

**ГОУ ВПО Российско-Армянский (Славянский)
университет**



УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины: Б1.О.21 Квантовая и оптическая электроника

Автор (ы) д.ф.-м.н., профессор Агаронян Камо Гамлетович
Ф.И.О, ученое звание (при наличии), ученая степень (при наличии)

Направление подготовки: 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

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 «Квантовая и оптическая электроника» охватывает фундаментальные принципы и прикладные аспекты взаимодействия света с веществом на квантовом уровне, лежащие в основе работы современных оптоэлектронных устройств. В курсе рассматриваются квантово-механические основы излучения и поглощения света, теория двухуровневых систем, свойства и характеристики лазеров, нелинейные оптические эффекты, а также элементы и устройства оптической электроники.

Особое внимание уделяется процессам генерации, усиления и управления когерентным излучением, включая принципы работы полупроводниковых и твердотельных лазеров, оптических усилителей и фотодетекторов. Изучаются ключевые компоненты оптических систем: модуляторы, интерферометры, волноводы, а также основы интегральной фотоники и применения квантовых явлений в современных технологиях связи, обработки информации и сенсорах.

Курс формирует у студентов базу знаний, необходимую для работы в области фотоники, лазерной техники, телекоммуникаций и квантовых технологий.

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

3 академических кредита / 108 часа. Форма итогового контроля — зачет.

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

"Оптика", "Нанотехнологии", "Квантовая механика"

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 УК-1.2 УК-1.3	Знает системные связи и отношения между явлениями, процессами и объектами. Знает методы поиска информации, ее системного и 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
ПК-1	Готов формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач	ПК-1.1 ПК-1.2 ПК-1.3	Знает принципы построения и функционирования изделий микро- и нанoeлектроники Умеет рассчитывать предельно-допустимые и предельные режимы работы изделий микро- и нанoeлектроники Владеет навыками выбора теоретических и экспериментальных методов

			исследования изделий микро- и наноэлектроники
--	--	--	--

2. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

2.1. Цели и задачи дисциплины

Цель: Формирование у студентов системного понимания физических принципов, лежащих в основе работы квантовых и оптоэлектронных устройств, а также освоение теоретических и прикладных методов анализа, моделирования и проектирования элементов оптической электроники и фотонных систем.

Задачи:

- Изучить основы квантовой теории взаимодействия излучения с веществом, включая процессы поглощения, вынужденного и спонтанного излучения.
- Освоить модель двухуровневой системы и её применение для описания лазерной генерации и оптической накачки.
- Ознакомиться с принципами работы и конструкцией различных типов лазеров (газовых, твердотельных, полупроводниковых).
- Изучить методы модуляции, детектирования и усиления оптических сигналов.
- Раскрыть физику нелинейных оптических эффектов и их применение в современных оптоэлектронных устройствах.
- Рассмотреть принципы построения и функционирования элементов интегральной оптики и фотонных интегральных схем.
- Развить практические навыки анализа и расчёта характеристик квантовых и оптических электронных устройств.
- Подготовить студентов к самостоятельной исследовательской деятельности в области фотоники, квантовой электроники и современных информационно-коммуникационных технологий.

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.:	108	108
1.1.Аудиторные занятия, в т. ч.:	64	64
1.1.1.Лекции	32	32
1.1.2.Практические занятия, в т. ч.	-	-
1.1.3.Лабораторные работы	32	32
1.2.Самостоятельная работа, в т. ч.:	44	44
1.3. Консультации		
Итоговый контроль (Экзамен, Зачет, диф. зачет - указать)	зачет	

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+5+6+7	3	6
Тема 1. Основы фотоники и волноводной оптики	16	8	8
Тема 2. Компоненты фотонных интегральных схем	12	6	6
Тема 3. Материалы и технологии изготовления ФИС	12	6	6
Тема 4. Проектирование и моделирование ФИС	12	6	6
Тема 5. Применения и перспективы ФИС	12	6	6
ИТОГО	64	32	32

2.3.2. Краткое содержание разделов дисциплины в виде тематического плана

Тема 1. Введение в квантовую и оптическую электронику

Обзор развития оптической и квантовой электроники, основные понятия: фотон, когерентность, оптические процессы. Значение дисциплины для современных технологий.

