



МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«МИРЭА – Российский технологический университет»

**Общий факультет (Фрязино)**

УТВЕРЖДАЮ

Директор филиала РТУ МИРЭА в г.  
Фрязино

\_\_\_\_\_ Макарова Л.А.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

**Рабочая программа дисциплины (модуля)  
Квантовая и оптическая электроника**

Читающее подразделение	<b>базовая кафедра № 137 - электроники и микроэлектроники</b>
Направление	<b>11.03.04 Электроника и наноэлектроника</b>
Направленность	<b>Проектирование и технология электронных приборов и устройств</b>
Квалификация	<b>бакалавр</b>
Форма обучения	<b>очная</b>
Общая трудоемкость	<b>3 з.е.</b>

**Распределение часов дисциплины и форм промежуточной аттестации по семестрам**

Семестр	Зачётные единицы	Распределение часов							Формы промежуточной аттестации
		Всего	Лекции	Лабораторные	Практические	Самостоятельная работа	Контактная работа в период практики и (или) аттестации	Контроль	
5	3	108	16	16	16	24	2,35	33,65	Экзамен

Программу составил(и):

*канд. техн. наук, доцент, Пашков Алексей Николаевич* \_\_\_\_\_

*ассистент, Янчевский Денис Николаевич* \_\_\_\_\_

Рабочая программа дисциплины

**Квантовая и оптическая электроника**

разработана в соответствии с ФГОС ВО:

Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника (приказ Минобрнауки России от 19.09.2017 г. № 927)

составлена на основании учебного плана:

направление: 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

направленность: «Проектирование и технология электронных приборов и устройств»

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры

**базовая кафедра № 137 - электроники и микроэлектроники**

Протокол от 29.08.2019 № 1

Зав. кафедрой Борисов Александр Анатольевич \_\_\_\_\_

---

---

**Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году**

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2020-2021 учебном году на заседании кафедры

**базовая кафедра № 137 - электроники и микроэлектроники**

Протокол от \_\_\_\_\_ 2020 г. № \_\_\_\_

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_  
Подпись

Расшифровка подписи

---

---

**Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году**

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2021-2022 учебном году на заседании кафедры

**базовая кафедра № 137 - электроники и микроэлектроники**

Протокол от \_\_\_\_\_ 2021 г. № \_\_\_\_

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_  
Подпись

Расшифровка подписи

---

---

**Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году**

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2022-2023 учебном году на заседании кафедры

**базовая кафедра № 137 - электроники и микроэлектроники**

Протокол от \_\_\_\_\_ 2022 г. № \_\_\_\_

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_  
Подпись

Расшифровка подписи

---

---

**Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году**

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2023-2024 учебном году на заседании кафедры

**базовая кафедра № 137 - электроники и микроэлектроники**

Протокол от \_\_\_\_\_ 2023 г. № \_\_\_\_

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_  
Подпись

Расшифровка подписи

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Дисциплина «Квантовая и оптическая электроника» имеет своей целью способствовать формированию у обучающихся компетенций, предусмотренных данной рабочей программой в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника с учетом специфики направленности подготовки – «Проектирование и технология электронных приборов и устройств».

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Направление:	11.03.04 Электроника и наноэлектроника
Направленность:	Проектирование и технология электронных приборов и устройств
Блок:	Дисциплины (модули)
Часть:	Обязательная часть
Общая трудоемкость:	3 з.е. (108 акад. час.).

## 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

В результате освоения дисциплины обучающийся должен овладеть компетенциями:

**УК-1** - Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач

**ОПК-1** - Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности

**ОПК-2** - Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных

**ОПК-3** - Способен применять методы поиска, хранения, обработки, анализа и представления в требуемом формате информации из различных источников и баз данных, соблюдая при этом основные требования информационной безопасности

### ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ), ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ

**УК-1 : Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач**

**УК-1.1 : Осваивает методики поиска, сбора и обработки информации, актуальные российские и зарубежные источники информации в сфере профессиональной деятельности, метод системного анализа.**

**Знать:**

- методики поиска, сбора и обработки информации, актуальные российские и зарубежные источники информации в сфере профессиональной деятельности, метод системного анализа.

**Уметь:**

- осуществлять критический анализ и синтез информации, полученной из разных источников

**Владеть:**

- способностью анализировать задачу, выделяя ее базовые составляющие

**УК-1.2 : Применяет методики поиска, сбора и обработки информации, осуществляет критический анализ и синтез информации, полученной из разных источников, применяет системный подход для решения поставленных задач**

**Знать:**

- актуальные российские и зарубежные источники информации в сфере профессиональной

деятельности

**Уметь:**

- применять методики поиска, сбора и обработки информации, осуществлять критический анализ и синтез информации, полученной из разных источников, применять системный подход для решения поставленных задач в области квантовой и оптической электроники, фотоники.

**Владеть:**

- способностью определять, интерпретировать и ранжировать информацию, требуемую для решения поставленной задачи

**УК-1.3 : Использует методики поиска, сбора и обработки, критического анализа и синтеза информации, методику системного подхода для решения поставленных задач**

**Знать:**

- возможные варианты решения поставленной задачи, оценивая их достоинства и недостатки

**Уметь:**

- при обработке информации отличать факты от мнений, интерпретаций, оценок, формировать собственные мнения и суждения, аргументирует свои выводы и точку зрения

**Владеть:**

- методиками поиска, сбора и обработки, критического анализа и синтеза информации, методикой системного подхода для решения поставленных задач.

