ГОУ ВПО Российско-Армянский (Славянский) университет

Утверждено
Директор Института _____
А.К. Агаронян
«30» апреля 2025г., протокол № 05

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины: Б1.В.ДВ.01.02 Наноэлектроника

Автор (ы) Саркисян Айк Араевич, д.ф.-м.н., профессор
Ф.И.О, ученое звание (при наличии), ученая степень (при наличии)

Направление подготовки: 11.03.04 Электроника и наноэлектроника
Наименование образовательной программы: Квантовая информатика

Согласовано:

Заведующий Кафедрой общей физики и квантовых наноструктур

Айрапетян Д.Б.

(подпись)

1. АННОТАЦИЯ

1.1. Краткое описание содержания данной дисциплины;

Дисциплина **"Наноэлектроника"** охватывает принципы работы, физические основы и технологии создания электронных устройств на наноразмерном уровне. Изучаются квантовые эффекты, проявляющиеся в структурах с размерами, сравнимыми с длиной свободного пробега носителей заряда. Рассматриваются принципы функционирования современных наноэлектронных компонентов, таких как одноэлектронные транзисторы, квантовые точки, молекулярные и спинтронные устройства. Особое внимание уделяется применению наноэлектроники в современных процессорах, сенсорах и биомедицинских устройствах.

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

6 з.е. (216ч.), экзамен

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

Теоретическая механика, Квантовая кеханика, Кватовая теория твердого тела.

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)*
УК-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1	Знает системные связи и отношения между явлениями, процессами и объектами. Знает методы поиска информации, ее системного и

		УК-1.2 УК-1.3	критического анализа Умеет применять методы поиска информации из разных источников и осуществлять ее критический анализ и синтез; применять системный подход для решения поставленных задач Владеет методами поиска, критического анализа и синтеза информации и методикой системного подхода для решения поставленных задач
ОПК-1	Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-1.3	Знает фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы Умеет применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера Владеет навыками использования знаний физики и математики при решении практических задач
ОПК-3	Способен применять методы поиска, хранения, обработки, анализа и представления в требуемом формате информации из различных источников и баз данных, соблюдая при этом основные требования информационной безопасности	ОПК-3.1 ОПК-3.2 ОПК-3.3	Знает, как использовать информационно-коммуникационные технологии при поиске необходимой информации и современные принципы поиска, хранения, обработки, анализа и представления в требуемом формате информации Умеет решать задачи обработки данных с помощью современных средств автоматизации Владеет навыками обеспечения информационной безопасности
ПК-1	Готов формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных	ПК-1.1 ПК-1.2	Знает принципы построения и фукнционирования изделий микро- и наноэлектроники Умеет рассчитывать

	областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач	ПК-1.3	предельно-допустимые и предельные режимы работы изделий микро- и наноэлектроники Владеет навыками выбора теоретических и экспериментальных методов исследования изделий микро- и наноэлектроники
ПК-2	Способен разрабатывать эффективные алгоритмы решения сформулированных задач с использованием современных языков программирования и обеспечивать их программную реализацию	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3	Знает методы разработки эффективных алгоритмов решения научно-исследовательских задач Умеет использовать алгоритмы решения исследовательских задач с использованием современных языков программирования Владеет навыками разработки стратегии и методологии исследования изделий микро- и наноэлектроники

2. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

2.1. Цели и задачи дисциплины

Цель – Специальный курс «Наноэлектроника» имеет целью дать студентам основные сведения о простейших физических процессах, происходящих в полупроводниковых наноструктурах.

Задачи – Сформировать фундаментальные представления о влиянии размерного квантования на характер одночастичного. примесного и экситонного состояний в квантовых наноструктурах. Ознакомиться с основными методами теоретического описания электронных и кулоновских состояний в низкоразмерных системах.

