

ՀՀ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ
ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Տիգրան Վիլիկի Քոթանջյան

ՄՈՐՄԻ ՍԱՀՄԱՆԱՓՈՒԿՈՂ ՊՈՏԵՆՑԻԱԼՈՎ ԳԼԱՆԱՅԻՆ ՔՎԱՆՏԱՅԻՆ
ԿԵՏԻ ԷԼԵԿՏՐՈՆԱՅԻՆ ՎԻՃԱԿՆԵՐԸ ԵՎ ՕՊՏԻԿԱԿԱՆ
ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Ա.04.10 – «Կիսահաղորդիչների ֆիզիկա» մասնագիտությամբ
ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական
աստիճանի հայցման ատենախոսության

Ս Ե Ղ Ս Ա Գ Ի Ր

ԵՐԵՎԱՆ – 2016

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РА
ЕРЕВАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Котанджян Тигран Виликович

ЭЛЕКТРОННЫЕ СОСТОЯНИЯ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ КВАНТОВОЙ ТОЧКИ С ОГРАНИЧИВАЮЩИМ
ПОТЕНЦИАЛОМ МОРСА

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико – математических наук
по специальности 01.04.10 – “Физика полупроводников”

ЕРЕВАН – 2016

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Հայ-Ռուսական (Սլավոնական) Համալսարանում

Գիտական ղեկավար՝

ՀՀ ԳԱԱ ակադեմիկոս, ֆիզ.մաթ. գիտ. դոկտոր,
պրոֆեսոր, Է.Ս. Ղազարյան (ՀՌ(Ս)Հ)

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝

ՀՀ ԳԱԱ թղթակից անդամ,
ֆիզ.մաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր,
Ա.Ա. Կիրակոսյան (ԵՊՀ)
ֆիզ.մաթ. գիտ. դոկտոր, դոցենտ,
Կ.Հ. Ահարոնյան (ՀԱՊՀ)

Առաջատար կազմակերպություն՝

ՀՀ ԳԱԱ Ռադիոֆիզիկայի և էլեկտրոնիկայի
Ինստիտուտ

Ատենախոսության պաշտպանությունը տեղի կունենա 2016թ. փետրվարի 27, ժամը 12⁰⁰-ին
Երևանի պետական համալսարանի ֆիզիկայի 049 մասնագիտական խորհրդի նիստում:
Հասցե՝ 0025, Երևան, Ա. Մանուկյան 1

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԵՊՀ գրադարանում:

Սեղմագիրը ցրված է 2016թ. հունվարի 25-ին

Մասնագիտական խորհրդի
գիտական քարտուղար՝



ֆիզ.մաթ. գիտ. թեկնածու, դոցենտ
Վ.Պ. Քալանթարյան

Тема диссертации утверждена в Российско-Армянском (Славянском) университете

Научный руководитель:

Академик НАН РА,
доктор физ. мат. наук, профессор
Э.М. Казарян (РА(С)У)

Официальные оппоненты:

Член корреспондент НАН РА
доктор физ. мат. наук, профессор
А.А. Киракосян (ЕГУ),
доктор физ. мат. наук, доцент
К.Г. Агаронян (НПУА)

Ведущая организация:

Институт Радиофизики и электроники
НАН РА

Защита диссертации состоится 27-го февраля 2016г. в 12⁰⁰ часов на заседании
специализированного совета по физике 049 Ереванского государственного университета
по адресу: 0025, Ереван, ул. А. Манукяна 1

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕГУ.

Автореферат разослан 25-го января 2016г.

Ученый секретарь
специализированного совета



кандидат физ. мат. наук, доцент
В.П. Калантарян

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования

Квантовые точки (КТ) являются большим классом полупроводниковых наноструктур, в которых эффект размерного квантования (РК) проявляется наиболее ярким образом [1,2]. Благодаря широким возможностям гибкой манипуляции энергетическими уровнями носителей заряда (НЗ) в этих структурах, последние рассматриваются в качестве перспективной элементной базы для полупроводниковых приборов нового поколения [2]. В свете сказанного ясно, что детальное исследование физических характеристик КТ является актуальной задачей полупроводниковой физики, имеющей непосредственный выход в приборостроение.

