

**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  
Программы расчётов систем квантовой электроники**

**Москва  
2023**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Сапронов М.В.
	Идентификатор	Rd33df1e8-SapronovMV-9c31c84d

(подпись)

М.В.


Сапронов

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

ИД-4 Создание структурных и конструктивно-компоновочных схем с использованием современных систем автоматизированного проектирования квантовооптических систем

2. ПК-2 Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования

ИД-2 Владеет навыками компьютерного моделирования в области квантовой электроники

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Контрольная работа №1 (Контрольная работа)
2. Контрольная работа №2 (Контрольная работа)
3. Тест №2 (Тестирование)

Форма реализации: Письменная работа

1. Тест №1 (Тестирование)

Форма реализации: Смешанная форма

1. Защита лабораторных работ (Дискуссия)

## БРС дисциплины

5 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %					
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
	Срок КМ:	4	8	12	16	16
Программы моделирования волновых явлений в системах квантовой электроники						
Компьютерные технологии в процессе моделирования	+	+			+	

Основы работы с программным комплексом OptiFDTD		+			+
Программы расчета распространения лазерного излучения в оптических трактах систем квантовой электроники					
Гауссов пучок			+	+	+
Основы работы в САПР SYNOPSIS					+
Программы моделирования и обработки экспериментальных результатов в квантовой электронике					
Компьютерные технологии в научном эксперименте				+	+
Основы языка программирования Visual Basic for Application (VBA)				+	+
Вес КМ:	10	15	25	25	25

\$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-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	Уметь: Применять навыки разработки и выпуска проектной документации для проектов квантово-оптических систем. (КМ-5)	Защита лабораторных работ (Дискуссия)
ПК-1	ИД-4ПК-1 Создание структурных и конструктивно-компоновочных схем с использованием современных систем автоматизированного проектирования квантовооптических систем	Знать: Методики аналитического и численного расчета оптических и оптико-электронных систем и комплексов. (КМ-4 и КМ-5) Уметь: Применять технологии компьютерного моделирования и методы расчета оптических систем и оптических элементов	Контрольная работа №1 (Контрольная работа) Контрольная работа №2 (Контрольная работа) Защита лабораторных работ (Дискуссия)

		оптико-электронных комплексов для решения практических задач в области квантовой электроники. (КМ-3 и КМ-5)	
ПК-2	ИД-2 <sub>ПК-2</sub> Владеет навыками компьютерного моделирования в области квантовой электроники	<p>Знать:          Принципы рационального построения алгоритмов, направленных на решение задач квантовой электроники, с учетом особенностей и специфики каждой конкретной задачи. (КМ-1 и КМ-5)</p> <p>Уметь:          Создавать структурные и конструктивно-компоновочные схемы с использованием современных систем проектирования квантово-оптических систем. (КМ-2 и КМ-5)</p>	<p>Тест №1 (Тестирование)          Тест №2 (Тестирование)          Защита лабораторных работ (Дискуссия)</p>

## 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:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенту выдается вариант с 1 заданием. На весь тест отводится 30 минут.

#### Краткое содержание задания:

Свет с длиной волны 535 нм падает нормально на дифракционную решетку. Найти ее период, если одному из дифракционных максимумов соответствует угол дифракции 35 градусов, а наибольший порядок спектра равен пяти.  
Изобразите блок-схему алгоритма решения задачи.

#### Контрольные вопросы/задания:

Знать: Принципы рационального построения алгоритмов, направленных на решение задач квантовой электроники, с учетом особенностей и специфики каждой конкретной задачи. (КМ-1 и КМ-5)	<ol style="list-style-type: none"><li>1.Перечислите базовые алгоритмические структуры.</li><li>2.Сформулируйте принципы построения алгоритмов.</li><li>3.Чего стоит избегать при использовании циклических алгоритмических структур.</li></ol>
---	--

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется, если намечен рациональный путь решения задания, получен верный конечный результат.

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется, если получен верный конечный результат.

