

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)

Институт прикладной математики физики и информатики

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института

Хорьков К.С.

«30» августа 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ЛАЗЕРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

направление подготовки / специальность

12.03.05 «Лазерная техника и лазерные технологии»

(код и наименование направления подготовки (специальности))

направленность (профиль) подготовки

Лазерные и квантовые технологии

(направленность (профиль) подготовки)

г. Владимир
2021

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения дисциплины «Лазерные измерения» являются формирование у обучающихся понимания физических основ методов и средств измерения параметров и характеристик лазерного излучения, получение практических навыков для последующего использования этих знаний при разработке и оптимизации методов, средств и технологий, использующих лазерное излучение.

Задачи:

- знакомство с современными методами лазерных измерений;
- практическое освоение методики проведения лазерных экспериментов, обработки и представления экспериментальных данных.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Лазерные измерения» относится обязательным дисциплинам учебного плана.

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесённые с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями и индикаторами достижения компетенций).

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
ОПК-1. Способен применять естественнонаучные и общинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в инженерной деятельности, связанной с проектированием, конструированием и технологиями производства лазерной техники	ОПК-1.1. Знает основные законы естественных наук, методы математического анализа и моделирования, основные законы и методы общинженерных дисциплин, основные принципы разработки и производства элементов и устройств лазерной техники, основную номенклатуру лазерной техники, особенности ее конструкции, технологии производства, а также условия и методы их эксплуатации. ОПК-1.2. Умеет применять естественнонаучные и инженерные знания для проектирования, конструирования и производства лазерной техники. ОПК-1.3. Владеет методами расчетов и проектирования, а также компьютерными системами, используемыми при моделировании и проектировании лазерных установок, комплексов, систем и лазерных технологий.	Знает <ul style="list-style-type: none"> • основные законы естественных наук; • методы математического анализа и моделирования; • основные законы и методы общинженерных дисциплин; • основную номенклатуру лазерной техники, условия и методы их эксплуатации. Умеет <ul style="list-style-type: none"> • применять естественнонаучные и инженерные знания для проектирования лазерной техники; Владеет <ul style="list-style-type: none"> • методами расчетов и исследований на основе естественнонаучных и инженерных знаний; • методами и компьютерными системами, используемыми при моделировании и лазерных установок, комплексов, систем и лазерных технологий; 	Рейтинг контроль №1; Отчёт по лабораторной работе №1; Отчёт по лабораторной работе №2; Представление реферата, обсуждение
ОПК-3. Способен проводить экспериментальные исследования и измерения, обрабатывать и представлять полученные данные	ОПК-3.1. Знает физические основы и принципы функционирования оптических квантовых генераторов, методы и средства лазерных измерений, принципы организации и проведения экспериментальных исследований. ОПК-3.2. Умеет проводить расчет	Знает <ul style="list-style-type: none"> • физические основы и принципы функционирования оптических квантовых генераторов; • методы и средства лазерных измерений; • принципы организации и 	Рейтинг контроль №2; Рейтинг контроль №2; Отчёт по лабораторной работе №3; Представление

<p>с учётом специфики методов и средств лазерных исследований и измерений</p>	<p>лазерных резонаторов, систем фокусировки и согласования лазерного излучения, оценивать параметры выходного излучения, использовать лазерные контрольно-измерительные приборы для решения задач лазерной техники и лазерных технологий, анализировать функциональные и принципиальные схемы оптических контрольно-измерительных устройств, работать на основных измерительных оптических приборах, составлять схемы для проведения экспериментальных исследований, обрабатывать, анализировать, представлять и оформлять результаты экспериментальных исследований.</p> <p>ОПК-3.3. Владеет навыками работы со средствами лазерных измерений, типовыми методиками выполнения лазерных измерений, обработки данных наблюдений и оценки погрешностей, методами и средствами измерения, поверки и контроля с использованием информационных систем</p>	<p>проведения экспериментальных исследований;</p> <ul style="list-style-type: none"> • предельные условия при постановке физического эксперимента; • числовые характеристики и распределения случайных величин; <p>Умеет</p> <ul style="list-style-type: none"> • использовать лазерные контрольно-измерительные приборы для решения задач лазерной техники и лазерных технологий; • анализировать функциональные и принципиальные схемы оптических контрольно-измерительных устройств; • составлять схемы для проведения экспериментальных исследований; • обрабатывать, анализировать, представлять и оформлять результаты экспериментальных исследований. <p>Владеет</p> <ul style="list-style-type: none"> • навыками работы со средствами лазерных измерений; • типовыми методиками выполнения лазерных измерений различных величин и характеристик; • навыками выполнения измерений, обработки данных измерительных наблюдений, получения результатов измерений и оценки погрешностей; • современными методами и средствами измерения, поверки и контроля с использованием информационных систем; 	<p>реферата, обсуждение</p>
---	--	---	-----------------------------

