

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
электроники, фотоники и  
молекулярной физики**

**В.В. Иванов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Теория твердотельных лазеров
<b>по направлению:</b>	Электроника и нанoeлектроника
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: микро- и нанoeлектроника Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра квантовой электроники
<b>курс:</b>	2
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: А.А. Фомичев, д-р физ.-мат. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры квантовой электроники 29.05.2020

## **Аннотация**

Курс: "Теория твердотельных лазеров" предусматривает ознакомление магистрантов с основными типами лазеров и подготовка к изучению других специализированных курсов по квантовой электронике.

Задачи дисциплины:

- приобретение слушателями фундаментальных теоретических знаний по принципам работы лазеров и измерения параметров лазерного излучения, устройству твердотельных лазеров, основным применениям лазеров.
- создание у магистрантов базиса для изучению смежных дисциплин квантовой электроники;
- изучение и освоение методов теоретического описания динамики процессов накачки и формирования излучения в лазерах

По результатам освоения дисциплины студент должен:

Знать:

- Предмет специальности «Теория твердотельных лазеров», основные типы лазеров и их роль в развитии современной науки и техники, принципы работы твердотельных лазеров и основные параметры лазерного излучения.
- Источники и системы оптической накачки Методы теоретического описания динамики процессов накачки и формирования излучения в лазерах.
- Тепловые процессы в лазерных элементах.
- Оптические схемы и элементы резонаторов.

Уметь:

- ☐ определять функциональную схему лазера.
- ☐ определять и анализировать параметры лазерного излучения.
- ☐ оценивать параметры активной среды и резонатора лазера.
- ☐ оценивать возможность и целесообразность применения лазеров в различных областях науки и техники.

Владеть:

- ☐ методами теоретического описания динамики процессов накачки и формирования излучения в лазерах.
- ☐ навыками использования необходимой литературы для решения задач в расчете и конструировании лазеров.
- ☐ Методами получения ультракоротких импульсов лазерного излучения.
- ☐ Методами повышения эффективности оптической накачки.
- ☐ Методами управления пространственными характеристиками лазерного излучения.

Темы и разделы курса:

1. Основные типы лазеров
2. Режимы работы лазеров. Расчет энергетических параметров лазерного излучения
3. Источники и системы оптической накачки
4. Тепловые процессы в лазерных элементах
5. Оптические схемы и элементы резонаторов

### **1. Цели и задачи**

#### **Цель дисциплины**

ознакомление магистрантов с основными типами лазеров и подготовка к изучению других специализированных курсов по квантовой электронике.

#### **Задачи дисциплины**

- приобретение слушателями фундаментальных теоретических знаний по принципам работы лазеров и измерения параметров лазерного излучения, устройству твердотельных лазеров, основным применениям лазеров.
- создание у магистрантов базиса для изучения смежных дисциплин квантовой электроники;
- изучение и освоение методов теоретического описания динамики процессов накачки и формирования излучения в лазерах.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценить качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

## 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- Предмет специальности «Теория твердотельных лазеров», основные типы лазеров и их роль в развитии современной науки и техники, принципы работы твердотельных лазеров и основные параметры лазерного излучения.
- Источники и системы оптической накачки Методы теоретического описания динамики процессов накачки и формирования излучения в лазерах.
- Тепловые процессы в лазерных элементах.
- Оптические схемы и элементы резонаторов.

уметь:

- ☐ определять функциональную схему лазера.
- ☐ определять и анализировать параметры лазерного излучения.
- ☐ оценивать параметры активной среды и резонатора лазера.
- ☐ оценивать возможность и целесообразность применения лазеров в различных областях науки и техники.

владеть:

- ☐ методами теоретического описания динамики процессов накачки и формирования излучения в лазерах.
- ☐ навыками использования необходимой литературы для решения задач в расчете и конструировании лазеров.
- ☐ Методами получения ультракоротких импульсов лазерного излучения.
- ☐ Методами повышения эффективности оптической накачки.
- ☐ Методами управления пространственными характеристиками лазерного излучения.

## 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Основные типы лазеров		2		10
2	Режимы работы лазеров. Расчет энергетических параметров лазерного излучения		8		10
3	Источники и системы оптической накачки		8		8
4	Тепловые процессы в лазерных элементах		6		1
5	Оптические схемы и элементы резонаторов		6		1
Итого часов			30		30
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

##### Семестр: 3 (Осенний)

##### 1. Основные типы лазеров

Основные типы лазеров и их роль в развитии современной науки и техники.

