

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

Составлен в соответствии с
государственными требованиями к
минимуму содержания и уровню
подготовки выпускников по
направлению 11.03.02
Инфокоммуникационные технологии
и системы связи и Положением «Об
УМКД РАУ».

УТВЕРЖДАЮ:


Директор А.А.Саркисян
21.07.2023г.

Инженерно-физический институт

Кафедра: Квантовая и оптическая электроника

Автор:

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

**Дисциплина: Б1.В.ДВ.06.02 Физические основы квантовой
электроники**

**Направление: 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и
системы связи**

ЕРЕВАН 2023

Структура и содержание УМКД

1. Аннотация

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

Квантовая электроника - одно из наиболее быстро развивающихся направлений современной электроники. Она базируется на достижениях квантовой теории, оптики, физики твердого тела и полупроводниковой техники. В курсе излагаются физические основы процессов усиления и генерации электромагнитного излучения, рассматриваются принципы работы и основные характеристики приборов квантовой и оптической электроники.

1.2. Требования к исходным уровням знаний, умений и навыков студентов для прохождения дисциплины (что должен знать, уметь и владеть студент для прохождения данной дисциплины)

Студенты для прохождения данного курса должны знать основы оптики, квантовой механики, атомной физики, физики твердого тела, физики полупроводников.

1.3. Предварительное условие для прохождения (дисциплина(ы), изучение которых является необходимой базой для освоения данной дисциплины)

Для успешного освоения данного курса студенты должны иметь необходимую базу по оптике, квантовой механике и электродинамике, физике твердого тела, кристаллографии, физике полупроводников, комплексному анализу и математической физике.

2. Содержание

2.1. Цели и задачи дисциплины.

Основная цель изучаемой дисциплины - дать представление о фундаментальных физических процессах, лежащих в основе оптической и квантовой электроники, рассмотреть принцип действия, особенности конструкций, требования к активным материалам и элементам, возможности и технические характеристики приборов и устройств оптической электроники, подготовить будущих специалистов к теоретически грамотному их применению и дальнейшему изучению специальной литературы по отдельным вопросам данной отрасли.

Учебная задача: дать представление студентам о фундаментальных физических процессах взаимодействия резонансного электромагнитного излучения с атомами и молекулами, усиления и генерации электромагнитного излучения, оптических явлениях в диэлектрических кристаллах и полупроводниках, принципах работы различных типов лазеров и других устройств квантовой и оптической электроники.

2.2 Требования к уровню освоения содержания дисциплины (какие компетенции - знания, умения и навыки - должны быть сформированы у студента ПОСЛЕ прохождения данной дисциплины).

В результате изучения дисциплины студент должен:

- 1) Иметь представления о месте оптической и квантовой электроники в современной науке и технике и областях применения соответствующих приборов.
- 2) Знать и уметь использовать физическую сущность процессов, протекающих при взаимодействии электромагнитного (оптического) излучения с веществом, возможности и технические характеристики приборов и устройств квантовой и оптической электроники.
- 3) Иметь навыки оценки и измерения параметров материалов и устройств квантовой и оптической электроники.

2.3 Трудоемкость дисциплины и виды учебной работы (в академических часах и кредитах)

2.3.1 Объем дисциплины и виды учебной работы

| Виды учебной работы | Всего, в акад. часах |
|---|-------------------------------------|
| 1. Общая трудоемкость изучения дисциплины по семестрам, в т. ч.: | 216 (6 кр) |
| 1.1. Аудиторные занятия, в т. ч.: | 86 |
| 1.1.1. Лекции | 52 |
| 1.1.2. Практические занятия | - |
| 1.1.3. Лабораторные работы | 34 |
| 1.1. Самостоятельная работа, в т. ч.: | 103 |
| 1.2.1. Контактная самостоятельная работа | - |
| 1.2.2. Бесконтактная самостоятельная работа | 103 |
| Итоговый контроль | Экзамен 27 |

