

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ЛАЗЕРНОЙ ФИЗИКИ

ОДОБРЕНО

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**ЛАЗЕРЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 12.04.03 Фотоника и оптоинформатика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/В СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КСР/КП
1	2	72	8	24	0	40	0	3
Итого	2	72	8	24	0	40	0	

## АННОТАЦИЯ

Предметом курса является изучение физических основ усиления и генерации света, рассмотрение принципов работы лазеров всех основных типов и областей их применения.

Цель курса: повышение уровня подготовки инженеров - физиков, расширение их научного кругозора с учетом возрастающей роли лазеров в современных фундаментальных физических исследованиях и прикладных задачах.

Входной интерфейс студентов. Изучение предмета базируется на знании естественно-научных и общепрофессиональных дисциплин, в том числе на материале курсов “Математический анализ”, “Общая физика”, “Квантовая механика”.

Основные задачи курса:

- изучение теоретических основ взаимодействия излучения с веществом;
- изучение физических основ работы лазеров;
- изучение основных типов современных лазеров;
- изучение областей применения лазеров в современных технологиях.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения учебной дисциплины “Лазеры и их применения” является повышение уровня подготовки студентов, расширение их научного кругозора с учетом возрастающей роли лазеров в современных фундаментальных физических исследованиях и прикладных задачах.

- изучение теоретических основ взаимодействия излучения с веществом;
- изучение физических основ работы лазеров;
- изучение основных типов современных лазеров;
- изучение областей применения лазеров в современных технологиях.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Предметом курса является изучение физических основ усиления и генерации света, рассмотрение принципов работы лазеров всех основных типов и областей их применения.

Изучение дисциплины «Лазеры и их применения» основано на знании студентами общепрофессиональных математических и физических дисциплин, читаемых им на факультете теоретической и экспериментальной физики.

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
выбор оптимального метода и разработка программ экспериментальных исследований и измерений с выбором технических средств и обработкой результатов	научно-исследовательский фундаментальные и прикладные научно-исследовательские разработки в области фотоники и оптоинформатики	ПК-3 [1] - способен разрабатывать фотонное устройство на основе элементной базы, выбирать необходимое оборудование и способ контроля параметров устройства  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	3-ПК-3[1] - Знать: элементную базу и устройства фотоники ; У-ПК-3[1] - Уметь: приобретать и использовать новые знания в своей предметной области; предлагать новые идеи и подходы к решению инженерных задач в своей предметной области ; В-ПК-3[1] - Владеть: основными методами и способами контроля параметров устройств фотоники
разработка функциональных и структурных схем приборов и систем фотоники и оптоинформатики и установление технических требований на отдельные блоки и элементы	проектно-конструкторский элементная база, системы и технологии интегральной, волоконной и градиентной оптики, а также микрооптики; элементная база полупроводниковых, волоконных и планарных лазеров; элементная база, системы, материалы, методы и технологии, обеспечивающие оптическую передачу, прием, обработку, запись и хранение информации; элементная база и системы преобразования и отображения информации; элементная	ПК-4 [1] - способен к разработке функциональных и структурных схем фотоники и оптоинформатики на уровне узлов, элементов, систем и технологий  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 29.004	3-ПК-4[1] - Знать: физические принципы действия устройств и систем фотоники и оптоинформатики ; У-ПК-4[1] - Уметь: проводить сравнительный анализ изделий-аналогов; формулировать технические требования на отдельные узлы, элементы, системы и технологии ; разрабатывать и исследовать новые способы и

	база и системы на основе наноразмерных и фотоннокристаллических структур; системы оптических и квантовых вычислений и оптические компьютеры; оптические системы искусственного интеллекта; устройства и системы компьютерной фотоники		принципы функционирования оптических и оптико-электронных приборов и систем получения, хранения и обработки информации ; В-ПК-4[1] - Владеть: методами анализа и расчета ожидаемых параметров разрабатываемых приборов и систем фотоники и оптоинформатики
--	---	--	---

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>1 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	4/12/0		25	Т-8	3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3
2	Часть 2	9-16	4/12/0		25	Т-16	3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4
	<i>Итого за 1 Семестр</i>		8/24/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 1</b>				50	3	3-ПК-3,

	<b>Семестр</b>						У- ПК-3, В- ПК-3, 3-ПК- 4, У- ПК-4, В- ПК-4
--	----------------	--	--	--	--	--	--