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется, если намечен путь решения.

### КМ-2. Тест №2

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенту выдается вариант с 3 заданиями. Студенту нужно решить эти задания с применением компьютерных технологий. На весь тест отводится два академических часа.

#### Краткое содержание задания:

Необходимо получить амплитудное и фазовое распределение поля оптического излучения при его распространении через кольцевой волновод в САПР OptiFDTD.

1. Создайте модель диэлектрического кольцевого волновода с прямоугольным профилем показателя преломления  $n$ . Волновод находится в воздухе и должен быть расположен параллельно плоскости  $xOz$ . Прочие параметры волновода приведены в таблице 2 в соответствии с вариантом (вариант соответствует порядковому номеру студента в списке группы).

2. Создайте модель падающего на волновод импульса лазерного излучения. Считайте, что излучение распространяется вдоль оси  $Oz$ . Прочие параметры падающего излучения приведены в таблице 3 в соответствии с вариантом.

3. Проведите расчет дифракционного поля, сохраните графики пространственного распределения компонент амплитуды электрической напряженности  $E_x$  и/или  $E_y$  и фазы по расчетной сетке. Размеры расчетной области должны превышать диаметр кольцевого волновода не менее, чем в 2 раза.

#### Контрольные вопросы/задания:

Уметь: Создавать структурные и конструктивно-компоновочные схемы с использованием современных систем проектирования квантово-оптических систем. (КМ-2 и КМ-5)	1. Что такое профиль волновода? 2. В чем заключаются основные особенности метода конечных разностей во временной области (FDTD) для численного решения уравнений Максвелла? 3. Перечислите основные приложения программного комплекса "OptiFDTD".
---	---

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется, если намечен рациональный путь решения всех заданий, получен верный конечный результат.*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется, если намечен рациональный путь решения 2 из 3 заданий, получен верный конечный результат.*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется, если намечен рациональный путь решения 1 из 3 заданий, получен верный конечный результат.*

#### КМ-3. Контрольная работа №1

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенту выдается вариант с 3 заданиями. Студенту нужно решить эти задания с применением компьютерных технологий. На всю контрольную работу отводится два академических часа.

#### Краткое содержание задания:

Оптическая система состоит из двух собирающих линз.



Радиусы кривизны первой и второй преломляющих поверхностей первой линзы равны 200 мм и -600 мм соответственно, толщина – 10 мм, показатель преломления – 1,63. Фокусное расстояние второй линзы равно 20 см, ее толщиной можно пренебречь. Первая линза расположена на расстоянии 20 см от выходного зеркала лазера.

Источником излучения служит Nd:YAG лазер с удвоителем частоты (радиус перетяжки пучка 0,75 мм; длина волны 0,532 мкм, перетяжка расположена на выходном зеркале лазера).

1. Определить зависимость радиуса перетяжки прошедшего пучка от расстояния между линзами, и построить ее график.
  2. Определить зависимость расстояния между второй линзой и перетяжкой прошедшего пучка от расстояния между линзами, и построить ее график.
  3. Использовать результаты выполнения п.2, чтобы найти наименьшее расстояние между линзами, при котором перетяжка прошедшего пучка окажется за второй линзой на расстоянии 1 м от второй линзы. Для решения нелинейного уравнения использовать метод секущих (модификация метода Ньютона).
- Задание выполнить и оформить в среде MathCAD.

### Контрольные вопросы/задания:

<p>Уметь: Применять технологии компьютерного моделирования и методы расчета оптических систем и оптических элементов оптико-электронных комплексов для решения практических задач в области квантовой электроники. (КМ-3 и КМ-5)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Как найти матрицу сложной оптической системы?</li> <li>2. В чем физический смысл мнимой и действительной части комплексного параметра гауссового пучка?</li> <li>3. В чем заключается метод бисекций решения нелинейных уравнений.</li> <li>4. В чем заключается метод Ньютона решения нелинейных уравнений.</li> </ol>
--	---

### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется, если намечен рациональный путь решения всех заданий, получен верный конечный результат.

