

**Отзыв официального оппонента на диссертационную работу
Авдеева Ивана Дмитриевича
«Эффекты междолинного смешивания в наноструктурах из
халькогенидов свинца»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.02 — «теоретическая физика»

В настоящее время значительное внимание уделяется теоретическим и экспериментальным исследованиям оптических и электронных свойств структур пониженной размерности на основе соединений халькогенидов свинца, которые активно используются в современной оптоэлектронике. Однако, несмотря на уникальные оптические и электронные свойства структур на основе халькогенидов свинца, моделирование их представляется весьма нетривиальной задачей, что обусловлено их сложной многодолинной зонной структурой.

Диссертационная работа И.Д. Авдеева посвящена разработке общих аналитических и численных методов для исследования наноструктур на основе многодолинных полупроводниковых материалов, в частности, в работе выполнено теоретическое исследование эффектов, обусловленных междолинным рассеянием электронов и дырок в нанопроволоках и квантовых точках из халькогенидов свинца. Достоверность результатов обеспечена тщательно выполненным комплексным аналитическим и численным анализом оптических и электронных свойств наноструктур на основе соединений халькогенидов свинца, подробным сопоставлением результатов расчетов с результатами, полученными в рамках других теоретических методов, сравнением результатов расчетов с экспериментальными данными, а также многократной апробацией результатов работы на научных семинарах, всероссийских и международных конференциях.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Работа содержит 142 страницы, включая 33 рисунка, и список литературы из 137 наименований.

Во введении сформулированы цель и основные задачи работы, обоснованы актуальность, научная новизна, практическая значимость полученных результатов, представлены выносимы на защиту положения, приведено краткое содержание диссертационной работы.

В первой главе подробно описан метод сильной связи, который использован в работе для расчета одно- и двухчастичных состояний в наноструктурах из халькогенидов свинца. Приведен формализм метода сильной связи, изложен способ учета внешних полей, представлена схема расчета преобразования Фурье, описаны особенности зонной структуры халькогенидов свинца, описана процедура расчета кулоновских матричных элементов.

Во второй главе выполнено исследование электронной структуры и долинного расщепления уровней размерного квантования в нанопроволоках из селенида свинца. В первой части приведен краткий обзор литературы по экспериментальному и теоретическому исследованию нанопроволок из халькогенидов свинца. Во второй части приведена обобщенная модель нанопроволок в рамках метода эффективной массы, выполнен анализ симметрии состояний и структуры долинных расщеплений. В третьей части главы выполнен расчет электронной структуры состояний в цилиндрических нанопроволоках с осью вдоль направления [111]. В заключительном разделе третьей главы выполнен расчет электронной структуры ограниченных нанопроволок с осью вдоль направления [110]. Проведен анализ величин долинных расщеплений в зависимости от формы нанопроволок, исследовано влияние поверхностных дефектов, пассивации и релаксации поверхности.

В третьей главе выполнено моделирование электронной структуры квантовых точек из сульфидов свинца в методе сильной связи. В первой части главы приведен краткий обзор литературы по исследованию наноструктур на основе сульфидов свинца. Во второй части главы приведено описание микроскопической структуры моделируемых объектов, симметрии и формы поверхности. В третьей части подробно представлены результаты расчетов одночастичных состояний и долинных расщеплений в зависимости от размеров и формы квантовых точек. В четвертой части главы выполнен расчет экситонных состояний в квантовых точках на основе сульфидов свинца и проведено сравнение с экспериментальными данными. В заключительной части третьей главы проведено моделирование тонкой структуры экситона во внешнем магнитном поле.

В четвертой главе представлен подробный вывод модели тонкой структуры экситона в квантовых точках из халькогенидов свинца. Модель основана на использовании метода эффективной массы и теории представлений групп. В результате предложена схема формирования тонкой структуры экситона при последовательном учете прямого кулоновского взаимодействия, внутридолинного обменного, междолинного обменного и междолинного смешивания.

