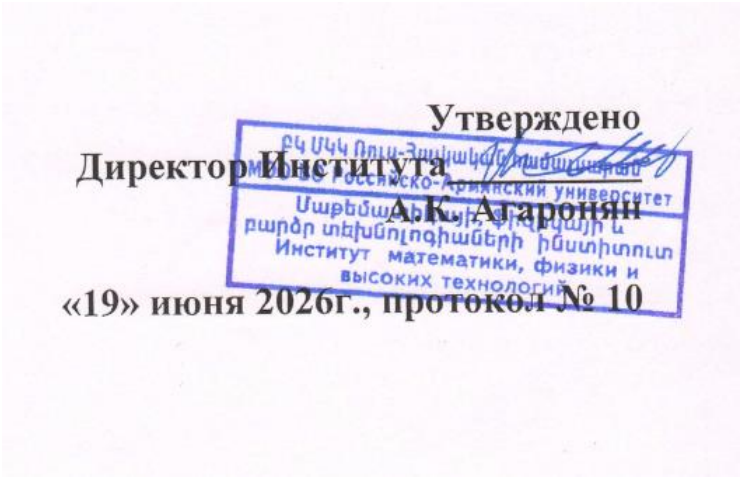
Межгосударственная образовательная организация высшего образования «Российско-Армянский университет»



Утверждено
Директор Института _____
А.К. Агаронян
«19» июня 2026г., протокол № 10

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины: Б1.В.07 Квантоворазмерные системы наноэлектроники

Автор (ы) д.ф.-м.н., доцент Айрапетян Давид Борисови
Ф.И.О, ученое звание (при наличии), ученая степень (при наличии)

Направление подготовки: 11.04.04 Электроника и наноэлектроника
Наименование образовательной программы: Квантовая и оптическая электроника

Согласовано:

Заведующий Кафедрой общей физики и квантовых наноструктур

Айрапетян Д.Б.



(подпись)

1. **АННОТАЦИЯ**

1.1. Краткое описание содержания данной дисциплины;

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.

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.

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.

1.2. Трудоемкость в академических кредитах и часах, формы итогового контроля (экзамен/зачет);

4 академических кредита / 144 академических часа. Форма итогового контроля — экзамен.

1.3. Взаимосвязь дисциплины с другими дисциплинами учебного плана специальности (направления)

Полупроводниковая наноэлектроника, Лаборатория по квантовой оптики, Методы математического моделирования, Компьютерные технологии в физике.

1.4. Результаты освоения программы дисциплины:

Код компетенции *(в соответствии рабочим с учебным планом)*	**Наименование компетенции** *(в соответствии рабочим с учебным планом)*	**Код индикатора достижения компетенций** *(в соответствии рабочим с учебным планом)*	**Наименование индикатора достижений компетенций***(в соответствии рабочим с учебным планом)*
ПК-1	Готов формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач	ПК-1.1	Знает принципы построения и фукнционирования изделий микро- и наноэлектроники
		ПК-1.2	Умеет рассчитывать предельно-допустимые и предельные режимы работы изделий микро- и наноэлектроники
		ПК-1.3	Владеет навыками выбора теоретических и экспериментальных методов исследования изделий микро- и наноэлектроники

2. **УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА**

2.1. Цели 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.

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.).

2.2. Трудоемкость дисциплины и виды учебной работы (в академических часах и зачетных единицах) ***(удалить строки, которые не будут применены в рамках дисциплины)***

Виды учебной работы	**Всего, в акад. часах**	**Распределение по семестрам**
		1 сем
1	**2**	**3**
1. Общая трудоемкость изучения дисциплины по семестрам, в т. ч.:	**144**	**144**
1.1. Аудиторные занятия, в т. ч.:	**48**	**48**
1.1.1. Лекции	**16**	**16**
1.1.2. Практические занятия, в т. ч.	**32**	**32**
1.1.3. Лабораторные работы		
1.2. Самостоятельная работа, в т. ч.:	**76**	**76**
1.3. Консультации		
Итоговый контроль (Экзамен, Зачет, диф. зачет - указать)	**Экзамен 36**	**36**

2.3. Содержание дисциплины

2.3.1. Тематический план и трудоемкость аудиторных занятий (модули, разделы дисциплины и виды занятий) по рабочему учебному плану

Разделы и темы дисциплины	**Всего (ак. часов)**	**Лекции(ак. часов)**	**Лабор. (ак. часов)**
1	**2=3+4**	**3**	**4**