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется, если намечен рациональный путь решения 2 из 3 заданий, получен верный конечный результат.

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется, если намечен рациональный путь решения 1 из 3 заданий, получен верный конечный результат.

### КМ-4. Контрольная работа №2

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенту выдается вариант с 2 заданиями. Студенту нужно решить эти задания с применением компьютерных технологий. На весь тест отводится два академических часа.

### Краткое содержание задания:

Оптическая система состоит из двух собирающих линз.

Фокусные расстояния первой и второй линз равны 10 см и 30 см соответственно. Первая линза расположена на расстоянии 10 см от выходного зеркала лазера.

Источником излучения служит одномодовый He-Ne лазер (радиус перетяжки пучка 0,4 мм; длина волны 0,6328 мкм, интенсивность на оси пучка в перетяжке равна 4 Вт/м<sup>2</sup>, перетяжка расположена на выходном зеркале лазера).

1. Определите зависимость радиуса перетяжки преобразованного пучка от расстояния между линзами и постройте ее график. Найдите расстояние между линзами, при котором радиус перетяжки пучка будет максимальным, используя численный метод Фибоначчи.
2. Линзы установили на расстоянии 20 см друг от друга, а на расстоянии 50 см за второй линзой был установлен фотоприемник с круглой входной диафрагмой (чувствительность  $S = 2$  мА/Вт). Определите зависимость фототока от радиуса входной диафрагмы приемника, используя квадратурную формулу Симпсона для поиска мощности излучения. Постройте график найденной зависимости.

### Контрольные вопросы/задания:

Знать: Методики аналитического и численного расчета оптических и оптико-электронных систем и комплексов. (КМ-4 и КМ-5)	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Сформулируйте принцип расчета параметров гауссова пучка, преобразованного оптической системой, с помощью матричного метода?</li><li>2. Какие методы численного решения задачи одномерной минимизации функции Вам известны? В чем они заключаются?</li><li>3. Какие методы численного интегрирования Вам известны? В чем они заключаются?</li></ol>
--	---

### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется, если намечен рациональный путь решения всех заданий, получен верный конечный результат.

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется, если намечен рациональный путь решения 1 из 2 заданий, получен верный конечный результат.

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется, если намечен рациональный путь решения всех заданий, однако, конечный результат не получен в явном виде.

### КМ-5. Защита лабораторных работ

**Формы реализации:** Смешанная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Дискуссия

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенту выдается по одному вопросу на каждую лабораторную работу. На подготовку к ответу отводится один академически час.

### Краткое содержание задания:

1. В чем заключается функциональное назначение САПР OptiFDTD? Какие расчеты можно проводить в этой программе?
2. Каким образом можно создать модель дифракционной решетки с помощью САПР OptiFDTD?
3. Что такое среднее значение и дисперсия случайной величины? Запишите формулу для расчета среднеквадратичного отклонения случайной величины.
4. Какие существуют типы данных в VBA?
5. Назовите виды управляющих конструкций в VBA?
6. С какими объектами MS Excel можно работать, используя язык VBA?
7. Как провести абберационный расчет оптической системы с помощью SYNOPSIS?
8. Какие основные этапы оптимизации оптической системы Вам известны?

