



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
18 апреля 2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)
«Б1.В.ДВ.05.02 КВАНТОВАЯ ОПТИКА»**

Уровень высшего образования: бакалавриат

Направление подготовки: 12.03.05 Лазерная техника и лазерные технологии

Направленность(профиль) подготовки: Лазерная техника и лазерные технологии

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

Форма обучения: очная

Год набора (приема на обучение): 2025

Срок получения образования: 4 года

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

Москва, 2025

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 12.03.05 Лазерная техника и лазерные технологии, утвержденного приказом Минобрнауки от 19.09.2017 № 951

Согласование и утверждение

№	Подразделение	Ответственное лицо	ФИО	Виза	Дата, протокол (при наличии)
1	факультет Оптического приборостроения	Председатель ученого совета факультета	Торшина И. П.	Рассмотрено	15.01.2025, № 2/24-25

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-4 ПК-4. Способен к анализу технического задания на проектирование типовых систем, приборов, узлов и деталей лазерной техники, лазерных оптико-электронных приборов и систем

ПК-4.1 ПК-4.1. Разрабатывает функциональные и структурные схемы лазерной техники, определяет физические принципы действия устройств в соответствии с техническими требованиями с использованием теоретических методов и программных средств проектирования и конструирования

Знать:

ПК-4.1/Зн19 Методы математического описания квантово оптических процессов.

Уметь:

ПК-4.1/Ум17 Получать аналитические решения в рамках статистического характера измерений

Владеть:

ПК-4.1/Нв16 Расчет нелинейно-оптических преобразователей частоты, биофотонных источников оптических излучений. Анализ неопределённостей измеряемых параметров.

ПК-4.2 ПК-4.2. Рассчитывает, визуализирует и моделирует действие оптических элементов и систем лазерной техники с использованием специализированного программного обеспечения и анализирует результаты расчета

Знать:

ПК-4.2/Зн22 Методы математического описания квантово оптических процессов.

Уметь:

ПК-4.2/Ум19 Получать аналитические решения в рамках статистического характера измерений

Владеть:

ПК-4.2/Нв16 Расчет нелинейно-оптических преобразователей частоты, биофотонных источников оптических излучений. Анализ неопределённостей измеряемых параметров.

ПК-4.3 ПК-4.3. Осуществляет поиск и анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта, работает с базами данных

Знать:

ПК-4.3/Зн15 Методы математического описания квантово оптических процессов.

Уметь:

ПК-4.3/Ум16 Получать аналитические решения в рамках статистического характера измерений

Владеть:

ПК-4.3/Нв15 Расчет нелинейно-оптических преобразователей частоты, биофотонных источников оптических излучений. Анализом неопределённостей измеряемых параметров.

ПК-5 ПК-5. Способен к участию в разработке технических требований и заданий на проектирование типовых систем, приборов, узлов и деталей лазерной техники, лазерных оптико-электронных приборов и систем

ПК-5.1 ПК-5.1. Анализирует и определяет требования к параметрам, предъявляемые к разрабатываемой лазерной технике с учетом известных экспериментальных и теоретических результатов

Знать:

ПК-5.1/Зн9 Методы математического описания квантово оптических процессов.

Уметь:

ПК-5.1/Ум7 Получать аналитические решения в рамках статистического характера измерений

Владеть:

ПК-5.1/Нв7 Расчет нелинейно-оптических преобразователей частоты, биофотонных источников оптических излучений. Анализом неопределённостей измеряемых параметров.

ПК-5.2 ПК-5.2. Определяет, корректирует и обосновывает техническое задание в части проектно-конструкторских характеристик блоков и узлов лазерных оптико-электронных приборов и систем

Знать:

ПК-5.2/Зн6 Методы математического описания квантово оптических процессов.

Уметь:

ПК-5.2/Ум6 Получать аналитические решения в рамках статистического характера измерений

Владеть:

ПК-5.2/Нв5 Расчет нелинейно-оптических преобразователей частоты, биофотонных источников оптических излучений. Анализом неопределённостей измеряемых параметров.

3. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина (модуль) Б1.В.ДВ.05.02 «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)	Лабораторные занятия (часы)	Лекционные занятия (часы)	Самостоятельная работа (часы)	Промежуточная аттестация (часы)
8 семестр	144	4	26	26	65	Экзамен (27)
Всего	144	4	26	26	65	27

5. Содержание дисциплины (модуля)

5.1. Разделы, темы дисциплины и виды занятий

(часы промежуточной аттестации не указываются)

Наименование раздела, темы	Всего	Лабораторные занятия	Лекционные занятия	Самостоятельная работа	Планируемые результаты с обучения, соответствующие результатам освоения программы
Раздел 1. Флуктуации в классической стохастической оптике.	36	8	8	20	ПК-5.1 ПК-5.2
Тема 1.1. Вероятностное распределение фотонов	18	4	4	10	
Тема 1.2. Интерференция.	18	4	4	10	
Раздел 2. Основы математического аппарата в квантовой оптике.	28	6	6	16	ПК-5.1 ПК-5.2
Тема 2.3. Алгебра квантового гармонического осциллятора	14	3	3	8	
Тема 2.4. Особенности квантовых измерений	14	3	3	8	
Раздел 3. Алгебра квантового гармонического осциллятора.	17	4	4	9	ПК-5.1 ПК-5.2 ПК-4.1 ПК-4.2 ПК-4.3
Тема 3.5. Представление когерентных состояний	17	4	4	9	
Раздел 4. Квантовая природа излучения света	18	4	4	10	ПК-5.1 ПК-5.2 ПК-4.1 ПК-4.2 ПК-4.3
Тема 4.6. Тензорное исчисления	18	4	4	10	

Раздел 5. Квантовые эффекты электромагнитного излучения.	18	4	4	10	ПК-5.1 ПК-5.2
Тема 5.7. Вынужденное рассеяние	18	4	4	10	
Итого	117	26	26	65	

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 по 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
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: Экзамен, 8 семестр.

при проведении промежуточной аттестации, применяется среднее арифметическое значения оценок, полученных за каждый элемент оценивания, указанный в билете (вопрос и два практических задания). Итоговая оценка по дисциплине (модулю) рассчитывается как отношение суммы оценок, полученных обучаемым за каждый вопрос и задания в билете (вопрос и 2 задания, далее элемент контроля) поделенное на количество полученных оценок (3). При проведении оценивания по вопросам и заданиям, указанным в билете, в ходе промежуточной аттестации, преподаватель может учитывать результаты текущего контроля

7. Оценочные материалы текущего контроля

Раздел 4. Квантовая природа излучения света

Контролируемые ИДК: ПК-4.1 ПК-4.2 ПК-4.3 ПК-5.1 ПК-5.2

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-5.1 ПК-5.2

Тема 5.7. Вынужденное рассеяние

Форма контроля/оценочное средство: Письменный опрос

Вопросы/Задания:

1. Практическое применение

8. Оценочные материалы промежуточной аттестации

8 семестр, Экзамен

Контролируемые ИДК: ПК-4.1 ПК-5.1 ПК-4.2 ПК-5.2 ПК-4.3

Вопросы/Задания:

1. Способен к анализу технического задания на проектирование типовых систем, приборов, 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.