4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

Тематический план форма обучения - очная

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Контактная работа обучающихся с педагогическим работником				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	в форме практической подготовки		
1	Основные параметры и характеристики лазерного излучения.	6	1 - 4	4	-	-	-	10	
2	Измерение энергетических параметров и характеристик лазерного излучения.	6	5 - 6	8	2	-	-	10	Рейтинг-контроль №1

3	Измерение пространственно-временных параметров и характеристик лазерного излучения.	6	7-10	8	4	12	-	-	
4	Измерение когерентности лазерного излучения.	6	11-12	4	-	6	-	10	Рейтинг-контроль №2
5	Измерение поляризации лазерного излучения.	6	13	2	-	-	-	10	
6	Измерение спектральных параметров и характеристик лазерного излучения	6	14-15	4	4	-	-	10	
7	Лазерные измерения параметров оптических материалов, характеристик оптических деталей и систем	6	16	2	2	-	-	10	
8	Лазерные методы и средства измерения неоптических величин	6	17-18	4	6	-	-	12	Рейтинг-контроль №3
Всего за <u>6</u> семестр:		-	-	36	18	18	-	72	экзамен 36ч
Наличие в дисциплине КП/КР		-	-	-	-	-	-	-	
Итого по дисциплине		-	-	36	18	18	-	72	экзамен 36ч

Содержание лекционных занятий по дисциплине

Раздел 1. Измерение параметров и характеристик лазерного излучения.

Тема 1. Основные параметры и характеристики лазерного излучения.

Общие вопросы метрологии оптического излучения. Классификация оптических измерений. Средства измерений. Эталоны. Образцовые и рабочие средства измерений. Погрешности измерений. Временные, энергетические, спектральные, пространственно-временные. Параметры когерентности лазерного излучения. Степень когерентности, время когерентности, длина когерентности.

Тема 2. Измерение энергетических параметров и характеристик лазерного излучения.

Измерение мощности и энергии лазерного излучения. Прямые измерения, калиброванные ослабители. Принцип и техническая реализация фотоэлектрических и тепловых преобразователей мощности и энергии излучения.

Тема 3. Измерение пространственно-временных параметров и характеристик лазерного излучения.

Интегральные, пространственные и пространственно-временные измерения. Фотоэлектронные регистраторы. Методы измерения длительности ультракоротких импульсов излучения, основанные на нелинейных оптических эффектах.

Измерение расходимости лазерного излучения. Метод двух сечений. Метод диаграммы направленности. Метод фокального пятна.

Измерение распределения плотности энергии в поперечном сечении лазерного пучка. Метод последовательного анализа. Матричный метод. Подготовка и проведение измерений, обработка результатов, показатели точности.

Томография поперечного сечения лазерного пучка. Боллометрический томограф. Метод ART.

Тема 4. Измерение когерентности лазерного излучения.

Интерференционные, поляризационные, дифракционные, голографические методы исследования когерентности. Измерение временной когерентности с помощью интерферометра Майкельсона. Измерение пространственной когерентности, интерферометр Юнга.

Тема 5. Измерение поляризации лазерного излучения.

Состояния поляризации света, параметры Стокса. Поляризационные устройства – анализаторы. Использование эффекта двойного лучепреломления.

Тема 6. Измерение спектральных параметров и характеристик лазерного излучения.