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: Методики аналитического и численного расчета оптических и оптико-электронных систем и комплексов. (КМ-4 и КМ-5)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Поясните кратко алгоритм поиска параметров гауссова пучка методом подбора теоретической зависимости, которая наилучшим образом соответствует экспериментальным данным по критерию наименьшего среднеквадратичного отклонения. Какие возможности в среде MathCAD существуют для реализации такого алгоритма?</li> <li>2. Какие элементы формы VBA можно использовать для получения информации от пользователя?</li> </ol>
<p>Знать: Принципы рационального построения алгоритмов, направленных на решение задач квантовой электроники, с учетом особенностей и специфики каждой конкретной задачи. (КМ-1 и КМ-5)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Как представить алгоритм с помощью блок-схемы?</li> </ol>
<p>Уметь: Применять навыки разработки и выпуска проектной документации для проектов квантово-оптических систем. (КМ-5)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Что такое оптимизация оптической системы?</li> <li>2. В среде MathCAD постройте графики основных характеристик гауссова пучка.</li> <li>3. Что следует понимать под термином “профиль волновода” в САПР OptiFDTD? Какие возможности задания профиля волновода предусмотрены в этой программе?</li> </ol>
<p>Уметь: Применять технологии компьютерного моделирования и методы расчета оптических систем и оптических элементов оптико-электронных комплексов для решения практических задач в области квантовой электроники. (КМ-3 и КМ-5)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Какие параметры гауссова пучка Вам известны? Объясните в чем их смысл?</li> </ol>
<p>Уметь: Создавать структурные и конструктивно-компоновочные схемы с использованием современных систем проектирования квантово-оптических систем. (КМ-2 и КМ-5)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Какие параметры падающего излучения можно задавать в САПР OptiFDTD?</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 "отлично" 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: 50*

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

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 5 семестр

### Форма промежуточной аттестации: Экзамен

#### Пример билета

1. Основы работы с программным комплексом OptiFDTD. Расчет амплитудно-фазового распределения поля электромагнитной волны.
2. Перетяжка гауссова пучка ( $w_0 = 0,5$  мм) расположена на выходном зеркале лазера ( $\lambda = 632,8$  нм). В среде MathCAD постройте график зависимости радиуса гауссова пучка от продольной координаты  $w(z)$ . Используя метод бисекций, определите расстояние от выходного зеркала лазера до точки на оси пучка, в которой его радиус превышает радиус перетяжки в 2 раза, с точностью  $\varepsilon = 10^{-4}$  м.
3. В редакторе MS Excel создайте форму VBA с полями ввода показателей преломления двух сред  $n_1$  и  $n_2$  и кнопкой «Расчет», при нажатии на которую появляются значения углов Брюстера и полного внутреннего отражения (ПВО) в градусах. Если критического угла ПВО не существует, то должно появиться сообщение об этом.

#### Процедура проведения

Экзамен проводится в смешанной форме, теоретическая часть билета выполняется письменно, задачи практической части выполняются с применением компьютера. Студенту выдается билет с 1 теоретическим заданием и 2 задачами. Время проведения экзамена - 120 минут.

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

**1. 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. Обзор специализированных компьютерных технологий в области квантовой электроники.
2. Расчет параметров и анализ характеристик оптических систем и оптических элементов в средстве автоматизированного проектирования SYNOPSIS.
3. Определите радиус кривизны второй преломляющей поверхности  $R_2$  линзы из стекла ФКЗ, используя «Synopsys». Вершинное фокусное расстояние составляет 300 мм, радиус кривизны первой преломляющей поверхности  $R_1 = 250$  мм, толщина  $d = 3$  мм, апертура  $D = 20$  мм. Получите изображение линзы, спецификацию ее параметров и величину хроматических aberrаций.
4. Определите вершинное фокусное расстояние линзы из стекла ФЗ, используя «Synopsys». Радиусы кривизны первой и второй преломляющих поверхностей равны  $R_1 = 250$  мм и  $R_2 = -150$  мм соответственно, толщина  $d = 3$  мм, апертура  $D = 20$  мм. Получите изображение линзы, спецификацию ее параметров и величину хроматических aberrаций.

## Материалы для проверки остаточных знаний

1. В чем заключается функциональное назначение САПР SYNOPSIS?

Ответы:

- а) Проектирование и расчёт оптических систем
- б) Проектирование субмикронных волноводных структур
- в) Численное решение уравнения Максвелла
- д) Проектирование фотоприемных устройств

Верный ответ: а)

2. Какие способы ввода параметров оптической системы предусмотрены в САПР SYNOPSIS?