В заключении диссертационной работы приведены основные результаты и выводы.

Автором получен ряд новых и оригинальных результатов. К ним можно отнести следующее:

1. Предложен способ расчета оптических матричных элементов с учетом диэлектрического контраста на интерфейсе между нанокристаллом и диэлектрической матрицей в рамках метода сильной связи.

2. Продемонстрировано, что в нанопроволоках без центра инверсии могут наблюдаться гигантские, линейные по волновому вектору спиновые расщепления.

3. Показано, что в нанопроволоках и квантовых точках из селенида свинца величину долинных расщеплений можно контролировать, изменяя форму поверхности.

4. Построена модель тонкой структуры экситона в квантовых точках из селенида свинца с учетом внутри- и междолинного кулоновского взаимодействия и долинных расщеплений.

К достоинствам работы также следует отнести подробное сравнение результатов теоретического анализа, полученных автором на основе предложенных теоретических подходов для описания эффектов, связанных с междолинным рассеянием электронов и дырок в нанопроволоках и квантовых точках из халькогенидов свинца, с результатами расчетов, полученных в рамках других подходов, а также с данными экспериментальных исследований, выполненных как российскими, так и международными научными группами.

В качестве замечаний по диссертационной работе И.Д. Авдеева можно отметить следующее:

1. Во второй главе исследован вопрос об устойчивости долинных расщеплений в нанопроволоках к возмущениям поверхности и поверхностным дефектам (пассивация полярных граней, протяженные поверхностные дефекты, релаксация поверхностных атомов к теоретическим положениям равновесия). Рассмотрен случай незаряженных дефектов, однако, довольно часто при наличии дефектов на поверхности может образовываться локальный заряд. Насколько важен и как сильно может повлиять на рассчитанные величины долинного расщепления наличие на поверхности нанопроволок нескомпенсированных зарядов, связанных с дефектами поверхности.

2. В третьей главе приведены расчеты для ограниченных квантовых точек. Представляется интересным сравнить результаты расчетов с результатами, полученными для сферических квантовых точек. Кроме того, в реальных системах на поверхностях с различными индексами Миллера могут реализовываться разные реконструкции поверхности. Позволяет ли разработанный теоретический учесть этот факт и насколько сильно могут измениться результаты.

3. В четвертой главе при анализе кулоновского взаимодействия, внутридолинного и междолинного обменного взаимодействия рассмотрена модель сферической квантовой точки. Насколько сильно будет влияние кулоновского и обменного взаимодействий в случае отклонения от сферической симметрии, например для ограниченных квантовых точек.

Представленные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы, являющуюся законченным и оригинальным научным исследованием. Полученные результаты являются актуальными, новыми и представляют научный интерес как с фундаментальной, так и с практической точек зрения. Актуальность, новизна, практическая значимость, личный вклад автора и достоверность полученных в работе результатов не вызывают сомнения. Основные результаты диссертационной работы неоднократно обсуждались на научных семинарах, докладывались на российских и международных конференциях, опубликованы в статьях в научных изданиях, входящих в международные базы данных. Материал, изложенный в диссертационной работе, представлен четко и понятно. Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы.

Диссертационная работа И.Д. Авдеева «Эффекты междолинного смешивания в наноструктурах из халькогенидов свинца» соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 "Теоретическая физика" согласно Положению о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук, а ее автор, заслуживает присуждения ему искомой ученой степени по специальности 01.04.02 – «Теоретическая физика».

Официальный оппонент

Доцент физического факультета
ФГБОУ ВО МГУ имени М.В. Ломоносова,
доктор физико-математических наук

Владимир Николаевич Манцевич

Подпись В.Н. Манцевича удостоверяю

Декан физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова,
профессор, доктор физико-математических наук

Н.Н. Сысоев

Адрес официального оппонента:

119991 Москва, ул. Ленинские Горы, д. 1, корп. 2
Тел.: 8 (495) 939-50-72
эл. почта: vmantsev@gmail.com