Теоретическое описание физических явлений в полупроводниковых КТ имеет важное значение с точки зрения постановок новых экспериментов. При этом, на начальной стадии теоретического описания КТ исключительно важным становится задача построения по возможности более реалистичного гамильтониана изучаемой структуры. Модельный гамильтониан должен содержать в себе информацию, как о геометрической специфике КТ, так и о физико-химических особенностях самой КТ, а также окружающей ее среды. Геометрия КТ диктует симметрию гамильтониана и, соответственно, характер вырожденности энергетических уровней. Другой важной характеристикой КТ является ее ограничивающий потенциал. Если геометрией КТ диктуется симметрия ограничивающего потенциала, то компонентными составами, физико-химическими характеристиками, а также механизмами роста КТ обусловлены профиль и высота этого потенциала. На сегодняшний день экспериментально реализованы пирамидальные [3], сферические [4], цилиндрические [5], параболические [6], эллипсоидальные [7], кольцеобразные [8], конические [9] и другие КТ.

Наиболее простыми моделями ограничивающего потенциала КТ являются прямоугольные ямы бесконечной и конечной высоты [10,11]. Сглаживание профиля ограничивающего потенциала в первом приближении можно учесть за счет введения параболического профиля ограничения. КТ с ограничивающим параболическим потенциалом (ПП) получили название параболических КТ. Эквидистантный характер энергетических уровней в параболических КТ приводит к ряду интересных эффектов и, в частности, к реализации теоремы Кона [12] в этих структурах [13,14].

Следует отметить, что моделирование ограничивающего потенциала КТ параболическим, подразумевает бесконечную высоту скачка потенциала на границе перехода КТ - окружающая среда. С другой стороны ясно, что указанный энергетический скачок имеет конечную величину, и, поэтому, становится актуальной задача введения такого ограничивающего потенциала, который с одной стороны обладал гладким профилем, манипулируемым с помощью различных параметров, а с другой - конечной высотой. Различными авторами были предложены целый ряд модельных потенциалов, обладающих указанными выше характеристиками. В частности были исследованы КТ с ограничивающим потенциалом Вуда-Саксона [15], Пешля-Теллера [16], Кратцера [17], Винтерница-Сморозинского [18] и т.д.

Еще одной удачной аппроксимацией ограничивающего потенциала с указанными выше характеристиками является молекулярный потенциал Морса (ОПМ) [19]. Данный потенциал с одной стороны обладает гладким и управляемым профилем, а с другой - имеет конечную высоту, и при этом содержит в качестве частного предельного случая ограничивающий ПП. В величинах, имеющих размерность, формула для ОПМ имеет следующий вид:

$$\tilde{U}(\rho_i, \tilde{z}_i) = \tilde{A}_i + \tilde{A}_i \left(e^{-2\frac{\tilde{z}_i - \tilde{z}_0}{\tilde{\beta}_i}} - 2e^{-\frac{\tilde{z}_i - \tilde{z}_0}{\tilde{\beta}_i}} \right), \quad i = (e, h) \quad (1)$$

где $\tilde{\beta}_i$ и \tilde{A}_i - это ширина и глубина ОПМ, z_0 - координата точки минимума ОПМ относительно начала координат OZ .

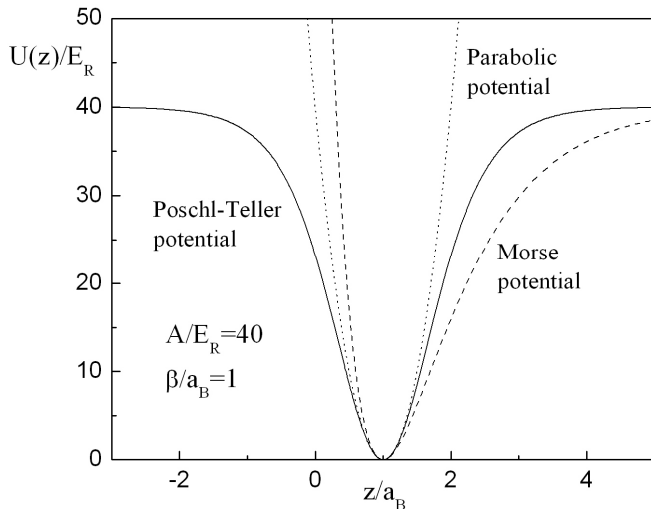


Рис. 1. Сравнительные виды ОПМ, МППТ и ПП для ямы из $GaAs$.

На рис. 1 приведен вид ОПМ, а также для сравнения даны модифицированный потенциал Пешля-Теллера (МППТ) и ПП. Таким образом, вызывает интерес теоретическое исследование физических процессов в КТ с ОПМ.

