

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

Направление подготовки/специальность: 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

Наименование образовательной программы: Твердотельная микро- и нанoeлектроника, лазерная и оптическая измерительная электроника

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
РЕФРАКТОМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.02.02.07
Трудоемкость в зачетных единицах:	2 семестр - 5;
Часов (всего) по учебному плану:	180 часов
Лекции	2 семестр - 16 часов;
Практические занятия	2 семестр - 16 часов;
Лабораторные работы	2 семестр - 32 часа;
Консультации	2 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	2 семестр - 113,5 часов;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая:	
Расчетное задание	
Лабораторная работа	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	2 семестр - 0,5 часа;

Москва 2025

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Лапицкий К.М.
	Идентификатор	R34188c97-LapitskyKM-ff585e2b

К.М. Лапицкий

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

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

Н.М.
Скорнякова

Заведующий выпускающей
кафедрой

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

Н.М.
Скорнякова

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение принципов построения рефрактометрических оптико-электронных комплексов и систем.

Задачи дисциплины

- изучение оптических свойств сред и их влияние на распространение оптического излучения;
- изучение принципов теневых методов и их модификаций исследования неоднородных сред;
- изучение методики расчета и обработки рефрактограмм для визуализации неоднородной среды;
- изучение принципов проведения экспериментальных исследований по определению параметров оптически прозрачной неоднородной среды на основе известных принципов построения рефрактометрических систем.

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 проводить, сопровождать работы, организовывать обучение персонала по проектированию и конструированию лазерных и оптических измерительных приборов и комплексов	ИД-2 _{ПК-1} Умеет решать изобретательские задачи и разрабатывать инновационные приборы квантово-оптических систем и комплексов	знать: - физические процессы, приводящие к оптической неоднородности среды. уметь: - разработать методику расчета и обработки рефрактограмм для визуализации плоскостной неоднородной среды; - разработать методику расчета и обработки рефрактограмм для визуализации сферически-слоистой неоднородной среды; - проводить экспериментальные исследования по определению параметров оптически прозрачной неоднородной среды на основе известных принципов построения рефрактометрических систем с использованием некогерентных и когерентных источников.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Твердотельная микро- и наноэлектроника, лазерная и оптическая измерительная электроника (далее – ОПОП), направления подготовки 11.04.04 Электроника и наноэлектроника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать Основные законы геометрической и физической оптики
- уметь Моделировать и проводить обработку одномерных и двумерных сигналов

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 5 зачетных единиц, 180 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	Рефракционные измерения в современной технике	4	2	2	-	-	-	-	-	-	-	2	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Рефракционные измерения в современной технике" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 8-26 [5], стр. 29-37 [7], стр. 8-26
1.1	Рефракционные измерения в современной технике	4		2	-	-	-	-	-	-	-	2	-	
2	Оптические характеристики однородных и неоднородных сред	10		2	-	4	-	-	-	-	-	4	-	<u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу Оптические характеристики однородных и неоднородных сред и подготовка к контрольной работе <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Оптические характеристики однородных и неоднородных сред" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 46-60 [3], стр. 28-37 [6], стр. 766-793 [7], стр. 46-60
2.1	Оптические характеристики однородных и неоднородных сред	10		2	-	4	-	-	-	-	-	4	-	
3	Структурированное лазерное излучение	24		2	8	2	-	-	-	-	-	-	12	-

3.1	Структурированное лазерное излучение	24		2	8	2	-	-	-	-	-	12	-	необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Структурированное лазерное излучение" материалу. <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Структурированное лазерное излучение" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Структурированное лазерное излучение" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 27-45 [3], стр. 12-27 [5], стр. 24-28, 64-76 [7], стр. 27-45
4	Приближение геометрической оптики для описания рефракции в слоистых средах	36		4	-	6	-	-	-	-	-	26	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Приближение геометрической оптики для описания рефракции в слоистых средах"
4.1	Приближение геометрической оптики для описания рефракции в слоистых средах	36		4	-	6	-	-	-	-	-	26	-	<u>Подготовка к лабораторной работе:</u> 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 "Приближение геометрической оптики для описания рефракции в слоистых средах" материалу. <u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу Приближение геометрической оптики для описания рефракции в слоистых средах и

														подготовка к контрольной работе <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Приближение геометрической оптики для описания рефракции в слоистых средах" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 41-50, 80-96 [3], стр. 38-63 [4], стр. 87-92 [7], стр. 41-50, 80-96
5	Принципы построения лазерных рефракционных систем	70		6	24	4	-	-	-	-	-	36	-	<u>Подготовка к лабораторной работе:</u> 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 "Принципы построения лазерных рефракционных систем" материалу.
5.1	Принципы построения лазерных рефракционных систем	70		6	24	4	-	-	-	-	-	36	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Принципы построения лазерных рефракционных систем" <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Принципы построения лазерных рефракционных систем" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 97-122 [2], стр. 30-38 [3], стр. 64-70

