

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

---

Направление подготовки/специальность: 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Наименование образовательной программы: Квантовая и оптическая электроника

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**МЕТРОЛОГИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**


<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.01.15</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>8 семестр - 3;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>108 часов</b>
<b>Лекции</b>	<b>8 семестр - 14 часов;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>8 семестр - 14 часов;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>8 семестр - 12 часов;</b>
<b>Консультации</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>8 семестр - 67,7 часа;</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>включая:</b> <b>Тестирование</b> <b>Контрольная работа</b> <b>Дискуссия</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Зачет с оценкой</b>	<b>8 семестр - 0,3 часа;</b>

**Москва 2019**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Зверев П.Г.
	Идентификатор	R29e52435-ZverevPG-6c680d73

(подпись)

П.Г. Зверев

(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 основ метрологии оптического излучения, используемого в лазерной технике; освоение основных методик, используемых для измерения характеристик лазерного излучения

### Задачи дисциплины

- Изучение роли и значения метрологии лазерного излучения в современной науке и технике;
- Изучение физических явлений, лежащих в основе основных методов и устройств, используемых для измерения параметров лазерного излучения;
- Получение практического опыта по измерению параметров лазерного излучения.

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-1 Способен осуществлять техническое управление разработкой проектов квантовооптических систем для решения задач диагностики, навигации, связи и контроля космического пространства	ИД-1 <sub>ПК-1</sub> Анализ исходных требований к разрабатываемому проекту квантово-оптических систем для решения задач диагностики, навигации, связи и контроля космического пространства	знать: - Способы измерения метрологических характеристик лазерного излучения, методики оценки точности измерений.  уметь: - Измерять метрологические характеристики лазерного излучения.
ПК-1 Способен осуществлять техническое управление разработкой проектов квантовооптических систем для решения задач диагностики, навигации, связи и контроля космического пространства	ИД-2 <sub>ПК-1</sub> Техническое управление разработкой и выпуском проектной конструкторской документации для проектов квантово-оптических систем для решения задач диагностики, навигации, связи и контроля космического пространства	знать: - Метрологические характеристики лазерного излучения.  уметь: - Рассчитывать метрологические характеристики лазерного излучения.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Квантовая и оптическая электроника (далее – ОПОП), направления подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать основные законы физики, разделы механика, теплота, электричество, оптика, атомная и ядерная физика
- знать основные свойства оптического излучения, включая волновые и корпускулярные
- знать основы взаимодействия оптического излучения с веществом
- уметь применять основные законы физики для решения прикладных задач
- уметь анализировать и систематизировать результаты измерений

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	16	8	4	-	2	-	-	-	-	-	10	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Подготовка к Тесту №1 (КМ-1). <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Введение" и подготовка к выполнению заданий на практических занятиях. <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Повторение лекционного и изучение дополнительного материала по разделу "Введение" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 20-31, 71-82</p>
1.1	Основные характеристики лазерного излучения.	8		2	-	1	-	-	-	-	-	5	-	
1.2	Основные применения лазерного излучения	8		2	-	1	-	-	-	-	-	5	-	
2	Приемники оптического излучения	35		4	8	6	-	-	-	-	-	17	-	
2.1	Неселективные приемники	16		1	8	2	-	-	-	-	-	5	-	
2.2	Селективные фотоэлектрические приемники	8	1	-	2	-	-	-	-	-	5	-		
2.3	Спектральные характеристики лазерного излучения	11	2	-	2	-	-	-	-	-	7	-	<p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Приемники оптического излучения" подготовка к выполнению заданий на практических</p>	

														занятиях <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Повторение лекционного и изучение дополнительного материала по разделу "Приемники оптического излучения". <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 4-16, 21-34
3	Спектральные, пространственные и временные характеристики лазерного излучения	39	6	4	6	-	-	-	-	-	23	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Подготовка к контрольной работе (КМ-3) и защите лабораторных работ (КМ-4). <b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Спектральные, пространственные и временные характеристики лазерного излучения" материалу.	
3.1	Работа в различных спектральных областях	12	2	-	2	-	-	-	-	-	8	-	<b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Спектральные, пространственные и временные характеристики лазерного излучения" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях	
3.2	Пространственные характеристики лазерного излучения	14	2	2	2	-	-	-	-	-	8	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Повторение лекционного и изучение дополнительного материала по разделу "Спектральные, пространственные и временные характеристики лазерного излучения". <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 41-53 [2], 35-43 [3], 60-72	
3.3	Когерентность лазерного излучения	13	2	2	2	-	-	-	-	-	7	-		
	Зачет с оценкой	18.0	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	17.7		

