

**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 наноэлектроника и Положением «Об УМКД РАУ».

УТВЕРЖДАЮ:

Директор А.А. Саркисян

21.07. 2023г.

Инженерно-Физический институт

Кафедра: Квантовая и оптическая электроника

Автор: канд. физ.-мат. наук Газазян Эмиль Альфредович

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

**Дисциплина: Б1.В.ДВ.02.02 «Дополнительные главы
квантовой электроники»**

Направление: 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника»

Основные образовательные программы магистратуры:

«Квантовая и оптическая электроника»

1. Аннотация

В курсе излагаются основные физические идеи квантовой электроники и дано описание принципа действия наиболее важных лазеров. Курс предназначен для студентов будущих физиков-экспериментаторов и инженеров-физиков, и имеет целью дать им необходимый для того минимум начальных сведений по квантовой электронике. Курс содержит изложение физических принципов усиления и генерации света на основе индуцированного испускания излучения, способы получения инвертированных активных сред, формирование поля излучения в открытых резонаторах, методы генерации сверхкоротких лазерных импульсов.

Основные методы проведения занятий: лекции, семинары

Список литературы: содержит 14 наименований книг и монографий российских и зарубежных авторов; этот список поможет студентам освоить и создать свой профессиональный исследовательский инструментарий, обеспечить целостность обучения.

Краткое содержание курса: Распространение электромагнитного излучения в диэлектрических средах; квазиклассическая теория взаимодействия электромагнитного излучения с простейшими квантовыми системами; основы теории оптических резонаторов; классификация существующих лазеров по типам накачки и по типам активных материалов; семнадцать наиболее известных лазеров; тенденции развития; применения лазеров в физике, химии, биологии и медицине.

2. Требования к исходным уровням знаний и умений студентов.

Оптика, электродинамика, атомная физика, квантовая механика.

3. Цель и задачи дисциплины: ознакомление студентов с физическими процессами, лежащими в основе генерации лазерного излучения и основными конструктивными особенностями наиболее важных лазеров.

В задачу входит - ознакомить студентов с основами квазиклассической теории генерации лазерного излучения, с принципами работы приборов квантовой электроники и с возможностями применения этих знаний в практических исследованиях.

4. Требования к уровню освоения содержания дисциплины:

После изучения дисциплины студент должен:

Знать: принципы действия, конструктивно-технологические особенности, основные характеристики и параметры наиболее важных лазеров;

Уметь: правильно выбирать приборы квантовой электроники для применения в различных областях науки, использовать стандартную терминологию, определения, обозначения и единицы измерения физических величин;

Иметь: представление об основных физических принципах, лежащих в основе теории взаимодействия оптического излучения с веществом, возможностях и технических характеристиках приборов квантовой электроники

Владеть; модельным, математическим и компьютерным инструментарием расчета простейших характеристик и параметров приборов квантовой электроники.

5. Трудоемкости дисциплины и видов учебной работы по учебному плану

Виды учебной работы	Всего (ак. час)
<i>Общая трудоемкость изучения дисциплины, в т.ч.:</i>	108(Зкр)
1. Аудиторные занятия, в т. ч.:	34
1.1. Лекционные занятия	-
1.2. Семинарские занятия	-
1.3. Практические занятия	34
1.4. Лабораторные работы	-
2. Самостоятельная работа, в т. ч.:	74
2.1. Контактная самостоятельная работа	-
2.2. Бесконтактная самостоятельная работа	74
<i>Итоговый контроль</i>	<i>Зачет</i>

