

**ГОУ ВПО РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ  
(СЛАВЯНСКИЙ) УНИВЕРСИТЕТ**

Составлен в соответствии с государственными требованиями к минимуму содержания и уровню подготовки выпускников по направлению 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника и Положением «Об УМКД РАУ».

**УТВЕРЖДАЮ:**  
  
Директор **А.А. Саркисян**  
**«21» июля 2023г.**

**Инженерно-физический институт**

**Кафедра: Общей физики и квантовых наноструктур**

**Автор(ы): д.ф.-м.н., профессор Саркисян Аик Араевич**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС**

**Дисциплина: Б1.В.06 «Полупроводниковая  
нанoeлектроника»**

**Направление: 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника»**

**Основная образовательная программа магистратуры:  
«Квантовая и оптическая электроника»**

## **1. Аннотация**

Целью изучения дисциплины является подготовка высококвалифицированных специалистов в новой и быстро развивающейся области твердотельной электроники - наноэлектронике, способных к активной творческой работе как в научно-исследовательских лабораториях, так и в условиях промышленного производства.

## **2. Взаимосвязь с другими дисциплинами специальности:**

Оптические явления в наноструктурах, Квантоворазмерные системы наноэлектроники, Квантовые наноструктуры во внешних полях.

## **3. Требования к исходным уровням знаний и умений студентов:**

Для усвоения курса студент должен знать - Квантовая теория твердого тела, квантовая механика, Квантоворазмерные системы наноэлектроники, математическая физика.

## **4. Объем дисциплины и виды учебной работы**

<b>Виды учебной работы</b>	<b>Всего, в акад. часах</b>
<b>1. Общая трудоемкость изучения дисциплины по семестрам, в т. ч.:</b>	<b>144 (4 кр.)</b>
1.1. Аудиторные занятия, в т. ч.:	<b>34</b>
1.1.1. Лекции	<b>18</b>
1.1.2. Практические занятия, в т. ч.	<b>16</b>
1.1.2.1. Контрольные работы	<b>-</b>
1.1.3. Лабораторные занятия	<b>-</b>
1.2. Самостоятельная работа, в т. ч.:	<b>74</b>
Итоговый контроль (экзамен, зачет, диф. зачет - указать)	<b>Экзамен 36</b>

## 5. Распределение весов по модулям и формам контроля

Веса и формы контролей	Веса форм текущих контролей в результирующей оценке текущего контроля			Веса форм промежуточных контролей и результирующей оценки текущего контроля в итоговой оценке промежуточного контроля			Веса итоговых оценок промежуточных контролей в результирующей оценке промежуточного контроля	Веса результирующей оценки промежуточных контролей и оценки итогового контроля в результирующей оценке итогового контроля
	M1	M2	M3	M1	M2	M3		
<b>Вид учебной работы/контроля</b>								
<b>Контрольная работа</b>				0	0	1		
Тест								
Курсовая работа								
<b>Лабораторные работы</b>	0	0	0					
Письменные домашние задания								
Эссе								
<b>Решение задач</b>	0	0	0					
Веса результирующих оценок текущих контролей в итоговых оценках соответствующих промежуточных контролей				0	0	0		
Вес итоговой оценки 1-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей							0	
Вес итоговой оценки 2-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей							0	
Вес итоговой оценки 3-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей т.д.							1	
Вес результирующей оценки промежуточных контролей в результирующей оценке итогового контроля								0,5
<b>Экзамен/зачет (оценка итогового контроля)</b>								0,5
	$\Sigma = 0$	$\Sigma = 0$	$\Sigma = 0$	$\Sigma = 0$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$

