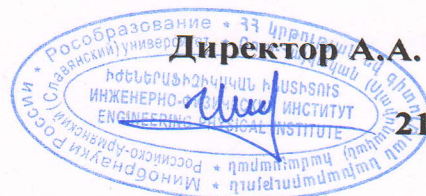


**ГОУ ВПО РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ  
(СЛАВЯНСКИЙ) УНИВЕРСИТЕТ**

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: д-р физ.-мат.наук Папоян Арам Вардгесович**

***УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС***

**Дисциплина: Б1.В.07 «Физика лазеров и твердотельные лазерные материалы»**

**Направление: «Электроника и наноэлектроника»  
11.04.04**

**Основная образовательная программа магистратуры:  
«Квантовая электроника»**

## 1. Аннотация

Курс лекций под общим названием "Физика лазеров и твердотельные лазерные материалы" направлен на ознакомление с основными принципами работы лазеров, а также применение различных материалов в качестве активных сред твердотельных лазеров. В рамках курса будут рассмотрены теоретические основы оптических квантовых генераторов, их устройство, классификация, применение и современные тенденции в лазерной технике. Отдельно будут рассмотрены процессы переноса энергии накачки в примесной подсистеме лазерных кристаллов и методы улучшения эффективности уже существующих лазеров.

### Цель преподавания дисциплины:

Целью дисциплины является ознакомление студентов с современным состоянием и перспективами развития лазерной физики и техники, изучение основ физики лазеров, особенностей распространения лазерного излучения, принципов действия и технических характеристик лазеров различных типов, процессов в лазерах и характеристик их излучения. Также теоретически будут рассмотрены различные процессы переноса энергии накачки в твердотельных лазерных материалах.

Учебная задача: Задачи курса состоят в изложении принципиальных понятий физики лазеров и развитие основ понимания физических процессов, протекающих в этих системах, рассмотрении существующих классов лазеров, а также изучении и моделировании различных процессов излучательного и безызлучательного переноса энергии в твердотельных лазерных материалах.

Основные методы проведения занятий, лекции, практическая работа, самостоятельная работа.

Список литературы: содержит 3 наименований книг отечественных и зарубежных авторов, 1 диссертацию; этот список поможет студентам освоить и создать свой профессиональный исследовательский инструментарий, обеспечить целостность обучения.

Краткое содержание курса: Из истории создания лазеров. Спонтанное и вынужденное излучение; поглощение. Принцип работы лазера; схемы накачки. Свойства лазерных пучков. Взаимодействие излучения с веществом. Краткое введение в теорию излучения черного тела. Поглощение и вынужденное излучение. Спонтанное излучение; безызлучательная релаксация. Механизмы уширения линии. Насыщение; вырождение уровней. Оптическая накачка. Электрическая накачка. Пассивные оптические резонаторы. Плоскопараллельный и конфокальный резонаторы. Обобщенный сферический резонатор; неустойчивые резонаторы. Непрерывный и нестационарный режимы работы лазеров. Скоростные уравнения. Непрерывный режим работы лазера. Нестационарный режим работы лазера. Твердотельные лазеры. Полупроводниковые лазеры. Газовые лазеры; лазеры на красителях; лазеры на центрах окраски;

лазеры на свободных электронах. Структурные и физические свойства кристаллов LN и YAG. Спектроскопические характеристики кристаллов YAG и LN. Кооперативные явления. Моделирование процессов с помощью скоростных уравнений.

## **2. Требования к исходным уровням знаний и умений студентов**

**Знать:** Базовые знания по теории поля, квантовой механике, статистической физике.

**Уметь:** Работать с программами для математических расчетов Wolfram Mathematica или MatLab (желательно).

**Владеть:** Русским и английским языками.

## **3. Цель и задачи дисциплины**

Основная цель изучаемой дисциплины — ознакомление студентов с основами физики лазеров, принципом действия и техническими характеристиками лазеров различных типов; рассмотрение процессов перераспределения энергии в твердотельных лазерных материалах.

Подготовка будущих специалистов в области физики лазеров с необходимым багажом теоретических и прикладных знаний и дальнейшему изучению специальной литературы по отдельным вопросам данной отрасли.

## **4. Требования к уровню освоения содержания дисциплины**

**Знать:** Основы лазерной физики и техники, физические процессы, происходящие в лазерах, принцип действия лазеров различных типов и их технические характеристики, особенности характеристик излучения.

**Уметь:** Разбираться в номенклатуре лазеров и их характеристиках.

**Владеть:** Навыками для реализации моделирования физических процессов, протекающих в твердотельных лазерных материалах.

