

ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

диссертационного совета Д 212.105.04, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Юго-Западный государственный университет»

по диссертационной работе

Васильченко Александра Анатольевича

на тему «Теоретическое исследование коллективных явлений в электронных и электронно-дырочных системах в низкоразмерных структурах», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния»

При подготовке дополнительного заключения в качестве руководящих документов использовались: Положение о присуждении ученых степеней, утвержденное постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842; рекомендации Президиума ВАК при Минобрнауки России от 9 октября №11/2-зд, ГОСТ Р7.0.11-2011; Национальный Стандарт Российской Федерации, на основании которого в РФ были сформированы критерии оценивания соответствия диссертации на соискание ученой степени доктора наук. При оценке рассматриваемой диссертации, являющейся теоретическим исследованием по актуальной проблеме исследований электронных и электронно-дырочных явлений в низкоразмерных системах, таким критерием следовало бы считать разработку «теоретических положений, совокупность которых можно квалифицировать как крупное научное достижение», имеющее существенное общенаучное и прикладное значение.

Анализ подготовки материалов к защите, выбора официальных оппонентов и ведущей организации, а также процедуры проведения защиты диссертации Васильченко А. А. в диссертационном совете Д 212.101.07 (20 декабря 2019 г. № 19/13), созданном на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кубанский

государственный университет», показал, что они были проведены в полном соответствии с указанными нормативными документами. Следует только отметить, что объем диссертации находится у нижней границы требований, сложившихся применительно к работам на соискание степени доктора наук, как по количеству страниц – 191, так и по числу цитированных источников – 166, включая работы за последние 5 лет, предшествующие дате защиты – 32, что явно недостаточно, так как публикации по данной проблематике находятся практически в эпицентре современных исследований в области физики и химии, непосредственно касающихся всех аспектов достигнутого уровня нанотехнологий.

Теоретические исследования, представленные в диссертации, посвящены наноразмерным полупроводниковым системам, в прикладном плане непосредственно относящимся к наноэлектронике и содержащим типовые объекты полупроводниковых материалов: электроны, дырки, а также электронно-дырочные жидкости (ЭДЖ). Теоретический аппарат построен на применении широко используемой и положительно зарекомендовавшей себя теории функционала электронной плотности (версия Кона и Шэма – КШ). Применен подход Андриюшина, Келдыша и др., (Electron-hole liquid in thin semiconductor films E. A. Andryushin, L. V. Keldysh, V. A. Sanina, and A. P. Silin P. N. Lebedev Physics Institute. Academy of Sciences of the USSR, Moscow (Submitted 2 April 1980) Zh. Eksp. Teor. Fiz. 79,1509-1517 (October 1980), в котором метод КШ был распространен на волновые функции (и плотности) электронов проводимости и дырок. В таком виде метод псевдопотенциалов позволяет учитывать лишь состояния валентных электронов (с отдельными s-, p-, d- компонентами), а остовные электроны, действующие на валентные состояния, считаются замороженными. При таком подходе роль псевдопотенциала, действующего на электроны проводимости и дырки, играет потенциальная яма наноразмерной системы, вид которой задается с учетом существующих экспериментальных данных или феноменологических соображений, а роль

компонентов плотности играют плотности электронов и дырок с различными эффективными массами.

Это предопределило выбор объектов для вычислительных экспериментов, выполненных в работе, которыми стали активно используемые в настоящее время наноструктурные системы – квантовые точки, квантовые ямы и квантовые проволоки. В обзоре *Reviews of modern physics*, V. 74, October 2002, 1283-1242. Electronic structure of quantum dots. Stephanie M. Reimann. Matti нашли отражение исследования электронной структуры квантовых точек и ЭДЖ. Однако они касались либо одного, либо нескольких электронов. Отличительным достоинством представленных в диссертации Васильченко А. А. результатов стало расширение этих расчетов для систем, содержащих 1000 электронов.