Предлагаемая диссертационная работа посвящена исследованию одноэлектронных, примесных и экситонных состояний, а также межзонного оптического поглощения в цилиндрической КТ с ОПМ в

аксиальном направлении и ПП в радиальном направлении. При этом учитывается

влияние внешних электрического и магнитного полей, а также гидростатического давления и градиента температуры на указанные характеристики.

Цель работы

Целью данной диссертационной работы является теоретическое исследование электронных и примесных состояний, а также оптических свойств цилиндрических квантовых точек с ОПМ.

Для достижения этой цели в диссертации поставлены и решены следующие задачи:

1. Для трех режимов РК теоретически изучены прямые межзонные переходы в цилиндрических КТ с ОПМ.
2. Исследованы примесные состояния в цилиндрических КТ с ОПМ.
3. Теоретически рассмотрены электронные состояния и межзонные переходы в цилиндрических КТ с ОПМ при наличии гидростатического давления и температурного эффекта.
4. Теоретически изучены электронные состояния и межзонные переходы в цилиндрической КТ с ОПМ при наличии внешнего магнитного и электрического полей.

Научная новизна

1. В рамках приближения эффективной массы и для различных режимов РК рассмотрены электронные и дырочные состояния в цилиндрической КТ с ОПМ.
2. Получены аналитические выражения для энергетических уровней и ВФ электрона в цилиндрической КТ с ОПМ при наличии внешнего магнитного поля.
3. На основе вариационного метода выявлены зависимости полной энергии и энергии связи примеси от параметров ОПМ в цилиндрической КТ.
4. При разных температурах определены зависимости пороговых частот межзонного поглощения от величины гидростатического давления в цилиндрической КТ с ОПМ.
5. Изучено влияние дисперсии по размерам КТ на характер поглощения в ансамбле из цилиндрических КТ с ОПМ, в рамках законов дисперсии Гаусса и Лифшица-Слезова.

Практическая ценность

Полученные в диссертации результаты, помимо сугубо академического интереса, имеют также практические значения. Они могут быть полезны при проектировании и получении полупроводниковых приборов нового поколения: в частности, гетероструктурных лазеров, светодиодов, источников белого света и т.д.

Основные научные положения, выносимые на защиту

1. Одноэлектронный спектр в КТ с ОПМ в случае нижних уровней с большой точностью совпадает с уровнями в случае ПП. С ростом квантового числа различие в спектрах с ОПМ и ПП становится более существенным. При этом для ОПМ существуют пороговые значения ширины и глубины ямы, при которых спектр становится непрерывным.
2. Для цилиндрической КТ с ОПМ в аксиальном направлении, межзонные переходы возможны между любыми уровнями аксиального квантования, в отличие от случая ПП, когда имеет место условие $|n - n'| = 2t$.
3. Асимметричный характер ОПМ приводит к эффекту квантового выброса электрона из основного состояния, при некоторых пороговых значениях ширины и глубины ОПМ.
4. Влияние водородоподобного донорного примесного центра, а также внешнего гидростатического давления дают противоположные вклады в энергию одноэлектронных состояний в цилиндрической КТ с ОПМ. Если примесное взаимодействие уменьшает энергию, то под влиянием гидростатического давления она растет.

Апробация работы

Основные результаты диссертационной работы обсуждались на научных семинарах РАУ и докладывались на следующих научных конференциях:

- Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2011», Москва, Российская Федерация, 11-15 апрель, 2011.
- Седьмая годовичная научная конф. РАУ. Ереван, Армения, 3-7 декабря, 2012.
- IONS Armenia, Yerevan-Ashtarak, Armenia, 11-14 September, 2013
- Международный аспирантский форум, Ереван, Армения, 23-26 сентября, 2013.
- Восьмая годовичная научная конф. РАУ. Ереван, Армения, 2-6 декабря, 2013.

- II Международного симпозиума “Optics and its Applications”. Yerevan, Armenia. 1-5 сентября, 2014.
- Девятая годовичная научная конф. РАУ. Ереван, Армения, 3-8 декабря, 2014.
- Международная конф. “SPIE Microtechnologies”, Barcelona, Spain 4-6 May 2015.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 5 работ, список которых приведен в конце автореферата.