Дифракционные и призмные спектральные приборы. Измерение длины волны методом многолучевой интерферометрии. Интерферометр Фабри-Перо. Измерение частоты излучения лазеров путем когерентного детектирования.

Раздел 2. Оптико-физические измерения с использованием лазеров.

Тема 7. Методы измерения параметров оптических материалов, характеристик оптических деталей и систем.

Измерение показателя преломления, дисперсии, неоднородности оптического стекла. Измерение толщины линз, воздушных промежутков, радиусов кривизны, формы поверхности.

Тема 8. Лазерные методы и средства измерения неоптических величин.

Лазерные измерители линейных размеров, лазерные методы измерения скоростей, лазерные гироскопы, лазерная спектроскопия, лазерный микроспектральный анализ состава материалов.

Содержание практических занятий по дисциплине.

Раздел 1. Измерение параметров и характеристик лазерного излучения.

Тема 2. Измерение энергетических параметров и характеристик лазерного излучения.

Специфика воздействия лазерного излучения на средства измерения. Решение задач на расчет мощности излучения, направленности излучения гауссовых пучков. Пороговые значения плотности мощности, длительности воздействия, частоты следования импульсов.

Тема 3. Измерение пространственно-временных параметров и характеристик лазерного излучения.

Алгоритм ART вычислительной томографии. Проекционная матрица, расчет строки проекционной матрицы. Выполнение итераций на простейших примерах. Оценка погрешности реконструкции.

Тема 6. Измерение спектральных параметров и характеристик лазерного излучения.

Измерение длины волны и ширины спектра лазерного излучения с помощью многолучевого интерферометра Фабри – Перо. Решение задач. Область дисперсии, разрешающая способность. Обработка результатов измерений. Сверхтонкая структура спектра излучения лазера на парах меди.

Раздел 2. Оптико-физические измерения с использованием лазеров.

Тема 7. Методы измерения параметров оптических материалов, характеристик оптических деталей и систем.

Семинары с подготовкой, заслушиванием и обсуждением рефератов и презентаций по измерениям параметров оптических материалов с использованием лазеров.

Тема 8. Лазерные методы и средства измерения неоптических величин.

Семинары с подготовкой, заслушиванием и обсуждением рефератов и презентаций по измерениям неоптических величин с использованием лазеров.

Содержание лабораторных занятий по дисциплине.

Раздел 1. Измерение параметров и характеристик лазерного излучения.

Тема 3. Измерение пространственно-временных параметров и характеристик лазерного излучения.

Лабораторная работа 1. Измерение распределения плотности энергии в поперечном сечении лазерного пучка. Практическое освоение методов реконструктивной томографии на основе проведения вычислительного эксперимента. Создание фантома, тестирование алгоритма реконструкции на фантоме. Анализ эффективности применения алгоритма. Разработка требований к оптимальной технике сбора данных в томографическом эксперименте.

Лабораторная работа 2. Измерение расходимости лазерного пучка с распределением, отличающимся от гауссова. Оценка погрешности измерений. Оценка параметра качества пучка.

Тема 4. Измерение когерентности лазерного излучения.

Лабораторная работа 3. Измерение когерентности лазерного излучения.

Наблюдение интерференционных полос равного наклона (колец) и измерение длины световой волны. Оценка порядка интерференции в центре картины. Измерение степени временной когерентности, оценка времени когерентности и длины когерентности.

Лабораторные работы выполняются в МатЛабе, используются специально разработанные функции для лазерных измерений.

