

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

---

Направление подготовки/специальность: 12.03.01 Приборостроение

Наименование образовательной программы: Компьютерная фотоника

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Заочная

**Рабочая программа дисциплины**  
**НАНОФОТОНИКА**


<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б1.Ч.01.01</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>9 семестр - 3;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>108 часов</b>
<b>Лекции</b>	<b>9 семестр - 4 часа;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>9 семестр - 4 часа;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Консультации</b>	<b>9 семестр - 2 часа;</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>9 семестр - 96,8 часа;</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>9 семестр - 0,9 часа;</b>
<b>включая:</b> <b>Тестирование</b> <b>Контрольная работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Зачет</b>	<b>9 семестр - 0,3 часа;</b>

**Москва 2023**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

(должность)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Павлов И.Н.
	Идентификатор	R1092bb5e-PavlovIIN-b3da3f0e

(подпись)

И.Н. Павлов

(расшифровка подписи)

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Скорнякова Н.М.
	Идентификатор	R984920bc-SkorniakovaNM-67f74b6

(подпись)

Н.М.

Скорнякова

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Скорнякова Н.М.
	Идентификатор	R984920bc-SkorniakovaNM-67f74b6

(подпись)

Н.М.

Скорнякова

(расшифровка подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение физических основ нанофотоники и изучения материалов и структур применяемых в данной области

### Задачи дисциплины

- получение знаний в области квантовой и нелинейной оптики;
- изучение принципов проектирования и создания лазеров, а также оптоэлектронных устройств для управления лазерным излучением, включая современные сверхмощные импульсные лазерные системы;
- изучение оптических свойств наноструктур.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-2 способен осуществлять разработку технологических процессов и технической документации на изготовление, сборку, юстировку и контроль оптических, оптико-электронных, механических блоков, узлов и деталей	ИД-2 <sub>ПК-2</sub> Анализ состояния технологий изготовления, сборки, юстировки и контроля современных оптических и оптико-электронных приборов и комплексов	знать: - суть основных физических явлений, лежащих в основе нанофотоники.  уметь: - проводить расчеты эффективности типовых нанотехнологических устройств современной оптоэлектроники.
ПК-2 способен осуществлять разработку технологических процессов и технической документации на изготовление, сборку, юстировку и контроль оптических, оптико-электронных, механических блоков, узлов и деталей	ИД-3 <sub>ПК-2</sub> Разработка технологических процессов изготовления оптических, оптико-электронных, механических блоков, узлов и деталей	уметь: - применять полученные знания для правильной трактовки наблюдаемых физических явлений.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Компьютерная фотоника (далее – ОПОП), направления подготовки 12.03.01 Приборостроение, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Базируется на уровне среднего общего образования.

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания	
				Контактная работа						СР					
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль		
КПР	ГК	ИККП	ТК												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Введение в нанооптику и нанофотонику	25.80	9	1.0	-	1.0	-	0.50	-	0.30	-	23	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Введение в нанооптику и нанофотонику"</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Введение в нанооптику и нанофотонику"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр.78-86 [3], стр. 170-179</p>	
1.1	Введение в нанофотонику. Основные понятия классической электродинамики	13.40		0.5	-	0.5	-	0.25	-	0.15	-	12	-		
1.2	Скорость спонтанной релаксации	12.40		0.5	-	0.5	-	0.25	-	0.15	-	11	-		
2	Квантовые излучатели	37.05		1.5	-	1.5	-	0.75	-	0.3	-	33	-		<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Квантовые излучатели"</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Квантовые излучатели"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 150-161 [2], стр. 320-332</p>
2.1	Точечные квантовые излучатели	12.35		0.5	-	0.5	-	0.25	-	0.1	-	11	-		
2.2	Силы, вызываемые действием света	12.35	0.5	-	0.5	-	0.25	-	0.1	-	11	-			
2.3	Оптическая микроскопия в ближнем и дальнем поле	12.35	0.5	-	0.5	-	0.25	-	0.1	-	11	-			
3	Плазмоны .Флуктуации на наномасштабе	27.15	9	1.5	-	1.5	-	0.75	-	0.30	-	23.1	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Плазмоны .Флуктуации на наномасштабе"</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу</p>	
3.1	Плазмоны в металлах. Плазмонный резонанс.	12.40		0.5	-	0.5	-	0.25	-	0.15	-	11	-		

	Поверхностные плазмоны. Локализованные плазмонные возбуждения													"Плазмоны .Флуктуации на нанoshкале"
3.2	Флуктуации на нанoshкале. Флуктуационно-диссипативная теорема	14.75	1	-	1	-	0.5	-	0.15	-	12.1	-		
	Зачет	18.0	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	17.7		
	Всего за семестр	108.00	4.0	-	4.0	-	2.00	-	0.90	0.3	79.1	17.7		
	Итого за семестр	108.00	4.0	-	4.0		2.00		0.90	0.3		96.8		

