



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГЕОДЕЗИИ И КАРТОГРАФИИ
(МИИГАиК)

Факультет оптического приборостроения
Кафедра прикладной оптики



**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 5387FD2AF5B17FED816FDE9A1D4973B1
Владелец: Степанченко Алексей Леонидович
Действителен: с 21.07.2025 по 14.10.2026

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор
А. Л. Степанченко
16 февраля 2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)
ПРИКЛАДНАЯ ОПТИКА
«Б1.О.19.07 КВАНТОВАЯ ОПТИКА»**

Уровень высшего образования: специалитет

Специальность: 12.05.01 Электронные и оптико-электронные приборы и системы
специального назначения

Направленность(профиль) подготовки: Электронные и оптико-электронные приборы и
системы дистанционного зондирования Земли

Квалификация (степень) выпускника: специалист

Форма обучения: очная

Год набора (приема на обучение): 2024

Срок получения образования: 5 лет 6 месяца(-ев)

Объем:
в зачетных единицах: 4 з.е.
в академических часах: 144 ак.ч.

Москва, 2024

Разработчики:

Доцент кафедры Прикладной оптики, к.т.н. Демин А. В.

Рабочая программа дисциплины (модуля) составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по специальности 12.05.01 Электронные и оптико-электронные приборы и системы специального назначения, утвержденного приказом Минобрнауки от 09.08.2018 № 93

Согласование и утверждение

№	Подразделение	Ответственное лицо	ФИО	Виза	Дата, протокол (при наличии)
1	факультет Оптического приборостроен ия	Председатель ученого совета факультета	Торшина И. П.	Рассмотрено	15.02.2024, № 2/23-24

Содержание

1. Цель и задачи освоения дисциплины (модуля)
2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы
3. Место дисциплины в структуре ОП
4. Объем дисциплины и виды учебной работы
5. Содержание дисциплины
 - 5.1. Разделы, темы дисциплины и виды занятий
 - 5.2. Содержание разделов, тем дисциплины и формы текущего контроля
6. Оценочные материалы текущего контроля
7. Оценочные материалы промежуточной аттестации
8. Порядок проведения промежуточной аттестации
9. Материально-техническое и учебно-методическое обеспечение дисциплины
 - 9.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы
 - 9.2. Профессиональные базы данных и ресурсы «Интернет», к которым обеспечивается доступ обучающихся
 - 9.3. Программное обеспечение и информационно-справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине
 - 9.4. Оборудование и технические средства обучения
10. Методические указания по освоению дисциплины (модуля)

1. Цель и задачи освоения дисциплины (модуля)

Цель освоения дисциплины - освоение обучающимися компетенций в разделе физики и оптотехники, связанных с изучением квантовых электромагнитных явлений оптического диапазона

Задачи изучения дисциплины:

- получение обучающимися теоретических знаний по методам математического описания малофотонных и однофотонных процессов как раздел квантовой электродинамики, изучающий низкоэнергетические взаимодействия фотонов со связанными в атомах электронами в оптическом диапазоне. Получение практических навыков по методам описания процессов, в которых важна квантовая (фотонная) структура света и другим явлениям, важные для лазерной техники. При этом учитываются не только средние значения величин, но и квантовые флуктуации и корреляции, как для электронов, так и для поля. Это теория линии лазера, фотонная статистика электромагнитного поля (ЭМ), сжатые состояния «неклассического» света, оптика фотонов, когерентные и запутанные состояния электромагнитного поля и т. д. При этом и электроны, и поле описываются квантовой физикой..

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Компетенции, индикаторы и результаты обучения

ПК-3 Способность к анализу, расчету, проектированию и конструированию в соответствии с техническим заданием типовых систем, приборов, деталей и узлов оптотехники на схемотехническом и элементном уровнях, в том числе с использованием систем автоматизированного проектирования

ПК-3.1 Разрабатывает функциональные и структурные схемы оптотехники, определяет физические принципы действия устройств в соответствии с техническими требованиями с использованием теоретических методов и программных средств проектирования и конструирования

Знать:

ПК-3.1/Зн33 Методы математического описания квантово оптических процессов.

Уметь:

ПК-3.1/Ум29 Получать аналитические решения в рамках статистического характера измерений

Владеть:

ПК-3.1/Нв26 Расчет нелинейно-оптических преобразователей частоты, биофотонных источников оптических излучений. Анализ неопределённостей измеряемых параметров.

ПК-3.2 Рассчитывает, визуализирует и моделирует действие оптических элементов и систем с использованием специализированного программного обеспечения, обрабатывает и анализирует результаты расчета с использованием специализированного программного обеспечения

Знать:

ПК-3.2/Зн26 Методы математического описания квантово оптических процессов.

