

ИНСТИТУТ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРОНИКЕ, СПИНТРОНИКЕ И ФОТОНИКЕ

КАФЕДРА ФИЗИКИ МИКРО- И НАНОСИСТЕМ

ОДОБРЕНО НТС ИНТЭЛ

Протокол № 2

от 26.04.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**ВВЕДЕНИЕ В КВАНТОВУЮ ЭЛЕКТРОНИКУ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

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, экс./зач./КР/КП
7	2	72	32	32	0		8	0	3
Итого	2	72	32	32	0	0	8	0	

## АННОТАЦИЯ

В курсе изучаются физические принципы получения лазерной генерации и усиления. Излагаются физические механизмы создания и поддержания инверсии населенностей, изучаются энергетические уровни, времена жизни и скорости переходов в лазерных средах. Отдельное внимание уделяется резонаторам и их свойствам, а также нелинейно-оптическому преобразованию в гармоники. Дано описание наиболее часто использующихся типов лазеров. Отдельное внимание обращается на предельные энергетические характеристики лазерных генераторов и усилителей. Излагаются основные сведения об особенностях применения лазерных систем для микрообработки различных материалов.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дать основные физические представления о принципах получения и преобразования лазерного излучения, а также его применении в технологических процессах микрообработки материалов.

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

Дисциплина знакомит с основными понятиями квантовой электроники, закономерностями процессов генерации и усиления лазерного излучения, с методами управления его параметрами, а также с конструкцией и принципом действия различных приборов квантовой электроники. Изучение курса позволяет студентам:

а) освоить основные аспекты применения в области квантовой электроники важнейших разделов квантовой механики и квантовой теории поля, образующих фундамент всех физических воззрений на природу явлений;

б) уяснить содержание и физический смысл основных экспериментальных достижений в области квантовой электроники, понять границы применимости физических законов в указанной области;

в) изучить физические основы разработки и функционирования основных типов лазеров и лазерных систем;

г) ознакомиться с современным состоянием применения приборов квантовой электроники в различных областях науки и техники.

### 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;	Код и наименование индикатора достижения
--	---------------------------	--	--

		<b>Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)</b>	<b>профессиональной компетенции</b>
научно-исследовательский			
математическое моделирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования; участие в планировании и проведении экспериментов по заданной методике, обработка результатов с применением современных информационных технологий и технических средств; анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования; участие в подготовке и подаче заявок по перспективным проектам, грантам в рамках проводимых открытых конкурсов	электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, математические модели	ПК-8.1 [1] - Способен применять методы и концепции экспериментальной физики конденсированного состояния вещества, лазерной физики, фотоники, физики микро- и наносистем для решения технических, технологических и функциональных проблем при создании и эксплуатации элементов и устройств, функционирующих на принципах наноэлектроники и нанопотоники  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	3-ПК-8.1[1] - законы и экспериментальные методы физики конденсированного состояния вещества, лазерной физики, физики микро- и наносистем, принципы функционирования элементов и устройств фотоники и оптоэлектроники; У-ПК-8.1[1] - анализировать научно-техническую проблему, поставленную задачу в области нанопотоники, физики конденсированного состояния вещества, физики наноструктур, используя отечественный и зарубежный опыт, а также предлагать возможные пути ее решения; В-ПК-8.1[1] - навыками экспериментальной работы на специализированном научном оборудовании и устройствах в области фотоники, физики наноструктур, лазерной физики, опто- и наноэлектроники, математического моделирования процессов и объектов применительно к поставленной задаче
проектно-конструкторский			