## 6. Содержание дисциплины

### 6.1 Тематический план и трудоемкости аудиторных занятий

Разделы и темы дисциплины	Всего (ак. часов)	Лекционные занятия (ак. часов)	Семинарские занятия (ак. часов)	Практические занятия (ак. часов)	Лабораторные работы (ак. часов)
1	2	3	4	5	6
<b>МОДУЛЬ</b>					
<b>Раздел 1. Размерное квантование</b>	<b>4</b>	<b>2</b>		<b>2</b>	
<i>Тема 1.1</i> Эффективная длина волны электрона в полупроводнике.					
<i>Тема 1.2</i> Тензор обратной эффективной массы.					
<i>Тема 1.3</i> Формирование потенциала ограничения на границе перехода наноструктура-окружающая среда.					
<i>Тема 1.4</i> Различные модели ограничивающих потенциалов					
<b>Раздел 2. Классы квантовых наноструктур</b>	<b>4</b>	<b>2</b>		<b>2</b>	
<i>Тема 2.1</i> Квантовые ямы (КЯ), квантовые проволоки (КП), квантовые точки (КТ)					
<i>Тема 2.2</i> Атомоподобный спектр КТ					
<i>Тема 2.3</i> Различные геометрии КТ					
<i>Тема 2.4</i> Одночастичные состояния в КЯ, КП и КТ					
<b>Раздел 3. Плотности энергетических состояний в КЯ, КП и КТ</b>	<b>3</b>	<b>2</b>		<b>1</b>	
<i>Тема 3.1</i> Плотность состояний (ПС) в массивном образце					
<i>Тема 3.2</i> Ступенчатый профиль функции плотности состояний в КЯ					
<i>Тем 3.3</i> ПС в КП и КТ					
<b>Раздел 4. Метод геометрической адиабатики</b>	<b>4</b>	<b>2</b>		<b>2</b>	
<i>Тема 4.1</i> Адиабатическое приближение в случае стационарных полей					
<i>Тема 4.2</i> Метод Канторовича					
<i>Тем 4.3</i> Квантовая частица в сильно вытянутой двумерной эллипсоидальной яме					
<i>Тема 4.4</i> Возникновение подзон в энергетическом спектре сильно вытянутой двумерной эллипсоидальной ямы					
<b>Раздел 5. Кулоновские задачи в квантовых наноструктурах</b>	<b>3</b>	<b>2</b>		<b>1</b>	
<i>Тема 5.1</i> Двумерная примесь в КЯ.					
<i>Тема 5.2</i> Одномерная задача Кулона, падение на центр.					
<i>Тем 5.3</i> Примесь в сферической КТ, определение энергии связи примеси в сферической КТ					
<i>Тема 5.4</i>					
<b>Раздел 6. Искусственный атом гелия</b>	<b>4</b>	<b>2</b>		<b>2</b>	
<i>Тема 6.1</i> Двухэлектронные состояния в параболической КТ.					
<i>Тема 6.2</i> Оценка энергии двухэлектронных состояний в параболической КТ на основе соотношения неопределенностей Гейзенберга.					
<i>Тема 6.3</i> Управление временем обмена состояниями электронов в параболическом атоме гелия.					
<b>Раздел 7. Влияние внешних полей на электронные состояния в КЯ и КТ</b>	<b>4</b>	<b>2</b>		<b>2</b>	
<i>Тема 7.1</i> Одночастичный гамильтониан заряженной частицы во					

внешних электрическом и магнитном полях.					
<i>Тема 7.2</i> КЯ в аксиальном магнитном поле, реализация атомоподобного спектра.					
<i>Тема 7.3</i> Параболическая КТ в параллельных электрическом и магнитном полях.					
<i>Тема 7.4</i> Реализация спектра Фока-Дарвина и квадратичного штарковского смещени					
<b>Раздел 8. Оптические свойства КТ</b>	<b>4</b>	<b>2</b>		<b>2</b>	
<i>Тема 8.1</i> Фундаментальное оптическое поглощение в сферических КТ, пороговые частоты поглощения, правила отбора.					
<i>Тема 8.2</i> Влияние экситонных эффектов на характер фундаментального поглощения в сферических КТ.					
<i>Тема 8.3</i> Учет дисперсии по размерам КТ в коэффициенте межзонного поглощения для ансамбля слабо взаимодействующих КТ					
<b>Раздел 9. Слоистые и кольцеобразные КТ</b>	<b>4</b>	<b>2</b>		<b>2</b>	
<i>Тема 9.1</i> Спектр электрона в сферической слоистой КТ и квантовом кольце.					
<i>Тема 9.2</i> Влияние внутренней и внешней границ на энергетический спектр электрона в сферической слоистой КТ и квантовом кольце.					
<i>Тема 9.3</i> Роль электромагнитных потенциалов в квантовой механике, эффект Ааронова-Бома в кольцеобразных структурах					
<b>ИТОГО</b>	<b>34</b>	<b>18</b>		<b>16</b>	

## 6.2 Содержание разделов и тем дисциплины

- Раздел 1. Размерное квантование:  
Эффективная длина волны электрона в полупроводнике. Тензор обратной эффективной массы. Формирование потенциала ограничения на границе перехода наноструктура-окружающая среда. Различные модели ограничивающих потенциалов.
- Раздел 2. Классы квантовых наноструктур:  
Квантовые ямы (КЯ), квантовые проволоки (КП), квантовые точки (КТ). Атомоподобный спектр КТ. Различные геометрии КТ. Одночастичные состояния в КЯ, КП и КТ.
- Раздел 3. Плотности энергетических состояний в КЯ, КП и КТ:  
Плотность состояний (ПС) в массивном образце. Ступенчатый профиль функции плотности состояний в КЯ. ПС в КП и КТ
- Раздел 4. Метод геометрической адиабатики:  
Адиабатическое приближение в случае стационарных полей. Метод Канторовича. Квантовая частица в сильно вытянутой двумерной эллипсоидальной яме. Возникновение подзон в энергетическом спектре сильно вытянутой двумерной эллипсоидальной ямы.
- Раздел 5. Кулоновские задачи в квантовых наноструктурах:

Двумерная примесь в КЯ. Одномерная задача Кулона, падение на центр. Примесь в сферической КТ, определение энергии связи примеси в сферической КТ.