2.3.2 Распределение объема дисциплины по темам и видам учебной работы

| Разделы и темы дисциплины | Всего (ак. часов) | Лекции(ак. часов) | Практ. занятия (ак. часов) | Семинары (ак. часов) | Лабор. (ак. часов) |
|---|-------------------|--------------------|----------------------------|----------------------|--------------------|
| 1 | 2=3+6 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Модуль 1. | | | | | |
| Введение | 2 | 2 | - | - | - |
| Раздел 1. Взаимодействие электромагнитного излучения с атомами и молекулами | 18 | 10 | - | - | 8 |
| Раздел 2. Усиление и генерация электромагнитного излучения | 14 | 8 | - | - | 6 |
| Раздел 3. Свойства, распространение и преобразование лазерных пучков | 14 | 8 | - | - | 6 |
| Раздел 4. Газовые лазеры | 12 | 8 | - | - | 4 |
| Раздел 5. Твердотельные и жидкостные лазеры | 12 | 8 | - | - | 4 |
| Раздел 6. Полупроводниковые лазеры | 14 | 8 | - | - | 6 |
| ИТОГО | 86 | 52 | - | - | 34 |

2.3.3. Содержание разделов и тем дисциплины

Модуль 1

Введение

Предмет дисциплины и ее задачи. Особенности оптической электроники. Стандартная терминология, основные понятия и определения. Краткий исторический очерк. Преимущества оптического диапазона связи. ([1] Вв.1-3)

Раздел 1. Взаимодействие электромагнитного излучения с атомами и молекулами

Тема 1. Способы описания электромагнитного излучения

Способы описания электромагнитного излучения. Световые лучи. Принцип Ферма. Элементы квантовой теории излучения. Фотон и его основные свойства. Фотонные коллективы. Квантовые системы. Атом водорода. Квантовые числа. ([1] гл. 1, §§ 1.1, гл. 2, §§ 2.1)

Тема 2. Энергетические состояния атомов и молекул

Энергетические состояния атомов и молекул. Квантовые числа. Символика энергетических состояний атомов. Молекулярные уровни. Вращательные и колебательные уровни. Квантовые переходы. Вероятность перехода. Матричный элемент. Дипольное приближение. Правила отбора для электронных переходов. ([1] гл. 1, §§ 1.2-1.3, гл. 2, §§ 2.2)

Тема 3. Спонтанное и индуцированное излучение

Спонтанное и индуцированное излучение. Коэффициенты Эйнштейна. Уширение спектральных линий. Механизмы уширения. Однородное и неоднородное уширение. ([1] гл.2 , §§ 2.3-2.5)

Тема 4. Оптические характеристики вещества

Рассеяние света. Оптические характеристики вещества. Комплексный показатель преломления. Показатель поглощения. Соотношения Крамерса-Кронинга. ([1] гл. 2 §2.6 гл. 4 §4.1)

Раздел 2. Усиление и генерация электромагнитного излучения

Тема 5. Принцип работы лазеров и мазеров

Принцип работы лазеров и мазеров. Инверсия населенностей. Возбуждение активного вещества - накачка. Методы накачки. Кинетические уравнения. Двух-, трех-, и четырехуровневые схемы работы. Пороговая мощность источника накачки. ([1] гл. 3 §3.1-3.2)

Тема 6. Оптические резонаторы

Оптические резонаторы. Добротность резонатора. Потери в оптических резонаторах. Собственные типы колебаний - моды. Требования к резонаторам оптического диапазона. Типы резонаторов. Конфокальные резонаторы. Спектральные характеристики и распределение поля. Условие устойчивости. Неустойчивые резонаторы. Селекция аксиальных и неаксиальных типов колебаний. ([1] гл. 3 §3.3)

Тема 7. Одномодовая и многомодовая генерация

Условие самовозбуждения лазеров. Пороговая энергия накачки по генерации. Насыщения усиления. Одномодовая и многомодовая генерация. Нестационарная генерация. Модуляция добротности резонатора. Гигантские импульсы. Методы модуляции добротности. Синхронизация мод и сверхкороткие лазерные импульсы. ([1] гл. 3 §3.4-3.5)

Раздел 3. Свойства лазерных пучков

Тема 8. Свойства лазерных пучков

Монохроматичность. Поляризация. Когерентность. Пространственная и временная когерентность. Направленность лазерного излучения. Яркость. Энергетическая и фотометрическая яркость. ([1] гл. 3 §3.6)

Раздел 4. Газовые лазеры

Тема 15. Общая характеристика газовых лазеров, He-Ne и ионные лазеры

Общая характеристика и особенность газовых лазеров. Процессы в газовом разряде. Особенности устройства газоразрядных лазеров. Гелий-неоновый лазер. Ионные лазеры. Аргоновый лазер. ([2] лекц. 13,14)

Тема 16. Лазеры на парах металлов

Лазеры на самоограниченных переходах. Лазер на парах меди. Гелий-кадмиевый лазер. ([2] лекц. 14)

