

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

**УТВЕРЖДЕНО**  
решением ученого совета ННГУ  
протокол от "16" января 2024 г. №1

**Рабочая программа дисциплины**  
**Методы оптических измерений**

Уровень высшего образования  
**Подготовка научных и научно-педагогических кадров**

Программа аспирантуры  
**Лазерная физика**

Научная специальность  
**1.3.19 Лазерная физика**

Форма обучения  
**Очная**

Нижний Новгород  
2024 год

### 1. Место и цель дисциплины в структуре ПА

Дисциплина «Методы оптических измерений» относится к числу элективных дисциплин образовательного компонента программы аспирантуры и изучается на 2 году обучения в 3 семестре.

**Цель дисциплины** – ознакомление с методами оптических измерений.

### 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Выпускник, освоивший программу, должен

**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;
- 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:**

- пользоваться основными типами оптических измерительных приборов;
- проводить анализ оптических систем передачи и обработки информации;
- применять методы расчета основных характеристик спектральных приборов.

### 3. Структура и содержание дисциплины.

Объем дисциплины (модуля) составляет 2 з.е., всего - 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа), 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	Занятия лабораторного	Консультации	Всего	
Временные и пространственные спектры излучения. Классификация спектров.	16	8				8	8
Параметры оптических спектральных линий.	12	6				6	6
Дисперсионные и дифракционные измерители оптического спектра	12	6				6	6
Интерферометрические измерения в оптике.	12	6				6	6
Измерения оптических	8	4				4	4

параметров излучения и характеристик оптических сред.							
Регистрация спектров	4	2				2	2
Лазерная спектроскопия высокого разрешения	4	2				2	2
Естественные пределы при измерении спектров	4	2				2	2
<b>Промежуточная аттестация</b>	зачет						
<b>Итого</b>	<b>72</b>	<b>36</b>				<b>36</b>	<b>36</b>

**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.	лекции	-
2.	Параметры оптических спектральных линий.	Интенсивность спектральных линий. Сила осциллятора. Закон Бугера-Ламберта. Измерение характеристик электронных переходов (коэффициент поглощения, сечение перехода). Измерение коэффициентов усиления	лекции	-

		<p>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 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>	лекции	-
4.	Интерферометрические измерения в оптике.	<p>Однолучевые интерферометры. Интерферометр Майкельсона. Основные характеристики. Измерение временной когерентности источников света. Многолучевая интерференция.</p>	лекции	-

		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		
5.	Измерения оптических параметров излучения и характеристик оптических сред.	Способы измерения поляризации света. Интерференция поляризованных лучей в параллельных и сходящихся пучках. Измерение анизотропии оптических элементов. Измерение оптической активности веществ. Поляризационные интерферометры.	лекции	-
6.	Регистрация спектров	Точечные фотоприемники. Фоторезисторы. Фотодиоды. Фотоэлектронные умножители. Регистрирующие термоэлементы. Координационно-чувствительные приемники. Фотоэмульсия. Линейки и матрицы приборов с зарядовой связью.	лекции	-
7.	Лазерная спектроскопия высокого разрешения	Основные принципы. Спектроскопия насыщения. Двухфотонная спектроскопия.	лекции	-
8.	Естественные пределы при измерении спектров	Шумы при измерении. Типы шумов (тепловой, дробовой, квантовый). Фазочувствительное детектирование. Метод счета фотонов. Метод задержанных совпадений.	лекции	-

#### 4. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает следующие виды:

- разбор лекционного материала,
- изучение дополнительных разделов дисциплины с использованием учебной литературы.

Итоговый контроль качества усвоения аспирантами содержания дисциплины проводится в виде зачета. Зачет проводится в устной форме и заключается в ответе аспирантом на теоретические вопросы курса (с предварительной подготовкой) и последующем собеседовании в рамках тематики курса. Собеседование проводится в форме вопросов, на которые аспирант должен дать краткий ответ.

## 5. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине

### 5.1. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине.

При выполнении всех работ учитываются следующие **основные критерии**:

- уровень теоретических знаний (подразумевается не только формальное воспроизведение информации, но и понимание предмета, которое подтверждается правильными ответами на дополнительные, уточняющие вопросы, заданные членами комиссии);
- умение использовать теоретические знания при анализе конкретных проблем, ситуаций;
- качество изложения материала, то есть обоснованность, четкость, логичность ответа, а также его полнота (то есть содержательность, не исключающая сжатости);
- способность устанавливать внутри- и межпредметные связи,
- оригинальность мышления, знакомство с дополнительной литературой и другие факторы.

Описание шкалы оценивания на промежуточной аттестации в форме зачета

Оценка	Уровень подготовленности, характеризуемый оценкой
<i>Зачтено</i>	владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, умение самостоятельно обозначить проблемные ситуации в организации научных исследований, способность критически анализировать и сравнивать существующие подходы и методы к оценке результативности научной деятельности, свободное владение источниками, умение четко и ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях.
<i>Не зачтено</i>	непонимание смысла ключевых проблем, недостаточное владение науковедческой терминологией, неумение самостоятельно обозначить проблемные ситуации, неспособность анализировать и сравнивать существующие концепции, подходы и методы, неумение ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях.

### 5.2. Примеры типовых контрольных заданий или иных материалов, используемых для оценивания результатов обучения по дисциплине

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. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.**

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-спектрометриии». М.: «Наука», 2006г. – 275 с.

## 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- помещения для проведения занятий: лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования и помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ;
  - материально-техническое обеспечение, необходимое для реализации дисциплины, включая лабораторное оборудование;
  - лицензионное программное обеспечение: *Windows, Microsoft Office*;
  - обучающиеся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья обеспечиваются электронными и (или) печатными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.
- ресурсам.

Рабочая программа учебной дисциплины составлена в соответствии с учебным планом, Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Постановление Правительства РФ от 30.11.2021 № 2122), Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Приказ Минобрнауки РФ от 20.10.2021 № 951).

Авторы:

Автор: А.П. Савикин

Рецензент: С.Б. Бодров

Заведующий кафедрой: М.И. Бакунов

**Программа одобрена** на заседании Методической комиссии от 18 декабря 2023 года, протокол № 09/23.