Гранты

Гранты. По теме *“Цилиндрическая квантовая точка с различными ограничивающими потенциалами в присутствии внешних электрических и магнитных полей: примесные состояния и электростатические мультиполи”* был получен грант “The Armenian National Science and Education Fund”.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав и списка использованной литературы (131 наименование). Нумерация формул и картинок в каждой главе непрерывная: первая цифра – номер данной главы, а вторая – номер формулы (картинки). Общий объем диссертации составляет 102 страниц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе диссертации сделан обзор работ, посвящённых исследованию электронных и примесных состояний, а также межзонного и внутризонного оптического поглощения в квантовых наноструктурах. Анализируются работы, посвященные изучению влияния различных воздействий, таких, как внешнее гидростатическое давление, электрические и магнитные поля на физические свойства наноструктур. Особое внимание уделено физическим процессам имеющим место в полупроводниковых КТ цилиндрической формы с различными ограничивающими потенциалами. Обсуждаются математические модели ограничивающих потенциалов РК систем.

Вторая глава посвящена исследованию электронных и дырочных состояний в изучаемой структуре.

В первом параграфе для режима сильного РК выполняется условие $\tilde{\beta}_i, l_i \ll a_B^i$, где l_i - величина, которая характеризует полуширину ПП, a_B^i - эффективный Борковский радиус электрона (дырки), и, поэтому, электронно-дырочным взаимодействием можно пренебречь. Для указанного режима РК получены аналитические выражения для одночастичных волновых функции (ВФ) и энергетического спектра. В частности, для уровней энергии в безразмерных величинах найдены следующие выражения:

$$\varepsilon_r^i = 2\gamma_i(N+1). \quad (2)$$

$$\varepsilon_z^i = A_i - \left[\sqrt{A_i} - \frac{1}{\beta_i} \left(n_z + \frac{1}{2} \right) \right]^2 \quad (3)$$

где $A_i = \frac{\tilde{A}_i}{E_R^i}$, $\beta_i = \frac{\tilde{\beta}_i}{a_B^i}$, $\gamma_i = \frac{m_i^* \omega_i (a_B^i)^2}{\hbar}$, $E_R^i = \frac{\hbar^2}{2m_i^* (a_B^i)^2}$ - эффективная энергия

Ридберга, $a_B^i = \frac{\kappa \hbar^2}{m_i^* e^2}$ - эффективный Борковский радиус электрона (дырки), частота

радиального ограничения ω_i связана с радиусом сечения цилиндрической КТ R по

формуле $\omega_i = \zeta_i \frac{\hbar}{m_i^* R^2}$, ζ_i - подгоночный параметр, определяемый из эксперимента,

m_i^* - эффективная масса электрона (дырки), N - осцилляторное квантовое число

$N = 0, 1, 2, \dots$, n_z - аксиальное квантовое число $n_z = 1, 2, \dots$.

Во втором параграфе рассмотрен режим слабого РК, при котором взаимодействие НЗ со стенками КТ значительно слабее, и энергия системы в основном обусловлена кулоновским взаимодействием между электроном и дыркой. Иначе говоря, рассмотрено движение локализованного вокруг центра КТ экситона как целого, а эффект РК играет роль поправки. В этом приближении спектр энергии имеет вид:

$$\varepsilon_{wk} = A_e - \left[\sqrt{A_e} - \frac{1}{\beta_e} \left(n_z + \frac{1}{2} \right) \right]^2 + 2\gamma_e(N+1) - \varepsilon_{ex}. \quad (4)$$

где $\varepsilon_{ex} = \frac{E_{ex}}{E_R} = \frac{\mu}{M} \frac{1}{k^2}$ - энергетический спектр относительного движения электрона и

дырки в безразмерных величинах, $E_{ex} = \frac{\mu e^4}{2\kappa^2 \hbar^2} \cdot \frac{1}{k^2}$, $E_R = \frac{Me^4}{2\kappa^2 \hbar^2}$ - эффективная

энергия Ридберга, $\mu = \frac{m_e^* m_h^*}{m_e^* + m_h^*}$ – приведённая масса электрона и дырки, $M = m_e^* + m_h^*$

– масса экситона, $k = 1, 2, \dots$, остальные параметры приведены выше.

В третьем параграфе описано поведение НЗ в цилиндрической КТ для режима промежуточного РК. При данном режиме квантования задача не имеет точного аналитического решения. Поэтому, проблема нахождения ВФ и энергетического спектра электрона решается на основе вариационного метода.

