

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского»

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Декан радиофизического факультета

_____ В.В. Матросов

“__” _____ 2021 г.

Рабочая программа дисциплины

Методы оптических измерений

Направление подготовки
03.06.01 "Физика и астрономия"

Направленность подготовки
01.04.21 "Лазерная физика"

Квалификация выпускника
Исследователь. Преподаватель-исследователь

Форма обучения
Очная

Нижний Новгород
2021

1. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы (ОПОП)

Дисциплина «Методы оптических измерений» относится к числу профессиональных дисциплин, является дисциплиной выбора и изучается на 2-ом году обучения, в 3-ем семестре.

Освоение курса опирается на знания, умения, навыки и компетенции, сформированные на двух предшествующих уровнях образования в рамках изучения курсов «Электродинамика», «Квантовая радиофизика», «Твердотельная электроника», входящих в учебный план подготовки бакалавров по направлению «Радиофизика», а также магистерского курса «Физика лазеров».

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями выпускников)

Таблица 1

Планируемые результаты обучения по дисциплине

Код формируемой компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
ПК-1 (базовый этап)	ЗНАТЬ: основы теории спектральных приборов и их устройств. методы измерения длин волн УФ, видимого и ближнего ИК диапазонов спектра; основные определения и понятия классической спектроскопии. УМЕТЬ: пользоваться основными типами оптических измерительных приборов; проводить анализ оптических систем передачи и обработки информации.
ПК-2 (базовый этап)	ЗНАТЬ: современную приборную и элементную базу, используемую в лазерной физике и оптических измерительных системах; физические принципы формирования устройств квантовой электроники, применяемых в современных информационных системах. УМЕТЬ: применять методы расчета основных характеристик спектральных приборов.

3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 3 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (18 часов - занятия лекционного типа и 18 часов - занятия семинарского типа (семинары и научно-практические занятия)), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Таблица 2**Структура дисциплины**

Наименование раздела дисциплины	Всего, часов	В том числе					
		Контактная работа, часов					Самостоятельная работа обучающегося, часов
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Консультации	Всего	
Временные и пространственные спектры излучения. Классификация спектров.	23	4	4			8	7
Параметры оптических спектральных линий.	17	3	3			6	5
Дисперсионные и дифракционные измерители оптического спектра	17	3	3			6	5
Интерферометрические измерения в оптике.	17	3	3			6	5
Измерения оптических параметров излучения и характеристик оптических сред.	12	2	2			4	4
Регистрация спектров	6	1	1			2	2
Лазерная спектроскопия высокого разрешения	6	1	1			2	2
Естественные пределы при измерении спектров	6	1	1			2	2
Аттестация по дисциплине - ЗАЧЕТ	4						4
Итого	108	18	18			36	36

Таблица 3**Содержание дисциплины**

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Форма проведения занятия	Форма текущего контроля*
1.	Временные и пространственные спектры излучения. Классификация спектров.	Основные различия временных и пространственных частот. Изменение амплитуды, фазы и частоты гармоник при прохождении электромагнитного излучения через линейные системы. Связь между пространственными и временными частотами. Классификация спектров: эмиссионные, поглощения, рассеяния, отражения. Методы световых измерений. Излучение черного тела. Спектры излучения термодинамически равновесных источников. Источники сплошного спектра. Светоизмерительные лампы. Цветовая температура. Световые эталоны. Спонтанное и индуцированное излучение. Распределение фотонов по модам в источниках спонтанного и индуцированного излучения. Временная когерентность. Когерентность тепловых и лазерных источников света.	занятия лекционного типа, семинарского типа	Устный опрос
2.	Параметры оптических спектральных линий.	Интенсивность спектральных линий. Сила осциллятора. Закон Бугера-Ламберта. Измерение характеристик электронных переходов (коэффициент поглощения, сечение перехода). Измерение коэффициентов усиления активных сред. Форма и ширина спектральной линии. Измерение контура спектральных линий. Спектры молекул. Колебательно-вращательная структура электронных переходов молекул. Р и R ветви вращательных полос. Потенциальная энергия молекулы. Принцип Франка – Кондона при электронно-колебательных переходах. Профили спектральных линий в жидкостях. Спектры сложных органических молекул. Стоксов сдвиг	занятия лекционного типа, семинарского типа	Устный опрос

