

**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: Лазерная и оптическая измерительная электроника**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Метрология лазерного излучения**

**Москва  
2023**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	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)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	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)

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

(подпись)

Н.М.

Скорнякова

(расшифровка  
подписи)

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-1 Способен осуществлять техническое управление разработкой проектов квантовооптических систем для решения задач диагностики, навигации, связи и контроля космического пространства

ИД-1 Анализ исходных требований к разрабатываемому проекту квантово-оптических систем для решения задач диагностики, навигации, связи и контроля космического пространства

ИД-2 Техническое управление разработкой и выпуском проектной конструкторской документации для проектов квантово-оптических систем для решения задач диагностики, навигации, связи и контроля космического пространства

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

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)

## БРС дисциплины

8 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	12	15
Введение					
Основные характеристики лазерного излучения.	+				
Основные применения лазерного излучения	+				
Приемники оптического излучения					
Неселективные приемники			+	+	+
Селективные фотоэлектрические приемники			+	+	+

Спектральные характеристики лазерного излучения			+	+
Спектральные, пространственные и временные характеристики лазерного излучения				
Работа в различных спектральных областях			+	+
Пространственные характеристики лазерного излучения			+	+
Когерентность лазерного излучения			+	+
Вес КМ:	15	15	30	40

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

### *I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций*

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ПК-1	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	Тест 2 (Тестирование) Защита лабораторных работ (Дискуссия)
ПК-1	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	Тест 1 (Тестирование) Контрольная работа (Контрольная работа)

## II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

### КМ-1. Тест 1

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проводится на занятии в виде письменного теста, в течение 30 минут. Тест состоит из 10 вопросов. В каждом вопросе 4 варианта ответов.

#### Краткое содержание задания:

Выбрать правильный вариант ответа

1) В международном толковании метрология это

А) наука об измерении длины

В) наука об измерениях

С) наука обо всем

Д) часть физики

2) расставьте в порядке укорочения длительности

А) секунда, наносекунда, микросекунда, пикосекунда

В) микросекунда, наносекунда, миллисекунда, фемтосекунда

С) миллисекунда, наносекунда, фемтосекунда, аттосекунда

Д) секунда, наносекунда, фемтосекунда, мегасекунда

#### Контрольные вопросы/задания:

Знать: Метрологические характеристики лазерного излучения	1. Чем определяется спектр излучения лазера? 2. Что такое "метрология"? 3. Перечислите метрологические характеристики лазерного излучения (не менее 3-х).
---	---

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания: Сделано не более одной ошибки*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания: Сделаны две ошибки*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Сделаны три или четыре ошибки*

### КМ-2. Тест 2

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Необходимо дать краткий ответ на поставленный вопрос. Всего вопросов 6.

**Краткое содержание задания:**

1. Перечислите не менее трех неселективных приемников оптического излучения.
2. Объясните принцип действия термоэлектрического приемника лазерного излучения.
3. Какой из пироприемников ( продольного или поперечного типа ) обладает максимальной чувствительностью?
4. Почему пондеромоторный приемник обладает низкой чувствительностью?
5. Какой из тепловых приемников обладает наилучшим временным разрешением?
6. Какое максимальное число электрон-дырочных пар может создать один фотон с длиной волны 400 нм, 800 нм или 10 мкм в кремниевом катоде (ширина запрещенной зоны в кремнии 1.1 эВ).

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: Способы измерения метрологических характеристик лазерного излучения, методики оценки точности измерений	1.Перечислите не менее трех неселективных приемников оптического излучения. 2.Почему пондеромоторный приемник обладает низкой чувствительностью? 3.Объясните принцип действия термоэлектрического приемника лазерного излучения.
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 100*

*Описание характеристики выполнения знания:* На все шесть вопросов даны правильные ответы

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 83*

*Описание характеристики выполнения знания:* На пять вопросов даны правильные ответы

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 67*

*Описание характеристики выполнения знания:* На четыре вопроса даны правильные ответы

**КМ-3. Контрольная работа**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенту выдается вариант с 3 задачами. На решение отводится 45 минут.