В четвертом параграфе приведен сравнительный анализ одноэлектронных состояний в цилиндрической КТ для различных моделей ограничивающего потенциала, рассмотрены модели ОПМ, МППТ и ПП.

Показано, что благодаря конечности высоты ОПМ, в аксиальном направлении возможна реализация квантового выброса электрона из КТ.

В третьей главе рассмотрены электронные и примесные состояния в выше указанной структуре при наличии различных внешних воздействий.

В первом параграфе исследовано поведение электрона в цилиндрической КТ при наличии примесного центра. Получены зависимости полной энергии, а также энергии связи примесного электрона от параметров ОПМ.

Во втором параграфе изучено влияние гидростатического давления и температуры на электронные и дырочные состояния в цилиндрической КТ. Определены зависимости энергии НЗ от величины гидростатического давления и температуры. В частности выявлена слабая температурная зависимость энергии НЗ.

В третьем параграфе в изучаемой системе исследовано влияние магнитного и электрического полей на состояния НЗ. Получено аналитическое выражение для ВФ частицы. Выявлены зависимости энергии НЗ от величины магнитного и электрического полей, а также от геометрических параметров КТ. Показано, что штарковское расщепление не линейно зависит от напряженности электрического поля.

Четвертая глава посвящена исследованию оптического поглощения в указанной системе.

В первом параграфе Для режима сильного РК рассмотрено прямое межзонное поглощение света в цилиндрической КТ с ОПМ. Коэффициент поглощения задается в виде[20]:

$$K(\Omega, R, h) = A \sum_{v, v'} \left| \int \Phi_v^e \Phi_v^h d\vec{r} \right|^2 \delta(\hbar\Omega - E_g - E_{Str}^v - E_{Str}^{v'}), \quad (5)$$

Где $\Phi_{v(v')}^{e(h)}$ – ВФ электрона (дырки), а $v(v')$ – набор квантовых чисел соответствующих электрону (дырке), E_g – ширина запрещенной зоны массивного полупроводника, Ω – частота падающего света, A – величина, пропорциональная квадрату матричного элемента, взятого по блоховским функциям. Наличие δ -функции обеспечивает выполнение закона сохранения энергии для соответствующих переходов.

Найдены правила отбора для квантовых переходов:

$$N = N', m = -m', n_z \rightarrow \forall n'_z, \quad (6)$$

Где N и n_z , как было указано выше, являются осцилляторным и аксиальным квантовыми числами, а m – магнитное квантовое число.

Выявлена зависимость края поглощения от глубины и ширины ограничивающего потенциала. С учетом дисперсии по радиусу и высоте КТ проведена процедура усреднения для ансамбля слабо взаимодействующих цилиндрических КТ. При этом дисперсия по размерам КТ учтена как в рамках распределения Гаусса, так и распределения Лифшица-Слезова.

Во втором параграфе в описанной выше структуре рассмотрено влияние внешнего гидростатического давления на прямое межзонное поглощение света. Получены зависимости края поглощения от глубины и ширины ОПМ при различных значениях внешнего давления. Показано что с увеличением давления уменьшается ширина ОПМ β , что приводит к увеличению края поглощения. Таким образом, имеет место "синее" смещение. С другой стороны, уменьшение глубины потенциальной ямы, приводит к "красному" смещению пороговой частоты поглощения.

Третий параграф посвящен исследованию влияния внешних электрического и магнитного полей на прямое межзонное поглощение света в цилиндрической КТ. Получены зависимости края поглощения от параметров КТ, для различных значений магнитного поля. Кроме того показано, что с увеличением величины электрического поля наблюдается "красное" смещение края поглощения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении кратко сформулируем основные результаты и выводы диссертационной работы:

1. В рамках приближения эффективной массы исследованы электронные состояния, в цилиндрической КТ из GaAs, с ОПМ в аксиальном направлении и

ПП в радиальном. Показано, что благодаря конечности высоты ОПМ, в изучаемой системе может иметь место квантовый выброс электрона в аксиальном направлении. Было получено, что данный эффект имеет место при

$$\beta\sqrt{A} < \frac{1}{2}.$$

2. Вариационным методом изучено влияние гидростатического давления, а также температуры на примесные уровни в цилиндрической КТ с ОПМ. Выявлены слабая температурная зависимость примесных уровней, а также их рост с увеличением внешнего гидростатического давления.
3. В рамках теорий возмущений и вариационного метода выявлена нелинейная зависимость Штарковского расщепления энергетических уровней электрона (дырки), в цилиндрической КТ с ОПМ, в зависимости от приложенного электрического поля.
4. Исследовано оптическое поглощение в ансамбле из невзаимодействующих цилиндрических квантовых точек с ОПМ для трех режимов РК. Выявлены соответствующие правила отбора, а также определены пороговые частоты поглощения. Определены зависимости пороговых частот поглощения от параметров КТ с ОПМ.