Ответы:

- а) только с помощью командной строки
- б) только с помощью графического интерфейса
- в) с помощью командной строки, с помощью табличного интерфейса
- г) только с помощью табличного интерфейса

Верный ответ: в)

**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-4ПК-1 Создание структурных и конструктивно-компоновочных схем с использованием современных систем автоматизированного проектирования квантовооптических систем

## Вопросы, задания

1. Гауссов пучок. Основные параметры.
2. Матричное описание оптических элементов и оптических систем. Матрицы простейших оптических элементов. Матрица сложной оптической системы.
3. Распространение гауссова пучка через оптическую систему. Закон ABCD.
4. Численное решение нелинейных уравнений. Метод бисекций.
5. Численное решение нелинейных уравнений. Метод Ньютона.
6. Численное решение нелинейных уравнений. Модифицированный метод Ньютона (метод секущих).
7. Численные методы одномерной минимизации. Прямой поиск точки минимума функции. Унимодальные функции.
8. Численные методы одномерной минимизации. Метод Фибоначчи.
9. Численные методы одномерной минимизации. Метод золотого сечения.
10. Численное интегрирование. Квадратурная формула центральных прямоугольников.
11. Численное интегрирование. Квадратурная формула трапеций.
12. Численное интегрирование. Квадратурная формула Симпсона.
13. Оптическая система состоит из собирающей линзы ( $R1 = 300$  мм,  $R2 = -400$  мм,  $n = 1,52$ ) и двух склеенных стеклянных пластинок ( $d1 = 2$  см,  $d2 = 5$  см,  $n1 = 1,63$ ,  $n2 = 1,57$ ) (элементы системы перечислены в порядке следования по ходу пучка). Линза расположена на расстоянии 12 см от выходного зеркала лазера, расстояние между линзой и первой пластиной 15 см. За склеенными пластинами на расстоянии 20 см от второй пластины расположен экран. Определите радиус пучка на экране, если его перетяжка расположена на выходном зеркале лазера ( $\lambda = 632,8$  нм,  $w0 = 0,35$  мм). Решение представьте в среде MathCAD.
14. Оптическая система состоит из трех собирающих линз. Радиус кривизны первой преломляющей поверхности первой линзы равен 40 см, а ее вторая преломляющая поверхность плоская, толщина – 5 мм, показатель преломления – 1,54. Фокусные расстояния второй и третьей линз равны 20 см и 25 см соответственно, толщиной этих линз можно пренебречь. Первая линза расположена на расстоянии 12 см от выходного зеркала лазера. Расстояние между первой и второй линзами 5 см, второй и третьей линзами – 40 см. За третьей линзой на расстоянии 15 см от нее расположен экран.

