

**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 наноэлектроника**

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

**Уровень образования: высшее образование - магистратура**

**Форма обучения: Очная**

**Рабочая программа дисциплины**  
**ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ**

<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.02.02.03</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>1 семестр - 3;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>108 часов</b>
<b>Лекции</b>	<b>1 семестр - 16 часов;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>1 семестр - 16 часов;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>1 семестр - 16 часов;</b>
<b>Консультации</b>	<b>1 семестр - 2 часа;</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>1 семестр - 57,5 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>Контрольная работа</b>	
<b>Расчетное задание</b>	
<b>Лабораторная работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	<b>1 семестр - 0,5 часа;</b>

**Москва 2024**

**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-67f74b	

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-67f74b	

Н.М.  
Скорнякова

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

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

### Задачи дисциплины

- изучение принципов формирования интерференционного поля;
- изучение принципов работы двухлучевых интерферометров;
- изучение принципов работы многолучевых интерферометров;
- изучение интерференционных методов измерений различных физических параметров сред.

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-2ПК-1 Умеет решать изобретательские задачи и разрабатывать инновационные приборы квантово-оптических систем и комплексов	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- принципы расчета сигнала двухлучевого гомодинного интерферометра;</li><li>- методы интерференционного контроля качества поверхностей оптических деталей;</li><li>- основные схемы интерференции двух волн.</li></ul> <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- проводить моделирование и обработку интерференционных сигналов и картин.</li></ul>

## 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 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	Принципы интерференционных измерений	6	1	2	-	2	-	-	-	-	-	2	-			<u><b>Самостоятельное изучение теоретического материала:</b></u> Изучение дополнительного материала по разделу "Принципы интерференционных измерений" <u><b>Изучение материалов литературных источников:</b></u> [1], стр. 27-33 [2], стр. 226-258	
1.1	Принципы интерференционных измерений	6		2	-	2	-	-	-	-	-	2	-				
2	Интерференция волн	12		2	4	2	-	-	-	-	-	4	-			<u><b>Подготовка к лабораторной работе:</b></u> Изучение материалов по разделу Интерференция волн и подготовка к лабораторной работе <u><b>Подготовка к контрольной работе:</b></u> Изучение материалов по разделу Интерференция волн и подготовка к контрольной работе <u><b>Подготовка к практическим занятиям:</b></u> Изучение материала по разделу "Интерференция волн" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u><b>Самостоятельное изучение теоретического материала:</b></u> Изучение дополнительного материала по разделу "Интерференция волн" <u><b>Изучение материалов литературных источников:</b></u> [3], стр. 38-45	
2.1	Интерференция волн	12		2	4	2	-	-	-	-	-	4	-				

														[4], стр. 4-13 [6], стр. 5-28 [8], стр. 5-10
3	Основные типы лазерных интерферометров и методы анализа их сигналов	44		8	12	8	-	-	-	-	16	-		<b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу Основные типы лазерных интерферометров и методы анализа их сигналов и подготовка к лабораторной работе
3.1	Основные типы лазерных интерферометров и методы анализа их сигналов	44		8	12	8	-	-	-	-	16	-		<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу Основные типы лазерных интерферометров и методы анализа их сигналов и подготовка к контрольной работе <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Основные типы лазерных интерферометров и методы анализа их сигналов" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Основные типы лазерных интерферометров и методы анализа их сигналов" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 33-60 [2], стр. 258-282 [4], стр. 14-29 [5], стр. 5-16 [6], стр. 29-35 [8], стр. 13-35
4	Применение интерферометрических методов	10		4	-	4	-	-	-	-	2	-		<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Применение лазерных интерферометров в высоких технологиях" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b>
4.1	Применение интерферометрических методов	10		4	-	4	-	-	-	-	2	-		

													[1], стр. 62-75 [3], стр. 38-45 [7], стр. 43-57
	Экзамен	36.0											
	Всего за семестр	<b>108.0</b>	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5		
	Итого за семестр	<b>108.0</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>24</b>	<b>33.5</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. Принципы интерференционных измерений

##### **1.1. Принципы интерференционных измерений**

Принципы интерференционных методов измерения перемещений и изменения показателя преломления. Метрологические характеристики лазеров, используемых в интерферометрии.

#### 2. Интерференция волн

##### **2.1. Интерференция волн**

Уравнение интерференции двух когерентных волн. Основные схемы интерференции плоских и сферических волн: Юнга, Майкельсона, ЛДА. Параметры интерференционных картин. Гауссова модель лазерного пучка. Расчет интерференционной картины от двух гауссовых пучков: схемы Юнга, Майкельсона, ЛДА. Особенности интерференции гауссовых пучков и сравнение с интерференционными картинами плоских и сферических волн. Интерференция волн с различной частотой. Интерференция волн с различной поляризацией. Интерференция многих волн с одинаковой амплитудой. Интерференция многих волн с убывающей амплитудой.

#### 3. Основные типы лазерных интерферометров и методы анализа их сигналов

##### **3.1. Основные типы лазерных интерферометров и методы анализа их сигналов**

Гомодинный интерферометр по схеме Майкельсона и его модификации. Оптическая схема, расчёт и анализ выходной характеристики. Гомодинный интерферометр по схеме Маха-Цендера и его модификации. Оптическая схема, расчёт и анализ выходной характеристики. Модуляционные интерферометры. Лазерные виброметры. Гетеродинные интерферометры. Анализ погрешностей лазерных интерферометров. Многоканальные интерферометры. Интерферометр Фабри-Перо. Интерферционные фильтры. Интерферционные зеркала. Просветляющие покрытия. Методы обработки интерференционных картин.