<p>контроль соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам</p>	<p>электронные приборы, устройства, установки</p>	<p>ПК-8.4 [1] - Способен к контролю, измерению и корректировке параметров экспериментальных образцов приборов квантовой электроники, фотоники, оптоэлектроники на основе наноструктурных материалов и наносистем</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.015</p>	<p>З-ПК-8.4[1] - численные значения основных параметров, характеризующих приборы на принципах оптоэлектроники, фотоники на основе наноструктурных материалов, в т.ч. параметры экспериментальных (разрабатываемых) образцов; У-ПК-8.4[1] - проводить измерения и контроль параметров при исследовании технических характеристик разрабатываемых устройств на принципах оптоэлектроники, фотоники на основе наноструктурных материалов и наносистем; В-ПК-8.4[1] - навыками оптимизации параметров разрабатываемых образцов устройств на принципах оптоэлектроники, фотоники на основе наноструктурных материалов и наносистем</p>
<p>производственно-технологический</p>			
<p>внедрение результатов исследований и разработок в производство; выполнение работ по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники; проведение</p>	<p>материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования, технологические процессы</p>	<p>ПК-9 [1] - Способен выполнять определенный тип измерительных или контрольных операций при исследовании параметров полупроводниковых приборов и устройств или в технологическом процессе по</p>	<p>З-ПК-9[1] - Знание параметров полупроводниковых приборов аналоговой, цифровой, радиочастотной и СВЧ-электроники.; У-ПК-9[1] - Умение выполнять исследования параметров</p>

технологических процессов производства материалов и изделий электронной техники; контроль за соблюдением технологической дисциплины и приемов энерго - и ресурсосбережения; подготовка документации и участие в работе системы менеджмента качества на предприятии; организация метрологического обеспечения производства материалов и изделий электронной техники	производства, диагностическое и технологическое оборудование, алгоритмы решения типовых задач	производству материалов и изделий электронной техники  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 29.002	полупроводниковых приборов и устройств в микро- и наноэлектронике; В-ПК-9[1] - Владение методами измерений в технологическом процессе по производству материалов и изделий электронной техники
--	---	---	--

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное и трудовое воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование культуры исследовательской и инженерной деятельности (В16)	Использование воспитательного потенциала дисциплин "Основы конструирования и САПР", "Курсовой проект: основы конструирования и САПР", "Инженерная и компьютерная графика", "Детали машин и основы конструирования" для формирования навыков владения эвристическими методами поиска и выбора технических решений в условиях неопределенности через специальные задания (методики ТРИЗ, морфологический анализ, мозговой штурм и др.), культуры инженера-разработчика через организацию проектной, в том числе самостоятельной работы обучающихся с использованием программных

<p>Профессиональное воспитание</p>	<p>Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (B18)</p>	<p>пакетов. Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.</p>
<p>Профессиональное воспитание</p>	<p>Создание условий, обеспечивающих, формирование творческого инженерного/профессионального мышления, навыков организации коллективной проектной деятельности (B22)</p>	<p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения, ответственности за принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку ВКР. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для: - формирования производственного коллективизма в ходе совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепление рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением роста общей эффективности</p>

		при распределении проектных задач в соответствии с сильными компетентностными и эмоциональными свойствами членов проектной группы.
--	--	--

## 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практик. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>7 Семестр</i>						
1	Первый раздел	1-8	16/16/0		25	КИ-8	3-ПК-8.1, У-ПК-8.1, В-ПК-8.1, 3-ПК-8.4, У-ПК-8.4, В-ПК-8.4
2	Второй раздел	9-16	16/16/0		25	КИ-16	3-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		32/32/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 7 Семестр</b>				50	3	3-ПК-8.1, У-ПК-8.1, В-ПК-

							8.1, 3-ПК- 8.4, У- ПК- 8.4, В- ПК- 8.4, 3-ПК- 9, У- ПК-9, В- ПК-9
--	--	--	--	--	--	--	---

\* – 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:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
З	Зачет

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Неделя	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>7 Семестр</i>	32	32	0
<b>1-8</b>	<b>Первый раздел</b>	16	16	0
1 - 2	<b>Тема 1.</b> Основные понятия. Вероятность переходов в поле теплового излучения. Коэффициенты Эйнштейна. Вероятность перехода в монохроматическом поле. Форма и ширина линии перехода. Поперечное время релаксации.	Всего аудиторных часов		
		3	3	0
		Онлайн		
2 - 3	<b>Тема 2.</b> Факторы, определяющие ширину спектральных линий газов. Однородное и неоднородное уширение. Эффект насыщения. Полевое уширение. Параметр насыщения.	Всего аудиторных часов		
		3	3	0
		Онлайн		
4 - 5	<b>Тема 3.</b> Усиление и чувствительность квантового усилителя. Влияние насыщения. Чувствительность и энергетические характеристики квантового усилителя. Предельные значения выходной энергии и выходной интенсивности. Амплитудное и фазовое условие генерации. Предельное значение интенсивности генератора.	Всего аудиторных часов		
		3	3	0
		Онлайн		
5 - 6	<b>Тема 4.</b> Спектроскопические характеристики трехвалентного иона	Всего аудиторных часов		
		3	3	0