- Определите радиус пучка на экране, если его перетяжка расположена на выходном зеркале лазера ( $\lambda = 632,8$  нм,  $w_0 = 0,4$  мм). Решение представьте в среде MathCAD.
15. Расходящийся гауссов пучок ( $\lambda = 632,8$  нм) падает на двояко выпуклую линзу ( $R_1 = 300$  мм,  $R_2 = -800$  мм,  $n = 1,54$ ), находящуюся в воздухе. За линзой на расстоянии 20 см от вершины ее второй преломляющей поверхности расположен экран. Постройте график зависимости радиуса пучка на экране от расстояния между положением перетяжки исходного пучка и вершиной первой преломляющей поверхности линзы. Решение представьте в среде MathCAD.
16. Перетяжка гауссова пучка ( $w_0 = 0,4$  мм) расположена на выходном зеркале лазера ( $\lambda = 532$  нм). В среде MathCAD постройте график распределения радиуса кривизны волнового фронта по оси гауссова пучка. Используя метод золотого сечения, определите расстояние от выходного зеркала лазера до точки на оси пучка, в которой радиус кривизны волнового фронта наименьший, с точностью  $\varepsilon = 10^{-4}$  м.
17. Перетяжка гауссова пучка ( $w_0 = 0,5$  мм) расположена на выходном зеркале лазера ( $\lambda = 632,8$  нм). В среде MathCAD постройте график зависимости радиуса гауссова пучка от продольной координаты  $w(z)$ . Используя метод бисекций, определите расстояние от выходного зеркала лазера до точки на оси пучка, в которой его радиус превышает радиус перетяжки в 2 раза, с точностью  $\varepsilon = 10^{-4}$  м.
18. Перетяжка гауссова пучка ( $w_0 = 0,5$  мм) расположена на выходном зеркале лазера ( $\lambda = 632,8$  нм). В среде MathCAD постройте график зависимости интенсивности на оси гауссова пучка от продольной координаты  $I(z)$ . Используя метод бисекций, определите расстояние от выходного зеркала лазера до точки на оси пучка, в которой интенсивность равна  $I = 0,8I_0$ , с точностью  $\varepsilon = 10^{-4}$  м ( $I_0 = 4$  Вт/м<sup>2</sup> – интенсивность на оси пучка в перетяжке).
19. Оптическая система состоит из двух собирающих линз. Радиусы кривизны преломляющих поверхностей, показатель преломления и толщина первой линзы равны  $R_1 = 340$  мм,  $R_2 \rightarrow -\infty$  мм,  $n_1 = 1,46$ ,  $d_1 = 3$  мм соответственно. Радиусы кривизны преломляющих поверхностей, показатель преломления и толщина второй линзы равны  $R_1 \rightarrow \infty$ ,  $R_2 = -600$  мм,  $n_2 = 1,63$ ,  $d_2 = 4$  мм соответственно. Первая линза установлена на расстоянии 24 см от выходного зеркала лазера. Расстояние между линзами 8 см. За второй линзой на расстоянии 15 см от нее установлен экран. Определите радиус пучка на экране, если его перетяжка расположена на выходном зеркале лазера ( $\lambda = 472,7$  нм,  $w_0 = 0,45$  мм). Решение представьте в среде MathCAD.
20. Оптическая система представляет собой объектив, склеенный из трех линз. Радиусы кривизны преломляющих поверхностей равны  $R_1 = 50$  см,  $R_2 = 90$  см,  $R_3 = -30$  см и  $R_4 = -75$  см. Толщины первой, второй и третьей линз равны  $d_1 = 1,5$  мм,  $d_2 = 3$  мм и  $d_3 = 2$  мм соответственно, показатели преломления –  $n_1 = 1,46$ ,  $n_2 = 1,53$  и  $n_3 = 1,66$ . Объектив расположен на расстоянии 25 см от выходного зеркала лазера. На расстоянии 50 см от объектива установлен экран. Определите радиус пучка на экране, если его перетяжка расположена на выходном зеркале лазера ( $\lambda = 416$  нм,  $w_0 = 0,35$  мм). Решение представьте в среде MathCAD.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Что такое гауссов пучок?

Ответы:

- а) Решение волнового уравнения для открытого двухзеркального оптического резонатора со сферическими зеркалами с круглой апертурой, которое наилучшим образом подходит для описания одномодового лазерного излучения
- б) Электромагнитная волна, дифрагированная на круглом отверстии
- в) Пучок света, формируемый телескопической оптической системой в дальней зоне
- г) Электромагнитная волна, в которой поперечное распределение интенсивности описывается функцией Бесселя 1-ого рода

Верный ответ: а)

2. Что такое перетяжка гауссова пучка?

Ответы:

- а) Область гауссова пучка, в которой он с высокой степенью точности аппроксимируется моделью сферической волны
- б) Продольное сечение гауссова пучка, содержащее его ось
- в) Наиболее узкое место каустической поверхности гауссова пучка
- г) Наиболее широкое место каустической поверхности гауссова пучка

Верный ответ: в)

3. Действительная часть комплексного параметра гауссова пучка это

Ответы:

- а) расстояние от оси пучка до точки, в которой интенсивность уменьшается в 2 раза по отношению к максимальной интенсивности в пучке
- б) расстояние между перетяжкой и точкой на оси пучка, в которой радиус кривизны волнового фронта наименьший
- в) радиус перетяжки гауссова пучка
- г) расстояние, отсчитываемое от перетяжки до соответствующей опорной плоскости

Верный ответ: г)

4. Метод бисекций численного решения нелинейных уравнений характерен тем, что

Ответы:

- а) на каждом шаге решения отрезок локализации корня сокращается в 2 раза
- б) на каждом шаге решения необходимо проводить поиск производной функции
- в) подходит для поиска кратных корней уравнения
- г) позволяет найти все корни, если на отрезке локализации их больше одного

Верный ответ: а)

5. Метод золотого сечения необходим позволяет

Ответы:

- а) осуществить численное дифференцирование функции
- б) осуществить численный поиск точки минимума функции
- в) осуществить численное решение нелинейного уравнения
- г) осуществить численное интегрирование функции

Верный ответ: б)

6. Численное интегрирование с использованием квадратурной формулы трапеций предполагает аппроксимацию площади под графиком функции на элементарном отрезке площадью

Ответы:

- а) прямоугольника
- б) квадрата
- в) треугольника
- г) трапеции

Верный ответ: г)

**3. Компетенция/Индикатор:** ИД-2ПК-2 Владеет навыками компьютерного моделирования в области квантовой электроники

### Вопросы, задания

1. Алгоритм численного решения уравнений Максвелла, записанных в дифференциальной форме, методом конечных разностей во временной области (FDTD).
2. Основы работы с программным комплексом проектирования и моделирования фотонных компонент квантовой электроники OptiFDTD.
3. Основы языка программирования Visual Basic for Application (VBA). Типы данных, операторы, выражения, функции и процедуры в VBA.



4. Синтаксические конструкции в языке VBA для реализации базовых алгоритмических структур.
5. Технология создания программы VBA.
6. Интерактивные формы и обработчики событий в VBA.
7. Напишите программу на языке VBA которая определяет диапазон спектра электромагнитных волн, которому принадлежит излучение с длиной волны (нм), введенной пользователем. Считайте, что излучение принадлежит одному из следующих диапазонов: экстремальный УФ (10 - 100 нм), дальний УФ (100 - 200 нм), средний УФ (200 - 300 нм), ближний УФ (300 - 380 нм), видимый (380 - 780 нм), ближний ИК (780 - 2500 нм), средний ИК (2,500 - 50 мкм), дальний ИК (50 - 100 мкм). Используйте функции InputBox и MsgBox для ввода и вывода данных.
8. В среде OptiFDTD создайте модели двух волноводов: прямого ( $n = 1,6$ ), и кольцевого ( $n = 2,0$ ). У кольцевого волновода прямоугольный профиль с шириной и толщиной 0,8 мкм и 0,3 мкм соответственно. У прямого волновода круглый профиль радиусом 1 мкм. Расстояние между волноводами 5 мкм. Основной радиус кольцевого волновода 2,4 мкм. Окружающая среда – воздух.
9. В редакторе MS Excel создайте форму VBA с полями ввода периода дифракционной решетки (в мм), расстояния от щели до экрана наблюдения (в м) и расстояние между первыми главными дифракционными максимумами на экране (мм), а также кнопкой «Расчет», при нажатии на которую в форму будет выведена длина падающей волны (нм) и сообщение о том, попадает ли данная длина волны в видимый диапазон спектра электромагнитного излучения (350 - 780 нм).
10. В редакторе MS Excel создайте форму VBA с полями ввода задерживающего напряжения (В) и работы выхода электрона с поверхности металла (эВ), а также кнопкой «Расчет», при нажатии на которую в форму будет выведена длина волны (нм) падающего излучения и сообщение о том, попадает ли данная длина волны в видимый диапазон спектра (380 – 780 нм).
11. В среде OptiFDTD создайте модели двух прямых волноводов, у одного из которых круглый профиль ( $n = 1,5$ ), а у другого – прямоугольный ( $n = 2$ ). Волноводы находятся в воздухе и должны быть расположены параллельно друг другу и плоскости  $xOz$ . Радиус круглого профиля 2 мкм. Ширина и толщина прямоугольного профиля 2 мкм и 3 мкм соответственно. Расстояние между волноводами 5 мкм.
12. В редакторе MS Excel создайте форму VBA с полями ввода угла пересечения двух интерферирующих волн (в градусах) и периода интерференционной картины (мкм), а также кнопкой «Расчет», при нажатии на которую в форму будет выведена длина волны (нм) и сообщение о том, попадает ли данная длина волны в видимый диапазон спектра (350 – 780 нм).
13. В среде OptiFDTD создайте модели двух прямых волноводов с круглым профилем. Второй волновод ( $n = 1,6$ ) должен быть расположен выше первого волновода ( $n = 2,1$ ) на расстоянии 10 мкм от него (смещен вдоль оси  $Oy$ ). Радиус профиля первого волновода составляет 2 мкм, а второго волновода – 3 мкм. Окружающая среда – воздух.
14. В редакторе MS Excel создайте форму VBA с полями ввода показателей преломления двух сред  $n_1$  и  $n_2$  и кнопкой «Расчет», при нажатии на которую появляются значения углов Брюстера и полного внутреннего отражения (ПВО) в градусах. Если критического угла ПВО не существует, то должно появиться сообщение об этом.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. В чем заключается функциональное назначение САПР OptiFDTD?