Уметь:

ПК-3.2/Ум25 Получать аналитические решения в рамках статистического характера измерений

Владеть:

ПК-3.2/Нв25 Расчет нелинейно-оптических преобразователей частоты, биофотонных источников оптических излучений. Анализом неопределённостей измеряемых параметров.

ПК-3.3 Разрабатывает проектно-конструкторскую и техническую документацию на всех этапах жизненного цикла оптических, оптико-электронных приборов, механических блоков, узлов и деталей в соответствии с требованиями технического задания, стандартов качества, надежности, безопасности и технологичности с использованием систем автоматизированного проектирования

Знать:

ПК-3.3/Зн20 Методы математического описания квантово оптических процессов.

Уметь:

ПК-3.3/Ум23 Получать аналитические решения в рамках статистического характера измерений

Владеть:

ПК-3.3/Нв21 Расчет нелинейно-оптических преобразователей частоты, биофотонных источников оптических излучений. Анализом неопределённостей измеряемых параметров.

3. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина (модуль) Б1.О.19.07 «Квантовая оптика» относится к обязательной части образовательной программы и изучается в семестре(ах): 9.

В процессе изучения дисциплины студент готовится к решению типов задач профессиональной деятельности, предусмотренных ФГОС ВО и образовательной программой.

4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы

Период обучения	Общая трудоемкость (часы)	Общая трудоемкость (ЗЕТ)	Лекционные занятия (часы)	Практические занятия (часы)	Самостоятельная работа (часы)	Промежуточная аттестация (часы)
9 семестр	144	4	34	34	40	Экзамен (36)
Всего	144	4	34	34	40	36

5. Содержание дисциплины (модуля)

5.1. Разделы, темы дисциплины и виды занятий

(часы промежуточной аттестации не указываются)

Наименование раздела, темы		Лекционные занятия	Практические занятия	Самостоятельная работа	Учебные результаты, соответствующие требованиям освоения программы

	Всего	Лекции	Практи	Самост	Планир обучен результ програ
Раздел 1. Флуктуации в классической стохастической оптике.	30	12	12	6	ПК-3.1 ПК-3.2 ПК-3.3
Тема 1.1. Вероятностное распределение фотонов	7	2	2	3	
Тема 1.2. Интерференция.	23	10	10	3	
Раздел 2. Основы математического аппарата в квантовой оптике.	30	10	8	12	ПК-3.1 ПК-3.2 ПК-3.3
Тема 2.3. Алгебра квантового гармонического осциллятора	18	4	8	6	
Тема 2.4. Особенности квантовых измерений	12	6		6	
Раздел 3. Алгебра квантового гармонического осциллятора.	18	4	8	6	ПК-3.1 ПК-3.2 ПК-3.3
Тема 3.5. Представление когерентных состояний	18	4	8	6	
Раздел 4. Квантовая природа излучения света	16	4	4	8	ПК-3.1 ПК-3.2 ПК-3.3
Тема 4.6. Тензорное исчисления	16	4	4	8	
Раздел 5. Квантовые эффекты электромагнитного излучения.	14	4	2	8	ПК-3.1 ПК-3.2 ПК-3.3
Тема 5.7. Вынужденное рассеяние	14	4	2	8	
Итого	108	34	34	40	

5.2. Содержание разделов, тем дисциплин и формы текущего контроля

Раздел 1. Флуктуации в классической стохастической оптике.

Тема 1.1. Вероятностное распределение фотонов

Лекция № 1 Классическая модель фотоотсчётов. Процесс Пуассона.

Практическое занятие № 1.

Проведение оценки амплитуд электрического поля.

Тема 1.2. Интерференция.

Лекция № 2 Схема Брауна-Твисса. "Интерференция интенсивностей."

Практическое занятие № 2.

Определение показателя преломления и коэффициента поглощения

Лекция № 3 Глауберовская теория детектирования фотонов.

Лекция № 4 Квантовая функция когерентности.

Практическое занятие №3

Субпуассоновская статистика света, антигруппировка фотонов, сжатие света, перепутывание со-
стояний атомов и поля

Раздел 2. Основы математического аппарата в квантовой оптике.

Тема 2.3. Алгебра квантового гармонического осциллятора

Лекция № 5. Бра – кет обозначения Дирака. Спектр квантового осциллятора.
Практическое занятие № 4.
Эффективная длина нелинейного взаимодействия.
Лекция № 6. Операторные соотношения.
Практическое занятие № 5
Вычисление энергетического спектра системы с известным гамильтонианом.
Практическое занятие № 6
Нестационарная теория возмущений.
Практическое занятие № 7
Золотое правило Ферми.