СПИСОК ЦИТИРУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. P. Harrison. Quantum wells, wires and dots. Theoretical and computational physics. John Wiley & Sons ltd, NY, 2005.
2. Է.Մ. Ղազարյան, Ս.Գ. Պետրոսյան: Գիտահաղորդչային նանոէլեկտրոնիկայի ֆիզիկական հիմունքները: ՌՀՀ հրատարակչություն, Երևան, 2005
3. M. Califano, P. Harison. Presentation and experimental validation of a single-band constant potential model for self-assembled InAs/GaAs quantum dots. *Phys. Rev. B*, Volume. 61, pp.10959-10695 (2000).
4. C. Bose, C.K. Sarkar. Binding energy in of impurity states in spherical *GaAs / GaAlAs* quantum dots. *Phys. Stat. Sol. (b)*, Volume 218, 461-469 (2000).
5. M.S. Atoyany, E.M. Kazaryan, H.A. Sarkisyan. Direct interband light absorption in a cylindrical quantum dot in quantizing magnetic field. *Physica E*, Volume 22, Issue 4, p. 860-866 (2004).

6. P. Pietiläinen, T. Chakraborty. Energy levels and magneto-optical transitions in parabolic quantum dots with spin-orbit coupling. *Physical Review B*, Volume 73, Issue 15, id. 155315 (2006).
7. G. Cantele, D. Ninno, G. Iadonisi. Confined states in ellipsoidal quantum dots. *Journal of Physics: Condensed Matter*, Volume 12, Issue 42, pp. 9019-9036 (2000).
8. E.M. Kazaryan, V.A. Shahnazaryan, H.A. Sarkisyan. Two Electron States in a Quantum Ring on a Sphere. *Few-Body Systems*, Volume 55, Issue 2, pp. 151-158 (2014)
9. D.B. Hayrapetyan, A.V. Chalyan, E.M. Kazaryan, H.A. Sarkisyan. Direct Interband Light Absorption in Conical Quantum Dot. *Journal of Nanomaterials*, Volume 2015, Article ID 915742 (2015)
10. D.S. Chuu, C.M. Hsiao, and W.N. Mei. Hydrogenic impurity states in quantum dots and quantum wires. *Phys. Rev. B*, Volume 46, 3898-3905 (1992)
11. J.L. Zhu, X. Chen. Spectrum and binding of an off-center donor in a spherical quantum dot. *Phys. Rev. B* Volume 50, pp. 4457-4502 (1994)
12. W. Kohn. Cyclotron Resonance and de Haas-van Alphen Oscillations of an Interacting Electron Gas. *Phys. Rev.* 123, 1242 (1961).
13. F. Peeters. Magneto-optics in parabolic quantum dots. *Phys. Rev. B* 42, 1486 (1990)
14. P.A. Maksym, T. Chakraborty. Quantum dots in a magnetic field: Role of electron-electron interactions. *Phys. Rev. Lett.* 65, 108 (1990).
15. W. Xie. A study of an exciton in a quantum dot with Woods–Saxon potential. *Superlattices and Microstructures*, Volume 46, Issue 4 693-699 (2009)
16. M.G. Barseghyan, A. Hakimyfard, S.Y. Lopez, C.A. Duque, A.A. Kirakosyan. Hydrostatic pressure, temperature and electric field effects on donor binding energy in Pöschl–Teller quantum well. *Physica E*, 43, 529-533 (2010).
17. D.B. Hayrapetyan, E.M. Kazaryan, L.S. Petrosyan, H.A. Sarkisyan. Core/shell/shell spherical quantum dot with Kratzer confining potential: Impurity states and electrostatic multipoles. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, Volume 66, pp. 7-12 (2015).
18. A.K. Atayan, E.M. Kazaryan, A.V. Meliksetyan, H.A. Sarkisyan. Magnetoexcitonic states in a quantum ring with the Winternitz-Smorodinsky confinement potential. *Journal of Contemporary Physics (Armenian Academy of Sciences)*, Volume 45, Issue 3, pp. 126-131 (2010).

