



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
13 мая 2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)
ПРИКЛАДНАЯ ОПТИКА
«Б1.О.17.06 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: инженер

Форма обучения: очная

Год набора (приема на обучение): 2022

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

Объем:
в зачетных единицах: 3 з.е.
в академических часах: 108 ак.ч.

Москва, 2022

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 приборостроения	Председатель ученого совета факультета	Торшина И. П.	Рассмотрено	09.04.2021, № 4

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.17.06 «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	108	3	34	34	4	Экзамен (36)
Всего	108	3	34	34	4	36

5. Содержание дисциплины (модуля)

5.1. Разделы, темы дисциплины и виды занятий

(часы промежуточной аттестации не указываются)

Наименование раздела, темы		онные занятия	ческие занятия	оятельная работа	уемые результаты ия, соответственные с атами освоения ммы

	Всего	Лекции	Практи	Самост	Планир обучен результ програ
Раздел 1. Флуктуации в классической стохастической оптике.	24	12	12		ПК-3.1 ПК-3.2 ПК-3.3
Тема 1.1. Вероятностное распределение фотонов	4	2	2		
Тема 1.2. Интерференция.	20	10	10		
Раздел 2. Основы математического аппарата в квантовой оптике.	18	10	8		ПК-3.1 ПК-3.2 ПК-3.3
Тема 2.3. Алгебра квантового гармонического осциллятора	8	4	4		
Тема 2.4. Особенности квантовых измерений	10	6	4		
Раздел 3. Алгебра квантового гармонического осциллятора.	12	4	8		ПК-3.1 ПК-3.2 ПК-3.3
Тема 3.5. Представление когерентных состояний	12	4	8		
Раздел 4. Квантовая природа излучения света	10	4	4	2	ПК-3.1 ПК-3.2 ПК-3.3
Тема 4.6. Тензорное исчисления	10	4	4	2	
Раздел 5. Квантовые эффекты электромагнитного излучения.	8	4	2	2	ПК-3.1 ПК-3.2 ПК-3.3
Тема 5.7. Вынужденное рассеяние	8	4	2	2	
Итого	72	34	34	4	

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 исчисления

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 / 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> - Режим доступа: по подписке

Дополнительная литература

1. Шостак А. С. Электродинамика сплошных сред: 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> - 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.