## 5. Трудоемкости дисциплины и видов учебной работы по учебному плану

<b>Виды учебной работы</b>	<b>Всего (ак. час)</b>
<b><i>Общая трудоемкость изучения дисциплины, в т.ч.:</i></b>	<b>144(4кр)</b>
<b>1. Аудиторные занятия, в т. ч.:</b>	<b>34</b>
1.1. Лекционные занятия	<b>18</b>
1.2. Семинарские занятия	-
1.3. Практические занятия	<b>16</b>
1.4. Лабораторные работы	-
<b>2. Самостоятельная работа, в т. ч.:</b>	<b>56</b>
2.1. Контактная самостоятельная работа	-
2.2. Бесконтактная самостоятельная работа	<b>56</b>
<b><i>Итоговый контроль</i></b>	<b><i>Экзамен 54</i></b>

## 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		
<b>Вид учебной работы/ контроля</b>	M1	M2	M3	M1	M2	M3		
Контрольная работа				0	0	1		
Тест								
Курсовая работа								
Лабораторные работы								
<b>Письменные домашние задания</b>	0	0	0,5					
Эссе								
<b>Семинар</b>	0	0	0,5					
<b>Веса результирующих оценок текущих контролей в итоговых оценках соответствующих промежуточных контролей</b>				0	0	0		
<b>Вес итоговой оценки 1-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей</b>							0	
<b>Вес итоговой оценки 2-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей</b>							0	
<b>Вес итоговой оценки 3-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей</b>							1	
<b>Вес результирующей оценки промежуточных контролей в результирующей оценке итогового контроля</b>								0,8
<b>Вес оценки экзамена/зачета в результирующей оценке итогового контроля</b>								0,2
	$\Sigma = 0$	$\Sigma = 0$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 0$	$\Sigma = 0$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$

## 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. ФИЗИКА ЛАЗЕРОВ. ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ ЛАЗЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ					
<b><u>Раздел 1. Лазеры</u></b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>-</b>	<b>0</b>	<b>-</b>
<i>Тема 1.1. Из истории создания лазеров; спонтанное и вынужденное излучение; поглощение</i>	1	1	-	0	-
<i>Тема 1.2. Принцип работы лазера; схемы накачки</i>	1	1	-	0	-
<i>Тема 1.3. Свойства лазерных пучков</i>	1	1	-	0	-
<b><u>Раздел 2. Взаимодействие излучения с веществом</u></b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>-</b>
<i>Тема 2.1. Краткое введение в теорию излучения черного тела</i>	1	1	-	0	-
<i>Тема 2.2. Поглощение и вынужденное излучение</i>	1	1	-	0	-
<i>Тема 2.3. Спонтанное излучение; безызлучательная релаксация</i>	1	1	-	0	-
<i>Тема 2.4. Механизмы уширения линии</i>	2	1	-	1	-
<i>Тема 2.5. Насыщение; вырождение уровней</i>	1	1	-	0	-
<b><u>Раздел 3. Процессы накачки</u></b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>-</b>
<i>Тема 3.1. Оптическая накачка</i>	2	1	-	1	-
<i>Тема 3.2. Электрическая накачка</i>	2	1	-	1	-
<b><u>Раздел 4. Пассивные оптические резонаторы</u></b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>-</b>
<i>Тема 4.1. Введение; плоскопараллельный и конфокальный резонаторы</i>	2	1	-	1	-
<i>Тема 4.2. Обобщенный сферический резонатор; неустойчивые резонаторы</i>	2	1	-	1	-
<b><u>Раздел 5. Непрерывный и нестационарный режимы работы лазеров</u></b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>-</b>	<b>4</b>	<b>-</b>

