



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
17 февраля 2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)
«Б1.В.ДВ.05.01 КВАНТОВАЯ ОПТИКА»**

Уровень высшего образования: бакалавриат

Направление подготовки: 12.03.02 Оптотехника

Направленность(профиль) подготовки: Оптико-электронные приборы и системы

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

Форма обучения: очная

Год набора (приема на обучение): 2023

Срок получения образования: 4 года

Объем:
в зачетных единицах: 2 з.е.
в академических часах: 72 ак.ч.

Москва, 2023

Разработчики:

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

Рабочая программа дисциплины (модуля) составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 12.03.02 Опотехника, утвержденного приказом Минобрнауки от 19.02.0017 № 948

Согласование и утверждение

№	Подразделение	Ответственное лицо	ФИО	Виза	Дата, протокол (при наличии)
1	факультет Оптического приборостроения	Председатель ученого совета факультета	Торшина И. П.	Рассмотрено	01.12.2022, № 1

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

ОПК-1 Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования в инженерной деятельности, связанной с проектированием и конструированием, технологиями производства оптотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов

ОПК-1.1 Применяет знания математики в инженерной практике при моделировании

Знать:

ОПК-1.1/Зн21 Методы математического описания квантово оптических процессов.

Уметь:

ОПК-1.1/Ум14 Получать аналитические решения в рамках статистического характера измерений

Владеть:

ОПК-1.1/Вв14 Расчет нелинейно-оптических преобразователей частоты, биофотонных источников оптических излучений. Анализом неопределённостей измеряемых параметров.

ОПК-1.2 Применяет знания естественных наук в инженерной практике

Знать:

ОПК-1.2/Зн16 Методы математического описания квантово оптических процессов.

Уметь:

ОПК-1.2/Ум14 Получать аналитические решения в рамках статистического характера измерений

Владеть:

ОПК-1.2/Вв11 Расчет нелинейно-оптических преобразователей частоты, биофотонных источников оптических излучений. Анализом неопределённостей измеряемых параметров.

ОПК-1.3 Применяет общетехнические знания, в инженерной деятельности

Знать:

ОПК-1.3/Зн16 Методы математического описания квантово оптических процессов.

Уметь:

ОПК-1.3/Ум15 Получать аналитические решения в рамках статистического характера измерений

Владеть:

ОПК-1.3/Нв11 Расчет нелинейно-оптических преобразователей частоты, биофотонных источников оптических излучений. Анализом неопределённостей измеряемых параметров.

ПК-1 Способность к формированию технических требований и заданий на проектирование и конструирование оптических и оптико-электронных приборов и комплексов, узлов и деталей лазерной техники, лазерных оптико-электронных приборов и систем

ПК-1.1 Анализирует и определяет требования к параметрам, предъявляемые к разрабатываемой оплотехнике, оптическим и оптико- электронным приборам и комплексам с учетом известных экспериментальных и теоретических результатов

Знать:

ПК-1.1/Зн4 Методы математического описания квантово оптических процессов.

Уметь:

ПК-1.1/Ум5 Получать аналитические решения в рамках статистического характера измерений

Владеть:

ПК-1.1/Нв6 Расчет нелинейно-оптических преобразователей частоты, биофотонных источников оптических излучений. Анализом неопределённостей измеряемых параметров.

ПК-1.2 Определяет, корректирует и обосновывает техническое задание в части проектно-конструкторских характеристик блоков и узлов оптических и оптико-электронных приборов

Знать:

ПК-1.2/Зн7 Методы математического описания квантово оптических процессов.

Уметь:

ПК-1.2/Ум6 Получать аналитические решения в рамках статистического характера измерений

Владеть:

ПК-1.2/Нв6 Расчет нелинейно-оптических преобразователей частоты, биофотонных источников оптических излучений. Анализом неопределённостей измеряемых параметров.