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.:	**216**	**216**
1.1. Аудиторные занятия, в т. ч.:	**96**	**96**
1.1.1. Лекции	**32**	**32**
1.1.2. Практические занятия, в т. ч.		
1.2. Самостоятельная работа, в т. ч.:	**93**	**93**
1.3. Консультации		**216**
Итоговый контроль (Экзамен, Зачет, диф. зачет - указать)	**Экзамен**	**27**

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)	Практ. Занятия (ак. часов)
1	2=3+4+5+6+7	3	4
РАЗМЕРНОЕ КВАНТОВАНИЕ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ			
Введение			
Раздел 1. Основные классы полупроводниковых наноструктур	**18**	**4**	**14**
Тема 1.1. Пространственное ограничение носителей заряда в полупроводниках		2	
Тема 1.2. Плотности состояний в низкоразмерных структурах		2	
Раздел 2. Одночастичный энергетический спектр в наноструктурах	**20**	**6**	**14**
Тема 2.1. Электронные состояния в квантовых ямах		2	
Тема 2.2. Электронные состояния в квантовых проволоках		2	
Тема 2.3. Электронные состояния в квантовых точках		2	
НАНОСТРУКТУРЫ ВО ВНЕШНИХ ПОЛЯХ			
Раздел 3. Влияние электрического и магнитного полей на одноэлектронные состояния во внешних полях	**20**	**6**	**14**
Тема 3.1. Квантовая яма во внешних полях		2	
Тема 3.2. Квантовая проволока в магнитном поле		2	

Тема 3.3. Квантовая точка во внешних полях		2	
КУЛОНОВСКИЕ СОСТОЯНИЯ В НАНОСТРУКТУРАХ			
Раздел 4. Примесные состояния в наноструктурах	**26**	**12**	**14**
Тема 4.1. Двумерная кулоновская задача и примесь в квантовой яме		4	
Тема 4.2. Одномерная кулоновская задача и примесь в квантовой проволоке		4	
Тема 4.3. Примесные состояния в квантовой точке		4	
Раздел 5. Низкоразмерные экситоны	**12**	**4**	**8**
Тема 5.1. Экситонные состояния в наноструктурах		4	
ИТОГО	**96**	**32**	**64**

2.3.2. Краткое содержание разделов дисциплины в виде тематического плана

РАЗМЕРНОЕ КВАНТОВАНИЕ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

Введение

Явление размерного квантования в полупроводниках. Эффективная длина волны Де Бройля. Приближение тензора эффективной массы. ([1] {1.3;1.4;1.5})

Раздел 1. Основные классы полупроводниковых наноструктур

Тема 1.1. Пространственное ограничение носителей заряда в полу проводниках

Образование потенциального барьера на границе перехода полупроводник-диэлектрик. Квантовая яма-как простейшая низкоразмерная система. Двумерные (квантовые ямы), одномерные (квантовые проволоки) и нульмерные (квантовые точки) системы. Потенциал ограничения квантовой наноструктуры. Модели ограничивающих потенциалов. ([1] {1.6;1.7;1.8})

Тема 1.2. Плотности состояний в низкоразмерных структурах

Понятие плотности состояний, фазовое пространство. Плотность состояний в массивном полупроводнике. Плотность состояний в квантовой яме, проволоке, точке. ([1] {2.1;2.4;2.6;2.10;2.11:2.14})

Раздел 2. Одночастичный энергетический спектр в наноструктурах

Тема 2.1. Электронные состояния в квантовых ямах

Квантовая яма с бесконечно высокими стенками. Прямоугольная яма конечной высоты. Граничные условия с учетом скачка эффективной массы. Параболическая квантовая яма. ([1] {2.1;2.2;2.3})

Тема 2.2. Электронные состояния в квантовых проволоках

Квантовая проволока с прямоугольным сечением. Электронные состояния в квантовых проволоках с круговым сечением (ограничивающие потенциалы бесконечной и конечной высот). ([1] {2.6;2.7;2.8})

