

## О Т З Ы В

На диссертационную работу Аюпяна Эдуарда Сергеевича *“Линейные и нелинейные оптические свойства различных квантовых структур во внешних полях”*, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности *А 04.10 – “Физика полупроводников”*.

Полупроводниковые наноструктуры находят широкое применение в современной твердотельной электронике и названные структуры являются на сегодня очень интенсивно исследуемыми объектами как с чисто научной, так и с прикладной точек зрения. Рецензируемая диссертационная работа посвящена теоретическому исследованию линейных и нелинейных оптических свойств полупроводниковых квантовых точек (КТ) в отсутствие и при воздействии внешних полей, а также исследованию свойств различных низкоразмерных перовскитных материалов. В свете вышесказанного, - о месте и роли низкоразмерных квантовых структур в современной физике полупроводников, рассмотренные в диссертации вопросы, несомненно, являются актуальными и их научная новизна очевидна.

Диссертационная работа состоит из **Введения**, трех **Гла**в, **Заключения** и **Списка** использованной литературы.

Во **Введении** приведен обзор литературы по обсуждаемым в диссертационной работе вопросам, показаны актуальность и новизна темы диссертационной работы и сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В **Главе 1** исследован энергетический спектр и определены волновые функции одночастичных состояний носителей заряда в цилиндрических и молекулообразных КТ как в отсутствие внешних полей, так и при наличии внешнего электрического поля.

В отсутствие внешних полей для описания одноэлектронных состояний в цилиндрической КТ автор использует потенциал Кратцера, который с достаточной адекватностью описывает состояния носителей при теоретическом рассмотрении задач, связанных с КТ цилиндрической симметрии. Соответствующее уравнение Шредингера решается аналитически в классе специальных функций, что позволяет путем довольно простых численных расчетов показать, что с одной стороны, при увеличении геометрических размеров системы энергия размерного квантования носителей заряда уменьшается, с другой стороны, с уменьшением размеров системы в положении энергетических уровней наблюдается тенденция к эквидистантности. Последнее

обстоятельство представляет собой важный результат, т.к. является необходимым условием генерации второй гармоники.

В следующих двух параграфах **Главы 1** рассмотрены одночастичные состояния носителей заряда соответственно во внешнем электрическом поле и при одновременном наложении электрического и магнитного полей.

В случае наложения внешнего электрического поля задача решена численным методом. Полученные результаты показывают, что: а) с возрастанием напряженности внешнего поля значение энергетических уровней возрастает по абсолютной величине, и б) при определенных значениях напряженности поля между первым и вторым, и вторым и третьим уровнями энергетические интервалы одинаковы. Это опять позволяет реализовать генерацию второй гармоники, - теперь уже при строго определенных значениях напряженности внешнего поля. Рассчитаны и представлены также соответствующие “критические” значения внешнего поля, при которых в образце становится возможной генерация второй гармоники.

Для различных значений параметров задачи численными методами рассчитаны также энергии одночастичных состояний при одновременном наложении однородных электрического и магнитного полей. Показана зависимость вероятности туннелирования носителя заряда за пределы КТ в зависимости от напряженности внешнего поля вследствие модуляции ограничивающего потенциала внешним полем. Показано, что вследствие дополнительного сужения области локализации носителя, вызванного магнитным полем, наблюдается увеличение значения уровней энергии частицы.

Рассмотрены также состояния носителей заряда в вертикально связанных квантовых точках и приведены графические иллюстрации результатов соответствующих численных расчетов, показывающих как, смещается максимум вероятности локализации частицы в связанной цепочке КТ под влиянием внешнего поля.

Влияние внешнего электрического поля исследовано также и на состояние носителей в паре квантовых точек, связанных в “молекулу КТ”. Теоретические расчеты в отсутствие поля проведены в рамках адиабатического приближения, при наличии поля для определения энергетического спектра и волновых функций носителей зарядов работе применен численный метод конечных элементов.

В **Главе 2**, учитывая и используя подходы и результаты параграфов 1-5 **Главы 1**, рассмотрены линейные и нелинейные оптические переходы в цилиндрических и молекулообразных квантовых точках.

Сначала рассмотрены нелинейные оптические свойства цилиндрической КТ с ограничивающим потенциалом Кратцера. Получена аналитически и графически представлена зависимость генерации второй гармоники от характеристик потенциала ограничения, - его полуширины и глубины.

При наличии внешнего электрического поля проведены расчеты коэффициента генерации второй гармоники получена зависимость этого коэффициента от энергии падающего фотона при различных резонансных значениях напряженности внешнего поля. Получена также зависимость коэффициента оптического выпрямления от частоты падающей волны при различных значениях внешнего поля.