		<p>между спектрами поглощения и излучения. Формирование спектров ионов группы железа и редкоземельных элементов в твердом теле. Фононы. Безызлучательные переходы. Межионное взаимодействие. Донор-акцепторная передача энергии возбуждения. Штарковское расщепление энергетических уровней ионов РЗЭ. Влияние кристаллической матрицы твердого тела на спектры ионов группы железа и РЗЭ. Уширение спектральных линий ионов в кристаллах и стеклах.</p>		
3.	Дисперсионные и дифракционные измерители оптического спектра	<p>Дисперсионные и дифракционные приборы со сканированием спектра. Основные характеристики приборов: дисперсия, аппаратная функция, разрешающая способность, светосила. Спектральная щель, уширение спектральных линий приборами. Призмный спектрометр. Дифракционные спектрометры Фазовые дифракционные решетки: эшелетт и эшелле (угол блеска, разрешающая способность, область свободной дисперсии). Градуировка спектрометра по спектру и интенсивности.</p>	занятия лекционного типа, семинарского типа	Устный опрос
4.	Интерферометрические измерения в оптике.	<p>Однолучевые интерферометры. Интерферометр Майкельсона. Основные характеристики. Измерение временной когерентности источников света. Многолучевая интерференция. Интерферометр Фабри-Перо. Фактор резкости. Разрешающая способность. Область свободной дисперсии. Конфокальный интерферометр. Метод скрещенных дисперсий. Приборы со спектральной селективной модуляцией. Фурье спектроскопия. Основное уравнение Фурье спектроскопии. Вид интерференционной картины. Вычисление спектров. Сравнительные характеристики методов селективной фильтрации и селективной модуляции</p>	занятия лекционного типа, семинарского типа	Устный опрос
5.	Измерения оптических	<p>Способы измерения поляризации света. Интерференция поляризованных лучей в</p>	занятия лекционного	Устный

	параметров излучения и характеристики к оптическим сред.	параллельных и сходящихся пучках. Измерение анизотропии оптических элементов. Измерение оптической активности веществ. Поляризационные интерферометры.	типа, семинарского типа	опрос
6.	Регистрация спектров	Точечные фотоприемники. Фоторезисторы. Фотодиоды. Фотоэлектронные умножители. Регистрирующие термоэлементы. Координационно-чувствительные приемники. Фотоэмульсия. Линейки и матрицы приборов с зарядовой связью.	занятия лекционного типа, семинарского типа	Устный опрос
7.	Лазерная спектроскопия высокого разрешения	Основные принципы. Спектроскопия насыщения. Двухфотонная спектроскопия.	занятия лекционного типа, семинарского типа	Устный опрос
8.	Естественные пределы при измерении спектров	Шумы при измерении. Типы шумов (тепловой, дробовой, квантовый). Фазочувствительное детектирование. Метод счета фотонов. Метод задержанных совпадений.	занятия лекционного типа, семинарского типа	Устный опрос

4. Образовательные технологии

При обучении указанной дисциплине предусмотрено использование наглядной демонстрации оптических измерительных систем, имеющихся в научных лабораториях кафедры квантовой радиофизики и лазерных систем. Кроме того, используются следующие образовательные технологии: проблемный метод изложения материала и диалогичная форма проведения лекций, методы научной дискуссии.

5. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающегося предполагает работу, сопровождающую лекционный материал, с рекомендованной литературой и проработку контрольных вопросов. Текущий контроль успеваемости проводится во время занятий семинарского типа и научно-практических занятий.