**Краткое содержание задания:**

1. Десятичный показатель поглощения светофильтра на заданной длине волны равен 4. Толщина светофильтра 5 мм. Определите оптическую плотность D. Какая часть излучения с заданной длиной волны пройдет через светофильтр (в процентах)? Отражением от поверхности светофильтра можно пренебречь.
2. У вас есть три прозрачные плоскопараллельные пластинки из кварцевого стекла (n=1,50), сапфира (n=1,77), фианита (n=2,25). Как с их помощью ослабить лазерное излучение на 30%. Интерференционными эффектами в пластинках можно пренебречь.

3. Идеальный гауссов пучок с длиной волны 1 мкм можно сфокусировать в пятно диаметром 50 мкм с расходимостью излучения 25 мРад. Можно ли излучение лазера с длиной волны 1 мкм и параметром качества пучка равным  $M^2=2$  сфокусировать в пятно диаметром 50 мкм? Какой при этом будет расходимость лазерного излучения?

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Уметь: Рассчитывать метрологические характеристики лазерного излучения</p>	<p>1. Как рассчитать оптическую плотность?                  2. Как с их помощью ослабить на 30% лазерное излучение с помощью плоскопараллельной пластинки из флинта?                  3. Как рассчитать угол поворота зеркала поворотно-отражающего приемника при его облучении непрерывным лазерным излучением с мощностью 1 Вт?</p>
---	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 99*

*Описание характеристики выполнения знания:* Намечен рациональный путь решения всех задач, получен верный конечный результат в виде формулы и численного значения, с корректным указанием всех размерностей.

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 66*

*Описание характеристики выполнения знания:* Намечен рациональный путь решения 2 из 3 задач, получен верный конечный результат в виде формулы и численного значения, с корректным указанием всех размерностей, либо верно решены 3 задачи с незначительными ошибками в расчётах.

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 33*

*Описание характеристики выполнения знания:* Намечен рациональный путь решения 1 из 3 задач, получен верный конечный результат в виде формулы и численного значения, с корректным указанием всех размерностей, либо верно решены 2 задачи с незначительными ошибками в расчётах.

**КМ-4. Защита лабораторных работ**

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Дискуссия

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 40

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенту выдаётся по одному вопросу на каждую лабораторную работу. На подготовку к ответу выделяется 15 минут.

**Краткое содержание задания:**

- - Объяснить принципы корреляционных методов измерения структуры изменяющихся во времени оптических сигналов;
- - Приведите основные характеристики случайных оптических сигналов;
- - Пространственные анализаторы параллельно-последовательного типа;
- - Чем отличаются методики измерений абсолютного и относительного распределений световой мощности.



**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: Измерять метрологические характеристики лазерного излучения	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Почему при получении характеристической кривой экспозицию следует изменять в геометрической прогрессии?</li><li>2. Пояснить и проиллюстрировать трудности корреляционных методов измерения структуры оптических сигналов.</li><li>3. Поясните принцип работы измерительной установки.</li></ol>
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется, если дан корректный и исчерпывающий ответ на основные и дополнительные вопросы*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется, если дан в целом корректный и исчерпывающий ответ на основные и дополнительные вопросы, но допущены незначительные ошибки или неточности.*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется, если ответы на все вопросы даны преимущественно верно.*