5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

5.1. Текущий контроль успеваемости:

Рейтинг-контроль 1

1. Основные определения и единицы измерения энергетических параметров лазерного излучения.
2. Принцип и техническая реализация калориметрического метода измерений мощности и энергии излучения.
3. Принцип и техническая реализация фотоэлектрического метода измерений мощности и энергии излучения.
4. Какие измерения нужно выполнить, чтобы определить расходимость лазерного излучения в соответствии со стандартом ISO 11146-1:2005?
5. Какие измерения в методе двух сечений нужно выполнить, чтобы определить угловую расходимость по уровню 0.9?
6. Определить мощность и энергию импульсов излучения N₂-лазера длительностью 10⁻⁸ с, необходимые для достижения плотности мощности излучения в фокусе 10⁷ Вт/см², если расходимость пучка 1 мрад, а фокусное расстояние оптической системы 3 см.
7. Построить ход лучей лазерного пучка через линзу с фокусным расстоянием F. Определить зависимость диаметра пятна в фокусе от расходимости лазерного излучения Θ и фокусного расстояния линзы.
8. Определить расходимость лазерного пучка, если зависимость его радиуса от расстояния определяется выражением:

$$w(x) = w_0 \left[1 + \left(\frac{x\lambda}{\pi w_0^2} \right)^2 \right]^{1/2}$$

9. Какие измерения в методе фокального пятна нужно выполнить, чтобы определить энергетическую расходимость по уровню 0.9?

Рейтинг-контроль 2

1. Какие измерения нужно выполнить, чтобы определить степень временной когерентности лазерного излучения?
2. Какие измерения нужно выполнить, чтобы определить степень пространственной когерентности лазерного излучения?
3. Запишите уравнение для интенсивности света в интерференционной картине, образующейся при сложении двух волн с интенсивностями I₁ и I₂ в зависимости от разности фаз Δφ₁₂ этих волн.
4. Интерференция от двух источников. Временная и пространственная когерентность.
5. Измерение поляризации лазерного излучения. Как определить, является ли излучение лазера линейно-поляризованным?
6. Измерение поляризации лазерного излучения. Как определить, является ли излучение лазера излучением с круговой поляризацией?
7. Объясните, как изменится интерференционная картина в интерферометре Майкельсона при наклоне одного из зеркал.
8. Как с помощью интерферометра Майкельсона измерить длину волны монохроматического излучения?

Рейтинг-контроль 3

1. Область дисперсии интерферометра Фабри-Перо.
2. Разрешающая способность интерферометра Фабри-Перо.
3. Приведите сравнительную характеристику методов измерения спектрального состава лазерного излучения (призмный, дифракционный, интерференционный методы).
4. Выведите формулу для разности хода между соседними лучами интерферометра Фабри-Перо.
5. Методы измерения распределения плотности энергии в поперечном сечении лазерного пучка. Постановка задачи томографии. Боллометрический томограф.
6. Измерение временных характеристик лазерного излучения. Фотоэлектронные регистраторы.
7. Измерение временных характеристик лазерного излучения. Методы измерения длительности ультракоротких импульсов излучения.
8. Измерение временных характеристик лазерного излучения. Фотоэлектронные регистраторы.

5.2. Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины (экзамен).

б) вопросы к экзамену

1. Основные понятия метрологии: средства измерений, результат и погрешности измерений, экспертные методы оценки качества, обработка результатов измерений, эталоны, поверочные схемы.
2. Интерференция от двух источников. Временная и пространственная когерентность.
3. Интерференционные полосы равного наклона.
4. Интерференционные полосы равной толщины.
5. Основные параметры и характеристики лазерного излучения. Временные, энергетические, спектральные, пространственно-временные.
6. Параметры когерентности лазерного излучения. Степень когерентности, время, длина когерентности.
7. Принцип и техническая реализация калориметрического метода измерений мощности и энергии излучения.
8. Измерение временных характеристик лазерного излучения. Фотоэлектронные регистраторы.
9. Методы измерения длительности ультракоротких импульсов излучения, основанные на нелинейных оптических эффектах.
10. Измерение расходимости лазерного излучения. Метод двух сечений. Метод фокального пятна.
11. Измерение временной когерентности лазерного излучения.
12. Измерение пространственной когерентности лазерного излучения.
13. Методы измерения спектрального состава лазерного излучения. Интерферометр Фабри-Перо, разрешающая способность, область дисперсии интерферометра.
14. Методы измерения распределения плотности энергии в поперечном сечении лазерного пучка.
15. Постановка задачи томографии. Общие принципы сбора экспериментальных данных. Томография поперечного сечения лазерного пучка. Боллометрический томограф.
16. Прямое и обратное преобразования Радона. Понятие корректно поставленных и некорректно поставленных задач.
17. Общая характеристика алгебраических алгоритмов реконструкции в вычислительной томографии. Проекционная матрица. Метод ART.