Тема 2.4. Особенности квантовых измерений

Лекция № 7. Эволюции в картинах Шредингера и Гейзенберга.
Лекция № 8. Матрица плотности чистого и смешанного состояния.

Раздел 3. Алгебра квантового гармонического осциллятора.

Тема 3.5. Представление когерентных состояний

Лекция № 9. Представление когерентных состояний.
Практическое занятие № 8
Рассмотрение двухуровневой системы атомов в классическом и квантовом электромагнитном поле
Практическое занятие № 9
При заданном тензоре диэлектрической проницаемости одноосного кристалла определение показателей преломления n_o и n_e .
Практическое занятие № 10
Рассмотрение задачи об возбуждении гармонического осциллятора под действием электрического поля направленного вдоль оси колебаний.
Практическое занятие № 11
Определение времени спонтанного излучения двухуровневого атома в свободном пространстве.

Раздел 4. Квантовая природа излучения света

Тема 4.6. Тензорное исчисление

Лекция № 10. Квантовые характеристические функции. Эффект Комптона.
Практическое занятие № 12
Рассмотрение двухуровневой системы с векторами основного состояния и возбужденного состояния.

Текущий контроль

Вид (форма) контроля

Раздел 5. Квантовые эффекты электромагнитного излучения.*Тема 5.7. Вынужденное рассеяние*

Тема 7. Вынужденное рассеяние

Лекция № 11. Фотоны и их свойства. Внешний фотоэффект. Практическое использование внешнего фотоэффекта

Практическое занятие № 13

Квантово-размерные структуры полупроводников

Текущий контроль

Вид (форма) контроля

Письменный опрос

6. Порядок проведения промежуточной аттестации

Порядок проведения промежуточной аттестации регламентируется локальными нормативными актами Университета:

- Положением о формах, периодичности, порядке текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по основным образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный университет геодезии и картографии», п.6 «Организация и проведение промежуточной аттестации».
- Положением о порядке осуществления образовательного процесса, проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный университет геодезии и картографии», п.8 «Проведение промежуточной аттестации с применением ЭО и ДОТ».

Промежуточная аттестация: Экзамен, 9 семестр.

1. Уравнения Максвелла в нелинейной среде.
2. Материальные уравнения.
3. Излучение с тепловой статистикой: определение, распределение числа фотонов, факториальные моменты, производящая функция, квазивероятность, спектральная яркость, параметр группировки фотонов. Характеристическая функция и роль теплового поля в «сглаживающих» процедурах при определении степени неклассичности других полей.
4. Энергетические состояния одномодовых и многомодовых полей: определения, свойства, временная динамика, способы получения на практике. Действие операторов рождения и уничтожения фотонов одномодового поля. Представление энергетических состояний в когерентном базисе.
5. Монохроматическая плоская волна в комплексной и вещественной формах.
6. Дисперсионное уравнение для плоской электромагнитной волны.
7. Связь показателя преломления света с диэлектрической и магнитной проницаемостями среды.
8. Что характеризует волновой вектор?
9. Связь волнового числа с длиной волны.
10. Определение фазовой скорости волны.
12. Скорость и направление какого процесса характеризуется

фазовой скоростью?

13. Вектор плотности потока энергии электромагнитной волны (вектор Пойнтинга).

14. Интенсивность плоской электромагнитной волны.

15. Комбинационные частоты.

16. Генерация оптических гармоник в среде с квадратичной нелинейностью.

17. Условие фазового синхронизма.

18. Различные режимы усиления волн при параметрическом рассеянии света. Волновая функция в спонтанном режиме. Распределения условной и безусловной вероятности обнаружения фотона в одном из каналов при пространственном или частотном перепутывании сигнальных и холостых фотонов.

7. Оценочные материалы текущего контроля

Раздел 4. Квантовая природа излучения света

Контролируемые ИДК: ПК-3.1 ПК-3.2 ПК-3.3

Тема 4.6. Тензорное исчисления

Форма контроля/оценочное средство: Письменный опрос

Вопросы/Задания:

1. Ранги тензоров

Раздел 5. Квантовые эффекты электромагнитного излучения.

Контролируемые ИДК: ПК-3.1 ПК-3.2 ПК-3.3

Тема 5.7. Вынужденное рассеяние

Форма контроля/оценочное средство: Письменный опрос

Вопросы/Задания:

1. Практическое применение

8. Оценочные материалы промежуточной аттестации

9 семестр, Экзамен

Контролируемые ИДК: ПК-3.1 ПК-3.2 ПК-3.3

Вопросы/Задания:

1. Способность к анализу, расчету, проектированию и конструированию в соответствии с техническим заданием типовых систем, приборов, деталей и узлов оплотехники на схемотехническом и элементном уровнях, в том числе с использованием систем автоматизированного проектирования

1. Уравнения Максвелла в нелинейной среде.