Тема 1. Введение в квантовые наноструктуры	**6**	**2**	**4**
Тема 2. Квантовые ямы	**6**	**2**	**4**
Тема 3. Квантовые проволоки	**6**	**2**	**4**
Тема 4. Квантовые точки	**6**	**2**	**4**
Тема 5. Электронные и оптические свойства наноструктур	**6**	**2**	**4**
Тема 6. Туннелирование и эффекты квантовой когерентности	**6**	**2**	**4**
Тема 7. Влияние внешних полей и температур	**6**	**2**	**4**
Тема 8. Моделирование и экспериментальные методы исследования	**6**	**2**	**4**
ИТОГО	**48**	**16**	**32**

2.3.2. Краткое содержание разделов дисциплины в виде тематического плана

Тема 1.1. Классические размерные эффекты

Тема 1.2. Квантовые размерные эффекты

Квантовые размерные эффекты. Условия наблюдения квантово-размерных эффектов. Методы формирования и примеры низкоразмерных систем и наноструктур.

Тема 1.3. Энергетический спектр электронных состояний в системах различной размерности

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

Тема 1.4. Плотность электронных состояний в системах различной размерности

Плотность электронных состояний в системах различной размерности (3D. 2D, ID, 0D).

Тема 2.1. Квантовые ямы различных форм

Волновые функции и спектр электрона в прямоугольной и треугольной яме.

Тема 2.2. Сверхрешетки. Образование минизон

Полупроводниковые сверхрешетки. Классификация сверхрешеток. Энергетический спектр сверхрешетки. Минизоны в сверхрешетках. Модели разрывов зон. Типы сверхрешеток. Композитные, модулированные сверхрешетки.

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

Параболический потенциал. Потенциал Пешля-Теллера, Модифицированный потенциал Пешля-Теллера. Модифицированный потенциал Вуда-Саксона.

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.

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

Штарковская локализация электронов в квантовых ямах сверхрешеток в сильном электрическом поле.

Тема 3.3. Примесные состоянияв квантовых ямах

Примесные состояния мелких центров в квантовых ямах.

Тема 4.1. Феноменологические результаты квантового эффекта Холла

Классический эффект Холла. Квантовый эффект Холла. Феноменологические результаты. Условия наблюдения. Универсальность холловского кондактанса.

Тема 4.2. Целочисленный квантовый эффект Холла. Одноэлектронная теория

Целочисленный эффект Холла, одноэлектронная теория. Представление о дробном квантовом эффекте Холла.

Тема 5.1. Параболические квантовые точки и диски

Параболические квантовые точки и диски. Циклотронный резонанс в квантовых точках. Теорема Кона.

Тема 5.2. Слабо сплюснутые (вытянутые) эллипсоидальные квантовые точки

Электронные состояния в слабо сплюснутых (вытянутых) эллипсоидальных квантовых точках.

Тема 5.3. Сильно сплюснутые (вытянутые) эллипсоидальные квантовые точки

Электронные состояния в сильно сплюснутых (вытянутых) эллипсоидальных квантовых точках.

Тема 5.4. Квантовые точки и линзы с покрытием

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

Тема 6.1. Межзонное поглощение в нульмерных структурах. Правила отбора

Межзонные переходы в квантовых точках и линзах, правила отбора.

Тема 6.2. Генерация второй гармоники в квантовых точках

Задача оптимизации генерации второй гармоники в квантовых точках.

Тема 6.3. Полупроводниковые приборы на квантовых точках

Начальное представление о полупроводниковых лазерах.

2.3.3. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- Учебная аудитория для лекций.

2.4. Модульная структура дисциплины с распределением весов по формам контролей

Формы контролей	**Вес формы (форм) текущего контроля в результирующей оценке текущего контроля (по модулям)**		**Вес формы промежуточного контроля в итоговой оценке промежуточного контроля**		**Вес итоговой оценки промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей**		**Вес итоговой оценки промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей (семестровой оценке)**	**Веса результирующей оценки промежуточных контролей и оценки итогового контроля в результирующей оценке итогового контроля**
Вид учебной работы/контроля	**М1[1]**	**М2**	**М1**	**М2**	**М1**	**М2**		
Контрольная работа *(при наличии)*			0.5	0.5				
Устный опрос *(при наличии)*								
Лабораторные работы *(при наличии)*	0.5	0.5						
Письменные домашние задания *(при наличии)*								
Решение задач	0.5	0.5						
Веса результирующих оценок текущих контролей в итоговых оценках промежуточных контролей					0.5	0.5		
Веса оценок промежуточных контролей в итоговых оценках промежуточных контролей								
Вес итоговой оценки 1-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей							0.5	
Вес итоговой оценки 2-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей							0.5	