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 8 семестр

Форма промежуточной аттестации: Зачет с оценкой

### Пример билета

МЭИ	Зачет БИЛЕТ № 2 Кафедра Физики им В.А. Фабриканта	«Утверждаю» Зав. кафедрой
	Метрология лазерного излучения	
Институт РЭ		
<p>1. Принцип работы фотоэлектрических приемников (фотосопротивления), характеристики и схемы включения.</p> <p>2. Задача. Импульс лазерного излучения длительностью 30 нс, с длиной волны 1064 нм и энергией <math>W_n = 50</math> мДж ослабляется фильтром из цветного стекла с показателем преломления <math>n=1.5</math> толщиной 2 мм с коэффициентом поглощения на длине волны 1064 нм равным <math>4 \text{ см}^{-1}</math> и падает на пироэлектрический приемник. Какой максимальный пироэлектрический ток может быть получен с приемника, если коэффициент поглощения в нем равен <math>\alpha=0.9</math>, а чувствительный элемент изготовлен из <math>\text{BaTiO}_4</math> с теплоемкостью <math>0.5 \text{ Дж/г град}</math>, массой 1 грамм с интегральным пироэлектрическим коэффициентом <math>\gamma</math> равным <math>2 \text{ мА/град.сек}</math>. Нарисовать график зависимости пироэлектрического тока от времени при включении лазерного излучения с указанием характерного времени переходного процесса.</p>		

### Процедура проведения

Проводится в устной форме по билетам в виде подготовки и изложения развернутого ответа. Время на подготовку ответа – 45 минут.

### 1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины

**1. Компетенция/Индикатор:** 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

### Вопросы, задания

1. Метрология как наука. Обработка экспериментальных данных. Точность, ошибка измерений, сложение ошибок. Метод наименьших квадратов.
2. Принцип работы фотоэлектрических приемников (фотоэлементы с запирающим слоем, фотодиоды) и их характеристики.
3. Тепловые приемники излучения, следящие за  $DT(t)$ . Принципы работы, баланс тепловой энергии, отклик приемника.
4. Работа теплового приемника, следящего за  $DT(t)$ , при измерении характеристик непрерывного излучения, одиночного импульса и импульсно-периодического излучения.
5. Конструкции тепловых приемников, следящих за  $DT(t)$ . Абсолютные измерения. Блок-схема. Элементы приемников.
6. Пироэлектрический приемник. Работа пироэлектрического приемника при измерении характеристик непрерывного и импульсного излучения лазеров. Частотные ограничения.
7. Конструкции пироэлектрических приемников. Приемники продольного и поперечного типов. Схемы включения приемников.
8. Пондеромоторные измерители, принцип работы, измерение непрерывного излучения.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. В международном толковании метрология это  
Ответы:

- A) наука об измерении длины
- B) наука об измерениях
- C) наука обо всем
- D) часть физики

Верный ответ: B) наука об измерениях

2. Калибровка средства измерения (СИ) это

Ответы:

- A) сравнение данного СИ с любым другим СИ
- B) проверка работоспособности данного СИ
- C) сравнение данного СИ с более точным СИ
- D) замена СИ новым СИ

Верный ответ: C) сравнение данного СИ с более точным СИ

3. Калибровка средства измерения (СИ) проводится

Ответы:

- A) высшим должностным лицом государственной метрологической службы
- B) доктором технических наук, профессором кафедры метрологии
- C) сотрудником метрологической службы или физическим лицом при наличии соответствующей квалификации.
- D) любым студентом технического ВУЗа

Верный ответ: C) сотрудником метрологической службы или физическим лицом при наличии соответствующей квалификации.

4. Выберите только неселективные приемники, чувствительность которых не зависит от длины волны измеряемого излучения

Ответы:

- A) фотодиоды, тепловые, пьезоэлектрические
- B) ПЗС, фотокатоды, пироприемники
- C) пироприемники, тепловые, пьезоэлектрические
- D) фотокатоды, фотодиоды, фотосопротивления

Верный ответ: C) пироприемники, тепловые, пьезоэлектрические

5. Какие приборы используют для анализа спектральных параметров лазерного излучения?

Ответы:

- A) Монохроматор
- B) Шагомер
- C) Измеритель мощности
- D) Длинномер

Верный ответ: A) Монохроматор

**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-2ПК-1 Техническое управление разработкой и выпуском проектной конструкторской документации для проектов квантово-оптических систем для решения задач диагностики, навигации, связи и контроля космического пространства

### Вопросы, задания

1. Измерение энергетических характеристик в различных спектральных областях. Источники для градуировки спектральной чувствительности системы.
2. Применения лазеров. Светодальнометрия и светолокация. Геодезия, картография, строительство. Оптические системы связи и передачи информации. Оптические методы обработки информации. Применение лазеров в научных исследованиях.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Какие характеристики относятся к лазерному излучению?