В диссертации как численными, так и аналитическими методами получено весьма значительное количество результатов, которые хорошо согласуются с экспериментальными данными, что востребовано в работах ведущих научных институтов (Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН) и университетах (Национальный исследовательский университет «Томский государственный университет»). Выделим наиболее значимые из них: переход от трехкомпонентной ЭДЖ к двухкомпонентной в квантовых ямах Si/SiGe/Si; состояние ЭДЖ в квантовых ямах Si/SiO₂; теоретически предсказанная многокомпонентность ЭДЖ в пленках алмаза нанометровой толщины с критической температурой, близкой к комнатной; численное обнаружение незатухающих токов осцилляционного вида для электронов и дырок в двойных квантовых точках. Заслуживают отдельного внимания результаты исследований электронной структуры одиночных и двойных вертикально-связанных квантовых точек в магнитном поле, для которых получены полные угловые моменты электронов; анализ электронной структуры квантовой проволоки как в сильном магнитном поле, так и без него. Расчеты энергии и равновесной плотности ЭДЖ хорошо согласующиеся с экспериментальными

результатами для равновесной плотности в квантовой проволоке InAs. Значения одномерной и двумерной критической плотности электронов, ниже которой электроны находятся в спин-поляризованном состоянии, численно и аналитически согласуются.

Анализ публикаций автора показывает, что полученные в диссертации результаты принадлежат автору и имеют высокую научную и практическую значимость. Обращает на себя внимание то, что соискатель продолжает активные исследования, на что указывают его публикации, не вошедшие в диссертацию (1. Vasilchenko A.A. Ground State of Quasi-Two-Dimensional Electron–Hole Liquid on Silicon Surface// International Journal of Nanoscience. 2020. V. 19. No. 6. p. 2050008 (4 pages). 2. Vasilchenko A.A., Krivobok V.S., Nikolaev S.N., Bagaev V.S., Onishchenko E.E., Kopytov G.F. Emission Spectrum and Stability of Two Types of Electron–Hole Liquid in Shallow Si/Si_{1-x}Ge_xSi Quantum Wells // Physics of the Solid State. 2020. V. 62. Iss. 4. P. 603-610. – 3. Vasilchenko A.A., Kopytov G.F. Electronic Structure of Quantum Wire in the Strong Magnetic Field // Russian Physics Journal. 2020. V. 63. Iss. 4. P. 708-709).

Замечания по диссертационной работе.

Автор подчеркивает в названии своей работы, что он исследует «коллективные явления». Под коллективными явлениями в физике конденсированного состояния подразумеваются эффекты, вызванные многочастичными взаимодействиями. Теория функционала плотности, которую использует автор, явно эти эффекты не описывает — все коллективные взаимодействия скрыты в обменной и корреляционной энергии. Автор же, говоря о коллективных взаимодействиях, сводит их к кулоновскому межэлектронному взаимодействию, которое в рамках уравнений Кона-Шэма описывает одночастичные состояния.

Автор почему-то не видит особой разницы между уравнениями Шредингера и Кона-Шэма и записывает уравнение Кона-Шэма с модельным внешним потенциалом, называя его уравнением Шредингера. В работе встречаются жаргонизмы (например, «двумерные электроны» вместо «двумерный

электронный газ»). Говоря о двумерном случае, он записывает уравнение, содержащее только одну координату.

При сравнении полученных результатов вычислений с экспериментальными автору необходимо было продемонстрировать экспериментальные данные на рисунках.

Диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация Васильченко А. А. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой содержится ряд теоретических результатов в области исследования коллективных явлений в электронных и электронно-дырочных системах в низкоразмерных структурах, совокупность которых можно квалифицировать как крупное научное достижение. Диссертация соответствует критериям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г.

На заседании 29.12.2020 г. (протокол №23) диссертационный совет принял решение присудить Васильченко Александру Анатольевичу ученую степень доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

При проведении открытого голосования диссертационный совет в количестве 16 человек (из них – 8 докторов наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния»), участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени – 16, против присуждения ученой степени – нет.

Председатель
диссертационного совета
Д 212.105.04

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 212.105.04



Кузьменко Александр Павлович

Кочура Алексей Вячеславович

«29» декабря 2020 года