19. V. Tichý, L. Skála, R. Hudec. Algebraic approach to non-separable two-dimensional Schrödinger equation: Ground states for polynomial and Morse-like potentials. *Open Physics*, Volume 12, Issue 10, pp.730-736 (2014).
20. А. Эфрос, Ал. Эфрос. Межзонное поглощение света в полупроводниковом шаре. *ФТП*, Т. 16, сс. 1209-1214 (1982).

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Т.В. Котанджян. Электронные состояния в цилиндрической квантовой точке с потенциалом Морса. *Сборник конференций РАУ «Восьмая годовичная научная конференция Сборник статей»*, с. 96-101 (2014)
2. Д.Б. Айрапетян, Т.В. Котанджян, О.Х. Тевосян. Моделирование ограничивающего потенциала для цилиндрической квантовой точки. *“Известия” НАН РА Физика*, т.49, №6, с.410-414 (2014)
3. Д.Б. Айрапетян, Т.В. Котанджян. Магнитопоглощение в цилиндрической квантовой точке с ограничивающим потенциалом Морса. *Доклады НАН РА*, т.114, №4, с. 343-350 (2014)
4. D.B. Hayrapetyan, E.M. Kazaryan, T.V. Kotanjyan, H.Kh. Tevosyan. Exciton states and interband absorption of cylindrical quantum dot with Morse confineng potential. *Superlattices and Microstructures*, Volume 78, Pages 40–49 (2015)
5. D.B. Hayrapetyan, E.M. Kazaryan, T.V. Kotanjyan, H.Kh. Tevosyan. Light absorption of cylindrical quantum dot with Morse potential in the presence of parallel electrical and magnetic fields. *Proc. of SPIE Vol. 9519 951919-8* (2015)

Ամփոփագիր

Ժամանակակից կիսահաղորդչային տեխնոլոգիաների զարգացումը հնարավորություն է տալիս ստեղծելու յուրահատուկ ֆիզիկական հատկություններով օժտված քվանտային նանոկառուցվածքներ: Առավել հետաքրքիր նանոկառուցվածքներից են քվանտային կետերը, որոնցում լիցքակիրների շարժումը սահմանափակված է բոլոր երեք ուղղություններով: Կիսահաղորդչային քվանտային կետերի աճի ժամանակ դիֆուզիայի հետևանքով

առաջացած սահմանափակող պոտենցիալի համաչափությունը և տեսքը ձևավորվում են՝ պայմանավորված նմուշի երկրաչափությամբ և քվանտային կետի ու շրջակա նյութի բաղադրությամբ:

Շատ հաճախ սահմանափակող պոտենցիալն ընտրվում է կամ ուղղանկյուն փոսի, կամ պարաբոլային պոտենցիալի տեսքով: Սակայն նման պոտենցիալի ընտրությունը լավ մոտավորություն է միայն ցածր էներգիական մակարդակների համար: Ակնհայտ է, որ քվանտային թվի աճին զուգընթաց սահմանափակող պոտենցիալի վարքը տարբերվում է պարաբոլականից: Միևնույն ժամանակ, մասնիկի էներգիայի մեծացմամբ այն ավելի ուժեղ է զգում քվանտային կետ-շրջակա միջավայր անցումային սահմանը, ուստի հարկավոր է հաշվի առնել ինչպես սահմանափակող պոտենցիալի վերջավոր լինելը, այնպես էլ նրա ոչ պարաբոլականությունը:

Նշված դժվարությունները կարող են հաղթահարվել ավելի բարդ տեսքի սահմանափակող պոտենցիալի ընտրությամբ: Մորսի սահմանափակող պոտենցիալն ունի հետևյալ առանձնահատկությունները. նրա ճյուղերից մեկը վերջավոր է, այն անհամաչափ է և ցածր մակարդակների համար շատ լավ համընկնում է պարաբոլական պոտենցիալի հետ:

Գիտական արդյունքները

1. Արդյունաբար զանգվածի մոտավորության շրջանակներում հետազոտվել են էլեկտրոնային վիճակները *GaAs*-ից պատրաստված գլանային քվանտային կետում, որը գլանի առանցքի ուղղությամբ սահմանափակված է Մորսի պոտենցիալով, իսկ շառավղային ուղղությամբ՝ պարաբոլական պոտենցիալով: Ցույց է տրված, որ Մորսի սահմանափակող պոտենցիալի բարձրության վերջավոր լինելու շնորհիվ հետազոտվող համակարգում գլանի առանցքի ուղղությամբ կարող է տեղի ունենալ էլեկտրոնի

