



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)  
ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНИКИ  
«Б1.О.24.05 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): 2024

Срок получения образования: 4 года

Объем:  
в зачетных единицах: 3 з.е.  
в академических часах: 108 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 направлению подготовки 12.03.02 Опотехника, утвержденного приказом Минобрнауки от 19.02.0017 № 948

**Согласование и утверждение**

| № | Подразделение                                   | Ответственное<br>лицо                        | ФИО           | Виза        | Дата, протокол<br>(при наличии) |
|---|-------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------|-------------|---------------------------------|
| 1 | факультет<br>Оптического<br>приборостроен<br>ия | Председатель<br>ученого совета<br>факультета | Торшина И. П. | Рассмотрено | 15.02.2024, №<br>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*

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.О.24.05 «Квантовая оптика» относится к обязательной части образовательной программы и изучается в семестре(ах): 7.

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) |
|-----------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| 7 семестр       | 108                       | 3                        | 18                        | 36                          | 54                            | Зачет                           |
| Всего           | 108                       | 3                        | 18                        | 36                          | 54                            |                                 |

#### 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, соответствующие результатам освоения программы |
|----------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------|----------------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Раздел 1. Флуктуации в классической стохастической оптике.</b>    | <b>28</b> | <b>4</b>           | <b>12</b>            | <b>12</b>              | ОПК-1.1<br>ОПК-1.2<br>ОПК-1.3                                                   |
| Тема 1.1. Вероятностное распределение фотонов                        | 10        | 2                  | 2                    | 6                      |                                                                                 |
| Тема 1.2. Интерференция.                                             | 18        | 2                  | 10                   | 6                      |                                                                                 |
| <b>Раздел 2. Основы математического аппарата в квантовой оптике.</b> | <b>30</b> | <b>4</b>           | <b>10</b>            | <b>16</b>              | ОПК-1.1<br>ОПК-1.2<br>ОПК-1.3                                                   |
| Тема 2.3. Алгебра квантового гармонического осциллятора              | 18        | 2                  | 8                    | 8                      |                                                                                 |
| Тема 2.4. Особенности квантовых измерений                            | 12        | 2                  | 2                    | 8                      |                                                                                 |
| <b>Раздел 3. Алгебра квантового гармонического осциллятора.</b>      | <b>18</b> | <b>2</b>           | <b>8</b>             | <b>8</b>               | ОПК-1.1<br>ОПК-1.2<br>ОПК-1.3                                                   |
| Тема 3.5. Представление когерентных состояний                        | 18        | 2                  | 8                    | 8                      | ПК-1.1<br>ПК-1.2<br>ПК-1.3                                                      |

|                                                                 |            |           |           |           |                               |
|-----------------------------------------------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|-------------------------------|
| <b>Раздел 4. Квантовая природа излучения света</b>              | <b>16</b>  | <b>4</b>  | <b>4</b>  | <b>8</b>  | ОПК-1.1<br>ОПК-1.2<br>ОПК-1.3 |
| Тема 4.6. Тензорное исчисления                                  | 16         | 4         | 4         | 8         | ПК-1.1<br>ПК-1.2<br>ПК-1.3    |
| <b>Раздел 5. Квантовые эффекты электромагнитного излучения.</b> | <b>16</b>  | <b>4</b>  | <b>2</b>  | <b>10</b> | ОПК-1.1<br>ОПК-1.2<br>ОПК-1.3 |
| Тема 5.7. Вынужденное рассеяние                                 | 16         | 4         | 2         | 10        | ПК-3.1<br>ПК-3.2<br>ПК-3.3    |
| <b>Итого</b>                                                    | <b>108</b> | <b>18</b> | <b>36</b> | <b>54</b> |                               |

## 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, 7 семестр.*

## **7. Оценочные материалы текущего контроля**

### ***Раздел 4. Квантовая природа излучения света***

*Контролируемые ИДК: ПК-1.1 ПК-1.2 ПК-1.3 ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-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: ПК-3.1 ПК-3.2 ПК-3.3 ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-1.3*

#### *Тема 5.7. Вынужденное рассеяние*

Форма контроля/оценочное средство: Письменный опрос

Вопросы/Задания:

1. Практическое применение

## **8. Оценочные материалы промежуточной аттестации**

*7 семестр, Зачет*

*Контролируемые ИДК: ПК-1.1 ПК-3.1 ОПК-1.1 ПК-1.2 ПК-3.2 ОПК-1.2 ПК-1.3 ПК-3.3 ОПК-1.3*

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: 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.