Предмет и краткая история развития лазеров. Функциональная схема лазера. Параметры и характеристики лазерного излучения. Активные среды твердотельных лазеров. Коэффициенты усиления и потерь в активной среде. Влияние спектрально-люминесцентных свойств лазерных кристаллов на энергетические характеристики лазерного излучения. Сравнительные характеристики лазеров.

##### 2. Режимы работы лазеров. Расчет энергетических параметров лазерного излучения

Режимы работы лазеров. Расчет энергетических параметров лазерного излучения

Кинетика инверсной населенности под действием оптической накачки. Дифференциальное уравнение для плотности светового потока. Система балансных уравнений и частных производных. Усредненные балансные уравнения. Расчет плотности инверсной населенности на предгенерационном этапе. Стационарный режим генерации. Мощность выходного излучения. Распределение мощности излучения внутри резонатора лазера. Импульсный режим генерации. Генерация излучения в режиме модуляции добротности резонатора лазера. Режим свободной генерации. Режим синхронизации мод. Лазерные системы с синхронизацией мод. Методы получения ультракоротких импульсов лазерного излучения.

##### 3. Источники и системы оптической накачки

Источники и системы оптической накачки.

Спектры поглощения лазерных кристаллов. Источники оптической накачки лазерных кристаллов. Лазерная накачка. Расчет эффективности отражателя. Методы повышения эффективности оптической накачки.

##### 4. Тепловые процессы в лазерных элементах

Тепловые процессы в лазерных элементах.

Источники тепловыделения в твердотельных лазерах. Температурные зависимости спектроскопических параметров активных сред. Термооптические искажения активных элементов и их влияние на параметры лазерного излучения. Волноводные активные элементы.

## 5. Оптические схемы и элементы резонаторов

Оптические схемы и элементы резонаторов

Расходимость излучения твердотельного лазера. Методы управления пространственными характеристиками лазерного излучения. Оптические системы лазеров с дисперсионным резонатором, с модуляцией добротности резонаторов, с нелинейно-оптическим преобразователем частоты излучения.

## 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Доска, маркеры, компьютер и мультимедийное оборудование (проектор).

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Ананьев Ю.А. Оптические резонаторы и лазерные пучки. М.: Наука, 1990
2. Быков В.П., Силичев О.С. Лазерные резонаторы. - М.: Наука, 2002
3. Зверев Г.М., Голяев Ю.Д. Лазеры на кристаллах и их применение. М.: Радио и связь, 1994

Дополнительная литература

1. Шестаков А. Активные элементы твердотельных лазеров с полупроводниковой накачкой. // Научно-технический журнал «Фотоника». Выпуск №5. 2007. С. 30-32.
2. Крюков П.Г. Лазеры ультракоротких импульсов // Квантовая Электроника, 2001, Том 31, №2, с. 95 – 119.

## 7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. <http://www.qwuantum-electron.ru>
2. <http://www.laserportal.ru>

## 8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Необходимое оборудование для практических занятий: компьютер и мультимедийное оборудование (проектор).

Обеспечение самостоятельной работы: доступ в сеть Интернет, доступ к рекомендованной литературе.

## 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, прослушавший курс семинаров, должен овладеть общим понятийным аппаратом и научиться применять теоретические знания на практике.

Успешное освоение курса требует:

- 1) посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом; ведение конспектов занятий; активное участие в обсуждении изученного
- 2) важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультацией к докладчику на занятии.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Электроника и нанoeлектроника
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: микро- и нанoeлектроника Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра квантовой электроники
<b>курс:</b>	2
<b>квалификация:</b>	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Экзамен	
<b>Разработчик:</b>	А.А. Фомичев, д-р физ.-мат. наук, профессор

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценить качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Теория твердотельных лазеров» обучающийся должен:

### знать:

- Предмет специальности «Теория твердотельных лазеров», основные типы лазеров и их роль в развитии современной науки и техники, принципы работы твердотельных лазеров и основные параметры лазерного излучения.
- Источники и системы оптической накачки Методы теоретического описания динамики процессов накачки и формирования излучения в лазерах.
- Тепловые процессы в лазерных элементах.
- Оптические схемы и элементы резонаторов.

### уметь:

- ☐ определять функциональную схему лазера.
- ☐ определять и анализировать параметры лазерного излучения.
- ☐ оценивать параметры активной среды и резонатора лазера.
- ☐ оценивать возможность и целесообразность применения лазеров в различных областях науки и техники.

