

**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):**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС**

**Дисциплина: ФТД.В.01 «Избранные вопросы оптики  
низкоразмерных систем»**

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

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

## 1. Аннотация

Элементная база современной полупроводниковой микроэлектроники постепенно переходит на использование систем пониженной размерности. В этой связи чрезвычайно актуальной задачей становится изучение физических свойств низкоразмерных структур. При этом для экспериментального и теоретического изучения вышеуказанных систем используются с одной стороны технические возможности прецизионных измерений, а с другой — современные теоретические методы квантовой механики, теории поля и статистической физики. В предлагаемом курсе изучаются электронные, электрические и оптические свойства низкоразмерных систем. При этом наряду с квантовыми размерными эффектами обсуждаются также классические размерные эффекты.

### Цель преподавания дисциплин:

Целью курса является формирование представлений о физических свойствах электронных систем различной размерности, о том, как влияет понижение размерности на физические явления, и какие новые эффекты при этом появляются, а также дать теоретические основы описания свойств наноструктур квантово-механическими методами. Подготовка будущих специалистов в области микро- и наноэлектроники с необходимым багажом теоретических и прикладных знаний.

Учебная задача: Задачи курса состоят в изложении принципиальных понятий физики твердого тела для систем с пониженной размерностью и развитие основ понимания физических процессов, протекающих в этих системах при внешних воздействиях, а также изложение элементарных представлений об использовании этих явлений в современных областях техники (гетероструктурные лазеры, диоды и т. д.).

Основные методы проведения занятий: лекции, практические занятия, самостоятельная работа.

Список литературы: содержит 5 наименований книг и монографий отечественных и зарубежных авторов, 5 научных статей; этот список поможет студентам освоить и создать свой профессиональный исследовательский инструментарий, обеспечить целостность обучения.

Краткое содержание курса: Классические размерные эффекты. Квантовые размерные эффекты. Энергетический спектр электронных состояний в системах различной размерности. Плотность электронных состояний в системах различной размерности. Квантовые ямы различных форм. Сверхрешетки. Образование минизон. Различные аппроксимации ограничивающего потенциала квантовых ям. Модифицированный потенциал Пешля-Теллера. Модифицированный потенциал Вуда-Саксона. Двумерный электронный газ в магнитном поле. Уровни Ландау. Двумерный электронный газ в электрическом поле. Примесные состояния в квантовых ямах. Феноменологические результаты квантового эффекта Холла. Одноэлектронная теория целочисленного квантового эффекта Холла. Параболические квантовые точки и диски. Слабо сплюснутые (вытянутые) эллипсоидальные квантовые точки. Сильно сплюснутые (вытянутые) эллипсоидальные квантовые точки. Квантовые точки и линзы с покрытием. Межзонное

поглощение в эллипсоидальных квантовых точках. Правила отбора. Межзонное поглощение в эллипсоидальных квантовых линзах. Правила отбора. Генерация второй гармоники в квантовых точках. Полупроводниковые приборы на квантовых точках.

## **2. Требования к исходным уровням знаний и умений студентов**

### **Знать:**

Теория поля, квантовая механика, статистическая физика, квантовая теория твердого тела.

### **Уметь:**

Интерпретировать теоретические расчеты и сформулировать основные результаты расчетов.

### **Владеть:**

Навыками решения дифференциальных уравнений второго порядка частными производными.

## **3. Цель и задачи дисциплины**

Основная цель изучаемой дисциплины — ознакомление студентов с физическими явлениями, протекающими в низкоразмерных системах. Подготовка будущих специалистов в области микро и наноэлектроники с необходимым багажом теоретических и прикладных знаний и дальнейшему изучению специальной литературы по отдельным вопросам данной отрасли.

### **4.1 Требования к уровню освоения содержания дисциплины**

В результате изучения дисциплины студент должен:

#### **Знать:**

Знать о специфике физических процессов имеющих место в системах пониженной размерности.

#### **Уметь:**

Уметь интерпретировать результаты измерений, а также теоретических расчетов искомых физических характеристик различных низкоразмерных структур.

#### **Владеть:**

Иметь навыки для реализации численного моделирования физических процессов, протекающих в размерно-квантованных системах.

### **4.2 Взаимосвязь с другими дисциплинами специальности:**

Квантовые наноструктуры во внешних полях; Оптические явления в наноструктурах.