#### 4. Применение интерферометрических методов

##### **4.1. Применение интерферометрических методов**

Определение параметров и контроль качества оптических деталей. Лазерные гравиметры. Методы измерения нанопреремещений.

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

1. Контроль качества оптических поверхностей;
2. Методы анализа выходной характеристики гомодинного интерферометра;
3. Методы измерения изменения показателя преломления при помощи интерферометров-рефрактометров;
4. Методы измерения перемещений при помощи интерферометра Майкельсона;
5. Интерференция плоских и сферических волн;
6. Принципы работы интерференционных фильтров, зеркал. Просветляющие покрытия.

### **3.4. Темы лабораторных работ**

1. Компьютерное моделирование интерференции лазерных пучков;
2. Моделирование и обработка интерференционных картин;
3. Моделирование и обработка сигнала лазерного доплеровского виброметра;

4. Компьютерная обработка сигналов лазерных интерференционных 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		
<b>Знать:</b>							
основные схемы интерференции двух волн	ИД-2ПК-1	+	+			Контрольная работа/Интерференция волн	
методы интерференционного контроля качества поверхностей оптических деталей	ИД-2ПК-1				+	Контрольная работа/Контроль качества оптических деталей	
принципы расчета сигнала двухлучевого гомодинного интерферометра	ИД-2ПК-1			+		Расчетное задание/Расчет сигнала двухлучевого гомодинного интерферометра	
<b>Уметь:</b>							
проводить моделирование и обработку интерференционных сигналов и картин	ИД-2ПК-1		+	+		Лабораторная работа/Моделирование и обработка интерференционных сигналов и картин	

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

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

**1 семестр**

Форма реализации: Письменная работа

1. Интерференция волн (Контрольная работа)
2. Контроль качества оптических деталей (Контрольная работа)

Форма реализации: Смешанная форма

1. Расчет сигнала двухлучевого гомодинного интерферометра (Расчетное задание)

Форма реализации: Устная форма

1. Моделирование и обработка интерференционных сигналов и картин (Лабораторная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

Экзамен (Семестр №1)

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 1 семестр.

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

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

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

1. Нгуен, В. Т. Двухлучевые лазерные интерферометры : учебное пособие по курсу "Лазерная интерферометрия", по направлению "Электроника и наноэлектроника", по специальности "Квантовая и оптическая электроника" / В. Т. Нгуен, Б. С. Ринкевичюс, А. В. Толкачев ; Ред. Б. С. Ринкевичюс ; Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Издательский дом МЭИ, 2011 . – 80 с. - ISBN 978-5-383-00685-6 .;
2. Информационная оптика : Учебное пособие для вузов по направлениям "Оптотехника", "Информатика и вычислительная техника", "Электроника и микроэлектроника" / Ред. Н. Н. Евтихиев . – М. : Изд-во МЭИ, 2000 . – 612 с. - ISBN 5-7046-0584-2 .;
3. Евтихиева, О. А. Информационная оптика. Сборник задач : учебное пособие для вузов по специальности 210103 "Квантовая и оптическая электроника" направления 210100 "Электроника и микроэлектроника" / О. А. Евтихиева, К. М. Лапицкий, Б. С. Ринкевичюс, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Издательский дом МЭИ, 2010 . – 88 с. - ISBN 978-5-383-00474-6 .
- http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=1655;
4. 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://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=417>;

5. Лапицкий, К. М. Интерферометрические и рефрактометрические оптико-электронные комплексы : лабораторный практикум по курсу "Интерферометрические и рефрактометрические оптико-электронные комплексы" по направлению 11.04.04 "Электроника и наноэлектроника" / К. М. Лапицкий, И. Н. Павлов, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – Москва : Изд-во МЭИ, 2022 . – 52 с. - Данное издание является продолжением лабораторного практикума "Лазерная интерферометрия" (2009) . - ISBN 978-5-7046-2552-0 .  
<http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=11820>;

6. Ринкевичюс, Б. С. Учебное пособие по курсу "Физическая оптика": Интерференция и дифракция когерентного света / Б. С. Ринкевичюс ; Ред. В. А. Фабрикант ; Моск. энерг. ин-т (МЭИ) . – М. : Изд-во МЭИ, 1984 . – 78 с.;

7. Зубов, В. А. Учебное пособие по курсу "Основы лазерной интерферометрии и анемометрии": Лазерная интерферометрия / В. А. Зубов, Б. С. Ринкевичюс, А. В. Толкачев ; Ред. В. А. Фабрикант ; Моск. энерг. ин-т (МЭИ) . – 1984 . – 100 с.;

8. Зайцева О. В., Мельник К. П., Быков В. И.- "Двухлучевые интерферометры", Издательство: "ТУСУР", Москва, 2012 - (41 с.)  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=10861](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=10861).

## **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****Интерферометрические измерительные системы**

(название дисциплины)

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

- КМ-1 Интерференция волн (Контрольная работа)  
 КМ-2 Расчет сигнала двухлучевого гомодинного интерферометра (Расчетное задание)  
 КМ-3 Контроль качества оптических деталей (Контрольная работа)  
 КМ-4 Моделирование и обработка интерференционных сигналов и картин (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	Принципы интерференционных измерений					
1.1	Принципы интерференционных измерений	+				
2	Интерференция волн					
2.1	Интерференция волн	+				+
3	Основные типы лазерных интерферометров и методы анализа их сигналов					
3.1	Основные типы лазерных интерферометров и методы анализа их сигналов			+		+
4	Применение интерферометрических методов					
4.1	Применение интерферометрических методов				+	
Вес КМ, %:			15	20	15	50