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

<b>Обозначение</b>	<b>Полное наименование</b>
Т	Тестирование
З	Зачет

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

<b>Недели</b>	<b>Темы занятий / Содержание</b>	<b>Лек., час.</b>	<b>Пр./сем., час.</b>	<b>Лаб., час.</b>
	<i>1 Семестр</i>	8	24	0
<b>1-8</b>	<b>Часть 1</b>	4	12	0
1	<b>Спонтанное излучение, вынужденное излучение и поглощение. Коэффициенты Эйнштейна</b> Предмет изучения квантовой электроники и основные понятия. Состояние термодинамического равновесия. Распределение Больцмана. Вероятности переходов. Спонтанное и вынужденное переходы. Коэффициенты Эйнштейна и связь между ними.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
2	<b>Уширение спектральных линий поглощения и излучения</b> Уширение линий поглощения и излучения. Модель затухающего осциллятора. Однородное и неоднородное уширение линий. Лоренцева и Гауссова формы линии. Механизмы уширения линий. Естественное, столкновительное, полевое, доплеровское уширение.	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
3	<b>Поглощение и усиление, инверсная населенность. Эффект насыщения</b> Поглощение и усиление излучения при его прохождении через среду. Инверсная населенность. Активная среда. Квантовый усилитель. Потери. Пороговый коэффициент усиления и пороговая инверсная населенность. Эффект насыщения. Насыщение однородно- и неоднородно уширенной линии. Насыщение поглощения и усиления.	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
4	<b>Методы создания инверсной населенности</b>	Всего аудиторных часов		

	Механизмы накачки. Трех- и четырехуровневая схемы оптической накачки. Системы динамических уравнений для населенностей и числа фотонов в резонаторе. Пороговая и стационарная инверсная населенность. Пороговая мощность накачки. Сравнительный анализ схем накачки.	2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
5	<b>Оптические резонаторы: спектр продольных мод, добротность, конфигурация поля в резонаторе</b> ОПонятие резонатора. Переход от СВЧ к оптическому диапазону спектра. Открытые оптические резонаторы. Частотный спектр собственных колебаний поля в резонаторе Характеристики и свойства оптических резонаторов. Поперечные моды. Добротность. Дифракционные потери. Конфигурация поля в резонаторе – комплексный параметр гауссова пучка, радиус кривизны волнового фронта гауссова пучка, каустика, перетяжка, расходимость.	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
6	<b>Оптические резонаторы: параметры гауссова пучка, устойчивость, спектр поперечных мод</b> Распространение гауссова пучка в пространстве, прохождение через тонкую линзу и отражение от зеркала. Интерферометр Фабри-Перо. Число Френеля. Диаграмма устойчивости. Конфокальный, концентрический и плоскопараллельный резонаторы. Неустойчивые резонаторы. Кольцевой резонатор. Эквивалентный конфокальный резонатор. Спектр поперечных мод. Затягивание частоты.	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
7	<b>Свободная генерация, модуляция добротности</b> Непрерывный, импульсный и импульсно-периодический режимы. Одномодовый и многомодовый режимы генерации. Генерация в нескольких продольных модах. Параметры импульсов – длительность, период следования. Методы получения коротких импульсов – модуляция добротности. Активные и пассивные методы модуляции добротности.	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
8	<b>Синхронизация мод, провал Лэмба</b> Синхронизация мод. Активные и пассивные методы синхронизации мод. Сравнение параметров импульсов в режимах модуляции добротности и синхронизации мод. Провал Лэмба. Необходимые условия возникновения провала Лэмба – модовый состав и характер уширения линии усиления. Обращенный провал Лэмба.	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	<b>Часть 2</b>	4	12	0
9	<b>Атомарные газовые лазеры</b> Электрический разряд. Основные методы возбуждения. Лазеры на атомных переходах инертных газов. He-Ne лазер. Схема уровней. Резонансная передача энергии при столкновениях. Зависимость мощности излучения от давления, тока разряда. Лазеры на ионизированных газах. Ar-лазер. Лазеры на парах металлов. He-Cd лазер. Реакция Пеннинга. Катафорез. Стратификация разряда, шумы. Самоограниченные переходы. Лазеры на парах меди и	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0