														[5], стр. 48-53 [7], стр. 97-122
	Экзамен	36.0		-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	180.0		16	32	16	-	2	-	-	0.5	80	33.5	
	Итого за семестр	180.0		16	32	16	2		-		0.5	113.5		

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. Рефракционные измерения в современной технике

1.1. Рефракционные измерения в современной технике

Роль и значение рефракционных измерений в современной науке, технике и технологии, в становлении современного прецизионного приборостроения. Принципы рефракционных методов диагностики неоднородных сред. Обзор теневых методов исследования оптически неоднородных сред.

2. Оптические характеристики однородных и неоднородных сред

2.1. Оптические характеристики однородных и неоднородных сред

Оптические свойства среды. Показатель преломления. Физические процессы, приводящие к оптической неоднородности среды. Температурное поле в жидкости. Стратифицированные жидкости. Акустическое поле в жидкостях и газах. Нарушение полного внутреннего отражения при изменении физических свойств среды. Методы определения показателя преломления газов, жидкостей и твёрдых сред. Среда с отрицательным показателем преломления. Дисперсия и поглощение света. Комплексный показатель преломления.

3. Структурированное лазерное излучение

3.1. Структурированное лазерное излучение

Основные виды структурированного лазерного излучения (СЛИ). Гауссовы пучки. Формирование лазерной плоскости на основе оптических элементов: одно-, двух- и трехлинзовая схемы. Формирование СЛИ на основе дифракционных оптических элементов.

4. Приближение геометрической оптики для описания рефракции в слоистых средах

4.1. Приближение геометрической оптики для описания рефракции в слоистых средах

Волновое уравнение. Уравнение Гельмгольца. Уравнение эйконала и уравнение переноса. Лучевой вектор. Связь лучевого вектора и эйконала. Волновая и геометрооптическая модель излучения. Уравнение траектории светового луча. Дифференциальное уравнение траектории светового луча. Плоскостная среда. Уравнение траектории лучей в плоскостной неоднородности. Сферически-слоистая среда. Уравнение траектории лучей в сферически-слоистой неоднородности. Моделирование рефракции СЛИ в оптически неоднородной среде. Рефрактограммы СЛИ в среде с градиентом температуры.

5. Принципы построения лазерных рефракционных систем

5.1. Принципы построения лазерных рефракционных систем

Метод лазерной рефрактографии. Исследование теплового пограничного слоя вблизи поверхности нагретого или охлаждённого тела в жидкости с использованием рефракции лазерного излучения. Теневой фоновый метод (ТФМ). Исследование крупномасштабных неоднородностей. Структурные элементы систем. Требования к СЛИ. Требования к системам регистрации рефрактограмм и изображений ТФМ. Методы регистрации и обработки рефрактограмм и изображений ТФМ.

3.3. Темы практических занятий

1. Оптические свойства среды. Показатель преломления. Физические процессы, приводящие к оптической неоднородности среды. Температурное поле в жидкости.

- Акустическое поле в жидкостях и газах. Стратифицированные жидкости;
2. Траектории лучей в плоскостойкой неоднородности;
 3. Траектории лучей в сферической неоднородности;
 4. Формирование лазерной плоскости на основе оптических элементов. Одно-, двух- и трехлинзовые схемы;
 5. Моделирование рефрактограмм СЛИ в различных неоднородностях.

3.4. Темы лабораторных работ

1. Изучение теневого фонового метода;
2. Исследование рефракции лазерного излучения в тепловом пограничном сферическом слое в жидкости;
3. Определение размеров пузырьков газа лазерным интерференционным методом;
4. Формирование лазерной плоскости при помощи линзовых систем.

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	4	5	
Знать:							
физические процессы, приводящие к оптической неоднородности среды	ИД-2ПК-1		+				Расчетное задание/Оптические свойства среды. Методы определения показателя преломления среды
Уметь:							
проводить экспериментальные исследования по определению параметров оптически прозрачной неоднородной среды на основе известных принципов построения рефрактометрических систем с использованием некогерентных и когерентных источников	ИД-2ПК-1	+				+	Лабораторная работа/Принципы построения рефрактометрических систем
разработать методику расчета и обработки рефрактограмм для визуализации сферически-слоистой неоднородной среды	ИД-2ПК-1			+	+		Расчетное задание/Распространение излучения в сферически-слоистой неоднородной среде
разработать методику расчета и обработки рефрактограмм для визуализации плоскостлой неоднородной среды	ИД-2ПК-1				+		Расчетное задание/Распространение излучения в плоскостлой неоднородной среде

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

4.1. Текущий контроль успеваемости

2 семестр

Форма реализации: Смешанная форма

1. Оптические свойства среды. Методы определения показателя преломления среды (Расчетное задание)
2. Распространение излучения в плоскостойкой неоднородной среде (Расчетное задание)
3. Распространение излучения в сферически-слоистой неоднородной среде (Расчетное задание)

Форма реализации: Устная форма

1. Принципы построения рефрактометрических систем (Лабораторная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №2)

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

В диплом выставляется оценка за 2 семестр.