5.3. Самостоятельная работа обучающегося:

примерные темы рефератов

1. Лазерные методы измерения скоростей.
2. Лазерные гироскопы.

3. Основные типы лазерных дефектоскопов.
4. Лазерные методы измерения линейных размеров.
5. Лазерный проекционный микроскоп.
6. Основы использования голографии в устройствах лазерных измерений.
7. Голографическая интерферометрия.
8. Контроль деформаций поверхности объектов.
9. Применение лазера в качестве источника света при теневых исследованиях.
10. Лазерный анализ состава материалов.
11. Лазерная спектроскопия.

Фонд оценочных материалов (ФОМ) для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ
		Наличие в электронном каталоге ЭБС
Основная литература		
Андреев А. Н., Гаврилов Е. В., Ишанин Г. Г. и др. Оптические измерения: учебное пособие. М.: Университетская книга: Логос - 416 с.	2020	https://znanium.com/catalog/product/1213072 https://www.iprbookshop.ru/9092.html
Информационные лазерные технологии : учебное пособие / Г. Д. Шандыбина, В. А. Парфенов. — Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2008.	2008	https://www.iprbookshop.ru/66477.html
Фемтосекундная оптика и фемтотехнологии / В.Г.Беспалов, С.А.Козлов, В.Н.Крылов, С.Э.Путилин. — Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2010. — 234 с.	2010	https://www.iprbookshop.ru/65339.html
Дополнительная литература		
Лазерное наноструктурирование материалов: методы реализации и диагностики : учебное пособие / С. М. Аракелян [и др.] ;— Владимир : ВлГУ	2010	
Лазерный гироскоп. Барыкин В.В. и др. Издательство: МГТУ им. Н.Э. Баумана	2010	http://e.lanbook.com/view/book/52341/
Современные проблемы оптотехники. Под ред. Карасика В.Е. МГТУ им. Н.Э. Баумана	2010	http://e.lanbook.com/view/book/52352/
Вычислительная томография. Методические указания к лабораторным работам. Заякин А.А.-ВлГУ	2002	

6.2. Периодические издания

6.3. Интернет-ресурсы

1. <http://www.quantum-electron.ru>
2. <http://ufn.ru>
3. <http://journals.ioffe.ru/pjtf>
4. <http://www.laser.ru>
<http://www.cislaser.com>

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для реализации данной дисциплины имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, оборудованных мультимедийным оборудованием (ауд. 420-3, ауд. 430-3). Практические/лабораторные работы проводятся в компьютерных классах кафедры

ФиПИМ (лаб. 511-3, лаб. 100-3). Используется лицензионное программное обеспечение *MATLAB*.

Для обеспечения проведения лабораторных работ имеются специализированные учебно-научные лаборатории, оборудованные современным оборудованием (лаб. 107-3, 107а-3, 419-3, 123-3).

Рабочую программу составил _____ А.А.Заякин
(ФИО, должность, подпись)

Рецензент
Генеральный директор ООО «ВладИнТех» _____ А.В. Осипов

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФиПИМ
Протокол №1 от 30.08.2021 года
Заведующий кафедрой _____ С.М. Аракелян
(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
на заседании учебно-методической комиссии направления 12.03.05 «Лазерная техника и
лазерные технологии»
Протокол №1 от 30.08.2021 года
Председатель комиссии _____ С.М. Аракелян
(ФИО, должность, подпись)

ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ

Рабочая программа одобрена на 20 22 / 20 23 учебный года

Протокол заседания кафедры № 1 от 30.08.2021 года

Заведующий кафедрой _____
С.М. Аракелян

Рабочая программа одобрена на 20 ____ / 20 ____ учебный года

Протокол заседания кафедры № ____ от ____ года

Заведующий кафедрой _____

Рабочая программа одобрена на 20 ____ / 20 ____ учебный года

Протокол заседания кафедры № ____ от ____ года

Заведующий кафедрой _____