Ответы:

- A) Длина волны, работа, сила, энергия

- В) Давление, спектр, вес, жесткость
- С) Мощность, интенсивность, расходимость, длина волны
- Д) Длительность, размер, эффективность, температура

Верный ответ: С) Мощность, интенсивность, расходимость, длина волны

2. Мощность лазерного излучения измеряется в

Ответы:

- А) джоуль
- В) люмен
- С) кандел
- Д) ватт

Верный ответ: Д) ватт

3. Расставьте в порядке укорочения длительности импульса

Ответы:

- А) секунда, наносекунда, микросекунда, пикосекунда
- В) микросекунда, наносекунда, миллисекунда, фемтосекунда
- С) миллисекунда, микросекунда, наносекунда, пикосекунда
- Д) секунда, наносекунда, фемтосекунда, мегасекунда

Верный ответ: С) миллисекунда, микросекунда, наносекунда, пикосекунда

4. Расставьте в порядке уменьшения длину волны лазерного излучения

Ответы:

- А) миллиметр, микрометр, нанометр, пикометр
- В) микрометр, нанометр, миллиметр, фемтометр
- С) метр, нанометр, микрометр, пикометр
- Д) метр, дециметр, километр, мегаметр

Верный ответ: А) миллиметр, микрометр, нанометр, пикометр

5. Расставьте в порядке увеличения мощности

Ответы:

- А) ватт, киловатт, нановатт, микроватт
- В) микроватт, милливатт, мегаватт, гигаватт
- С) нановатт, киловатт, пиковатт, сантиватт
- Д) милливатт, джоуль, киловатт, гигаватт

Верный ответ: В) микроватт, милливатт, мегаватт, гигаватт

6. К какому спектральному диапазону электромагнитного излучения относится лазерное излучение с длиной волны 532 нм?

Ответы:

- А) СВЧ-диапазону
- В) видимому
- С) инфракрасному
- Д) терагерцовому

Верный ответ: В) видимому

7. Выберите лазер, работающий на длине волны в области 10 мкм

Ответы:

- А) рубиновый лазер
- В) лазер на неодимовом стекле
- С) CO<sub>2</sub> лазер
- Д) гелий-неоновый лазер

Верный ответ: С) CO<sub>2</sub> лазер

8. Какой из перечисленных устройств имеет наибольшее спектральное разрешение?

Ответы:

- А) призмный спектрометр
- В) спектрометр с дифракционной решеткой
- С) средство измерений мощности

D) цветной стеклянный светофильтр

Верный ответ: B) спектрометр с дифракционной решеткой

9. Лазер генерирует прямоугольные импульсы с энергией в импульсе  $E$  и длительностью импульса  $t$ . Чему равна средняя мощность лазерного излучения?

Ответы:

A)  $E/t$

B)  $E/2t$

C)  $E \times t$

D)  $E \times 2t$

Верный ответ: A)  $E/t$

10. Какой лазер дает самые короткие импульсы генерации?

Ответы:

A) лазер, работающий в непрерывном режиме.

B) лазер, работающий в режиме синхронизации мод

C) лазер, работающий в режиме свободной генерации.

D) лазер, работающий в режиме модулированной добротности.

Верный ответ: B) лазер, работающий в режиме синхронизации мод

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 95*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка «ОТЛИЧНО» выставляется студенту, если на все задания билеты и дополнительные вопросы даны верные ответы, возможна небольшая арифметическая ошибка при решении задачи.

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка «ХОРОШО» выставляется студенту, в основном правильно ответившему на вопросы билета и на дополнительные вопросы, но допустившему при этом непринципиальные ошибки.

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 65*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется студенту, который в ответах на задания в билете допустил существенные и даже грубые ошибки, но затем исправил их сам, либо по указаниям преподавателя.

## **III. Правила выставления итоговой оценки по курсу**

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