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

## 3.2 Краткое содержание разделов

### 1. Введение в нанооптику и нанофотонику

#### 1.1. Введение в нанофотонику. Основные понятия классической электродинамики

Введение в нанофотонику Объекты и явления, изучаемые в нанофотонике. Что относят к мезо- или нанообъектам, мезо- или наноструктурам? Основные отличия физических и оптических свойств нанообъектов от свойств макроскопических тел. Основные причины отличий свойств нанообъектов от свойств макротел. Концепция ближнего электромагнитного поля. Роль ближнего поля в наблюдаемых оптических явлениях в нанооптике и нанофотонике. Эванесцентные волны. Уравнения Максвелла-Лоренца. Волновые уравнения. Электромагнитное поле в веществе. Усреднение локальных полей в среде. Уравнения Максвелла. Уравнения связи и граничные условия. Пределы применимости системы уравнений связи. Пространственная и временная дисперсии.

#### 1.2. Скорость спонтанной релаксации

Излучение диполя. Реакция излучения, радиационное затухание излучения электрического заряда или диполя. Скорость спонтанной релаксации в рамках классической электродинамики. Ширина линии спонтанного излучения. Скорость спонтанной релаксации и время жизни в рамках квантовой электродинамики. Взаимодействие с континуумом электромагнитных мод. Локальная плотность состояний. Золотое правило Ферми. Случай однородного и неоднородного окружения. Сила осциллятора и квантовый выход. Эффект Пёрселла. Микрорезонаторы. Понятие локального поля. Модель Лоренца. Уравнение Клаузиса-Моссотти. Уравнение Лоренц-Лоренца.

### 2. Квантовые излучатели

#### 2.1. Точечные квантовые излучатели

Флуоресцентные молекулы. Спектр поглощения и излучения флуоресцентных молекул, внедренных в прозрачную твердотельную матрицу или жидкость. Релаксация, взаимодействие с матрицей, времена продольной и поперечной релаксации, ширина линии. Статистика излучения одиночных молекул. Пуассоновская и субпуассоновская статистика. Мерцающая люминесценция одиночных молекул. Полупроводниковые квантовые точки. Зависимость спектров излучения и поглощения от размеров нанокристаллов. Применения квантовых точек в качестве оптического нанозонда.

#### 2.2. Силы, вызываемые действием света

Давление света в рамках электромагнитной теории света. Плотность потока электромагнитной энергии. Опыты Лебедева по измерению светового давления. Тензор напряжений Максвелла. Механическое действие света на наночастицы. Градиентная сила и сила рассеяния. Лазерный пинцет. Оптическая ловушка. Лазерное охлаждение атомов. Момент количества движения переносимый плоской световой волной. Спин и орбитальный момент количества движения фотона. Круговая поляризация света и “закрученный” свет. Получение и использование “закрученного” света.

#### 2.3. Оптическая микроскопия в ближнем и дальнем поле

Дифракционный предел пространственного разрешения. Критерий Аббе. Диск Эйри. Функция рассеяния точечного излучателя. Дифракционное разрешение и Фурье оптика. Высокочастотные пространственные гармоники излучения при освещении образца со сложной пространственной наноструктурой. Оптический микроскоп. Основные параметры, схемы освещения и сбора света. Основные параметры микрообъективов. Светосила и

числовая апертура. Пространственное разрешение микроскопа. Микроскопия темного поля. Ультрамикроскоп, щелевой ультрамикроскоп, метод светового полотна (light sheet).

### 3. Плазмоны .Флуктуации на наномасштабе

3.1. Плазмоны в металлах. Плазмонный резонанс. Поверхностные плазмоны.  
Локализованные плазмонные возбуждения

Взаимодействие электронных возбуждений в металлах с электромагнитным излучением. Понятие объемного плазмона. Теория Друдэ-Зоммерфельда. Дисперсионные кривые. Вклад межзонных переходов. Поверхностный плазмонный резонанс. Возбуждение поверхностных плазмонов методом полного внутреннего отражения. Применения поверхностного плазмонного резонанса для аналитических целей. Микроскоп поверхностного плазмонного резонанса. Локализованный плазмонный резонанс. Возбуждение плазмонов в металлических наноструктурах и наночастицах. Применения локализованного плазмонного резонанса. Использование наночастиц из благородных металлов в качестве нанозондов. Наноантенны. Спазер. Безлинзовая микроскопия..

3.2. Флуктуации на наномасштабе. Флуктуационно-диссипативная теорема

Механизмы возникновения диссипации вызываемой флуктуациями. Функция отклика системы. Белый шум. Формула Найквиста. Излучение абсолютно черного тела. Флуктуационно-индуцированные силы. Дисперсионное взаимодействие. Сила Казимира. Электромагнитное трение.

