

125009, г. Москва,
ул. Моховая, д. 11, корп. 7,
ФГБУН Институт Радиотехники и
Электроники им. В. А. Котельникова
Российской Академии Наук
Диссертационный совет Д002.231.01

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Девизоровой Жанны Алексеевны «ИНТЕРФЕЙСНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ЭЛЕКТРОННОМ СПЕКТРЕ ОГРАНИЧЕННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ПОЛУМЕТАЛЛОВ», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук (специальность 01.04.10 - физика полупроводников).

Актуальность. В последние годы в физике стремительно развиваются исследования новых двумерных и трехмерных материалов (топологических изоляторов, графена, вейлевских полуметаллов), в которых существенный интерес представляют свойства поверхности. Кроме того, происходит постоянная миниатюризация приборов микроэлектроники, что приводит к возрастанию влияния граничных эффектов на характеристики этих устройств. Это позволяет заключить, что представленные в диссертации теоретические исследования того, как граница влияет на свойства электронов в мезоскопической системе, актуальны как с научной, так и с практической точек зрения.

В первой главе диссертации предложен новый механизм спинового расщепления спектра двумерных электронов в гетероструктурах на основе соединений типа A_3B_5 , связанный со спин-орбитальным взаимодействием с атомарно резким барьером. Результаты представляют существенный интерес, поскольку такое спин-орбитальное взаимодействие, как показано в диссертации, заметно влияет на спиновые параметры системы, точное определение которых особенно важно для создания приборов спинтроники. Предложенный формализм позволил количественно описать экспериментальные данные по электронному парамагнитному резонансу в асимметричной квантовой яме GaAs/AlGaAs.

Во второй главе построена аналитическая модель поверхностных состояний в вейлевских полуметаллах, трехмерных аналогах графена, исследования которых являются одной из самых быстроразвивающихся отраслей современной физики конденсированного состояния. Внимание к этим материалам во многом связано с существованием на поверхности вейлевских полуметаллов необычных поверхностных состояний с незамкнутыми ферми-контурами, которые получили название «ферми-арки». Полученные в диссертации результаты особенно актуальны, поскольку предложенная модель после

несложного обобщения позволит описывать также поведение электронов, заселяющих «ферми-арки», под действием внешних полей.

В третьей главе диссертации изучаются краевые эффекты для антиточки в графене. В частности, рассчитаны особенности локальной плотности состояний вблизи единичного нанодоверстия, на границе которого существуют квазистационарные краевые состояния. Актуальность полученных результатов связана с тем, что графен с антиточками интенсивно изучается экспериментально. Таким образом, **актуальность** работы не вызывает сомнения.

Новизна и достоверность. В диссертации впервые получены новые принципиально важные результаты, имеющие как фундаментальное, так и прикладное значение. Развита теория, которая описывает влияние интерфейса на спиновое расщепление электронного спектра в гетероструктурах на основе соединений A_3B_5 . Микроскопическое строение интерфейса описывается оригинальным граничным условием, которое получено из общефизических требований с учетом интерфейсного спин-орбитального взаимодействия. Показано, что последнее существенно перенормирует параметры Дрессельхауза и Рашбы, а также компоненты тензора g -фактора электрона проводимости. Впервые выведено граничное условие для эффективных волновых функций на поверхности вейлевского полуметалла в двухдолинном приближении. Продемонстрирована ключевая роль интерфейсного междолинного взаимодействия в формировании поверхностных состояний типа ферми-арок. Впервые рассчитана локальная плотность состояний на антиточке в графене, которая поддерживает краевые состояния. Эти результаты, а также другие результаты диссертации, являются оригинальными и получены автором впервые. Этим определяется **научная новизна** работы. Автор проводит аналитические расчеты, используя проверенные методы теоретической физики, такие как метод огибающей (кр метод) и др. Поэтому не возникает сомнений в **достоверности** полученных результатов.

Научная и практическая значимость Научная значимость диссертации состоит в ряде новых фундаментальных результатов, полученных впервые. Наиболее интересны два из результатов диссертации: расчет вкладов от гетероинтерфейса в спиновые параметры квантовых ям типа GaAs/AlGaAs и аналитический метод описания поверхностных состояний в вейлевских полуметаллах. Полученные результаты могут представлять практическую значимость для разработки устройств, основанных на принципах спинтроники.

Развитые в диссертации оригинальные теоретические методы и подходы могут быть использованы для количественного описания разнообразных явлений в квантовых ямах, вейлевских полуметаллах и в графене. Результаты диссертации Ж.А. Девизоровой могут быть рекомендованы к использованию в организациях, проводящих исследования в области

физики полупроводников и физики конденсированных сред (ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, ИС РАН, НЦ КИ ПИЯФ, МГУ, ИФП СО РАН, ФИАН, ИФТТ РАН, ИТФ РАН, ИТПЭ РАН и др.).

Диссертация Ж.А. Девизоровой написана понятным языком и содержит достаточное количество иллюстраций. В ней четко сформулированы цели исследования, достаточно полно описаны и проанализированы использованные теоретические методы и обсуждены полученные результаты.

Замечания. По диссертации следует высказать несколько вопросов и замечаний, не имеющих принципиального характера.

1. Обращает на себя внимание слабость аргументации, обосновывающей исключение из теоретического рассмотрения междолинного рассеяния при описании антиточки в графене. Хотя для краев определенных ориентаций в графене междолинное рассеяние, действительно, пренебрежимо мало, в произвольном случае это не обязательно так. Представляется, что подобное неконтролируемое приближение снижает общность полученных результатов.
2. Уравнения (1.16), (3.19) приведены в диссертации без подробного вывода. Подпись к рис. 1.4 недостаточно обстоятельна.
3. В тексте диссертации упоминается, что для арсенида тантала «в каждой элементарной ячейке по одному атому каждого сорта». Однако не поясняется, как это утверждение соотносится с рис. 4, изображающим решетку обсуждаемого вещества.
4. Для доказательства квазистационарности квантового уровня требуется сравнить комплексную и действительную часть квазиэнергии исследуемого уровня и продемонстрировать, что вторая превосходит первую. Этот простой критерий не обсуждается в явном виде после уравнения (3.10).

Эти замечания не влияют на общую положительную оценку работы, которая выполнена на высоком научном уровне.

Научные положения и результаты диссертации хорошо аргументированы и обоснованы. Основные результаты диссертации опубликованы в 4 научных работах в отечественных (Письма в ЖЭТФ) и зарубежных журналах (Phys. Rev. B), доложены на российских и международных конференциях. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа Ж.А. Девизоровой представляет собой научно-квалификационную работу, решающую важные проблемы современной теоретической физики полупроводниковых гетероструктур, вейлевских полуметаллов и графена. Представленные результаты имеют важное значение для развития современной физики

полупроводников. Диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Ж.А. Девизорова безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности **01.04.10 - физика полупроводников.**

доктор физико-математических наук,
специальность 01.04.07 - физика конденсированного состояния
ведущий научный сотрудник

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт теоретической и прикладной электродинамики
Российской академии наук

Рожков Александр Владимирович

Адрес: 125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13

тел. (926) 358-0165

e-mail: arozhkov@gmail.com

«23» апреля 2018 г.

Подпись Рожкова А.В. заверяю

ученый секретарь

ИТПЭ РАН

Кунавин А.Т.