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

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Евтихиева, О. А. Лазерная рефрактография / О. А. Евтихиева, И. Л. Расковская, Б. С. Ринкевичюс. – М. : Физматлит, 2008. – 176 с. – ISBN 978-5-922110-44-0.;
2. Ринкевичюс, Б. С. Лазерная интерферометрия. Лабораторный практикум : учебное пособие по курсу "Лазерная интерферометрия" по направлению "Электроника и микроэлектроника" / Б. С. Ринкевичюс, К. М. Лапицкий, В. Т. Нгуен, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ). – М. : Издательский дом МЭИ, 2009. – 40 с. – ISBN 978-5-383-00274-2.
<http://elibrary.mpei.ru/elibrary/view.php?id=417>;
3. Евтихиева, О. А. Основы лазерной рефрактографии : учебное пособие по курсу "Лазерная диагностика неоднородных потоков" по направлению "Электроника и микроэлектроника" / О. А. Евтихиева, И. Л. Расковская, Б. С. Ринкевичюс ; ред. Б. С. Ринкевичюс ; Нац. исслед. ун-т "МЭИ". – М. : Изд-во МЭИ, 2012. – 84 с. – ISBN 978-5-7046-1392-3.
<http://elibrary.mpei.ru/elibrary/view.php?id=5004>;
4. Информационная оптика : Учебное пособие для вузов по направлениям "Оптотехника", "Информатика и вычислительная техника", "Электроника и микроэлектроника" / Ред. Н. Н. Евтихий. – М. : Изд-во МЭИ, 2000. – 612 с. – ISBN 5-7046-0584-2.;
5. Ринкевичюс, Б. С. Лазерная диагностика потоков / Б. С. Ринкевичюс ; Ред. В. А. Фабрикант. – М. : Изд-во МЭИ, 1990. – 288 с. – ISBN 5-7046-0003-4.;

6. Физические величины. Справочник / ред. И. С. Григорьев, Е. З. Мейлихов. – М. : Энергоиздат, 1991. – 1231 с.;
7. Евтихиева О. А., Расковская И. Л., Ринкевичюс Б. С.- "Лазерная рефрактография", Издательство: "ФИЗМАТЛИТ", Москва, 2008 - (176 с.)
https://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=49091.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др);
5. Python;
6. SmathStudio.

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

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
3. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
4. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
5. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
6. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
7. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
8. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
9. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
10. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
11. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
12. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>
13. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
14. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>
15. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	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 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-200, Учебная лаборатория "Квантовые источники излучения"	стол преподавателя, стол, стул, шкаф для документов, шкаф для одежды, шкаф для хранения инвентаря, колонки, стенд учебный, учебно-наглядное пособие
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	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	НТБ-303, Лекционная аудитория	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	А-201/1, Кабинет сотрудников каф. Физики	стол, стул, шкаф для документов, шкаф для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, колонки, компьютер персональный, принтер
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Б-101/1, Склад каф. Физики им. В.А. Фабриканта	стеллаж для хранения инвентаря, инвентарь специализированный, инвентарь учебный, книги, учебники, пособия

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Рефрактометрические измерительные системы

(название дисциплины)

2 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Распространение излучения в плоскостойкой неоднородной среде (Расчетное задание)
- КМ-2 Распространение излучения в сферически-слоистой неоднородной среде (Расчетное задание)
- КМ-3 Оптические свойства среды. Методы определения показателя преломления среды (Расчетное задание)
- КМ-4 Принципы построения рефрактометрических систем (Лабораторная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	16
1	Рефракционные измерения в современной технике					
1.1	Рефракционные измерения в современной технике					+
2	Оптические характеристики однородных и неоднородных сред					
2.1	Оптические характеристики однородных и неоднородных сред				+	
3	Структурированное лазерное излучение					
3.1	Структурированное лазерное излучение			+		
4	Приближение геометрической оптики для описания рефракции в слоистых средах					
4.1	Приближение геометрической оптики для описания рефракции в слоистых средах		+	+		
5	Принципы построения лазерных рефракционных систем					
5.1	Принципы построения лазерных рефракционных систем					+
Вес КМ, %:			20	20	20	40