Тема 2. Квантовая теория взаимодействия света с веществом

Поглощение, спонтанное и вынужденное излучение. Двухуровневая модель. Уравнения Эйнштейна. Принцип действия квантовых оптических систем.

Тема 3. Принципы работы лазеров и оптических резонаторов

Условия генерации лазерного излучения. Инверсия населённости. Роль оптического резонатора. Типы накачки и характеристики лазеров.

Тема 4. Полупроводниковые лазеры и светодиоды

Физика полупроводниковых переходов. Энергетические диаграммы. Излучение в p-n переходе. Конструкция и параметры лазеров и LED.

Тема 5. Оптические усилители и модуляторы

Принципы усиления оптических сигналов. Работа электро- и акустооптических модуляторов. Использование в системах передачи информации.

Тема 6. Основы нелинейной оптики

Нелинейные отклики среды: генерация гармоник, эффект Керра, самофокусировка. Их применение в усилении и преобразовании частот.

Тема 7. Фотодетекторы и принципы регистрации излучения

Фотоэффект. Полупроводниковые фотодиоды и фотоприёмники. Спектральная чувствительность и временные характеристики.

Тема 8. Элементы интегральной фотоники и фотонные интегральные схемы

Волноводы, разветвители, резонаторы. Основы фотонной интеграции на чипе. Преимущества фотонных схем.

Тема 9. Квантовые эффекты в оптоэлектронике

Квантовые точки, однопотонные источники, основы квантовой криптографии и фотонных квантовых коммуникаций.

Тема 10. Применения квантовой и оптической электроники

Реальные применения: оптические коммуникации, лазерные системы, биофотоника, интеграция с CMOS-технологиями и квантовые технологии будущего.

2.3.3. Краткое содержание семинарских/практических занятий/лабораторного практикума

Исследование зависимости интенсивности лазерного излучения от параметров накачки

- Ознакомление с принципами работы лазера.
- Экспериментальное определение порога генерации и построение зависимости выходной мощности от тока накачки.

Измерение длины когерентности и ширины спектра лазерного излучения

- Применение интерферометра Майкельсона.
- Анализ когерентных свойств источника.

Исследование дифракции и интерференции лазерного излучения

- Работа с дифракционной решёткой и двойной щелью.
- Измерение углов дифракции и определение длины волны.

Определение параметров полупроводникового лазера

- Измерение спектра излучения.
- Температурные зависимости и энергетическая диаграмма.

Исследование характеристик фотодиодов и фотоприемников

- Вольт-амперные характеристики.
- Зависимость фототока от интенсивности падающего излучения.

Модуляция лазерного излучения

- Амплитудная и частотная модуляция.
- Использование электрооптических и акустооптических модуляторов.

Наблюдение нелинейных оптических эффектов

- Генерация второй гармоники (SHG).
- Зависимость эффективности преобразования от мощности входного излучения.

Измерение спектра поглощения и излучения квантовых точек (опционно)

- Работа с коллоидными нанокристаллами.
- Определение ширины запрещённой зоны по спектру.

Исследование световодов и волноводных структур

- Ввод излучения в волновод.
- Измерение потерь и распределения интенсивности.

2.3.4. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Аудитория и учебная лаборатория для проведения лабораторных занятий

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	M1 ¹	M2	M1	M2	M1	M2		
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		
Весы 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
	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$

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

3.1. Материалы по теоретической части курса

3.1.1. Учебник(и);

1. Сивухин Д.В. *Общий курс физики. Том 4: Оптика*. — М.: Физматлит, 2004.
2. Герлах В., Штельмах Х. *Квантовая электроника*. — М.: Мир, 1983.
3. Яровой Ю.Г. *Квантовая электроника и лазерная техника*. — М.: Радио и связь, 1990.
4. Saleh B.E.A., Teich M.C. *Fundamentals of Photonics*. — Wiley, 2019.
5. Svelto O. *Principles of Lasers*. — Springer, 2010.
6. Fox M. *Quantum Optics: An Introduction*. — Oxford University Press, 2006.
7. Haus H.A. *Electromagnetic Noise and Quantum Optical Measurements*. — Springer, 2000.