Тема 2.3. Электронные состояния в квантовых точках

Квантовые точки. Кубическая и сферическая квантовые точки. Сферическая квантовая точка конечной глубины, квантовый выброс. Параболическая квантовая точка. ([1] {2.11; 2.12; 2.13}, [2] {1.13})

НАНОСТРУКТУРЫ ВО ВНЕШНИХ ПОЛЯХ

Раздел 3. Влияние электрического и магнитного полей на одноэлектронные состояния во внешних полях

Тема 3.1. Квантовая яма во внешних полях

Влияние однородного электрического поля на электронные состояния в квантовой яме. Особенности штарковского расщепления в непроницаемой квантовой яме. Наложение однородного магнитного поля вдоль оси квантования ямы и образование полностью дискретного спектра у электрона. ([1] {2.3; }, [2] {2.1; 2.2; 2.3; 5.2}) *Тема 3.2. Квантовая проволока в магнитном поле*

Квантовая проволока с параболическим ограничивающим потенциалом. Наложение однородного магнитного поля вдоль оси квантовой проволоки. Приведенная частота электрона в квантовой проволоке при наличии магнитного поля. ([1] {2.9}, [2] {5.5.1; 5.2}

Тема 3.3. Квантовая точка во внешних полях

Цилиндрическая квантовая точка в однородном магнитном и электрическом полях. Сферические и цилиндрические квантовые слоистые структуры во внешнем однородном электрическом поле. Эллипсоидальная квантовая точка во внешнем магнитном поле, адиабатическое приближение. ([1] {2.11; 2.12}, [2] {1.13; 2.8})

КУЛОНОВСКИЕ СОСТОЯНИЯ В НАНОСТРУКТУРАХ

Раздел 4. Примесные состояния в наноструктурах

Тема 4.1. Двумерная кулоновская задача и примесь в квантовой яме

Двумерное уравнение Шредингера для атома водорода. Энергия основного состояния двумерной кулоновской задачи. Водородоподобная примесь в квантовой яме. ([1] {3.1; 3.2; 3.3; 3.6})

Тема 4.2. Одномерная кулоновская задача и примесь в квантовой проволоке

Уравнение Шредингера для одномерного атома водорода. Неустойчивость основного состояния одномерной водородоподобной системы, падение на центр. Примесь в квантовой проволоке, модифицированный одномерный кулоновский потенциал. ([1] {3.4; 3.5; 3.6})

Тема 4.3. Примесные состояния в квантовой точке

Примесь в сферической квантовой точке. Положительные энергии примеси в сферической квантовой точке. Энергия связи примеси в квантовой точке. ([1] {3.1; 3.6}, [2] {3.10})

Раздел 5. Низкоразмерные экситоны

Тема 5.1. Экситонные состояния в наноструктурах

Электронно-дырочный гамильтониан, приведенная эффективная масса экситона. Двухмерные и одномерные экситонные состояния. Экситонное поглощение в квантовой точке. Сила осциллятора экситонного поглощения в квантовой точке. ([1] {3.8}, [2] {3.6}).

Список Литературы

а) Базовый учебник

1. Э.М. Казарян, С.Г. Петросян. Физические основы полупроводниковой наноэлектроники, Ереван, Изд. РАУ 2005.

б) Основная литература

1. В.П. Драгунов, И.Г. Неизвестный, В.А. Гридчин. Основы наноэлектроники, Новосибирск. Изд. НГТУ 2004.
2. Л.Е. Воробьев и др. Оптические явления в полупроводниковых квантово-размерных структурах, Санкт-Петербург, Изд. СПбГТУ 2000.
3. G. Bastard. Wave mechanics applied to semiconductor heterostructures, Les Edition de Physique, les Ulis Cedex, France 1988.
4. J.H. Davies. The physics of low-dimensional semiconductors, Cambridge University Press 1998.
5. В.Я. Демиховский. Г.А. Вугальтер. Физика квантовых низкоразмерных структур, Москва, Изд. Наука 2000.