Раздел 6. Искусственный атом гелия:  
Двухэлектронные состояния в параболической КТ. Оценка энергии двухэлектронных состояний в параболической КТ на основе соотношения неопределенностей Гейзенберга. Управление временем обмена состояниями электронов в параболическом атоме гелия.

Раздел 7. Влияние внешних полей на электронные состояния в КЯ и КТ:  
Одночастичный гамильтониан заряженной частицы во внешних электрическом и магнитном полях. КЯ в аксиальном магнитном поле, реализация атомоподобного спектра. Параболическая КТ в параллельных электрическом и магнитном полях. Реализация спектра Фока-Дарвина и квадратичного штарковского смещения.

Раздел 8. Оптические свойства КТ:  
Фундаментальное оптическое поглощение в сферических КТ, пороговые частоты поглощения, правила отбора. Влияние экситонных эффектов на характер фундаментального поглощения в сферических КТ. Учет дисперсии по размерам КТ в коэффициенте межзонного поглощения для ансамбля слабо взаимодействующих КТ.

Раздел 9. Слоистые и кольцеобразные КТ:  
Спектр электрона в сферической слоистой КТ и квантовом кольце. Влияние внутренней и внешней границ на энергетический спектр электрона в сферической слоистой КТ и квантовом кольце. Роль электромагнитных потенциалов в квантовой механике, эффект Ааронова-Бома в кольцеобразных структурах.

## **7. Экзаменационные вопросы**

1. Эффективная длина волны электрона в полупроводнике.
2. Явление размерного квантования.
3. Ограничивающий потенциал. Модели ограничивающего потенциала.
4. Квантовая яма (КЯ). Одноэлектронные состояния в КЯ.
5. Квантовая проволока (КП). Одноэлектронные состояния в КП (прямоугольное сечение или круглое сечение).
6. Квантовая точка (КТ). Одноэлектронные состояния в КТ (сферическая КТ, квантовый куб).
7. Плотность состояний в КЯ, КП и КТ.
8. Адиабатическое приближение.

9. Электронные состояния в сильно сплюснутой эллиптической яме.
10. Примесь в КЯ.
11. Примесь в КП. Явление падения на центр.
12. Примесь в КТ. Энергия связи примеси в КТ.
13. Оценка энергии двухэлектронных состояний в параболической КТ на основе соотношения неопределенностей Гейзенберга.
14. Искусственный атом гелия. Обменный интеграл, время обмена состояниями.
15. Одночастичный гамильтониан заряженной частицы во внешних электрическом и магнитном полях.
16. Атомоподобного спектр электрона в КЯ при наложении аксиального магнитного поля.
17. Параболическая КТ в параллельных электрическом и магнитном полях. Состояния Фока-Дарвина, квадратичный эффект Штарка.
18. Межзонное поглощение в сферической КТ. Правила отбора для режима сильного размерного квантования. Управление пороговыми частотами.
19. Влияние экситонных эффектов на характер фундаментального поглощения в сферических КТ. Учет дисперсии по размерам КТ в коэффициенте межзонного поглощения для ансамбля слабо взаимодействующих КТ.
20. Спектр электрона в сферической слоистой КТ и квантовом кольце.
21. Влияние внутренней и внешней границ на энергетический спектр электрона в сферической слоистой КТ и квантовом кольце. Модель плоского и сферического ротаторов.
22. Роль электромагнитных потенциалов в квантовой механике, эффект Ааронова-Бома в кольцеобразных структурах.

## **8. Список Литературы**

1. Э.М. Казарян, С.Г. Петросян “Физические основы наноэлектроники”, 2005. Изд. РАУ (на армянском языке).
2. В.П. Драгунов, И.Г. Неизвестный, В.А. Гридчин “Основы наноэлектроники”, 2004. Изд. НГТУ.
3. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц “Квантовая механика”, 1989. Изд. Наука.
4. В.М. Галицкий, Б.М. Карнаков, В.И. Коган “Задачи по квантовой механике”, 1981. Изд. Наука.
5. Е.М. Kazaryan, H.A. Sarkisyan, "Layered nanostructures", Encyclopedia UNESCO Nanoscience and Nanotechnology, Ed. V.N. Kharkin (Russian Edition) pp. 120-133 (2011).