Тема 17. Молекулярные лазеры

Молекулярные лазеры. Газоразрядные CO₂ –лазеры с продольным и поперечным разрядом. Газодинамические лазеры. Эксимерные и химические лазеры. ([2] лекц. 15-18)

Раздел 5. Твердотельные и жидкостные лазеры

Тема 18. Твердотельные лазеры

Общая характеристика и особенности твердотельных лазеров. Активные материалы. Требования к матрицам. Требования к активаторам. Рубиновый лазер. Лазеры на кристаллах и стеклах, активированных неодимом. ([2] лекц. 19,20)

Тема 19. Жидкостные лазеры

Общая характеристика и особенности жидкостных лазеров. Лазеры на органических красителях. Перестройка частоты жидкостных лазеров. ([2] лекц. 22)

Раздел 6. Полупроводниковые лазеры

Тема 20. Полупроводниковые лазеры

Общая характеристика и особенность полупроводниковых лазеров. Требования к активным материалам. Лазеры с электронной и оптической накачкой. Инжекционные лазеры на гетеропереходах. Гетеролазеры с распределенной обратной связью. Перестраиваемые полупроводниковые ИК-лазеры. ([2] лекц. 24-25)

2.4 Распределение весов по формам контроля

| Формы контролей | Весы форм текущих контролей в результирующих оценках текущих контролей | | | Весы форм промежуточных контролей в оценках промежуточных контролей | | | Весы оценок промежуточных контролей и результирующих оценок текущих контролей в итоговых оценках промежуточных контролей | | | Весы итоговых оценок промежуточных контролей в результирующей оценке промежуточных контролей | Весы результирующей оценки промежуточных контролей и оценки итогового контроля в результирующей оценке итогового контроля |
|--|--|--------------|--------------|---|--------------|--------------|--|--------------|--------------|--|---|
| | M1 ¹ | M2 | M3 | M1 | M2 | M3 | M1 | M2 | M3 | | |
| Вид учебной работы/контроля | | | | | | | | | | | |
| Контрольная работа | | | | | | | | | | | |
| Тест | | | | | 0.4 | 0.4 | | | | | |
| Курсовая работа | | | | | | | | | | | |
| Лабораторные работы | | 0.5 | 0.5 | | | | | | | | |
| Письменные домашние задания | | | | | | | | | | | |
| Реферат | | | | | | | | | | | |
| Эссе | | | | | | | | | | | |
| Устный опрос | | 0.5 | 0.5 | | 0.6 | 0.6 | | | | | |
| <i>Другие формы (Указать)</i> | | | | | | | | | | | |
| Весы результирующих оценок текущих контролей в итоговых оценках промежуточных контролей | | | | | | | | 0.5 | 0.5 | | |
| Весы оценок промежуточных контролей в итоговых оценках промежуточных контролей | | | | | | | | 0.5 | 0.5 | | |
| 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 | | | | | | | | | | 0.5 | |
| Вес итоговой оценки 3-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей | | | | | | | | | | 0.5 | |
| Вес результирующей оценки промежуточных контролей в результирующей оценке итогового контроля | | | | | | | | | | | 0.4 |
| Вес оценки экзамена/зачета в результирующей оценке итогового контроля | | | | | | | | | | | 0.6 |
| | Σ = 0 | Σ = 1 | Σ = 1 | Σ = 0 | Σ = 1 | Σ = 1 | Σ = 0 | Σ = 1 | Σ = 1 | Σ = 1 | Σ = 1 |

¹ Учебный Модуль

3. Теоретический блок

3.1 Материалы по теоретической части курса

3.1.1; 3.1.2. Учебники и Учебные пособия

а) Основная литература

- [1] Пихтин А.Н. Физические основы квантовой электроники и оптоэлектроники.- М.: "Высшая школа", 1983.- 304 с.
- [2] Карлов Н.В. Лекции по квантовой электронике.- М.: "Наука", Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988.- 336 с.

б) Дополнительная литература

- [3] Звелто О. Принципы лазеров. М.: "Мир", 1984.- 400 с.
- [4] Страховский Г.М., Успенский А.В. Основы квантовой электроники.- М.: "Высшая школа", 1979.- 303 с.
- [5] Ярив А. Введение в оптическую электронику.- М.: "Высшая школа", 1983.- 398 с.
- [6] Тарасов Л.В. Введение в квантовую оптику.- М.: "Высшая школа", 1987.- 304 с.
- [7] Рябов С.Г., Торопкин Г.Р., Усольцев И.Ф. Приборы квантовой электроники.- М.: "Радио и связь", 1985.- 280 с.
- [8] Носов Ю.Р. Оптоэлектроника.- М.: "Советское радио", 1989.-360 с.
- [9] Основы оптоэлектроники. Суэмацу Я., Катаока С., Кисино К. и др.; Пер. с яп. М.: "Мир", 1988.- 288 с.