<i>Тема 5.1. Скоростные уравнения</i>	2	1	-	1	-
<i>Тема 5.2. Непрерывный режим работы лазера</i>	2	1	-	1	-
<i>Тема 5.3. Два числовых примера</i>	2	1	-	1	-
<i>Тема 5.4. Нестационарный режим работы лазера</i>	2	1	-	1	-
<b><u>Раздел 6. Типы лазеров</u></b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>-</b>
<i>Тема 6.1. Твердотельные лазеры; полупроводниковые лазеры</i>	2	1	-	1	-
<i>Тема 6.2. Газовые лазеры; лазеры на красителях; лазеры на центрах окраски; лазеры на свободных электронах</i>	2	1	-	1	-
<b><u>Раздел 7. Структурные и физические свойства кристаллов <math>LiNbO_3</math> и <math>Y_3Al_5O_{12}</math></u></b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>-</b>	<b>1</b>	<b>-</b>
<i>Тема 7.1. Кристаллы <math>LiNbO_3</math> (LN); кристаллы <math>Y_3Al_5O_{12}</math> (YAG)</i>	1	0	-	1	-
<b><u>Раздел 8. Спектроскопические характеристики кристаллов YAG и LN</u></b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>-</b>	<b>6</b>	<b>-</b>
<i>Тема 8.1. Спектральные свойства кристаллов <math>YAG:Ce^{3+}-Er^{3+}</math>, <math>YAG:Ce^{3+}</math>, <math>YAG:Er^{3+}</math>; кооперативные явления</i>	2	0	-	2	-
<i>Тема 8.2. Спектральные свойства кристаллов <math>LN:Yb^{3+}-Er^{3+}</math>, <math>LN:Yb^{3+}</math>, <math>LN:Er^{3+}</math>; кооперативные явления</i>	2	0	-	2	-
<i>Тема 8.3. Моделирование процессов с помощью скоростных уравнений</i>	2	0	-	2	-
<b>ИТОГО</b>	<b>36</b>	<b>18</b>	<b>-</b>	<b>18</b>	<b>-</b>

## 7.2 Содержание разделов и тем дисциплины

### МОДУЛЬ 1.

#### ФИЗИКА ЛАЗЕРОВ

##### Раздел 1. Лазеры

*Тема 1.1. Из истории создания лазеров; спонтанное и вынужденное излучение; поглощение ([1], [2])*

*Тема 1.2. Принцип работы лазера; схемы накачки ([1], [2])*

*Тема 1.3. Свойства лазерных пучков*

Монохроматичность, когерентность, направленность, яркость ([1], [2])

## **Раздел 2. Взаимодействие излучения с веществом**

*Тема 2.1. Краткое введение в теорию излучения черного тела* ([1])

*Тема 2.2. Поглощение и вынужденное излучение*

Вероятности поглощения и вынужденного излучения, разрешенные и запрещенные переходы, сечение перехода, коэффициенты поглощения и усиления ([1])

*Тема 2.3. Спонтанное излучение; безызлучательная релаксация*

Полуклассический подход, квантовоэлектродинамический подход, термодинамический подход Эйнштейна, захват излучения, сверхизлучение, суперлюминесценция ([1], [2])

*Тема 2.4. Механизмы уширения линии*

Однородное уширение, неоднородное уширение ([1])

*Тема 2.5. Насыщение; вырождение уровней*

Насыщение поглощения, насыщение усиления ([1])

## **Раздел 3. Процессы накачки**

*Тема 3.1. Оптическая накачка*

КПД накачки, скорость накачки ([1], [2])

*Тема 3.2. Электрическая накачка*

Возбуждение электронным ударом, эффективность накачки ([1])

## **Раздел 4. Пассивные оптические резонаторы**

*Тема 4.1. Введение; плоскопараллельный и конфокальный резонаторы*

Приближенная теория Шавлова и Таунса ([1])

*Тема 4.2. Обобщенный сферический резонатор; неустойчивые резонаторы*

Амплитуды мод, дифракционные потери и резонансные частоты, условие устойчивости ([1], [2])

## **Раздел 5. Непрерывный и нестационарный режимы работы лазеров**

*Тема 5.1. Скоростные уравнения*

Четырехуровневый лазер, трехуровневый лазер ([1], [2])

*Тема 5.2. Непрерывный режим работы лазера*

Четырехуровневый лазер, трехуровневый лазер, оптимальная связь на выходе лазера, одночастотный и одномодовый режимы генерации ([1])

*Тема 5.3. Два числовых примера* ([1])



#### ***Тема 5.4. Нестационарный режим работы лазера***

Пичковый режим работы одномодового и многомодового лазеров, модуляция добротности, синхронизация мод ([1], [2])

### **Раздел 6. Типы лазеров**

#### ***Тема 6.1. Твердотельные лазеры, полупроводниковые лазеры***

Лазер на рубине, неодимовые лазеры, фотофизические свойства полупроводниковых лазеров, свойства полупроводниковых лазеров ([1], [2])

***Тема 6.2. Газовые лазеры; лазеры на красителях; лазеры на центрах окраски; лазеры на свободных электронах ([1])***

## **ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ ЛАЗЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

### **Раздел 7. Структурные и физические свойства кристаллов $\text{LiNbO}_3$ и $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$**