Линейные оптические свойства КТ в этой **Главе** рассмотрены при наличии двух внешних факторов- электрического и магнитного полей. Полученные с помощью численных расчетов результаты, иллюстрирующие зависимость линейного коэффициента поглощения от частоты падающего света при разных значениях параметров квантовой ямы. Что касается действия внешних полей, то увеличение электрического поля усиливает смещение граничной энергии поглощения в длинноволновую область, а в случае магнитного поля верно обратное утверждение.

В заключение **ГЛАВЫ 2** рассмотрено влияние внешнего электрического поля на нелинейные оптические свойства молекулообразных КТ. Рассмотрены конкретные задачи оптического выпрямления (ОВ), генерации второй гармоники (ГВГ) и генерации третьей гармоники (ГТГ). Соответственно, численно рассчитаны и графически представлены:

- а) Зависимость коэффициента ОВ от энергии падающего света при различных значениях внешнего поля, где наблюдается увеличения коэффициента ОВ с увеличением внешнего поля.
- б) Зависимость коэффициента ГВГ от частоты падающего света при различных значениях внешнего поля. В этом случае имеется определенное значение напряженности внешнего поля, при котором наблюдается резко выраженный пик коэффициента ГВГ.
- с) Зависимость коэффициента ГТГ от частоты падающего света при различных значениях напряженности внешнего поля. Зависимость имеет достаточно сложный характер, однако налицо наличие пиков при определенных значениях внешнего поля.

В **Главе 3** рассмотрены экситонные состояния и экситон-экситонное взаимодействие в перовскитных пленках с различным числом слоев. Надо признать, что настоящая **Глава** стоит несколько особняком от первых двух глав, однако рассмотренные в ней задачи касательно экситонных состояний, представляют несомненный физический интерес и в общих чертах вписываются в общую канву рецензируемой работы.

К сожалению, диссертационная работа не лишена определенных недостатков, относительно которых мы приводим наши следующие замечания:

1. Во **Введении**, на наш взгляд, неоправданно много места уделено описанию применения объёмных полупроводников, в то время как, учитывая широкую общеизвестность этого факта, можно было вкратце ограничиться его констатацией и центр тяжести вводного обзора в большей степени сконцентрировать на наноразмерных полупроводниковых структурах.
2. Общий текст изложения не лишен ряда, мягко говоря, языковых “шероховатостей”. Особенно это бросается в глаза во **Введении**, где текст лишен математических выводов и формул и чисто словесное изложение здесь является основой для восприятия и понимания вопросов, излагаемых в диссертации. Здесь мы встречаем обороты и словосочетания, например, такого типа:
  - “Полупроводники занимают интересное положение между проводниками и металлами...”,
  - “Полупроводники обладают уникальной способностью проводить электричество при благоприятных условиях...”,
  - “ ...движение носителей ограничено двумя, одним и даже нулевым измерением...”
  - “...высокая ширина запрещенной зоны...” и т.п.
3. На стр. 22, **Глава 1**, утверждается, что в рамках модели, когда в качестве ограничивающего потенциала используется потенциал Кратцера, при увеличении размеров образца в асимптотическом поведении энергетического спектра носителей наблюдается тенденция к установлению эквидистантности положения уровней, что важно в плане возможности генерации второй гармоники. По этому поводу два вопроса: А) подобное асимптотическое поведение при увеличении размеров системы характерно для любого ограничивающего потенциала, или это специфика именно потенциала Кратцера?

В) есть данные относительно экспериментального наблюдения указанной эквидистантности?

4. Вводный обзор к параграфу 5 **ГЛАВЫ 1** (стр.37-39), на наш взгляд, было бы правильней представить во **Введении**.

5. В **Главе 2** (стр.53) утверждается, что “время жизни для первого и второго возбужденных состояний будем считать равными”. Как это обосновывается?

Однако, приведенные замечания не умаляют достоинств диссертационной работы. Диссертационная работа Акопяна Эдуарда Сергеевича “*Линейные и нелинейные оптические свойства различных квантовых структур во внешних полях*” является законченным научным исследованием и удовлетворяет всем требованиям ВАК Республики Армения к кандидатским диссертациям по специальности *А 04.10 – “Физика полупроводников”*, а ее автор, несомненно, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности *А 04.10 – “Физика полупроводников”*.

Официальный оппонент,

доктор физ.-мат. наук, профессор

  
В. А. Арутюнян

Подпись В. А. Арутюняна подтверждаю:

ученый-секретарь Российско-Армянского

университета



  
Р.С. Касабабова