3.1.3. Краткий конспект лекций

Лекции читаются в форме РРТ презентации; файлы (краткие аннотации по каждой теме) предоставляются студентам

3.1.4. Электронные материалы

Электронные версии основных учебников предоставляются студентам в начале курса лекций

3.1.5. Глоссарий/ терминологический словарь

Термины объясняются по ходу лекций

4.1 Перечень экзаменационных вопросов

Экзаменационные вопросы

1. Способы описания электромагнитного излучения. Световые лучи. Принцип Ферма.
2. Элементы квантовой теории излучения. Фотон и его основные свойства. Фотонные коллективы. Квантовые системы.
3. Атом водорода. Квантовые числа.
4. Энергетические состояния атомов. Символика энергетических состояний атомов.
5. Молекулярные состояния. Колебательные и вращательные уровни.
6. Квантовые переходы. Вероятность перехода. Матричный элемент.
7. Спонтанное и индуцированное излучение. Коэффициенты Эйнштейна.
8. Дипольное излучение. Правила отбора для электронных переходов.
9. Уширение спектральных линий. Механизмы уширения. Однородное и неоднородное уширение.
10. Рассеяние света.
11. Оптические характеристики вещества. Комплексный показатель преломления. Показатель поглощения. Соотношения Крамерса-Кронинга.
12. Принцип работы лазеров и мазеров. Инверсия населенностей.

13. Возбуждение активного вещества (накачка). Методы накачки. Кинетические уравнения. Двух-, трех- и четырехуровневые схемы. Пороговая мощность.
14. Оптические резонаторы. Добротность резонатора. Потери в резонаторах. Собственные типы колебаний- моды. Требования к резонаторам.
15. Типы резонаторов. Спектральные характеристики и распределение поля. Устойчивые и неустойчивые резонаторы. Селекция мод.
16. Условие самовозбуждения лазеров. Пороговая энергия накачки. Насыщение усиления. Одномодовая и многомодовая генерация.
17. Нестационарная генерация. Модуляция добротности резонатора. Гигантские импульсы. Синхронизация мод и сверхкороткие лазерные импульсы.
18. Свойства лазерного излучения: монохроматичность, когерентность, направленность, яркость.
19. Диэлектрические волноводы. Волноводные моды. Ввод и вывод излучения в волноводы.
20. Оптика анизотропных сред. Тензор диэлектрической проницаемости. Оптическая индикатриса. Естественное двулучепреломление.
21. Электрооптические эффекты Покеляса и Керра. Магнитооптические эффекты. Упругооптические эффекты.
22. Нелинейная поляризуемость кристалла и нелинейные оптические эффекты.
23. Генерация гармоник. Условие фазового синхронизма.
24. Параметрическое преобразование и параметрический генератор света.
25. Прочие нелинейно-оптические эффекты: ВКР, ВРМБ, самофокусировка, оптическое просветление, оптический пробой, двухфотонное поглощение.
26. Оптические переходы в полупроводниках.
27. Оптическое поглощение в кристаллах. Механизмы поглощения.
28. Фотоэлектрические эффекты в однородных кристаллах.
29. Люминесценция полупроводников. Квазиуровни Ферми, механизмы излучательной релаксации.
30. Гетеропереходы в полупроводниках. Оптические эффекты в неоднородных структурах.
31. Общая характеристика газовых лазеров. Гелий-неоновый лазер.
32. Ионные лазеры. Аргоновый лазер.
33. Лазеры на самоограниченных переходах (лазеры на парах металлов). Эксимерные и химические лазеры.
34. Молекулярные лазеры. Непрерывные CO_2 лазеры.
35. Импульсные CO_2 лазеры. Газодинамические лазеры.
36. Газовые лазеры на электронных переходах в молекулах. Азотный лазер.
37. Общая характеристика лазеров на твердом теле.
38. Рубиновый и неодимовый лазеры.
39. Лазеры на красителях.
40. Полупроводниковые лазеры.

4.2 Образцы экзаменационных билетов

Экзаменационный билет №

1. Уширение спектральных линий. Механизмы уширения. Однородное и неоднородное уширение.
2. Рубиновый и неодимовый лазеры.