

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.

Диссертационная работа Ж.А. Девизоровой посвящена актуальной тематике – влиянию границ на электронные свойства квантовых ям, вейлевских полуметаллов и графена.

Одним из главных элементов любых полупроводниковых наноструктур (квантовых ям, квантовых нитей, квантовых точек) является интерфейс, так как без границ раздела не бывает и наноструктур, а кроме того, эффекты интерфейсов усиливаются по мере уменьшения размерности. Помимо влияния несовершенств на границах раздела, которые в принципе устранимы, огромное влияние на параметры наноструктур может оказывать и сама атомарная структура идеальных интерфейсов. Будучи принципиально неустранимой, такая микроструктура интерфейса требует тщательнейшего изучения. Поэтому тематика первой главы диссертации по интерфейсному спин-орбитальному взаимодействию в полупроводниковых квантовых ямах является актуальной областью физики полупроводниковых наногетероструктур.

Текущее десятилетие ознаменовалось открытием двух новых классов твердотельных материалов – топологических изоляторов и топологических полуметаллов. Эти материалы характеризуются поверхностными состояниями, природа которых связана с топологией электронной зонной структуры. Напомню, что еще в 1932 г. И.Е. Тамм на основе квантовой механики впервые предсказал, что из-за резкого обрыва кристаллического потенциала на границе, наряду с уже известными в то время объемными, зонными, состояниями электронов, у поверхности кристалла могут существовать также поверхностные состояния. Оказалось, что в вейлевских полуметаллах такие состояния, получившие название «ферми-арок», топологически защищены и обладают весьма своеобразным спектром с незамкнутыми ферми-контурами в виде дуг, соединяющих проекции конических точек Вейля на границу

зоны Бриллюэна. Число публикаций по полуметаллам Вейля стремительно растет. Поэтому тематика второй главы диссертации по поверхностным состояниям в вейлевском полуметалле относится к одной из самых быстроразвивающихся областей в физике конденсированного состояния.

Наконец, третья глава диссертации “Интерфейсные эффекты для графеновой антиточки” затрагивает интересные вопросы физики графеновых материалов, еще одного открытия XXI века и объекта активного и интенсивного изучения. Этим завершается обоснование актуальности темы диссертации.

Новизна и достоверность. Диссертация содержит три главы с оригинальными и достоверными результатами.

Начну этот раздел с обсуждения второй главы, так как, по моему мнению, в ней представлены наиболее значительные результаты диссертации. Ранее наличие ферми-арок в полуметаллах Вейля демонстрировалось либо в рамках микроскопических (атомистических) непрозрачных компьютерных расчетов, либо путем общего рассмотрения с учетом топологических свойств электронных блоховских функций. В диссертации Девизоровой впервые предложено аналитическое описание поверхностных состояний и ферми-арок в вейлевских полуметаллах в рамках метода эффективного гамильтониана и плавных огибающих. Выведено граничное условие для огибающей электронной волновой функции на поверхности вейлевского полуметалла, которое учитывает внутримолекулярное и междолинное интерфейсное смешивание. Рассчитан энергетический спектр поверхностных состояний и показано, что форма ферми-контуров определяется значениями двух граничных параметров, а описание ферми-арок, связывающих проекции конических точек Вейля, возможно только при учете интерфейсного междолинного смешивания. Достоверность результатов подтверждается тем, что при построении модели использовались общезначимые требования; для совершенствования своего образования я воспроизвел основные результаты главы 2. Кроме того, полученные спектры поверхностных состояний согласуются с экспериментальными данными по фотоэлектронной спектроскопии с угловым разрешением.

В главе 3 изучены квазистационарные краевые состояния, локализованные на полуплоскости или антиточке в графене. В частности, успешно решена оригинальная резерфордская задача о рассеянии двумерного электрона на заряженном круглом нанотверствии.

В первой главе построена теория интерфейсного спин-орбитального взаимодействия в квантовых ямах на основе соединений A_3B_5 . Для этого эффективный гамильтониан зоны проводимости дополнен оригинальным спин-зависимым граничным условием для

оггибающих функций на гетерогранице. Проанализировано влияние границы на спиновое расщепление спектра двумерных электронов. В магнитном поле вычислена интерфейсная перенормировка компонент тензора g -фактора.

Замечание. Здесь уместно вставить мое замечание к диссертации. При расчете g -фактора электрона в квантовой яме учтены непараболичность объемного g -фактора и интерфейсные вклады, определяемые константой R , входящей в граничные условия для оггибающей функции электрона. Однако даже при равной нулю константе R и в пренебрежении непараболичностью имеется существенный вклад в анизотропию g -фактора, обусловленный различием энергий размерного квантования тяжелых и легких дырок. Этот вклад в диссертации проигнорирован. При сравнении с экспериментом следовало использовать выражения для g -факторов $g_{\{zz\}}(0)$ и $g_{\{xx\}}(0) = g_{\{yy\}}(0)$, в которых учтены все вклады.

Научная и практическая значимость определяется современным интересом к спинтронике и физике экстремально тонких материалов и твердотельных объектов с нетривиальной топологией. Глава 2 имеет большое научное значение, поскольку затрагивает фундаментальные топологические свойства кристаллических материалов, свойства, которые, как мне кажется, на данном этапе только начинают раскрываться. Предложенная модель формирования ферми-арок может быть расширена с учетом внешних полей для изучения физических проявлений этого типа поверхностных состояний.

Результаты, представленные в диссертации, опубликованы в научных журналах, входящих в системы цитирования Web of Science и Scopus. Более того, они докладывались на многочисленных российских и международных конференциях. Полученные результаты могут быть использованы при изучении электронных свойств квантовых ям, вейлевских полуметаллов и графена в организациях, занимающихся теоретическими и экспериментальными исследованиями этих систем (ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, ИС РАН, ИФП СО РАН, ФИАН, ИФТТ РАН, ИТФ им. Ландау РАН, МГУ и др.).

Отмеченный выше недостаток не снижает общей высокой оценки диссертации.

Диссертационная работа Ж.А. Девизоровой является законченным исследованием и содержит принципиально новые важные результаты, касающиеся интерфейсных эффектов в электронном спектре гетероструктур на основе соединений A_3B_5 , вейлевских полуметаллов и графена. 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,
профессор, член-корреспондент РАН
специальность 01.04.10 - физика полупроводников
главный научный сотрудник
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе
Российской академии наук
Ивченко Еугениус Левович
e-mail: ivchenko@coherent.ioffe.ru
« 27 » _февраля__ 2018 г.

Подпись Ивченко Е.Л. заверяю
ученый секретарь
ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН
Шергин Андрей Петрович