քվանտային արտանետում: Ստացվել է, որ նշված երևույթը տեղի ունի, երբ

$$\beta\sqrt{A} < \frac{1}{2}:$$

2. Վարիացիոն մեթոդով ուսումնասիրվել է հիդրոստատիկ ճնշման և ջերմաստիճանի ազդեցությունները Մոբսի սահմանափակող պոտենցիալով գլանային քվանտային կետում գտնվող խառնուկային մակարդակների վրա: Ցույց է տրված խառնուկային մակարդակների թույլ կախվածությունը ջերմաստիճանից, ինչպես նաև նրանց աճն արտաքին հիդրոստատիկ ճնշման մեծացմանը զուգընթաց:
3. Վարիացիոն մեթոդով խտորումների տեսության շրջանակներում հայտնաբերվել է Մոբսի սահմանափակող պոտենցիալով գլանային քվանտային կետում էլեկտրոնի (խոռոչի) շտարկյան ճեղքման ոչ գծային կախվածությունն արտաքին էլեկտրական դաշտից:
4. Երեք չափային քվանտացման ռեժիմներում հետազոտվել է լույսի օպտիկական կլանումը միմյանց հետ չփոխազդող, Մոբսի սահմանափակող պոտենցիալով գլանային քվանտային կետերի համակարգում: Ստացվել են համապատասխան ջոկման կանոնները, ինչպես նաև կլանման շեմային հաճախությունները: Արտածվել են Մոբսի սահմանափակող պոտենցիալով գլանային քվանտային կետերի պարամետրներից կլանման շեմային հաճախությունների կախվածություններն արտահայտող առնչությունները:

SUMMARY

Achievements of modern semiconductor technologies allow to create quantum nanostructures, which have unique physical characteristics. Particularly, one of the most interesting structures are quantum dots (QDs). These structures are interesting because of the fact that charge carrier motions are restricted in all three directions. A strong dependence of the energy spectrum of charge carrier on the geometrical shape and sizes

of QD allows to manipulate the energy spectrum and consequently, the physical characteristics of QD. The controlling QD physical properties are attractive not only from the fundamental science point of view, but also because of its potential application in the development of semiconductor optoelectronics devices.

A correct approximation of quantum dots confinement potential plays the relevant role at the investigation of physical characteristics of such systems. The symmetry and profile of the confining potential, caused by diffusion, are formed on one side of by geometry of the sample, and the other – by the component composition of QD and the environment during the growth of QD.

The confining potential is often chosen in the form of a rectangular wall or parabolic. However, the choice of such potential is a good approximation only for the lower energy levels of the QDs. It is obvious, that the behavior of confining potential becomes different from parabolic with the increase of quantum number. At the same time increasing particle energy, the particle feels stronger QD - environment border transition, and therefore, there is a necessity to consider, on the one hand, the finite height of confining potential, on the other hand, its nonparabolicity.

These difficulties can be overcome by the introduction of more complicated confining potential. Morse confining potential has the following peculiarities: one of its branches is finite, it is asymmetrical and closely fits with parabolic potential for lower energy states.

Research results

1. Within the framework of effective mass approximation electronic states are investigated in *GaAs* cylindrical quantum dots, which are limited in axial direction by Morse potential, and in radial direction – parabolic potential. It is shown, that in the system under study, due to the limb of height Morse confining

potential, in the axial direction can take place electron quantum ejection. It has been shown that this effect occurs when $\beta\sqrt{A} < \frac{1}{2}$.

2. With the help of variation method, the influence of hydrostatic pressure and temperature is studied on the impurity levels in cylindrical quantum dots with Morse confining potential. A weak temperature dependence of impurity levels and also their growth with increasing external hydrostatic pressure are revealed.
3. Within the framework of perturbation theory and variation method a nonlinear dependence of the Stark splitting of the energy levels of the electron (hole) in cylindrical quantum dots with Morse confining potential, on the applied electric field is revealed.
4. The optical absorption in the ensemble of non-interacting cylindrical quantum dot with Morse confining potential in three regimes of size quantization is studied. The corresponding selection rules are revealed, and also absorption threshold frequencies are defined. The dependence of the absorption threshold frequencies from the parameters of Morse confining potential are determined.