Типовые вопросы для контроля:

1. Квантовые представления света.
2. Условие классичности для источников электромагнитного излучения оптического и радио диапазона.
3. Основные различия временных и пространственных частот. Классификация спектров:

- эмиссионные, поглощения, рассеяния, отражения.
4. Поле световой волны в конечном объеме. Моды резонатора.
 5. Излучение черного тела. Распределение Планка. Источники сплошного спектра.
 6. Распределение фотонов по модам в источниках спонтанного и индуцированного излучения.
 7. Интенсивность спектральной линии.
 8. Закон Бугера–Ламберта. Коэффициенты поглощения, сечение перехода.
 9. Методы измерения усиления активной среды.
 10. Форма и ширина спектральной линии. Уширение спектральных линий атомов. Доплеровская ширина линии.
 11. Колебательно-вращательная структура электронных переходов молекул. *P* и *R* ветви вращательных полос. Потенциальная энергия молекулы. Принцип Франка-Кондона.
 12. Профили спектральных линий в жидкостях. Спектры сложных органических молекул. Диаграмма энергетических уровней молекулы.
 13. Спектры ионов группы железа и редкоземельных элементов в твердом теле. Фононы. Безызлучательные переходы.
 14. Межионное взаимодействие. Донор-акцепторная передача энергии возбуждения.
 15. Штарковское расщепление энергетических уровней ионов редкоземельных элементов (РЗЭ). Влияние кристаллической матрицы твердого тела на спектры ионов группы железа и РЗЭ. Уширение спектральных линий.
 16. Спонтанное и вынужденное комбинационное рассеяние света. Стоксовы и антистоксовы компоненты в рассеянном излучении. Параметрическая люминесценция. Трех и четырех волновое смешение частот. Выполнение условия фазового синхронизма в оптическом волокне.
 17. Дисперсионные и дифракционные приборы со сканированием спектра. Основные характеристики приборов: дисперсия, аппаратная функция, разрешающая способность, светосила. Спектральная щель, уширение спектральных линий приборами.
 18. Призмный спектрометр.
 19. Фазовые дифракционные решетки: эшелетт и эшелле (угол блеска, разрешающая способность, область свободной дисперсии).
 20. Интерферометр Майкельсона. Основные характеристики.
 21. Многолучевая интерференция. Интерферометр Фабри-Перо. Фактор резкости. Разрешающая способность. Область свободной дисперсии.
 22. Многослойные отражающие покрытия. Интерференционные светофильтры.
 23. Фурье-спектроскопия. Основное уравнение Фурье-спектроскопии. Вид интерференционной картины. Вычисление спектров. Сравнительные характеристики методов селективной фильтрации и селективной модуляции.
 24. Принципы действия и основные характеристики фотоприемников.
 25. Поляризационная интерферометрия.
 26. Методы лазерной спектроскопии высокого разрешения.
 27. Естественные пределы измерения спектров. Шумы при измерении. Типы шумов (тепловой, дробовой, квантовый). Фазочувствительное детектирование. Метод счета фотонов. Метод задержанных совпадений.

6. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования

Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования приведен в приложении 1.

6.2. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине. Описание шкал оценивания

Предусмотрена форма аттестации обучающихся в форме зачета в конце семестра. Зачет проводится в форме тестирования знаний и умений обучающегося на основе программы курса и контрольных вопросов (п.6.3). Положительное оценивание знаний и умений обучающегося производится при демонстрации им соответствующих знаний и умений в соответствии с критериями компетенций, приведенными в п.6.1., а также на основе решения обучающимся практических задач и модельных ситуаций, предложенных преподавателем в процессе тестирования.

6.3. Примеры типовых контрольных заданий и вопросов, необходимых для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенций.