	<b>Всего за семестр</b>	<b>108.0</b>		<b>14</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.3</b>	<b>50</b>	<b>17.7</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>108.0</b>		<b>14</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.3</b>	<b>50</b>	<b>17.7</b>	

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – 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

#### 1.1. Основные характеристики лазерного излучения.

Метрология как наука. Общие сведения о лазерах, Основные типы лазеров, Характеристики лазерного излучения..

#### 1.2. Основные применения лазерного излучения

Технологические применения лазеров. Управляемые химические реакции. Лазерное разделение изотопов. Управляемый термоядерный синтез. Применение лазеров в научных исследованиях.. Светодальнометрия и светолокация. Геодезия, картография, строительство. Оптические системы связи и передачи информации. Оптические методы обработки информации.. Применение лазеров в медицине..

### 2. Приемники оптического излучения

#### 2.1. Неселективные приемники

Тепловые приемники. Принцип работы, чувствительность и временной отклик приемника. Конструкции тепловых приемников, следящих за  $\Delta T(t)$ . Абсолютные измерения.. Пироэлектрические приемники. Принцип работы, чувствительность и временной отклик приемника. Конструкции пироэлектрических приемников. Приемники продольного и поперечного типов. Схемы включения приемников.. Пондеромоторные приемники. Давление света. Принцип работы, чувствительность и временной отклик приемника. Конструкции пондеромоторных приемников и их элементы..

#### 2.2. Селективные фотоэлектрические приемники

Принцип работы фотоэлектрических приемников (фотоэлементы с внешним фотоэффектом, фотоумножители, фотосопротивления) и их характеристики.. Принцип работы фотоэлектрических приемников (фотоэлементы с запирающим слоем, фотодиоды) и их характеристики.. Приборы с зарядовой связью. Работа МДП конденсатора (МОП структура). Трехфазная схема передачи зарядового пакета. Конструкции приборов с зарядовой связью..

#### 2.3. Спектральные характеристики лазерного излучения

Измерение энергетических характеристик в различных спектральных областях. Источники для градуировки спектральной чувствительности системы. Выделение определенной спектральной области. Светофильтры абсорбционные (цветные стекла) и интерференционные.. Лазеры с фиксированной частотой. Перестраиваемые лазеры. Экспериментальные методы определения спектральных характеристик лазерного излучения с различными диспергирующими элементами (призма, дифракционная решетка, интерферометр Фабри Перо)..

### 3. Спектральные, пространственные и временные характеристики лазерного излучения

#### 3.1. Работа в различных спектральных областях

Источники для градуировки спектральной чувствительности системы. Выделение определенной спектральной области. Светофильтры абсорбционные (цветные стекла) и интерференционные.

#### 3.2. Пространственные характеристики лазерного излучения



Пространственные характеристики лазерного излучения, расходимость, коэффициент дифракционного качества пучка M<sup>2</sup>.. Экспериментальные методы определения пространственного распределения лазерного излучения..

### 3.3. Когерентность лазерного излучения

Пространственная когерентность лазерного излучения, методы исследования, схема Юнга. Временная когерентность лазерного излучения, методы исследования, интерферометр Майкельсона.

### 3.3. Темы практических занятий

1. Введение. Основные характеристики лазерного излучения;
2. Основные применения лазерного излучения;
3. Приемники оптического излучения, классификация. Тепловые, пндеромоторные, фотоэлектрические приемники;
4. Измерение энергетических характеристик лазерного излучения;
5. Методы исследования пространственных характеристик оптического излучения;
6. Методы исследования спектральных характеристик оптического излучения;
7. Методы исследования когерентности оптического излучения. Пико- и фемтосекундные лазерные импульсы.

### 3.4. Темы лабораторных работ

1. Фотографическая фотометрия лазерного излучения;
2. Измерение пространственного распределения лазерного излучения;
3. Доплеровский метод измерения временной когерентности лазерного излучения;
4. Моделирование на ЭВМ корреляционных методов измерения временных характеристик сверхкоротких импульсов лазерного излучения.

