур, удерживающих потенциалов, магнитного и электрического поля на свойства носителей заряда в квантовых точках, квантовых ямах и квантовых проволоках. В силу сказанного, актуальность темы диссертации не вызывает сомнений.

Актуальность работы также подтверждается поддержкой работ по тематике диссертации проектами РФФИ.

Структура и краткое содержание диссертации.

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка сокращений и списка цитированных источников.

Во введении обосновывается актуальность исследований, сформулированы цель и задачи исследований, показаны научная новизна и практическая значимость работы, достоверность результатов, сформулированы положения и основные результаты, выносимые на

защиту, предоставлена информация об апробации работы, о публикациях и личном вкладе автора, а также приведена структура и краткое содержание диссертации.

В главе 1 приведен общий формализм теории функционала плотности и краткий обзор о точных вычислениях для квантовых точек и представлены экспериментальные результаты для явлений и эффектов, которые исследуются теоретически в диссертации.

В главе 2 используется теории функционала плотности для изучения свойств электронно-дырочной жидкости в квантовых ямах. На основе приближенного аналитического решения нелинейного уравнения Шредингера получены аналитические выражения для энергии квазидвумерной ЭДЖ в мелких и глубоких квантовых ямах. Используя эти аналитические выражения находится равновесная плотность ЭДЖ в различных полупроводниках. На основе численных решений уравнений Шредингера подробно исследованы свойства ЭДЖ в квантовых ямах Si/SiGe/Si и SiO₂/Si/SiO₂. Для обоих ям получено хорошее согласие результатов численных расчетов с экспериментальными результатами. Показано, что в квантовых ямах Si/SiGe возможно образования трехкомпонентной ЭДЖ.

Интересные результаты получены для ЭДЖ в магнитном поле. Показано, что равновесная плотность ЭДЖ имеет немонотонный вид и в сильном магнитном поле значительно возрастает.

Получены важные для практических применений результаты, которые предсказывают возможность образования ЭДЖ в пленках алмаза при комнатной температуре.

В третьей главе приведены результаты исследований электронной структура квантовой точки в магнитном поле. Проведено сравнение полученных результатов с точными результатами. На основе численных решений системы нелинейных уравнений Кона-Шэма найдены новые серии магических чисел и исследованы характеристики незатухающего тока в квантовых точках и кольцах. Исследовано влияние заряженной примеси на электронную структуру квантовых точек с большим числом электронов и построена фазовая диаграмма перехода металл-диэлектрик.

В главе 4 используется теории функционала плотности для изучения электронной структуры вертикально-связанных квантовых точек в магнитном поле. Найдены новые серии магических чисел для полного углового момента электронов в вертикально-связанных квантовых точках и объяснена их природа. В координатах «величина туннельной щели – напряженность магнитного поля» построена фазовая диаграмма перехода в

квантовое холловское состояние в двойных квантовых точках при факторе заполнения уровня Ландау, равном единице.

Для пространственно разделенных двумерных электронов и дырок в сильном магнитном поле численно решена система уравнений Кона-Шэма и показано, что электронно-дырочные комплексы могут содержать большое число электронно-дырочных пар. Вычислены незатухающие токи для электронов и дырок, которые имеют осцилляционный вид с почти линейными сегментами.

В пятой главе приведены результаты исследований электронной и электронно-дырочной структуры квантовой проволоки. На основе численных и аналитических решений уравнения Шредингера найдено значение одномерной критической плотности, ниже которой электроны находятся в спин-поляризованном состоянии. Исследовано влияние геометрии квантовой проволоки на переход в спин-поляризованное состояние.

Показано, что в сильном магнитном поле электронная плотность разбивается на две туннельно-связанные области.

Для ЭДЖ в квантовой проволоке получено аналитическое выражение для энергии. Результаты вычислений для InAs квантовой проволоки очень хорошо согласуются с результатом эксперимента.

В заключении сформулированы основные выводы диссертационной работы.

Научная новизна.

Полученные в диссертационной работе результаты являются новыми, значимыми и представляют собой несомненный интерес в области физики конденсированных сред. В ходе работы выполнен большой объем исследований и получен ряд новых и интересных результатов, среди которых выделю следующие:

1. Впервые показано, что ЭДЖ в квантовых ямах может быть многокомпонентной.

2. Впервые показано, что в алмазных пленках с толщиной в несколько нанометров критическая температура ЭДЖ может быть близкой к комнатной.

3. На основе численных решений системы нелинейных уравнений Кона-Шэма изучены характеристики незатухающего тока в квантовых точках и кольцах и предложена эмпирическая формула для периода осцилляций.

4. В рамках теории функционала плотности показано, что в двойных электронно-дырочных квантовых слоях в сильном магнитном поле могут образовываться многочастичные электронно-дырочные комплексы.

5. На основе численных и аналитических решений уравнения Шредингера найдено значение одномерной критической плотности, ниже которой электроны находятся в спин-поляризованном состоянии.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов.

Автором предложен единый теоретический подход к исследованию электронной и электронно-дырочной структуры квантовых ям, квантовых точек и квантовых проволок. Используемый в работе метод функционала плотности широко применяется в разных разделах физики. Этот метод полностью соответствует поставленным целям и задачам. Сделанные в диссертации выводы соответствуют полученным результатам.

Достоверность подтверждается детальным анализом полученных теоретических результатов, их воспроизводимостью, совпадением с результатами точных вычислений, хорошим согласием с экспериментальными результатами.

Замечания по работе.

1. В главе 2 необходимо было провести более детальное сравнение численных результатов с аналитическими. Также необходимо было на рисунке 2.8 привести экспериментальные данные.

2. В тексте и на рисунках используются разные единицы измерения (например, в одних случаях энергия дается в мэВ, в других – в атомных единицах).

3. В расчетах для квантовых точек исключается самодействие электронов. Было бы интересно обсудить влияние самодействия электронов на полученные результаты.

4. В главе 4 интересно было бы провести вычисления для заряженных электронно-дырочных комплексов.

Указанные замечания не снижают научной значимости полученных результатов и не влияют на общую высокую оценку диссертации.

Общее заключение.

Основные результаты диссертации опубликованы в 43 научных работах, в том числе 18 научных статей опубликованы в российских журналах из перечня ВАК и 14 статей индексируются в БД Web of Science и Scopus. Автореферат и опубликованные работы достаточно полно отражают содержание диссертации.

Уровень решаемых задач представляется соответствующим требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени

доктора физико-математических наук. Содержание диссертации соответствует специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Считаю, что диссертация Васильченко Александра Анатольевича «Теоретическое исследование коллективных явлений в электронных и электронно-дырочных системах в низкоразмерных структурах» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, удовлетворяет критериям актуальности, научной новизны, обоснованности и достоверности выводов, предъявляемым к докторским диссертационным работам «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденном постановлением Правительством Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г. (редакция от 01.10.2018 г.) (пп. 9 – 14), а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент

директор НИИ физики

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университе

доктор физико-математических наук,

(01.04.07 – Физика конденсированного состояния)

И.А. Вербенко

27.11.2019



Вербенко Илья Александрович

НИИ физики ФГ АОУ ВО

«Южный федеральный университет»

344090, г. Ростов-на-Дону,

пр. Стачки, д. 194

тел.: +7(863)2433676

факс: +7(863)2434044

ilich001@ya.ru

<https://ip.sfedu.ru>