2. Материальные уравнения.

3. Излучение с тепловой статистикой: определение, распределение числа фотонов, факториальные моменты, производящая функция, квазивероятность, спектральная яркость, параметр группировки фотонов. Характеристическая функция и роль теплового поля в «сглаживающих» процедурах при определении степени неклассичности других полей.

4. Энергетические состояния одномодовых и многомодовых полей: определения, свойства, временная динамика, способы получения на практике. Действие операторов рождения и уничтожения фотонов одномодового поля. Представление энергетических состояний в когерентном базисе.

5. Монохроматическая плоская волна в комплексной и

вещественной формах.

6. Дисперсионное уравнение для плоской электромагнитной волны.

7. Связь показателя преломления света с диэлектрической и магнитной проницаемостями среды.

8. Что характеризует волновой вектор?

9. Связь волнового числа с длиной волны.

10. Определение фазовой скорости волны.

12. Скорость и направление какого процесса характеризуется фазовой скоростью?

13. Вектор плотности потока энергии электромагнитной волны (вектор Пойнтинга).

14. Интенсивность плоской электромагнитной волны.

15. Комбинационные частоты.

16. Генерация оптических гармоник в среде с квадратичной нелинейностью.

17. Условие фазового синхронизма.

18. Различные режимы усиления волн при параметрическом рассеянии света. Волновая функция в спонтанном режиме. Распределения условной и безусловной вероятности обнаружения фотона в одном из каналов при пространственном или частотном перепутывании сигнальных и холостых фотонов.

9. Материально-техническое и учебно-методическое обеспечение дисциплины

9.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Барсуков В. И. Физика. Волновая и квантовая оптика: учебное пособие: учебное пособие / В. И. Барсуков, О. С. Дмитриев. - Физика. Волновая и квантовая оптика - Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2012. - 134 с. - 978-5-8265-1122-0. - Текст: электронный. // IPR SMART: [сайт]. - URL: <https://www.iprbookshop.ru/63917.html> (дата обращения: 16.03.2025). - Режим доступа: по подписке

Дополнительная литература

1. Шостак А. С. Электродинамика сплошных сред: курс лекций для студентов очного, заочного и дистанционного обучения специальности 201300: курс лекций для студентов очного, заочного и дистанционного обучения специальности 201300 / А. С. Шостак. - Электродинамика сплошных сред - Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. - 190 с. - 2227-8397. - Текст: электронный. // IPR SMART: [сайт]. - URL: <https://www.iprbookshop.ru/72227.html> (дата обращения: 16.03.2025). - Режим доступа: по подписке

9.2. Профессиональные базы данных и ресурсы «Интернет», к которым обеспечивается доступ обучающихся

Профессиональные базы данных

Не используются.

Ресурсы «Интернет»

1. <http://www.complexdoc.ru/> - Электронный фонд правовых и нормативнотехнических документов

9.3. Программное обеспечение и информационно-справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Перечень программного обеспечения

(обновление производится по мере появления новых версий программы)

Не используется.

Перечень информационно-справочных систем

(обновление выполняется еженедельно)

Не используется.

9.4. Оборудование и технические средства обучения

Для практических занятий

Автоматизированное рабочее место (АРМ) - 10 шт.

Меловая доска - 1 шт.

МФУ - 1 шт.

10. Методические указания по освоению дисциплины (модуля)

С целью успешного освоения данного предмета студенту необходимо выполнять домашние работы по указанным преподавателям темам и представленным на занятиях материалам. Для более успешного выполнения работы студенту предлагается использование учебно-методических материалов, соответствующих указанной теме.

Самостоятельная работа студентов описывается и регулируется:

- Методическими рекомендациями по дисциплине;
- Методическими рекомендациями по организации самостоятельной работы студентов МИИГАиК;

Описание возможностей изучения дисциплины лицами с ОВЗ и инвалидами

При необходимости обучения студентов-инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья аудиторные занятия могут быть заменены или дополнены изучением полнотекстовых лекций, презентаций, видео- и аудиоматериалов в электронной информационно-образовательной среде (ЭИОС) университета. Индивидуальные задания подбираются в адаптированных к ограничениям здоровья формах (письменно или устно, в форме презентаций). Выбор методов обучения зависит от их доступности для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья.

Рабочая программа дисциплины для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья разрабатывается индивидуально с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья таких обучающихся.