### **3.3. Темы практических занятий**

1. Модель свободных электронов и формула;
2. Современные твердотельные источники;
3. Распространение света в фотонных материалах с запрещенной зоной.

### **3.4. Темы лабораторных работ** не предусмотрено

### **3.5 Консультации**

#### Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Введение в нанооптику и нанофотонику"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Квантовые излучатели"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Плазмоны .Флуктуации на наномасштабе"

### **3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ**

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)			Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	
<b>Знать:</b>					
суть основных физических явлений, лежащих в основе нанофотоники	ИД-2пк-2	+			Тестирование/Основные физические явления, лежащие в основе нанофотоники
<b>Уметь:</b>					
проводить расчеты эффективности типовых нанотехнологических устройств современной оптоэлектроники	ИД-2пк-2			+	Контрольная работа/Плазмоны
применять полученные знания для правильной трактовки наблюдаемых физических явлений	ИД-3пк-2		+		Контрольная работа/Точечные квантовые излучатели



## **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

**9 семестр**

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Основные физические явления, лежащие в основе нанофотоники (Тестирование)
2. Плазмоны (Контрольная работа)
3. Точечные квантовые излучатели (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

*Зачет (Семестр №9)*

Зачет выставляется по совокупности результатов текущего контроля успеваемости в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ».

В диплом выставляется оценка за 9 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Игнатов А. Н.- "Оптоэлектроника и нанофотоника", (4-е изд., стер.), Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2020 - (596 с.)  
<https://e.lanbook.com/book/133479>;
2. Игнатов, А. Н. Оптоэлектроника и нанофотоника : учебное пособие по направлениям "Электроника и наноэлектроника", "Телекоммуникации" / А. Н. Игнатов . – СПб. : Лань-Пресс, 2011 . – 544 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература) . - ISBN 978-5-8114-1136-8 .;
3. Дмитриев, А. С. Введение в наноэнергетику : учебное пособие по курсам "Проблемы и перспективы наноэнергетики", "Физикохимия наночастиц и наноматериалов", "Тепловые процессы в наноструктурах", по направлению "Ядерная энергетика и теплофизика", профилю "Нанотехнологии и наноматериалы для энергетики" / А. С. Дмитриев, И. А. Михайлова, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Издательский дом МЭИ, 2011 . – 320 с. - ISBN 978-5-383-00654-2 ..

### **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Майнд Видеоконференции.

### **5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:**

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>

2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
5. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
6. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
7. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
8. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
9. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
10. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ж-417/6, Белая мультимедийная студия	стол компьютерный, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, компьютер персональный
	Ж-417/7, Световая черная студия	стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, микрофон, мультимедийный проектор, экран, оборудование специализированное, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Ж-417/1, Компьютерный класс ИДДО	стол преподавателя, стол компьютерный, шкаф для документов, шкаф для одежды, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная передвижная, компьютер персональный, принтер, кондиционер, стенд информационный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Ж-417/1, Компьютерный класс ИДДО	стол преподавателя, стол компьютерный, шкаф для документов, шкаф для одежды, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная передвижная, компьютер персональный, принтер, кондиционер, стенд информационный
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-303, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	Ж-200б, Конференц-зал ИДДО	стол, стул, компьютер персональный, кондиционер
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Ж-417 /2а, Помещение для инвентаря	стеллаж для хранения инвентаря, экран, указка, архивные документы, дипломные и курсовые работы студентов, канцелярский принадлежности, спортивный инвентарь, хозяйственный инвентарь, запасные

		комплектующие для оборудования
--	--	--------------------------------

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

## Нанопотоника

(название дисциплины)

## 9 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

КМ-1 Основные физические явления, лежащие в основе нанопотоники (Тестирование)

КМ-2 Точечные квантовые излучатели (Контрольная работа)

КМ-3 Плазмоны (Контрольная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Зачет.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3
		Неделя КМ:	3	6	9
1	Введение в нанооптику и нанопотонику				
1.1	Введение в нанопотонику. Основные понятия классической электродинамики		+		
1.2	Скорость спонтанной релаксации		+		
2	Квантовые излучатели				
2.1	Точечные квантовые излучатели			+	
2.2	Силы, вызываемые действием света			+	
2.3	Оптическая микроскопия в ближнем и дальнем поле			+	
3	Плазмоны .Флуктуации на наномасштабе				
3.1	Плазмоны в металлах. Плазмонный резонанс. Поверхностные плазмоны. Локализованные плазмонные возбуждения				+
3.2	Флуктуации на наномасштабе. Флуктуационно-диссипативная теорема				+
Вес КМ, %:			35	35	30