6. Распределение весов по формам контроля

Веса и формы контролей	Вес форм текущих контролей в результирующей оценке текущего контроля			Вес форм промежуточных контролей и результирующей оценки текущего контроля в итоговой оценке промежуточного контроля			Вес итоговых оценок промежуточных контролей в результирующей оценке промежуточного контроля	Вес результирующей оценки промежуточных контролей и оценки итогового контроля в результирующей оценке итогового контроля
	M1	M2	M3	M1	M2	M3		
Видучебной работы/ контроля								
Контрольная работа				0	0	0,4		
Тест								
Курсовая работа								
Лабораторные работы								
Письменные домашние задания	0	0	0,5					
Эссе								
Семинар	0	0	0,5					
Веса результирующих оценок текущих контролей в итоговых оценках соответствующих промежуточных контролей				0	0	0,6		
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	
Вес итоговой оценки 3-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей							1	
Вес результирующей оценки промежуточных контролей в результирующей оценке итогового контроля								0
Вес оценки экзамена/зачета в результирующей оценке итогового контроля								1
	$\Sigma=0$	$\Sigma=0$	$\Sigma=1$	$\Sigma=0$	$\Sigma=0$	$\Sigma=1$	$\Sigma=1$	$\Sigma=1$

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)
1	2	3	4	5	6
МОДУЛЬ 1.					
РАЗДЕЛ 1. Физические основы квантовой электроники	14			14	
<i>Тема 1.1 Распространение электромагнитного излучения в диэлектрических средах</i>	4	-	-	4	-
<i>Тема 1.2 Ширина линии</i>	2	-	-	2	-
<i>Тема 1.3 Взаимодействие электромагнитного излучения с резонансными средами</i>	2	-	-	2	-
<i>Тема 1.4 Взаимодействие электромагнитного излучения с резонансными средами.(продолжение)</i>	2	-	-	2	-
<i>Тема 1.5 Формирование поля излучения в резонаторе</i>	4	-	-	4	-
РАЗДЕЛ 2. Лазеры	20	-	-	20	-
<i>Тема 2.1 Способы получения инвертированных активных сред</i>	4	-	-	4	-
<i>Тема 2.2 Газовые лазеры и молекулярные лазеры</i>	2	-	-	2	-
<i>Тема 2.3 Лазеры на растворах органических красителей и лазеры на центрах окраски</i>	2	-	-	2	-
<i>Тема 2.4 Газодинамические, химические, плазменные лазеры, лазеры на свободных электронах .</i>	2	-	-	2	-
<i>Тема 2.5 Твердотельные лазеры</i>	4	-	-	4	-
<i>Тема 2.6 Полупроводниковые лазеры</i>	2	-	-	2	-
<i>Тема 2.7 Лазеры на гетероструктурах</i>	4	-	-	4	-
Итого	34	-	-	34	-

7.2 Содержание разделов и тем дисциплины

МОДУЛЬ 1.

РАЗДЕЛ 1. Физические основы квантовой электроники

Тема 1.1 Распространение электромагнитного излучения в диэлектрических средах

Уравнения Максвелла. Волновое уравнение. Свойства диэлектрической проницаемости среды. Метод медленно меняющихся амплитуд. Дисперсия среды, показатель преломления, коэффициент поглощения (усиления), групповая скорость, дисперсия групповой скорости. ([3] Гл.6, [11], Глава 1)

Тема 1.2. Ширина линии.

Понятие о спектре излучения. Преобразование Фурье и примеры вычисления различных спектров. Связь между шириной спектра и длительностью импульса. Ширина спектра спонтанного излучения. Связь с коэффициентом Эйнштейна для спонтанного излучения. Однородное и неоднородное уширения линии. Доплеровское уширение. Столкновительные уширения. Неоднородные уширения в твердотельных материалах. ([1], Лекция 2, [11] Глава 1.)

Тема 1.3. Взаимодействие электромагнитного излучения с резонансными средами.