	золота. Основные характеристики излучения, конструкции.			
10	<b>Молекулярные газовые лазеры</b> СО2-лазер. Структура уровней. Колебательно-вращательные переходы. Механизм возбуждения. Правила отбора. Роль примесей. Продольная и поперечная прокачка. Электроионизационный лазер. ТЕА СО2-лазер. Газодинамические лазеры. СО-лазер. Механизм возбуждения. Распределение Гринора. Частичная инверсия. Азотный и водородный лазеры. Экимерные лазеры.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
11	<b>Лазеры на красителях и твердотельные лазеры</b> Люминесценция красителей. Механизмы накачки. Усиление. Оптическая накачка. Ламповая и лазерная накачка. Перестройка частоты излучения. Рубиновый и неодимовый лазеры. Безызлучательная релаксация в твердых телах. Уровни ионов хрома в корунде и неодима в гранате. Лазерные стекла. Сенсibilизация. Галлиевые гранаты. Эрбиевый Лазер на александрите.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
12	<b>Химические лазеры, лазеры на центрах окраски и полупроводниковые лазеры</b> Экзотермические реакции. Виды релаксации. Частичная инверсная населенность. Основные параметры лазеров. Йодный лазер. Понятие F-центра. Виды анионных вакансий. Люминесценция центров окраски. Основные параметры лазеров на центрах окраски. Понятие о зонной теории твердых тел. Валентная зона, запрещенная зона, зона проводимости. Примеси. Уровень и квазиуровни Ферми, p-n переходы. Вырожденные полупроводники. Инжекция электронов. Гомо- и гетероструктуры. Инжекционный лазер. Основные параметры. Перестройка частоты.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
13	<b>Области применения лазеров</b> Области применения лазеров. Лазеры в медицине. Лазерный стандарт частоты. Лазерная технология. Лазерные методы воздействия на вещества, находящиеся в газовом, жидком или твердом состояниях. Преимущества лазерных методов по сравнению с другими.	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
14	<b>Лазерные методы детектирования веществ</b> Абсорбционный метод. Дистанционные лазерные системы. Флуоресцентная спектроскопия и метод комбинационного рассеяния. Применение твердотельных лазеров в экологии и промышленности.	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
15	<b>Применение лазеров для контроля веществ в атмосфере</b> Газоанализаторы, их виды и области использования. Кюветные и дистанционные газоанализаторы. Рефрактометрические измерители, использование искусственных спутников Земли для контроля атмосферы. Использование метода лазерно-возбуждаемой флуоресценции для компонентного анализа атмосферного воздуха. Точность и чувствительность измерений. Мониторинг предприятий атомной промышленности. Лидары комбинационного рассеяния. Сравнительный	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

	анализ локальных и дистанционных методов. Применение лазерных лидаров.			
16	<b>Применение лазеров в ядерных технологиях</b> Лазерное разделение изотопов. Одноступенчатые и многоступенчатые схемы разделения изотопов. Лазерная очистка поверхности. Лазерная дезактивация. Лазерный термоядерный синтез. Сравнение лазерных и традиционных методов.	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации программы дисциплины «Лазеры и их применения» используются различные образовательные технологии – во время аудиторных занятий занятия проводятся в форме продвинутых лекций с использованием технических средств обучения - лекций с визуализацией.

Для контроля усвоения студентом разделов данного курса используется тестирование.

Самостоятельная работа студентов подразумевает под собой проработку лекционного материала с использованием рекомендуемой литературы для подготовки к тестам.

Часть занятий проводится в интерактивной форме.

## 6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-3	З-ПК-3	З, Т-8, Т-16
	У-ПК-3	З, Т-8, Т-16
	В-ПК-3	З, Т-8, Т-16



ПК-4	З-ПК-4	З, Т-16
	У-ПК-4	З, Т-16
	В-ПК-4	З, Т-16

### Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

#### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ S96 Principles of Lasers : , Boston, MA: Springer US, 2010
2. ЭИ К 44 Квантовая и оптическая электроника : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2020
3. ЭИ П 75 Лазеры и экологический мониторинг атмосферы : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2021
4. 537 З-43 Принципы лазеров : , О. Звелто, Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2008
5. ЭИ К43 Лазеры и их применения в ядерных технологиях : учебное пособие для вузов, С. В. Киреев, С. Л. Шнырев, Москва: МИФИ, 2008