### 3.5 Консультации

### 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>					
Способы измерения метрологических характеристик лазерного излучения, методики оценки точности измерений	ИД-1 <sub>ПК-1</sub>		+		Тестирование/Тест 2
Метрологические характеристики лазерного излучения	ИД-2 <sub>ПК-1</sub>	+			Тестирование/Тест 1
<b>Уметь:</b>					
Измерять метрологические характеристики лазерного излучения	ИД-1 <sub>ПК-1</sub>		+	+	Дискуссия/Защита лабораторных работ
Рассчитывать метрологические характеристики лазерного излучения	ИД-2 <sub>ПК-1</sub>		+	+	Контрольная работа/Контрольная работа

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

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

**8 семестр**

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа (Контрольная работа)
2. Тест 1 (Тестирование)
3. Тест 2 (Тестирование)

Форма реализации: Устная форма

1. Защита лабораторных работ (Дискуссия)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

*Зачет с оценкой (Семестр №8)*

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и зачетной составляющих.

В диплом выставляется оценка за 8 семестр.

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

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

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

1. Зубов, В. А. Физика лазеров : учебное пособие по курсам "Квантовая и оптическая электроника", "Квантовые источники излучения" по направлению "Электроника и микроэлектроника" / В. А. Зубов, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Издательский дом МЭИ, 2007 . – 92 с. - К 100-летию со дня рождения профессора В. А. Фабриканта . - ISBN 978-5-383-00075-5 . ;
2. Орлов, Д. А. Приемники оптического излучения : учебное пособие для вузов по специальности 210103 "Квантовая и оптическая электроника" направления 210100 "Электроника и микроэлектроника" / Д. А. Орлов, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Издательский дом МЭИ, 2010 . – 80 с. - ISBN 978-5-383-00493-7 .  
[http://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=1674](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=1674);
3. Борейшо А. С., Ивакин С. В.- "Лазеры: устройство и действие", (3-е изд., стер.), Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2022 - (304 с.)  
<https://e.lanbook.com/book/186213>.

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

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Майнд Видеоконференции;
4. SmathStudio.

### 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. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
5. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
6. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
7. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
8. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
9. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>

### 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	А-202, Учебная мультимедийная аудитория каф. Физики	парта, стол преподавателя, стул, шкаф для хранения инвентаря, доска интерактивная, мультимедийный проектор, доска маркерная, колонки, ноутбук
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	А-100/2, Учебная лаборатория "Физическая оптика и диагностика турбулентности"	кресло рабочее, стул, шкаф для одежды, шкаф для хранения инвентаря, стол письменный, колонки, компьютер персональный, стенд учебный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	А-202, Учебная мультимедийная аудитория каф. Физики	парта, стол преподавателя, стул, шкаф для хранения инвентаря, доска интерактивная, мультимедийный проектор, доска маркерная, колонки, ноутбук
Помещения для самостоятельной работы	А-111/2, Компьютерный класс каф. Физики	стол компьютерный, стул, шкаф для документов, шкаф для одежды, шкаф для хранения инвентаря, компьютер персональный, принтер
Помещения для консультирования	А-201/1, Кабинет сотрудников каф. Физики	стол, стул, шкаф для документов, шкаф для одежды, колонки, компьютер персональный, принтер
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Б-101/1, Склад каф. Физики им. В.А. Фабриканта	

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

## Метрология лазерного излучения

(название дисциплины)

## 8 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

КМ-1 Тест 1 (Тестирование)

КМ-2 Тест 2 (Тестирование)

КМ-3 Контрольная работа (Контрольная работа)

КМ-4 Защита лабораторных работ (Дискуссия)

Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	15
1	Введение					
1.1	Основные характеристики лазерного излучения.		+			
1.2	Основные применения лазерного излучения		+			
2	Приемники оптического излучения					
2.1	Неселективные приемники			+	+	+
2.2	Селективные фотоэлектрические приемники			+	+	+
2.3	Спектральные характеристики лазерного излучения				+	+
3	Спектральные, пространственные и временные характеристики лазерного излучения					
3.1	Работа в различных спектральных областях				+	+
3.2	Пространственные характеристики лазерного излучения				+	+
3.3	Когерентность лазерного излучения				+	+
Вес КМ, %:			15	15	30	40