1. Квантовые представления света (ПК-1).
2. Условие классичности для источников электромагнитного излучения оптического и радио диапазона (ПК-1).
3. Основные различия временных и пространственных частот. Классификация спектров: эмиссионные, поглощения, рассеяния, отражения (ПК-1).
4. Поле световой волны в конечном объеме. Моды резонатора (ПК-1).
5. Излучение черного тела. Распределение Планка. Источники сплошного спектра (ПК-1).
6. Распределение фотонов по модам в источниках спонтанного и индуцированного излучения (ПК-1).
7. Интенсивность спектральной линии (ПК-1).
8. Закон Бугера–Ламберта. Коэффициенты поглощения, сечение перехода (ПК-1).
9. Методы измерения усиления активной среды (ПК-1).
10. Форма и ширина спектральной линии. Уширение спектральных линий атомов. Доплеровская ширина линии (ПК-1).
11. Колебательно-вращательная структура электронных переходов молекул. *P* и *R* ветви вращательных полос. Потенциальная энергия молекулы. Принцип Франка-Кондона (ПК-1).
12. Профили спектральных линий в жидкостях. Спектры сложных органических молекул. Диаграмма энергетических уровней молекулы (ПК-1).
13. Спектры ионов группы железа и редкоземельных элементов в твердом теле. Фононы. Безызлучательные переходы (ПК-1).
14. Межионное взаимодействие. Донор-акцепторная передача энергии возбуждения (ПК-1).
15. Штарковское расщепление энергетических уровней ионов редкоземельных элементов (РЗЭ). Влияние кристаллической матрицы твердого тела на спектры ионов группы железа и РЗЭ. Уширение спектральных линий (ПК-1).
16. Спонтанное и вынужденное комбинационное рассеяние света. Стоксовы и антистоксовы компоненты в рассеянном излучении. Параметрическая люминесценция. Трех и четырех волновое смешение частот. Выполнение условия фазового синхронизма в оптическом волокне (ПК-1).
17. Дисперсионные и дифракционные приборы со сканированием спектра. Основные характеристики приборов: дисперсия, аппаратная функция, разрешающая способность, светосила. Спектральная щель, уширение спектральных линий приборами (ПК-2).
18. Призмный спектрометр (ПК-1).
19. Фазовые дифракционные решетки: эшелетт и эшелле (угол блеска, разрешающая способность, область свободной дисперсии) (ПК-2).
20. Интерферометр Майкельсона. Основные характеристики (ПК-1).
21. Многолучевая интерференция. Интерферометр Фабри-Перо. Фактор резкости. Разрешающая

- способность. Область свободной дисперсии (ПК-1).
22. Многослойные отражающие покрытия. Интерференционные светофильтры (ПК-2).
 23. Фурье-спектроскопия. Основное уравнение Фурье-спектроскопии. Вид интерференционной картины. Вычисление спектров. Сравнительные характеристики методов селективной фильтрации и селективной модуляции (ПК-2).
 24. Принципы действия и основные характеристики фотоприемников (ПК-1).
 25. Поляризационная интерферометрия (ПК-1).
 26. Методы лазерной спектроскопии высокого разрешения (ПК-2).
 27. Естественные пределы измерения спектров. Шумы при измерении. Типы шумов (тепловой, дробовой, квантовый). Фазочувствительное детектирование. Метод счета фотонов. Метод задержанных совпадений (ПК-1).

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) основная литература:

1. Шредер Г., Трайбер Х. «Техническая оптика». М.: «Техносфера», 2006г. – 424 с.
2. Абрамочкин Е.Г., Волостников В.Г. «Современная оптика гауссовых пучков» М.: «Физматлит», 2010г. – 184с.
3. Морозов А.Н., Светличный С.И. «Основы Фурье-спектрометрики». М.: «Наука», 2006г. – 275 с.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

- научные лаборатории кафедры квантовой радиофизики и лазерных систем;
- аудиторный фонд ННГУ.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации).

Автор _____ Савикин А.П.

Рецензент _____ Бодров С.Б.

Заведующий кафедрой общей физики _____ Бакунов М.И.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от _____ 2021 года, протокол № ____.

Приложение 1

Карты компетенций, в формировании которых участвует дисциплина

ПК-1 Способность выполнять научно-исследовательские работы и получать новые научные результаты в области лазерной физики в составе научной группы

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ

Тип КОМПЕТЕНЦИИ:

Профессиональная компетенция выпускника программы аспирантуры.

