

ГОУ ВПО Российско-Армянский (Славянский) университет



УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины: Б1.В.03 Физика лазеров и твердотельные лазерные материалы

Автор (ы) к.ф.-м.н., преподаватель Мужикян Павел Грачьевич
Ф.И.О, ученое звание (при наличии), ученая степень (при наличии)

Направление подготовки: 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника
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;

Дисциплина посвящена изучению физических принципов генерации лазерного излучения, устройству и функционированию различных типов лазеров, с акцентом на твердотельные лазерные материалы. В курсе рассматриваются основы взаимодействия излучения с веществом, условия вынужденного излучения, энергетические схемы лазерных переходов, характеристики резонаторов и методы накачки. Особое внимание уделяется физике твердотельных лазеров, включая материалы с активными и пассивными добавками (ионные кристаллы, стекла, керамика), их спектроскопическим свойствам и применению в современных лазерных технологиях. Курс включает также изучение нелинейных эффектов, режимов генерации (непрерывный, импульсный, модовая синхронизация), а также перспективных направлений развития лазерных систем.

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

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

1.3. 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-3	Готов осваивать принципы планирования и методы автоматизации эксперимента на основе информационно-измерительных комплексов как средства повышения точности и снижения затрат на его проведение, овладевать навыками	ПК-3.1	Знает способы организации и проведения экспериментальных исследований
		ПК-3.2	Умеет самостоятельно

	измерений в реальном времени	ПК-3.3	проводить экспериментальные исследования Владеет навыками проведения исследования с применением современных средств и методов
ПК-4	Способен к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов	ПК-4.1	Знает способы организации и проведения экспериментальных исследований
		ПК-4.2	Умеет самостоятельно проводить экспериментальные исследования
		ПК-4.3	Владеет навыками проведения исследования с применением современных средств и методов

2. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

2.1. Цели и задачи дисциплины

Цель дисциплины:

Формирование у студентов фундаментальных знаний о физических принципах работы лазеров, особенностях твердотельных лазерных материалов, а также развитие навыков анализа и оценки характеристик лазерных систем с целью их эффективного применения в науке, промышленности и медицине.

Задачи дисциплины:

Задачами дисциплины являются: изучение физических основ взаимодействия излучения с веществом и условий возникновения вынужденного излучения; освоение классификации и принципов работы различных типов лазеров, включая особенности конструкции твердотельных лазеров; ознакомление с физико-химическими свойствами лазерных материалов и их влиянием на параметры генерации; изучение строения и свойств оптических резонаторов и режимов работы лазеров (непрерывный, импульсный, Q-переключение, модовая синхронизация); развитие у студентов навыков расчёта характеристик лазерного излучения и анализа спектроскопических свойств активных сред; а также расширение представлений о современных областях применения лазеров в науке, промышленности и медицине.

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.:	32	32
1.1.1. Лекции	16	16
1.1.2. Практические занятия, в т. ч.	16	16
1.1.3. Лабораторные работы		
1.2. Самостоятельная работа, в т. ч.:	58	58
1.3. Консультации		
Итоговый контроль (Экзамен, Зачет, диф. зачет - указать)	Экзамен 54	Экзамен 54

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
Тема 1. Введение в физику лазеров	2	1	1
Тема 2. Основы взаимодействия излучения с веществом	4	2	2
Тема 3. Принцип действия лазера	2	1	1
Тема 4. Твердотельные лазеры: классификация и принципы работы	4	2	2
Тема 5. Режимы генерации лазерного излучения	2	1	1
Тема 6. Конструкция и параметры оптического резонатора	4	2	2
Тема 7. Спектроскопические характеристики твердотельных	4	2	2
Тема 8. Тепловые и механические свойства активных сред	4	2	2
Тема 9. Современные твердотельные лазеры и их применение	4	2	2
Тема 10. Перспективы развития лазерных технологий	2	1	1
ИТОГО	32	16	16

2.3.2. Краткое содержание разделов дисциплины в виде тематического плана

Тема 1. Введение в физику лазеров

Основные понятия, история развития лазерной техники, структура лазеров, области применения.

Тема 2. Основы взаимодействия излучения с веществом

Поглощение, вынужденное и самопроизвольное излучение, коэффициенты Эйнштейна, условия инверсии населённости.

Тема 3. Принцип действия лазера

Лазерный цикл, генерация и усиление излучения, роль активной среды и резонатора.

Тема 4. Твердотельные лазеры: классификация и принципы работы

Типы твердотельных лазеров (на ионных кристаллах, стеклах, керамике), примесные и матричные материалы.

Тема 5. Режимы генерации лазерного излучения

Непрерывная генерация, импульсный режим, Q-переключение, модовая синхронизация.

Тема 6. Конструкция и параметры оптического резонатора

Типы резонаторов, устойчивость, расходимость пучка, добротность.

Тема 7. Спектроскопические характеристики твердотельных лазерных материалов

Поглощательные и эмиссионные спектры, ширина полосы, перекрытие спектров, люминесценция.