### владеть:

- ☐ методами теоретического описания динамики процессов накачки и формирования излучения в лазерах.
- ☐ навыками использования необходимой литературы для решения задач в расчете и конструировании лазеров.
- ☐ Методами получения ультракоротких импульсов лазерного излучения.
- ☐ Методами повышения эффективности оптической накачки.
- ☐ Методами управления пространственными характеристиками лазерного излучения.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

С целью проведения текущего контроля успеваемости проводится краткий опрос по теме прошедшего занятия

## 4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы к экзамену:

1. Основные типы лазеров и их роль в развитии современной науки и техники.
2. Предмет и краткая история развития лазеров. Функциональная схема лазера.
3. Параметры и характеристики лазерного излучения.

4. Активные среды твердотельных лазеров.
5. Коэффициенты усиления и потерь в активной среде.
6. Влияние спектрально-люминесцентных свойств лазерных кристаллов на энергетические характеристики лазерного излучения. Сравнительные характеристики лазеров.
7. Режимы работы лазеров. Расчет энергетических параметров лазерного излучения
8. Режимы работы лазеров. Расчет энергетических параметров лазерного излучения
9. Кинетика инверсной населенности под действием оптической накачки.
10. Дифференциальное уравнение для плотности светового потока.
11. Система балансных уравнений и частных производных. Усредненные балансные уравнения.
12. Расчет плотности инверсной населенности на предгенерационном этапе.
13. Стационарный режим генерации. Мощность выходного излучения.
14. Распределение мощности излучения внутри резонатора лазера.
15. Импульсный режим генерации. Генерация излучения в режиме модуляции добротности резонатора лазера.
16. Режим свободной генерации. Режим синхронизации мод. Лазерные системы с синхронизацией мод.
17. Методы получения ультракоротких импульсов лазерного излучения.

Примеры экзаменационных билетов:

Пример 1:

1. Расчет плотности инверсной населенности на предгенерационном этапе.
2. Стационарный режим генерации. Мощность выходного излучения.

Пример 2:

1. Предмет и краткая история развития лазеров. Функциональная схема лазера.
2. Параметры и характеристики лазерного излучения.

Критерии оценивания

10 баллов — (ПРЕВОСХОДНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы, а также по основным вопросам, выходящим за ее пределы;
- точное использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы;
- безупречное владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- выраженная способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации;
- полное и глубокое усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку, использовать научные достижения других дисциплин;
- творческая самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, активное участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

9 баллов — (ОТЛИЧНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы;
- точное использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации в рамках учебной программы, полное усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;



- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, творческое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

8 баллов — (ПОЧТИ ОТЛИЧНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем поставленным вопросам в объеме учебной программы;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины (методами комплексного анализа, техникой информационных технологий), умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач; способность самостоятельно решать сложные проблемы в рамках учебной программы;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку с позиций государственной идеологии (по дисциплинам социально-гуманитарного цикла);
- активная самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, систематическое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

7 баллов — (ОЧЕНЬ ХОРОШО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы;
- использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), лингвистически и логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

6 баллов — (ХОРОШО):

- достаточно полные и систематизированные знания в объеме учебной программы;
- использование необходимой научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач; способность самостоятельно применять типовые решения в рамках учебной программы;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку; активная самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, периодическое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

5 баллов — (ПОЧТИ ХОРОШО):

- достаточные знания в объеме учебной программы;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно применять типовые решения в рамках учебной программы;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

4 балла — (УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО), ЗАЧТЕНО:

- достаточный объем знаний в рамках образовательного стандарта;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;

- использование научной терминологии, стилистическое и логическое изложение ответа на вопросы, умение делать выводы без существенных ошибок;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении стандартных (типовых) задач;
- умение под руководством преподавателя решать стандартные ( типовые) задачи;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им оценку;
- работа под руководством преподавателя на практических, лабораторных занятиях, допустимый уровень культуры исполнения заданий.

3 балла — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО), НЕЗАЧТЕНО:

- недостаточно полный объем знаний в рамках образовательного стандарта;
- знание части основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- использование научной терминологии, изложение ответа на вопросы с существенными лингвистическими и логическими ошибками;
- слабое владение инструментарием учебной дисциплины, некомпетентность в решении стандартных (типовых) задач;
- неумение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях изучаемой дисциплины;
- пассивность на практических и лабораторных занятиях, низкий уровень культуры исполнения заданий.

2 балла — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО):

- фрагментарные знания в рамках образовательного стандарта;
- знания отдельных литературных источников, рекомендованных учебной программой дисциплины;
- неумение использовать научную терминологию дисциплины, наличие в ответе грубых стилистических и логических ошибок;
- пассивность на практических и лабораторных занятиях, низкий уровень культуры исполнения заданий.

1 балл — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО):

- отсутствие знаний и компетенций в рамках образовательного стандарта или отказ от ответа.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

При проведении экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету не должен превышать одного астрономического часа в устной форме.