	хрома и механизм образования инверсии в рубиновом лазере. Стационарная интенсивности, стационарная и пороговая инверсия однододового рубинового лазера. Переходной режим, временные, энергетические и спектральные характеристики однододового рубинового лазера	Онлайн	0	0	0
7 - 8	<b>Тема 5.</b> Энергетические характеристики и динамика гигантского импульса. Методы модуляции добротности. Синхронизация мод.	Всего аудиторных часов	4	4	0
		Онлайн	0	0	0
<b>9-16</b>	<b>Второй раздел</b>		16	16	0
9 - 10	<b>Тема 6.</b> Твердотельные неодимовые лазеры. Лазеры на редкоземельных скандиевых и галлиевых гранатах. Газовые лазеры. СО2 -лазеры. Азотный и эксимерный лазеры. Химические лазеры. Лазеры на красителях. Лазеры на свободных электронах. Полупроводниковые лазеры. Волоконные лазеры.	Всего аудиторных часов	3	3	0
		Онлайн	0	0	0
10 - 11	<b>Тема 7.</b> Характеристики и свойства оптических резонаторов. Добротность резонатора. Продольные и поперечные моды. Устойчивость резонаторов. Конструкции резонаторов. Методы селекции мод.	Всего аудиторных часов	3	3	0
		Онлайн	0	0	0
11 - 12	<b>Тема 8.</b> Нелинейно-оптическое преобразование. Природа нелинейной поляризации и распространение волн в нелинейных средах. Генерация второй гармоники. Параметрическое усиление. Фазовое согласование при параметрическом усилении. Параметрическая генерация. Перестройка частот, выходная мощность и насыщение накачки в оптических параметрических генераторах.	Всего аудиторных часов	3	3	0
		Онлайн	0	0	0
12 - 13	<b>Тема 9.</b> Физические основы лазерной микрообработки	Всего аудиторных часов	2	2	0
		Онлайн	0	0	0
13 - 14	<b>Тема 10.</b> Источники и оптические системы для лазерной микрообработки.	Всего аудиторных часов	2	2	0
		Онлайн	0	0	0
15 - 16	<b>Тема 11.</b> Процессы лазерной микрообработки. Разделение материалов, лазерная резка, лазерно-индуцированное травление, лазерная маркировка, скрайбирование, управляемое термораскалывание, сверление микроотверстий.	Всего аудиторных часов	3	3	0
		Онлайн	0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

<b>Обозначение</b>	<b>Полное наименование</b>
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

## ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>7 Семестр</i>
1 - 2	<b>Тема 1.</b> Основные понятия. Вероятность переходов в поле теплового излучения. Коэффициенты Эйнштейна. Вероятность перехода в монохроматическом поле. Форма и ширина линии перехода. Поперечное время релаксации.
2 - 3	<b>Тема 2.</b> Факторы, определяющие ширину спектральных линий газов. Однородное и неоднородное уширение. Эффект насыщения. Полевое уширение. Параметр насыщения.
4 - 5	<b>Тема 3.</b> Усиление и чувствительность квантового усилителя. Влияние насыщения. Чувствительность и энергетические характеристики квантового усилителя. Предельные значения выходной энергии и выходной интенсивности. Амплитудное и фазовое условие генерации. Предельное значение интенсивности генератора.
5 - 6	<b>Тема 4.</b> Спектроскопические характеристики трехвалентного иона хрома и механизм образования инверсии в рубиновом лазере. Стационарная интенсивности, стационарная и пороговая инверсия одномодового рубинового лазера. Переходной режим одномодового рубинового лазера. Временные, энергетические и спектральные характеристики одномодового рубинового лазера.
7 - 8	<b>Тема 5.</b> Энергетические характеристики и динамика гигантского импульса. Методы модуляции добротности. Синхронизация мод.
9 - 10	<b>Тема 6.</b> Твердотельные неодимовые лазеры. Лазеры на редкоземельных скандиевых и галлиевых гранатах. Газовые лазеры. CO <sub>2</sub> -лазеры. Азотный и эксимерный лазеры. Химические лазеры. Лазеры на красителях. Лазеры на свободных электронах. Полупроводниковые лазеры. Волоконные лазеры.
10 - 11	<b>Тема 7.</b> Характеристики и свойства оптических резонаторов. Добротность резонатора. Продольны и поперечные моды. Устойчивость резонаторов. Конструкции резонаторов.