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 535 Д31 Современная лазерная спектроскопия : учебное пособие, Долгопрудный: Интеллект, 2014
2. 539.1 Е59 Атомная и молекулярная спектроскопия Ч.2 Атомная спектроскопия, , : URSS, 2007
3. 539.1 Е59 Атомная и молекулярная спектроскопия Ч.3 Молекулярная спектроскопия, , : URSS, 2007
4. 535 А64 Аналитическая лазерная спектроскопия : , Пер. с англ., М.: Мир, 1982
5. 535 П75 Применение лазеров в спектроскопии и фотохимии : , Ред.Мур К.;Пер.с англ., М.: Мир, 1983

#### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

#### LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

### **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

### **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

При изучении курса «Лазеры и их применение» необходимо основное внимание уделить физическим основам формирования лазерного излучения. Для этого необходимо освоить

физические законы процессов излучения и поглощения электромагнитного поля атомами и молекулами. Следует особое внимание уделить изучению свойств различных типов радиационных переходов – спонтанного излучения, вынужденного излучения и вынужденного поглощения.

Следует хорошо разобраться в вопросе о необходимом условии возникновения лазерной генерации – пороговой инверсной населенности и пороговом коэффициенте усиления и связи этих параметров с различными видами потерь излучения в активной среде резонатора лазера.

При изучении оптических резонаторов необходимо хорошо разбираться в вопросах, связанных с определением параметров электромагнитного поля (частота, пространственная конфигурация, расходимость) в зависимости от конфигурации резонатора того либо иного типа.

Следует иметь хорошее представление о различных режимах генерации лазера и о методах получения коротких и мощных импульсов (метод модулированной добротности и метод синхронизации мод).

При изучении конкретных лазеров необходимо четко ориентироваться в следующих вопросах: схема энергетических состояний, механизм создания инверсной населенности, спектральный диапазон излучения, параметры выходного излучения (непрерывный или импульсный режим, длительность и мощность импульса, возможность работы в режимах модулированной добротности и синхронизации мод), КПД лазера, конструктивные особенности лазера, области его применения.

## **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

Методические материалы для преподавателей, проводящих занятия по дисциплине “Лазеры и их применение”

курс строится следующим образом.

Первый раздел посвящен физическим основам лазерных источников излучения. В этом разделе необходимо прежде всего ввести различные процессы излучательных переходов (спонтанное излучение, вынужденное излучение и вынужденное поглощение), установить взаимосвязь между ними, вывести соотношения между вероятностями данных процессов. Далее следует показать студентам, при каких условиях интенсивность электромагнитного излучения при прохождении через вещество будет возрастать и как, введя положительную обратную связь, можно получить генератор электромагнитного излучения в оптическом диапазоне – лазер.

После этого следует вывести необходимые условия возникновения лазерной генерации – ввести пороговый коэффициент усиления и пороговую инверсную населенность. Далее необходимо рассмотреть возможности достижения пороговых значений – исследовать классические трех- и четырехуровневые схемы накачки.

Во втором разделе изучаются свойства устройств, играющих роль положительной обратной связи – оптических резонаторов. В этом разделе необходимо акцентировать внимание студентов на том, как в зависимости от параметров резонатора меняются свойства генерируемых электромагнитных полей – пространственная конфигурация поля, спектральный состав поля, расходимость, возможность или невозможность наличия стационарных полей в резонаторе и т. д.

При изучении различных типов лазеров необходимо акцентировать внимание студентов на следующих особенностях: агрегатное состояние активной среды, схема энергетических

состояний, механизм создания инверсной населенности, спектральный диапазон излучения, параметры выходного излучения, режимы работы, КПД лазера, конструктивные особенности лазера, области его применения.

В разделе, связанном с применениями лазеров, следует обращать внимание на такие области их использования, как применение лазеров в технологических процессах, в том числе в современных ядерных технологиях, медицине, экологии, науке.

Самостоятельная работа студентов необходима для выработки у них умения применения полученных теоретических знаний для решения практических задач, таких как умение выбрать оптимальный лазерный источник для решения конкретной задачи, расчет характеристик лазерного излучения для заданных параметров резонатора и активной среды, расчет параметров резонатора и активной среды исходя из потребности в определенных свойствах лазерного излучения.

Автор(ы):

Шнырев Сергей Львович, д.ф.-м.н., доцент

Рецензент(ы):

д.ф.-м.н., профессор Киреев С.В.