***Тема 7.1. Кристаллы  $\text{LiNbO}_3$  (LN); кристаллы  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$  (YAG) ([3])***

### **Раздел 8. Спектроскопические характеристики кристаллов YAG и LN**

***Тема 8.1. Спектральные свойства кристаллов  $\text{YAG:Ce}^{3+}\text{-Er}^{3+}$ ,  $\text{YAG:Ce}^{3+}$ ,  $\text{YAG:Er}^{3+}$ ; кооперативные явления***

Спектральные свойства кристаллов  $\text{YAG:Ce}^{3+}\text{-Er}^{3+}$ ,  $\text{YAG:Ce}^{3+}$ ,  $\text{YAG:Er}^{3+}$ , передача энергии электронного возбуждения от донорных ионов акцепторным при селективных возбуждениях на различных длинах волн, ап-конверсионные явления в исследуемых кристаллах ([3])

***Тема 8.2. Спектральные свойства кристаллов  $\text{LN:Yb}^{3+}\text{-Er}^{3+}$ ,  $\text{LN:Yb}^{3+}$ ,  $\text{LN:Er}^{3+}$ ; кооперативные явления***

Спектральные свойства кристаллов  $\text{LN:Yb}^{3+}\text{-Er}^{3+}$ ,  $\text{LN:Yb}^{3+}$ ,  $\text{LN:Er}^{3+}$ , передача энергии электронного возбуждения от донорных ионов акцепторным при селективных возбуждениях на различных длинах волн, ап-конверсионные явления в исследуемых кристаллах ([3])

***Тема 8.3. Моделирование процессов с помощью скоростных уравнений***

Моделирование ап-конверсионных и крос-релаксационных процессов протекающих в примесной подсистеме исследуемых кристаллов с помощью скоростных уравнений. Модифицированные скоростные уравнения. Решение скоростных уравнений числовыми методами. ([3])

### **7.3 Вопросы**

- 1. Свойства лазерных пучков.*
- 2. Излучение черного тела.*
- 3. Вероятности поглощения и вынужденного излучения.*
- 4. Разрешенные и запрещенные переходы.*
- 5. Сечение перехода, коэффициенты поглощения и усиления.*
- 6. Захват излучения, сверхизлучение, суперлюминесценция.*
- 7. Механизмы уширения линии.*
- 8. Насыщение, вырождение уровней.*
- 9. Оптическая накачка, электрическая накачка.*
- 10. Плоскопараллельный резонатор, конфокальный резонатор.*
- 11. Обобщенный сферический резонатор.*
- 12. Неустойчивые резонаторы.*
- 13. Скоростные уравнения.*
- 14. Непрерывный режим работы лазера.*
- 15. Нестационарный режим работы лазера.*
- 16. Твердотельные лазеры.*
- 17. Полупроводниковые лазеры.*
- 18. Газовые лазеры, лазеры на красителях.*
- 19. Кристаллы  $LiNbO_3$ .*
- 20. Кристаллы  $Y_3Al_5O_{12}$ .*
- 21. Спектральные свойства кристаллов  $YAG:Ce^{3+}-Er^{3+}$ ,  $YAG:Ce^{3+}$ ,  $YAG:Er^{3+}$ .*
- 22. Спектральные свойства кристаллов  $LN:Yb^{3+}-Er^{3+}$ ,  $LN:Yb^{3+}$ ,  $LN:Er^{3+}$ .*
- 23. Ап-конверсионные и крос-релаксационные процессы в примесных подсистемах кристаллов.*

### **8. Учебно-методическое обеспечение дисциплины**

#### **8.1. Рекомендуемая литература**

##### **а) Основная литература**

1. О. Звелто. Принципы лазеров. Мир, 1990.
2. А.Л. Микаэлян, М.Л. Тер-Микаелян, Ю.Г. Тырков. Оптические генераторы на твердом теле. Москва, Советское радио, 1967.

3. П.Г. Мужикян. Спектроскопические исследования лазерных кристаллов  $Y_3Al_5O_{12}$  и  $LiNbO_3$ , допированных ионами  $Er^{3+}$ ,  $Yb^{3+}$  и  $Ce^{3+}$ : дисс. ... канд. физ.-мат. наук. Институт Физических Исследований НАН РА, Ашгатак 2011.

**б) Дополнительная литература**

Ф. Качмарек. Введение в физику лазеров. - М.: Мир, 1981.

**8.2. Программные средства освоения дисциплины**

Wolfram Mathematica, MathLab, OriginPro.

**8.3. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Компьютер, проектор