

## ОТЗЫВ

**на автореферат диссертации Семиной Марины Александровны  
«Теория кулоновских комплексов в полупроводниках и наносистемах»,  
представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических  
наук по специальности 01.04.02 – «теоретическая физика»**

Хорошо известно, что физические свойства полупроводниковых материалов определяются физическими свойствами их элементарных возбуждений. При большом разнообразии последних экситонные возбуждения полупроводниковых систем являются одними из ключевых, определяя оптические свойства как объемных полупроводниковых материалов, так и низкоразмерных полупроводниковых систем. Будучи комплексным образованием, экситон обладает достаточно богатым спектром свойств. Понижение размерности полупроводниковых структур открывает возможности экспериментального наблюдения более сложных экситоноподобных комплексов – трионов, биэкситонов и ряда других. Именно такие кулоновские комплексы определяют в значительной мере оптический отклик полупроводников в низших размерностях, а развитие технологии и появление разнообразных новых материальных систем делает актуальной разработку последовательной теории электрон-дырочных комплексов.

Диссертационная работа М.А. Семиной посвящена именно этой области исследований и нацелена на теоретическое изучение электрон-дырочных комплексов с малым числом частиц – экситонов, трионов и биэкситонов – в полупроводниковых низкоразмерных структурах, а также в объемных кристаллах. Сказанное определяет несомненную актуальность представленной диссертационной работы.

Судя по представленному автореферату, в диссертационной работе М.А. Семиной решен ряд важных теоретических задач, среди которых можно выделить следующие. Во-первых, разработан универсальный метод построения пробных функций для вариационных расчетов электрон-дырочных комплексов, локализованных в наносистемах, причем пригодный для исследования ситуации как простой, так и сложной зоны, когда волновая функция дырки описывается многокомпонентным столбцом. Во-вторых, в рамках этого метода дано описание эффектов увеличения энергии связи экситонов и трионов, локализованных на флуктуациях интерфейсов квантовых ям и ширины квантовых проволок. В-третьих, исследован эффект Зеемана на дырках и изучена конкуренция эффектов сложной валентной зоны полупроводников III-V и II-VI и эффектов размерного квантования в формировании фактора Ланде локализованных дырок и электрон-дырочных комплексов. В-четвертых, эффекты сложной валентной зоны изучены для возбужденных, ридберговских экситонов в закиси меди. Особый интерес представляет четвертая глава диссертации, где построена теория экситонов и трионов в весьма популярных и активно изучаемых в настоящее время структурах с мономолекулярными слоями дихалькогенидов переходных металлов. Специфика задачи состоит в необходимости учета как нетривиальной экранировки кулоновского потенциала за счет диэлектрического контраста структуры, так и сложной многодолинной структуры энергетического спектра.

Многие эффекты, исследованные теоретически в диссертационной работе, нашли подтверждение в экспериментах, а значительное число работ соискателя выполнено

совместно с экспериментаторами, что, несомненно, является сильной стороной диссертации.

По автореферату имеется замечание: при обсуждении энергии связи трионов (в частности, в монослоях дихалькогенидов переходных металлов) наличием свободных носителей заряда пренебрегается. С другой стороны, как видно из рис. 7 автореферата в экспериментальных спектрах видны как изменение энергии связи, так и сил осциллятора трионных состояний с изменением легирования структуры. Этот эффект следовало бы пояснить. Указанное замечание не снижает высокой оценки диссертационной работы.

Результаты диссертационной работы опубликованы в ведущих российских и зарубежных научных журналах, представлялись на ведущих российских и международных конференциях, в том числе приглашенными докладами и хорошо известны научному сообществу. Их обоснованность, достоверность, высокая научная ценность не вызывают сомнений.

Считаю, что в диссертационной работе М.А. Семиной получен ряд новых, оригинальных результатов, совокупность которых можно трактовать как существенное достижение в области физики экситонов и экситоноподобных комплексов.

Диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, а ее автор, Семина Марина Александровна, безусловно заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 – «теоретическая физика».

10 апреля 2020 г.

Ковалёв Вадим Михайлович, \_\_\_\_\_

доктор физико-математических наук по специальности 01.04.10 «физика полупроводников»

Заведующий лабораторией теоретической физики

ФГБУН Института физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения РАН

Новосибирск, 630090, пр. ак. Лаврентьева, 13

Телефон: +7(383)333-32-64

Электронная почта: vadimkovalev@isp.nsc.ru

Подпись В.М. Ковалёва удостоверяю.

Ученый секретарь Института физики полупроводников СО РАН,

к.ф.-м.н. \_\_\_\_\_

Аржанникова София Андреевна