Простейшая двухуровневая модель. Обозначения Дирака. Гамильтониан взаимодействия. Нестационарная теория возмущений. Вероятность перехода. Резонансное приближение. Вычисление коэффициентов Эйнштейна для индуцированных переходов. Матричный элемент дипольного перехода. Осцилляции Раби. ([3], Гл. 1, [1], Лекция 4, [7], [8])

Тема 1.4. Взаимодействие электромагнитного излучения с резонансными средами. (продолжение)

Понятие о квазиэнергии системы. Адиабатическое взаимодействие. Описание квантовомеханических систем с помощью матрицы плотности. Стационарное решение уравнения матрицы плотности. Показатель преломления и коэффициент поглощения (усиления) для двухуровневой атомарной среды. ([3], Гл. 1, [1], Лекция 4, [8])

Тема 1.5. Формирование поля излучения в резонаторе

Условия обеспечения генерации. Оптимальный коэффициент полезных потерь. Открытые и закрытые резонаторы. Добротность резонатора. Моды оптического резонатора. Дифракционные потери и число Френеля. Пассивные и активные резонаторы. Линзовый волновод. Конфокальный резонатор. ([2], Глава 2)

РАЗДЕЛ 2. ЛАЗЕРЫ

Тема 2.1 Способы получения инвертированных активных сред

Общие принципы создания инверсии. Скорость заселения рабочих уровней. Скорость очищения рабочих уровней. Трех- и четырехуровневые схемы. Механизмы заселения (возбуждения) рабочих уровней. Механизмы очищения (релаксации) рабочих уровней. Классификация типов накачки. Классификация лазеров по типу активных материалов с учетом различных типов накачки. Лазеры на разлетных молекулах (экимерные лазеры). ([2], Глава 1)

Тема 2.2 Газовые и молекулярные лазеры.

Особенности газообразной активной среды. Гелий-неоновый лазер. Схема рабочих уровней, особенности конструкции. Ионные лазеры. Отличительные особенности ионных лазеров. Аргоновый лазер. Схема рабочих уровней. Особенности конструкции. Кадмиевый лазер. Отличительные особенности. Пеннинговская ионизация. Схема рабочих уровней. Особенности молекулярных лазеров. Характеристики молекулярных спектров. CO₂ лазеры. Схема рабочих уровней. CO лазер и его отличительные особенности. Схема колебательных уровней молекулы CO. Каскадный характер генерации. ([2], 1.4, 1.7, [1], Лекция 13, Лекция 15).

Тема 2.3 Лазеры на растворах органических красителей и лазеры на центрах окраски

Классы органических красителей. Оптические свойства растворов органических красителей. Схема рабочих уровней. Продольная и поперечная оптическая накачка. Перестройка длины волны генерации. Спектральные, временные и энергетические характеристики излучения. Методы окрашивания кристаллов. Спектры поглощения и люминесценции. Параметры лазеров. Лазер на александрите. ([1], Лекция 22, Лекция 23).

Тема 2.4 Газодинамические, химические, плазменные лазеры, лазеры на свободных электронах

Тепловая накачка, особенности создания инверсии среды в газодинамических лазерах. Методы накачки в химических лазерах. Примеры используемых химических реакций. Лазеры с прямым и косвенным образованием инверсии. Лазер на фтороводороде. Методы накачки плазменных лазеров. Генерация СВЧ электронным потоком. Длина волны и синхронизм для ультрарелятивистского электронного пучка. Ондюляторный лазер. ([1], Лекция 17, Лекция 26, Лекция 27).

Тема 2.5 Твердотельные лазеры

Отличительные особенности твердотельных лазеров. Требования к матрице. Различные схемы рабочих уровней твердотельных лазеров. Рубиновый лазер. Расщепление уровней Cr^{3+} в кристаллическом поле. Дихроизм рубинового кристалла. Схема рабочих уровней рубинового лазера. Конструкции рубиновых лазеров. Неодимовый лазер. Уровни иона Nd^{3+} в различных матрицах. Схема рабочих уровней лазера на иттрий-алюминиевом гранате. ([2], 1.2., [3] Гл.7)

Тема 2.6 Полупроводниковые лазеры

Отличительные особенности полупроводниковых лазеров. Типы накачки. Прямозонные и непрямозонные полупроводники. Рекомбинационное свечение. Уровень Ферми, квазиуровни Ферми. Условие инверсии. Безизлучательная рекомбинация. Диодные инжекционные лазеры. ([1], Лекция 24, Лекция 25)