Тема 8. Тепловые и механические свойства активных сред

Влияние тепловой нагрузки, термическое линзообразование, охлаждение активных элементов.

Тема 9. Современные твердотельные лазеры и их применение

Лазеры на основе Nd:YAG, Ti:Sapphire, лазеры с самофокусировкой и нелинейными эффектами. Применение в медицине, спектроскопии, промышленности.

Тема 10. Перспективы развития лазерных технологий

Ультракороткие импульсы, компактные и мощные лазерные системы, интеграция с фотонными схемами.

2.3.3. Краткое содержание практических занятий

Изучение спектров излучения различных типов лазеров

Работа с He-Ne, диодными и твердотельными лазерами, измерение длины волны и ширины спектральной линии.

Определение порога генерации лазера

Исследование зависимости выходной мощности от тока накачки и определение порога генерации.

Измерение характеристик лазерного пучка

Определение диаметра пучка, угла расходимости, формы мод.

Исследование влияния резонатора на свойства излучения

Подбор оптической схемы, настройка резонатора, измерение добротности.

Регистрация и анализ импульсных режимов генерации

Работа с Q-переключателями, осциллографическое измерение длительности и частоты импульсов.

Исследование спектров люминесценции твердотельных активных сред

Работа с кристаллами, стеклами и керамиками, анализ излучения и перекрытия спектров.

Изучение температурного влияния на характеристики лазера

Влияние нагрева на длину волны, эффективность генерации и стабильность пучка.

Моделирование и расчет лазерных систем

Расчет энергетических уровней, коэффициентов усиления и других параметров с использованием специализированного ПО.

2.3.4. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- Аудитория для проведения практических 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
	M1 ¹	M2	M1	M2	M1	M2		
Вид учебной работы/контроля								
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	
Вес результирующей оценки промежуточных контролей в результирующей оценке итогового контроля								0.5
Вес итогового контроля (Экзамен/зачет) в результирующей оценке итогового контроля								0.5
	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$

¹ Учебный Модуль

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

3.1. Материалы по теоретической части курса

3.1.1. Учебник(и);

С. А. Ахманов, Р. В. Хохлов — *Основы квантовой электроники*

М. И. Лисицын — *Лазеры и лазерная техника*

А. Е. Беляев — *Физика лазеров*

В. П. Милютин, Ю. М. Попов — *Физические основы лазеров*

В. Н. Уваров, И. Е. Акимов — *Твердотельные лазеры*

В. Е. А. Сале и М. Вольф — *Лазеры и оптоэлектроника*

O. Svelto — *Principles of Lasers* (перевод на русский язык: *Принципы действия лазеров*)

William T. Silfvast — *Laser Fundamentals* (рус. *Основы лазеров*)

Ю. А. Барабашов — *Теория и техника лазеров*

В. В. Дьяконов — *Лазеры: физика и техника генерации*

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

4.1. Планы практических занятий

Практическое занятие 1. Основы физики лазеров и взаимодействия излучения с веществом

(Тема 1 + Тема 2)

- **Цель:** изучить базовые принципы работы лазеров и взаимодействия излучения с веществом.
- **Основные вопросы:**
 - Принцип вынужденного и спонтанного излучения.
 - Коэффициенты Эйнштейна, условия инверсии населённостей.
 - Основные области применения лазеров.
- **Задания:**
 - Рассчитать условия инверсии для двухуровневой и трёхуровневой систем.
 - Привести примеры использования лазеров в спектроскопии и медицине.

Практическое занятие 2. Принцип действия и структура лазера

(Тема 3 + элементы Тема 6)

- **Цель:** освоить принцип генерации лазерного излучения, роль активной среды и резонатора.
- **Основные вопросы:**
 - Лазерный цикл: накачка, инверсия, генерация, усиление.
 - Структура лазера: активная среда, оптический резонатор, зеркало.
- **Задания:**
 - Рассчитать порог усиления для заданной активной среды.
 - Нарисовать схему простейшего лазера и указать основные элементы.

Практическое занятие 3. Твердотельные лазеры: классификация и свойства

(Тема 4 + элементы Тема 7)

- **Цель:** изучить классификацию твердотельных лазеров и их спектроскопические характеристики.
- **Основные вопросы:**
 - Разновидности твердотельных лазеров (Nd:YAG, Ti:Sapphire).
 - Поглощательные и эмиссионные спектры, ширина полос.
- **Задания:**
 - Составить таблицу параметров Nd:YAG и Ti:Sapphire лазеров.
 - Рассчитать энергетические уровни и длину волны генерации.

Практическое занятие 4. Режимы генерации лазерного излучения

(Тема 5)

- **Цель:** изучить режимы генерации излучения: непрерывный, импульсный, Q-переключение, модовая синхронизация.
- **Основные вопросы:**
 - Преимущества и области применения различных режимов.
 - Влияние режимов на длительность импульса и мощность.
- **Задания:**
 - Рассчитать длительность импульса при Q-переключении.
 - Определить среднюю и пиковую мощность при импульсном режиме.