в) Другие источники

1. http://edu.ioffe.ru

2.3.3. Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Вычислительная техника
2. Проектор
3. Слайдоскоп

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)*								
Тест *(при наличии)*								
Лабораторные работы *(при наличии)*	0.5	0.5						
Письменные домашние задания *(при наличии)*								
Реферат *(при наличии)*								
Эссе *(при наличии)*								
Проект *(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	
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] Учебный Модуль

	∑ = 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)

а) Базовый учебник

1. Э.М. Казарян, С.Г. Петросян. Физические основы полупроводниковой наноэлектроники, Ереван, Изд. РАУ 2005.

б) Основная литература

1. В.П. Драгунов, И.Г. Неизвестный, В.А. Гридчин. Основы наноэлектроники, Новосибирск. Изд. НГТУ 2004.
2. Л.Е. Воробьев и др. Оптические явления в полупроводниковых квантово-размерных структурах, Санкт-Петербург, Изд. СПбГТУ 2000.
3. G. Bastard. Wave mechanics applied to semiconductor heterostructures, Les Edition de Physique, les Ulis Cedex, France 1988.
4. J.H. Davies. The physics of low-dimensional semiconductors, Cambridge University Press 1998.
5. В.Я. Демиховский. Г.А. Вугальтер. Физика квантовых низкоразмерных структур, Москва, Изд. Наука 2000.

в) Другие источники

1. http://edu.ioffe.ru

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

4.1. Планы практических занятий

1. Пространственное ограничение носителей заряда в полу проводиниках
2. Плотности состояний в низкоразмерных структурах
3. Электронные состояния в квантовых ямах
4. Электронные состояния в квантовых проволоках
5. Квантовая яма во внешних полях
6. Квантовая точка во внешних полях
7. Двумерная кулоновская задача и примесь в квантовой яме

8. Одномерная кулоновская задача и примесь в квантовой проволоке
9. Примесные состояния в квантовой точке
10. Экситонные состояния в наноструктурах

4.2. Перечень вопросов для экзамена

1. Явление размерного квантования в полупроводниках.
2. Квантовые ямы, квантовые проволоки, квантовые точки.
3. Плотность состояний в двумерной, одномерной и нульмерной системах.
4. Различные модели ограничивающих потенциалов квантовых наноструктур.
5. Электронные состояния в квантовых ямах (модель прямоугольной ямы).
6. Квантовая яма в однородном магнитном и электрическом поле.
7. Полупроводниковые сверхрешетки. Прохождение частиц через потенциальные барьеры.
8. Квантовые проволоки прямоугольного и круглого сечения (модели бесконечно глубоких стенок).
9. Двумерный асимметричный осциллятор. Круговой осциллятор. Степень вырождения кругового осциллятора.
10. Квантовая проволока в магнитном поле.
11. Квантовые точки. Различные геометрии квантовых точек.
12. Электронные состояния в непроницаемых сферической и эллиптической квантовых точках.
13. Примесные и экситонные состояния в квантовых ямах.
14. Примесные и экситонные состояния в квантовых проволоках.
15. Экситонное поглощение в квантовых точках. Сила осциллятора экситонного поглощения.

4.3. Образцы экзаменационных билетов

ГОУ ВПО РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Кафедра общей физики и квантовых наноструктур

Направление: Электроника и наноэлектроника
Дисциплина: Наноэлектроника
(бакалавриат IV-ый курс, I-ый семестр)

Экзаменационный билет № **

1. Квантовые ямы, квантовые проволоки, квантовые точки
2. Электронные состояния в непроницаемых сферической и эллиптической квантовых точках.
3. Электронные состояния в квантовых ямах (модель прямоугольной ямы).

Зав. кафедройОФКН _____Д.Б. Айрапетян

20 г.