ПК-1.3 Осуществляет поиск и анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта, работает с базами данных

Знать:

ПК-1.3/Зн5 Методы математического описания квантово оптических процессов.

Уметь:

ПК-1.3/Ум5 Получать аналитические решения в рамках статистического характера измерений

Владеть:

ПК-1.3/Нв6 Расчет нелинейно-оптических преобразователей частоты, биофотонных источников оптических излучений. Анализом неопределённостей измеряемых параметров.

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

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

Знать:

ПК-3.1/Зн26 Методы математического описания квантово оптических процессов.

Уметь:

ПК-3.1/Ум24 Получать аналитические решения в рамках статистического характера измерений

Владеть:

ПК-3.1/Нв16 Расчет нелинейно-оптических преобразователей частоты, биофотонных источников оптических излучений. Анализом 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/Зн19 Методы математического описания квантово оптических процессов.

Уметь:

ПК-3.2/Ум20 Получать аналитические решения в рамках статистического характера измерений

Владеть:

ПК-3.2/Нв16 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/Зн15 Методы математического описания квантово оптических процессов.

Уметь:

ПК-3.3/Ум13 Получать аналитические решения в рамках статистического характера измерений

Владеть:

ПК-3.3/Нв12 Расчет нелинейно-оптических преобразователей частоты, биофотонных источников оптических излучений. Анализом неопределённостей измеряемых параметров.

3. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина (модуль) Б1.В.ДВ.05.01 «Квантовая оптика» относится к формируемой участниками образовательных отношений части образовательной программы и изучается в семестре(ах): 8.

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)
8 семестр	72	2	13	13	46	Зачет
Всего	72	2	13	13	46	

5. Содержание дисциплины (модуля)

5.1. Разделы, темы дисциплины и виды занятий

(часы промежуточной аттестации не указываются)

Наименование раздела, темы	Всего	Лекционные занятия	Практические занятия	Самостоятельная работа	Планируемые результаты обучения, соотношенные с результатами освоения программы
Раздел 1. Флуктуации в классической стохастической оптике.	12	3	3	6	ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-1.3
Тема 1.1. Вероятностное распределение фотонов	7	2	2	3	
Тема 1.2. Интерференция.	5	1	1	3	
Раздел 2. Основы математического аппарата в квантовой оптике.	22	4	4	14	ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-1.3
Тема 2.3. Алгебра квантового гармонического осциллятора	11	2	2	7	
Тема 2.4. Особенности квантовых измерений	11	2	2	7	
Раздел 3. Алгебра квантового гармонического осциллятора.	12	2	2	8	ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-1.3

Тема 3.5. Представление когерентных состояний	12	2	2	8	ПК-1.1 ПК-1.2 ПК-1.3
Раздел 4. Квантовая природа излучения света	12	2	2	8	ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-1.3
Тема 4.6. Тензорное исчисления	12	2	2	8	ПК-1.1 ПК-1.2 ПК-1.3
Раздел 5. Квантовые эффекты электромагнитного излучения.	14	2	2	10	ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-1.3
Тема 5.7. Вынужденное рассеяние	14	2	2	10	ПК-3.1 ПК-3.2 ПК-3.3
Итого	72	13	13	46	

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
Письменный опрос

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: Зачет, 8 семестр.

7. Оценочные материалы текущего контроля

Раздел 4. Квантовая природа излучения света

Контролируемые ИДК: ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-1.3 ПК-1.1 ПК-1.2 ПК-1.3

Тема 4.6. Тензорное исчисления

Форма контроля/оценочное средство: Письменный опрос

Вопросы/Задания:

1. Ранги тензоров

Раздел 5. Квантовые эффекты электромагнитного излучения.

Контролируемые ИДК: ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-1.3 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

Вопросы/Задания:

1. Способность к формированию технических требований и заданий на проектирование и конструирование оптических и оптико-электронных приборов и комплексов, узлов и деталей лазерной техники, лазерных оптико-электронных приборов и систем

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.