[1] Учебный Модуль

Вес результирующей оценки промежуточных контролей в результирующей оценке итогового контроля								0.5
Вес итогового контроля (Экзамен/зачет) в результирующей оценке итогового контроля								0.5
	∑ = 1	**∑ = 1**	**∑ = 1**	**∑ = 1**	**∑ = 1**	**∑ = 1**	**∑ = 1**	**∑ = 1**

3. **Теоретический блок** ***(указываются материалы, необходимые для освоения учебной программы дисциплины)***

3.1. Материалы по теоретической части курса

3.1.1. Учебник(и);

1. Paul Harrison - Quantum Wells, Wires and Dots: Theoretical and Computational Physics of Semiconductor Nanostructures**,** 2016 (4th Edition).
2. А.Я. Шик и др. Физика низкоразмерных систем. Наука, С-Пб, 2001.
3. Казарян Э.М., Петросян С.Г. "Физические основы полупроводниковой наноэлектроники", Ер. Изд. РАУ, 2005.(на арм. яз.)
4. Драгунов В.П., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Основы наноэлектроники. Новосибирск, изд. НГТУ, 2000.
5. Демиховский В.Я., Вугальтер Г.А. Физика квантовых низкоразмерных структур. М., "Логос", 2000.
6. Займан Дж., Электроны и фононы. М., 1962.
7. Douglas Natelson - Nanostructures and Nanotechnology, 2015 (2nd Edition).
8. Yehuda B. Band - Quantum Mechanics for Nanostructures**,** 2013.

4. **Фонды оценочных средств** ***(указываются материалы, необходимые для проверки уровня знаний в соответствии с содержанием учебной программы дисциплины).***

4.1. Вопросы и задания для самостоятельной работы студентов

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.

4.2. Перечень экзаменационных вопросов

1. Классические размерные эффекты: физическая природа и проявление в наноструктурах
2. Квантовые размерные эффекты и их отличие от классических
3. Энергетический спектр электронных состояний в системах с различной размерностью
4. Плотность электронных состояний в 3D, 2D, 1D и 0D системах
5. Квантовые ямы различной геометрии: прямоугольные, треугольные и др.
6. Сверхрешётки: образование минизон и их свойства
7. Аппроксимации ограничивающего потенциала в моделях квантовых ям
8. Модифицированный потенциал Пешля–Теллера: особенности и применение
9. Модифицированный потенциал Вуда–Саксона в моделировании наноструктур
10. Поведение двумерного электронного газа в магнитном поле
11. Двумерный электронный газ в электрическом поле: квантово-механическое описание
12. Примесные состояния в квантовых ямах: модель и влияние на спектр
13. Квантовый эффект Холла: основные феноменологические результаты
14. Целочисленный квантовый эффект Холла: теория одноэлектронных состояний
15. Параболические квантовые точки и квантовые диски
16. Слабо сплюснутые или вытянутые эллипсоидальные квантовые точки: спектральные особенности
17. Сильно сплюснутые или вытянутые эллипсоидальные квантовые точки: модель и спектр
18. Квантовые точки и линзы с покрытием: влияние оболочки на свойства
19. Межзонное поглощение в эллипсоидальных квантовых точках: правила отбора
20. Межзонное поглощение в эллипсоидальных квантовых линзах: влияние геометрии
21. Генерация второй гармоники в квантовых точках: теоретическое описание
22. Применение квантовых точек в полупроводниковых приборах: возможности и перспективы

4.3. Образцы экзаменационных билетов

МОО ВО РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ, ФИЗИКИ И ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра общей физики и квантовых наноструктур

Направление: Электроника и наноэлектроника
Дисциплина: Квантоворазмерные системы наноэлектроники
(магистратура I-ый курс, I-ый семестр)

Экзаменационный билет № **

1. Энергетический спектр электронных состояний в системах с различной размерностью.
2. Квантовый эффект Холла: основные феноменологические результаты.
3. Генерация второй гармоники в квантовых точках: теоретическое описание.

Зав. кафедройОФКН _____Д.Б. Айрапетян
20__г.