Практическое занятие 5. Тепловые и механические свойства активных сред

(Тема 8)

- **Цель:** изучить тепловые эффекты и механические свойства активных сред.
- **Основные вопросы:**
 - Термическое линзообразование и его влияние.
 - Методы охлаждения активных элементов.
- **Задания:**
 - Рассчитать изменение показателя преломления при нагреве активного кристалла.
 - Проанализировать влияние тепловой нагрузки на устойчивость лазерного пучка.

Практическое занятие 6. Современные твердотельные лазеры и перспективы развития (Тема 9 + Тема 10)

- **Цель:** изучить современные твердотельные лазеры, их применение и перспективы развития.
- **Основные вопросы:**
 - Современные лазеры (Nd:YAG, Ti:Sapphire) и их области применения.
 - Ультракороткие импульсы, компактные системы, фотонные интеграции.
- **Задания:**
 - Подготовить мини-доклад (5 мин) об одном типе современного лазера и его применении.
 - Рассчитать параметры генерации ультракоротких импульсов

4.2. Вопросы и задания для самостоятельной работы студентов

- ✓ Описать условия возникновения вынужденного излучения и его отличия от спонтанного.
- ✓ Рассчитать длину волны лазерного излучения при заданных параметрах перехода.
- ✓ Сравнить принципы работы твердотельного, газового и полупроводникового лазеров.
- ✓ Обосновать выбор активной среды для твердотельного лазера, исходя из спектроскопических характеристик.
- ✓ Рассчитать порог генерации для лазера при заданной длине резонатора и коэффициенте усиления.
- ✓ Проанализировать режимы генерации лазера: непрерывный, импульсный, Q-переключение.
- ✓ Описать физику модовой синхронизации и её значение для получения ультракоротких импульсов.
- ✓ Исследовать влияние температуры на спектральные и энергетические характеристики твердотельного лазера.
- ✓ Рассчитать энергетическую диаграмму лазерного перехода и определить уровни накачки.
- ✓ Подготовить презентацию на тему: «Современные области применения твердотельных лазеров».

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

Вариант 1

1. Объясните принцип действия лазера. Перечислите и кратко охарактеризуйте три необходимых условия для генерации лазерного излучения.
2. Рассчитайте длину волны излучения для перехода с энергией 2.0 эВ.
3. Опишите особенности твердотельных лазеров и приведите примеры используемых активных сред.
4. Постройте энергетическую диаграмму для трёхуровневой лазерной схемы.
5. В чем заключается физическая суть режима Q-переключения?

Вариант 2

1. Сравните спонтанное и вынужденное излучение: физические отличия и роль в работе лазера.
2. Рассчитайте частоту лазерного излучения, если известна длина волны 1064 нм.
3. Охарактеризуйте Nd:YAG-лазер: активная среда, длина волны, область применения.
4. Что такое лазерный резонатор? Какие его параметры влияют на стабильность генерации?
5. Объясните понятие модовой синхронизации и её значение для получения коротких импульсов.

Вариант 3

1. Охарактеризуйте разницу между двухуровневой и четырёхуровневой схемами генерации.
2. Определите порог накачки для заданного коэффициента усиления и длины резонатора.
3. Приведите классификацию лазеров по типу активной среды и принципу накачки.
4. Объясните, как твердотельный лазер может быть использован в медицине.
5. Рассчитайте ширину спектральной линии при заданной добротности резонатора.

4.4. Перечень экзаменационных вопросов

1. Принцип действия лазера. Три условия лазерной генерации.
2. Механизмы спонтанного, вынужденного и индуцированного излучения.
3. Энергетические схемы: двух-, трёх- и четырёхуровневые лазерные системы.
4. Роль инверсии населённостей в работе лазера.
5. Классификация лазеров по типу активной среды (твердотельные, газовые, полупроводниковые и др.).
6. Характеристики твердотельных лазеров. Примеры активных сред.

7. Режимы генерации лазеров: непрерывный, импульсный, Q-переключение, модовая синхронизация.
8. Строение и функции элементов лазерного резонатора.
9. Порог генерации лазера. Условия и расчет.
10. Явление модуляции добротности (Q-switching): принципы и схемы реализации.
11. Метод модовой синхронизации. Получение фемтосекундных импульсов.
12. Затухание и усиление лазерного излучения в активной среде.
13. Тепловые эффекты в твердотельных лазерах и методы их компенсации.
14. Спектральные характеристики лазерного излучения: ширина линии, стабильность, добротность.
15. Применение твердотельных лазеров в науке, медицине, промышленности и телекоммуникациях.

4.5. Образцы экзаменационных билетов

ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Кафедра общей физики и квантовых наноструктур

Направление: Электроника и наноэлектроника
Дисциплина: Физика лазеров и твердотельные лазерные материалы
(магистратура II-ой курс, I-ый семестр)

Экзаменационный билет № **

1. Роль инверсии населённости в работе лазера.
2. Явление модуляции добротности (Q-switching): принципы и схемы реализации.
3. Тепловые эффекты в твердотельных лазерах и методы их компенсации.

Зав. кафедрой ОФКН _____ Д.Б. Айрапетян
20__ г.