¹ Учебный Модуль

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

4.1. Планы лабораторных работ и практикумов

- ✓ Исследование порога генерации лазера
- ✓ Интерференция и когерентность лазерного излучения
- ✓ Дифракция лазерного излучения на щелях и решетках
- ✓ Изучение параметров полупроводникового лазера
- ✓ Исследование характеристик фотодиодов и фотоприемников
- ✓ Модуляция лазерного излучения (амплитудная и частотная)
- ✓ Наблюдение нелинейных оптических эффектов (генерация второй гармоники)
- ✓ Измерение спектра поглощения и излучения квантовых точек
- ✓ Работа с оптическими волноводами и измерение потерь

4.2. Вопросы и задания для самостоятельной работы студентов

- Сформулируйте условия возникновения вынужденного излучения и его отличие от спонтанного.
- Объясните принцип работы двухуровневой квантовой системы.
- Какие физические условия необходимы для генерации лазерного излучения?
- В чем состоят особенности работы полупроводникового лазера по сравнению с газовым?
- Объясните, что такое когерентность и как она измеряется.
- Перечислите основные нелинейные оптические эффекты и области их применения.
- Что такое генерация второй гармоники?
- Какие существуют типы модуляторов оптического излучения?
- Как работают фотодиоды и какие параметры их характеризуют?
- Что такое волновод и как он применяется в интегральной фотонике?

4.3. Образцы вариантов контрольных работ, тестов и/или других форм текущих и промежуточных контролей

- ✓ Построить энергетическую диаграмму для двухуровневой системы и объяснить переходы между уровнями.
- ✓ Рассчитать длину когерентности лазера с заданной шириной спектра.

- ✓ Смоделировать схему модуляции лазерного сигнала с помощью электрооптического модулятора.
- ✓ Подготовить сравнительную таблицу параметров различных типов лазеров (газовый, твердотельный, полупроводниковый).
- ✓ Проанализировать экспериментальные зависимости "мощность излучения – ток накачки" и определить порог генерации.
- ✓ Найти и описать пример применения квантовых точек в современной оптоэлектронике.
- ✓ Рассчитать длину волны при дифракции лазерного пучка на решетке с известным шагом.
- ✓ Подготовить краткий реферат на тему: «Применение фотонных интегральных схем в телекоммуникациях».
- ✓ Изучить и описать метод генерации одиночных фотонов и их роль в квантовой криптографии.
- ✓ Рассчитать углы дифракции и интерференции для стандартной двухщелевой схемы при заданной длине волны.

4.4. Перечень экзаменационных вопросов

1. Принцип действия лазера. Условия инверсии населённостей.
2. Спонтанное и вынужденное излучение: физический смысл и уравнения Эйнштейна.
3. Квантовая модель двухуровневой системы и её применение в оптической электронике.
4. Оптический резонатор: типы, назначение и характеристики.
5. Полупроводниковые лазеры: структура, принцип работы, особенности.
6. Принцип работы светодиода (LED) и отличие от лазера.
7. Методы модуляции оптического излучения (амплитудная, частотная, фазовая).
8. Электрооптические и акустооптические модуляторы: устройство и принцип действия.
9. Нелинейные оптические эффекты: генерация второй гармоники, эффект Керра.
10. Фотоэффект и работа полупроводниковых фотодетекторов.
11. Когерентность лазерного излучения: временная и пространственная.
12. Интерференция и дифракция света: примеры и практическое применение.
13. Волноводы и принципы работы фотонных интегральных схем.
14. Основы квантовой оптики: однопотонные источники, квантовая криптография.
15. Применения оптической электроники в телекоммуникациях и сенсорике.

4.5. Образцы экзаменационных билетов

ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Кафедра общей физики и квантовых наноструктур

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

Экзаменационный билет № **

1. Полупроводниковые лазеры: структура, принцип работы, особенности.
2. Фотоэффект и работа полупроводниковых фотодетекторов.
3. Основы квантовой оптики: однопотонные источники, квантовая криптография.

Зав. кафедрой ОФКН _____ Д.Б. Айрапетян
20__г.