Ответы:

- а) Проектирование и расчет оптических систем
- б) Расчёт распространения поля в субмикронных оптических элементах путем численного решения уравнений Максвелла

в) Планирование экспериментальных исследований

г) Обработка цифровых изображений

Верный ответ: б)

2. Какие существуют типы данных в VBA?

Ответы:

а) data

в) double

г) zero

д) short

Верный ответ: в)

3. Что представляет собой макрос в MS Excel?

Ответы:

а) объект для хранения числовых или строковых данных

б) записанный набор команд, который может быть автоматически применен к различным объектам

в) средство ввода данных в таблицу

г) конвертор таблиц различных форматов в формат MS Excel

Верный ответ: б)

4. Численное решение уравнений Максвелла в САПР OptiFDTD осуществляется методом

Ответы:

а) конечных разностей во временной области

б) конечных разностей в частотной области

в) моментов

г) матрицы линий передач

Верный ответ: а)

5. Приложение Desinger в САПР OptiFDTD служит для того, чтобы

Ответы:

а) проводить симуляцию распространения оптического излучения через волноводную структуру

б) создавать модели субмикронных волноводных структур и падающего излучения

в) проводить анализ поля падающего, прошедшего, отраженного, дифрагированного и рассеянного излучений

г) выполнять пространственное Фурье-преобразование распределения интенсивности дифрагированного излучения

Верный ответ: а)

6. Формы в VBA позволяют

Ответы:

а) создавать интерфейс взаимодействия пользователя и программы

б) автоматически генерировать фрагменты кода программы

в) выполнять поиск ошибок (багов) в коде VBA

г) создавать автономные (не зависящие от MS Office) приложения

Верный ответ: а)

7. Какой тип присваивается переменной VBA по умолчанию, если он не задан явно в коде программы?

Ответы:

а) Integer

б) Double

в) Variant

г) String

Верный ответ: в)

8. Функция MsgBox() в VBA позволяет

Ответы:

- а) вводить данные с клавиатуры
- б) выводить данные на экран
- в) записывать данные в текстовые файлы
- г) считывать данные из текстового файла

Верный ответ: б)

9. Какие ключевые слова служат для обозначения начала и конца программы в VBA?

Ответы:

- а) Run ... Stop
- б) Begin ... End
- в) Go ... Stop
- г) Sub ... End Sub

Верный ответ: г)

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно, четко сформулированные особенности практических решений.

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки.

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно на вопросы углубленного уровня.

## **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 экзаменационной составляющих.