Тема 2.7 Лазеры на гетероструктурах

Модели гетероструктур. Энергетическая диаграмма идеального гетероперехода, сверхрешетки. Требования к материалам. Условия генерации. Диапазон длин волн излучения. Перестройка длин волн. Тенденции развития. Применение лазеров в физике, химии, биологии, медицине. ([1], Лекция 25, Лекция 27, [6])

7.3 Вопросы

1. История создания лазеров. Параметры современных лазеров
2. Вынужденное и спонтанное излучение. Когерентность вынужденного излучения.
3. Описание работы лазера в рамках модели Эйнштейна
4. Уравнения Максвелла. Волновое уравнение. Метод медленно меняющихся амплитуд
5. Дисперсия среды, показатель преломления, коэффициент поглощения (усиления), групповая скорость, дисперсия групповой скорости
6. Простейшая двухуровневая модель. Резонансное приближение. Осцилляции Раби.
7. Описание квантовомеханических систем с помощью матрицы плотности. Стационарное решение для двухуровневой системы.
8. Ширина линии. Различные механизмы уширений.

9. Механизмы заселения (возбуждения) рабочих уровней.
10. Механизмы очищения (релаксации) рабочих уровней.
11. Трехуровневая схема генерации-
12. Четырехуровневая схема генерации.
13. Классификация типов накачки.
14. Классификация лазеров по типу активных материалов с учетом различных типов накачки.
15. Лазеры на разлетных молекулах (эксимерные лазеры)..
16. Открытые и закрытые резонаторы..
17. Добротность резонатора. Оптимальный коэффициент полезных потерь
18. Моды оптического резонатора. Дифракционные потери и число Френеля.
19. Газовые лазеры, их особенности, преимущества и недостатки, типы накачки.
20. Гелий-неоновый лазер.
21. Отличительные особенности ионных лазеров
22. Аргонный лазер.
23. Кадмиевый лазер.. Пеннинговская ионизация
24. Особенности молекулярных лазеров.
25. Характеристики молекулярных спектров.
26. CO₂ лазеры..
27. . СО лазер
28. Лазеры на растворах органических красителей.
29. Химические лазеры
30. Твердотельные лазеры.
31. Рубиновый лазер.
32. Неодимовый лазер.
33. Полупроводниковые лазеры.
34. Двойные гетероструктуры
35. Лазеры на гетероструктурах

8. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

8.1. Рекомендуемая литература

а) Основная литература

1. Карлов Н.В. Лекции по квантовой электронике М.: Наука, 1991
2. Тарасов Л.В. Физика процессов в генераторах когерентного оптического излучения М.: "Радио и связь", 1981 Наука,.
3. Микаелян А.Л, Тер-Микаелян М.Л., Турков Оптические генераторы на твердом теле,. М.: Сов. Радио, 1967

в) Дополнительная литература

4. Херман Й, Вильгельми Б. Лазеры сверхкоротких световых импульсов, М: Мир. 1986.:
5. Коротеев Н.И., Шумай И.Л, Физика мощного лазерного излучения, .М.: Наука, 1991.
6. Алферов Ж.И. Двойные гетероструктуры: концепция и применения в физике, электронике и технологии, УФН, т.172, в.9, 1068, 2002
7. Фейман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Феймановские лекции по физике, М.: Мир, вып.6, 81966.
8. Тер-Микаелян М.Л. Простейшие атомные системы в резонансных лазерных полях,

- УФН, 167, в.12, 1997 .
9. Лансберг Г.С. Оптика. Наука, 1976.
 10. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред, М.: Наука, 1982.
 11. Ахманов С.А., Выслоух В.А., Чиркин А.С. Оптика фемтосекундных лазерных импульсов, М.: Наука, 1988
 12. Тер-Микаелян М.Л. История развития лазерной физики в Армении, Proceedings of Laser Physics-2010, Ashtarak, Armenia, 2010.

8.3. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Вычислительная техника, проектор, слайдоскоп.