	Методы селекции мод.
11 - 12	<b>Тема 8.</b> Нелинейно-оптическое преобразование. Природа нелинейной поляризации и распространение волн в нелинейных средах. Генерация второй гармоники. Параметрическое усиление. Фазовое согласование при параметрическом усилении. Параметрическая генерация. Перестройка частот, выходная мощность и насыщение накачки в оптических параметрических генераторах.
12 - 13	<b>Тема 9.</b> Физические основы лазерной микрообработки.
13 - 14	<b>Тема 10.</b> Источники и оптические системы для лазерной микрообработки.
15 - 16	<b>Тема 11.</b> Процессы лазерной микрообработки. Разделение материалов, лазерная резка, лазерно-индуцированное травление, лазерная маркировка, скрайбирование, управляемое термораскалывание, сверление микроотверстий.

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При проведении лекций используются наглядные формы демонстрации учебного материала в виде презентаций, а также выступление ученых-исследователей, занимающихся исследованиями в области лазерной физики, фотоники, нанофотоники, наноэлектроники и практических применений. Проведение семинаров предусматривает проведение дискуссий и выступления студентов с докладами на темы, связанные с применением лазеров в аналитических методах.

## 7. 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:

<b>Компетенция</b>	<b>Индикаторы освоения</b>	<b>Аттестационное мероприятие (КП 1)</b>
ПК-8.1	З-ПК-8.1	З, КИ-8
	У-ПК-8.1	З, КИ-8
	В-ПК-8.1	З, КИ-8
ПК-8.4	З-ПК-8.4	З, КИ-8
	У-ПК-8.4	З, КИ-8
	В-ПК-8.4	З, КИ-8
ПК-9	З-ПК-9	З, КИ-16
	У-ПК-9	З, КИ-16
	В-ПК-9	З, КИ-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.

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

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 535 С16 Оптика и фотоника. Принципы и применения Т.1 , Долгопрудный: Интеллект, 2012

2. 535 С16 Оптика и фотоника. Принципы и применения Т.2 , Долгопрудный: Интеллект, 2012

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

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

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

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

1. Демонстрационный проектор (Э-207)

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

Обучающийся, для успешного освоения данного курса, должен знать:

- высшую математику в соответствии с основными разделами курса высшей математики в университетском объеме;
- разделы курса теоретической физики в части квантовой механики, статистической физики;
- курс общей физики (часть оптика);
- курс физической оптики и основ фотоники,

При выполнении практических заданий допускается использование студентами справочных материалов, необходимых для проведения численных расчетов. Допускается использование интернет-ресурсов при работе над заданиями.

Ответы на вопросы для текущего контроля должны показывать уверенное владение материалом из соответствующей темы.

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

При изложении материала необходимо особое внимание уделить вводным разделам, объясняющим физические механизмы получения лазерной генерации и усиления. Лекции должны сопровождаться наглядным иллюстративным материалом, в частности, с использованием компьютерных технологий. Следует уделить особое внимание практическим расчетам, выполняемым самими студентами при работе над текущими заданиями. Допускается использование студентами справочных материалов, необходимых для проведения численных расчетов. Формулировку практических заданий следует выполнять подробно, а так же допускать использование интернет-ресурсов при работе над заданиями

Автор(ы):

Котковский Геннадий Евгеньевич, к.ф.-м.н.