## **5. Трудоемкости дисциплины и видов учебной работы по учебному плану**

<b>Виды учебной работы</b>	<b>Всего (ак. час)</b>
<b><i>Общая трудоемкость изучения дисциплины, в т.ч.:</i></b>	<b>36 (1 кр.)</b>
<b>1. Аудиторные занятия, в т. ч.:</b>	<b>18</b>
1.1. Лекционные занятия	<b>18</b>
1.2. Семинарские занятия	-
1.3. Практические занятия	-
1.4. Лабораторные работы	-
<b>2. Самостоятельная работа, в т. ч.:</b>	<b>18</b>
2.1. Контактная самостоятельная работа	-
2.2. Бесконтактная самостоятельная работа	<b>18</b>



Вес итоговой оценки <b>3-го промежуточного контроля</b> в результирующей оценке промежуточных контролей							<b>1</b>	
Вес <b>результирующей оценки промежуточных контролей</b> в результирующей оценке итогового контроля								<b>0.5</b>
Вес оценки <b>экзамена/зачета</b> в результирующей оценке итогового контроля								<b>0.5</b>
							$\Sigma =1$	$\Sigma =1$
		$\Sigma =0$	$\Sigma =0$	$\Sigma =1$	$\Sigma =0$	$\Sigma =0$	$\Sigma =1$	

## 7. Содержание дисциплины

### 7.1 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)
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>МОДУЛЬ 1. ЭЛЕКТРОННЫЕ СОСТОЯНИЯ В НИЗКОРАЗМЕРНЫХ СТРУКТУРАХ</b>					
<b>Введение</b>					
<b>Раздел 1. Низкоразмерные системы и наноструктуры</b>	4	4		-	-
<b>Раздел 2. Квантовые ямы и сверхрешетки</b>	4	4		-	-
<b>Раздел 3. Двумерный электронный газ</b>	2	2		-	-
<b>Раздел 4. Квантовый эффект Холла</b>	2	2		-	-
<b>Раздел 5. Квантовые точки. Теорема Кона</b>	4	4		-	-
<b>Раздел 6. Межзонное поглощение в квантовых точках</b>	2	2		-	-
<b>ИТОГО</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

### 7.2 Содержание разделов и тем дисциплины

#### МОДУЛЬ 1.

#### ЭЛЕКТРОННЫЕ СОСТОЯНИЯ В НИЗКОРАЗМЕРНЫХ СТРУКТУРАХ

#### Введение

Общие сведения о полупроводниковых наноструктурах. Их значение для фундаментальной и прикладной науки. Области применений.

## **Раздел 1. Низкоразмерные системы и наноструктуры**

### ***Тема 1.1. Классические размерные эффекты ([5])***

### ***Тема 1.2. Квантовые размерные эффекты***

Квантовые размерные эффекты. Условия наблюдения квантово-размерных эффектов. Методы формирования и примеры низкоразмерных систем и наноструктур. ([1], [2])

### ***Тема 1.3. Энергетический спектр электронных состояний в системах различной размерности***

Квантовые ямы, проволоки, точки. Спектр электронных состояний в системах различной размерности (3D, 2D, 1D, 0D) для электронов с параболическим законом дисперсии. ([2], [3], [4])

### ***Тема 1.4. Плотность электронных состояний в системах различной размерности***

Плотность электронных состояний в системах различной размерности (3D, 2D, 1D, 0D). ([2], [3], [4])

## **Раздел 2. Квантовые ямы и сверхрешетки**

### ***Тема 2.1. Квантовые ямы различных форм***

Волновые функции и спектр электрона в прямоугольной и треугольной яме. ([2], [3], [4])

### ***Тема 2.2. Сверхрешетки. Образование минизон***

Полупроводниковые сверхрешетки. Классификация сверхрешеток. Энергетический спектр сверхрешетки. Минизоны в сверхрешетках. Модели разрывов зон. Типы сверхрешеток. Композитные, модулированные сверхрешетки. ([1], [2])

### ***Тема 2.3. Различные аппроксимации ограничивающего потенциала квантовых ям. Модифицированные потенциалы Пешля-Теллера и Вуда-Саксона***

Параболический потенциал. Потенциал Пешля-Теллера, Модифицированный потенциал Пешля-Теллера. Модифицированный потенциал Вуда-Саксона, ([6])

## **Раздел 3. Двумерный электронный газ**

### ***Тема 3.1. Двумерный электронный газ в магнитном поле. Уровни Ландау***

Двумерный электронный газ в магнитном поле. Энергетический спектр. Магнитная длина. Кратность вырождения уровня Ландау. Плотность состояний. Осцилляции Шубникова-де Гааза. ([1], [3], [4])

### ***Тема 3.2. Двумерный электронный газ в электрическом поле. Эффект Штарка***

Штарковская локализация электронов в квантовых ямах сверхрешеток в сильном электрическом поле. ([1], [2], [6])

### ***Тема 3.3. Примесные состояния в квантовых ямах***

Примесные состояния мелких центров в квантовых ямах. ([2], [3], [4])