ПОРОГОВЫЙ (ВХОДНОЙ) УРОВЕНЬ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ, ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ТРЕБУЕМЫЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ

Для того, чтобы формирование данной компетенции было возможно, обучающийся, приступивший к освоению программы аспирантуры, должен:

ЗНАТЬ: базовые разделы высшей математики, теоретической и лазерной физики.

УМЕТЬ: проводить основные математические преобразования, пользоваться основными измерительными приборами.

ВЛАДЕТЬ: базовым уровнем английского языка, навыками программирования и использования ресурсов интернета.

Планируемые результаты обучения* (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
ЗНАТЬ: Основные концепции современной лазерной физики	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления об основных концепциях лазерной физики	Неполные представления об основных концепциях лазерной физики	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы, представления об основных концепциях лазерной физики	Сформированные систематические представления об основных концепциях лазерной физики
УМЕТЬ: Работать на современном оптическом и измерительном оборудовании	Отсутствие умений	Частично освоенное умение работать на современном оптическом и измерительном оборудовании	В целом успешное, но не систематическое умение работать на современном оптическом и измерительном оборудовании	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение работать на современном оптическом и измерительном оборудовании	Успешное и систематическое умение работать на современном оптическом и измерительном оборудовании
ВЛАДЕТЬ:	Отсутствие	Фрагментарное	В целом	В целом успешное,	Успешное и

Современными теоретическими и экспериментальными методами исследований	навыков	применение современных теоретических и экспериментальных методов исследований	успешное, но не систематическое применение современных теоретических и экспериментальных методов исследований	но содержащее отдельные пробелы применение современных теоретических и экспериментальных методов исследований	систематическое владение современными теоретическими и экспериментальными методами исследований
ВЛАДЕТЬ: Навыками чтения и восприятия научной литературы на английском языке	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков чтения и восприятия научной литературы на английском языке	В целом успешное, но не систематическое применение навыков чтения и восприятия научной литературы на английском языке	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков чтения и восприятия научной литературы на английском языке	Успешное и систематическое владение навыками чтения и восприятия научной литературы на английском языке

ПК-2 Способность самостоятельно ставить научные задачи и формулировать новые идеи в области лазерной физики

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ

Тип КОМПЕТЕНЦИИ:

Профессиональная компетенция выпускника программы аспирантуры.

ПОРОГОВЫЙ (ВХОДНОЙ) УРОВЕНЬ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ, ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ТРЕБУЕМЫЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ

Для того, чтобы формирование данной компетенции было возможно, обучающийся, приступивший к освоению программы аспирантуры, должен:

ЗНАТЬ: основы лазерной физики.

УМЕТЬ: выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах.

ВЛАДЕТЬ: базовым уровнем английского языка, навыками использования ресурсов интернета.

Планируемые результаты обучения*(показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
ЗНАТЬ: Современное состояние исследований в	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о современном состоянии исследований в	Неполные представления о современном состоянии исследований в	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы, представления о	Сформированные систематические представления о современном состоянии

области лазерной физики		области лазерной физики	области лазерной физики	современном состоянии исследований в области лазерной физики	исследований в области лазерной физики
УМЕТЬ: Определять наиболее актуальные направления исследований	Отсутствие умений	Частично освоенное умение определять наиболее актуальные направления исследований	В целом успешное, но не систематическое умение определять наиболее актуальные направления исследований	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение определять наиболее актуальные направления исследований	Успешное и систематическое умение определять наиболее актуальные направления исследований
ВЛАДЕТЬ: Навыками формулирования задач для членов исследовательской группы	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков формулирования задач для членов исследовательской группы	В целом успешное, но не систематическое применение навыков формулирования задач для членов исследовательской группы	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков формулирования задач для членов исследовательской группы	Успешное и систематическое владение навыками формулирования задач для членов исследовательской группы