## **КВАНТОВЫЕ ТОЧКИ, МЕЖЗОННОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ В КВАНТОВЫХ ТОЧКАХ**

## **Раздел 4. Квантовый эффект Холла**

### ***Тема 4.1. Феноменологические результаты квантового эффекта Холла***

Классический эффект Холла. Квантовый эффект Холла. Феноменологические результаты. Условия наблюдения. Универсальность холловского кондактанса. ([2], [3])

## ***Тема 4.2. Целочисленный квантовый эффект Холла. Одноэлектронная теория***

Целочисленный эффект Холла, одноэлектронная теория. Представление о дробном квантовом эффекте Холла. ([2], [3])

## **Раздел 5. Квантовые точки. Теорема Кона**

### ***Тема 5.1. Параболические квантовые точки и диски***

Параболические квантовые точки и диски. Циклотронный резонанс в квантовых точках. Теорема Кона. ([6], [7], лекции)

### ***Тема 5.2. Слабо сплюснутые (вытянутые) эллипсоидальные квантовые точки***

Электронные состояния в слабо сплюснутых (вытянутых) эллипсоидальных квантовых точках. ([6], лекции)

### ***Тема 5.3. Сильно сплюснутые (вытянутые) эллипсоидальные квантовые точки***

Электронные состояния в сильно сплюснутых (вытянутых) эллипсоидальных квантовых точках. ([6], лекции)

### ***Тема 5.4. Квантовые точки и линзы с покрытием***

Электронные свойства слоистых систем. Эллипсоидальные и цилиндрические квантовые точки и линзы с покрытием, (лекции)

## **Раздел 6. Межзонное поглощение в квантовых точках**

### ***Тема 6.1. Межзонное поглощение в нульмерных структурах. Правила отбора***

Межзонные переходы в квантовых точках и линзах, правила отбора. ([6], лекции)

### ***Тема 6.2. Генерация второй гармоники в квантовых точках***

Задача оптимизации генерации второй гармоники в квантовых точках. ([6], лекции)

### ***Тема 6.3. Полупроводниковые приборы на квантовых точках***

Начальное представление о полупроводниковых лазерах. ([1], [2], [3])

## **7.3 Вопросы**

- 1. Классические размерные эффекты.***
- 2. Квантовые размерные эффекты.***
- 3. Энергетический спектр электронных состояний в системах различной размерности.***
- 4. Плотность электронных состояний в системах различной размерности***
- 5. Квантовые ямы различных форм.***
- 6. Сверхрешетки. Образование минизон.***
- 7. Различные аппроксимации ограничивающего потенциала квантовых ям.***
- 8. Модифицированный потенциал Пешля-Теллера.***
- 9. Модифицированный потенциал Вуда-Саксона.***
- 10. Двумерный электронный газ в магнитном поле***
- 11. Двумерный электронный газ в электрическом поле.***
- 12. Примесные состояния в квантовых ямах.***
- 13. Феноменологические результаты квантового эффекта Холла***
- 14. Целочисленный квантовый эффект Холла. Одноэлектронная теория.***
- 15. Параболические квантовые точки и диски.***
- 16. Слабо сплюснутые (вытянутые) эллипсоидальные квантовые точки.***

17. *Сильно сплюснутые (вытянутые) эллипсоидальные квантовые точки.*
18. *Квантовые точки и линзы с покрытием.*
19. *Межзонное поглощение в эллипсоидальных квантовых точках. Правила отбора.*
20. *Межзонное поглощение в эллипсоидальных квантовых линзах. Правила отбора.*
21. *Генерация второй гармоники в квантовых точках.*
22. *Полупроводниковые приборы на квантовых точках.*

## **8. Учебно-методическое обеспечение дисциплины**

### **8.1. Рекомендуемая литература**

#### **а) Основная литература**

- [1] А.Я. Шик и др. Физика низкоразмерных систем. Наука, С-Пб, 2001.
- [2] Казарян Э.М., Петросян С.Г. "Физические основы полупроводниковой наноэлектроники", Ер. Изд. РАУ, 2005.(на арм. яз.)
- [3] Драгунов В.П., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Основы наноэлектроники. Новосибирск, изд. НГТУ, 2000.
- [4] Демиховский В.Я., Вугальтер Г.А. Физика квантовых низкоразмерных структур. М., "Логос", 2000.
- [5] Займан Дж., Электроны и фононы. М., 1962.
- [6] Harrison P., Quantum Wells, Wires and Dots, Willey-Interscience, 2005.

#### **б) Дополнительная литература**

- 17] G.Bastard. Quantum Mechanics Applied to Semiconductor Heterostructures.

### **8.2. Программные средства освоения дисциплины**

Mathematica 10.0, MathLab. 7.0, Origin.

### **8.3. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Компьютер, проектор