**ОПК-1 : Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности**

**ОПК-1.1 : Осваивает фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы**

**Знать:**

- фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы

**Уметь:**

- применять современные методы для расчета и анализа параметров устройств квантовой и оптической электроники, фотоники

**Владеть:**

- научно-технической информацией о состоянии квантовой и оптоэлектроники, а также современных устройствах на их основе

**ОПК-1.2 : Применяет физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера**

**Знать:**

- современное состояние и перспективы развития квантовой и оптической электроники, фотоники, ее связь со смежными областями науки и техники

**Уметь:**

- применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера

**Владеть:**

- навыками использования физики и математики, необходимыми для решения конкретных задач инженерной деятельности в области квантовой и оптической электроники

**ОПК-1.3 : Использует навыки применения знаний физики и математики при решении практических задач**

**Знать:**

- основные физические процессы, лежащие в основе действия приборов квантовой и оптической электроники, фотоники

**Уметь:**

- применять полученные знания для объяснения принципов работы приборов и устройств квантовой и оптической электроники, фотоники

**Владеть:**

- навыками применения знаний физики и математики при решении практических задач

**ОПК-2 : Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных****ОПК-2.1 : Находит и критически анализирует информацию, необходимую для решения поставленной задачи****Знать:**

- основные методы и средства проведения экспериментальных исследований, системы стандартизации и сертификации

**Уметь:**

- выполнять экспериментальные исследования на установках с различными типами излучения, проводить юстировку, измерения параметров их излучения

**Владеть:**

- навыками работы с контрольно-измерительными приборами в соответствии с нормативно-технической документацией

**ОПК-2.2 : Рассматривает возможные варианты решения задачи, оценивая их достоинства и недостатки****Знать:**

- физические основы и принципы современной квантовой и оптической электроники, фотоники

**Уметь:**

- решать физические задачи с применением различных методик, в том числе с использованием современных вычислительных средств

**Владеть:**

- основными методами вычислений электронных и электрофизических характеристик устройств квантовой и оптической электроники, фотоники

**ОПК-2.3 : Формулирует в рамках поставленной цели проекта совокупность взаимосвязанных задач, обеспечивающих ее достижение****Знать:**

- основы построения и функционирования устройств квантовой и оптической электроники, фотоники

**Уметь:**

- определять цели и осуществлять постановку задач расчета параметров излучения устройств квантовой и оптической электроники, фотоники

**Владеть:**

- навыками системного анализа и обобщения информации при проведении расчетов в рамках реализации проекта

**ОПК-2.4 : Определяет ожидаемые результаты решения выделенных задач****Знать:**

- способы обработки и представления полученных данных

**Уметь:**

- выбирать способы и средства измерений и проводить экспериментальные исследования

**Владеть:**

- теориями различных физических явлений и основными областями применения квантовых источников излучения

**ОПК-2.6 : Выбирает способы и средства измерений и проводит экспериментальные исследования****Знать:**

- знает способы и средства измерений, методики проведения экспериментальных исследований

**Уметь:**

- умеет выбирать способы и средства измерений и проводить экспериментальные исследования

**Владеть:**

- средствами измерений и методиками проведения экспериментальных исследований

**ОПК-2.7 : Использует способы обработки и представления полученных данных и способы оценки погрешности результатов измерений**

**Знать:**

- методы определения ожидаемых результатов решения выделенных задач

**Уметь:**

- формулировать в рамках поставленных целей проекта совокупность взаимосвязанных задач, обеспечивающих ее достижение

**Владеть:**

- способами обработки и представления полученных данных и оценки погрешности результатов измерений

**ОПК-3 : Способен применять методы поиска, хранения, обработки, анализа и представления в требуемом формате информации из различных источников и баз данных, соблюдая при этом основные требования информационной безопасности**

**ОПК-3.3 : Решает задачи обработки данных с помощью современных средств автоматизации**

**Знать:**

- методы математической обработки полученных экспериментальных данных в современных автоматизированных программных комплексах

**Уметь:**

- обрабатывать полученные спектры излучения в современных автоматизированных программных комплексах

**Владеть:**

- методами преобразования и обработки результатов экспериментов

**В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) ОБУЧАЮЩИЙСЯ ДОЛЖЕН**

**Знать:**

- способы обработки и представления полученных данных  
- современное состояние и перспективы развития квантовой и оптической электроники, фотоники, ее связь со смежными областями науки и техники

- знает способы и средства измерений, методики проведения экспериментальных исследований

- фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы  
- физические основы и принципы современной квантовой и оптической электроники, фотоники

- основные методы и средства проведения экспериментальных исследований, системы стандартизации и сертификации

- основы построения и функционирования устройств квантовой и оптической электроники, фотоники

- основные физические процессы, лежащие в основе действия приборов квантовой и оптической электроники, фотоники

- методы определения ожидаемых результатов решения выделенных задач

- актуальные российские и зарубежные источники информации в сфере профессиональной деятельности

- методы математической обработки полученных экспериментальных данных в современных автоматизированных программных комплексах
- возможные варианты решения поставленной задачи, оценивая их достоинства и недостатки
- методики поиска, сбора и обработки информации, актуальные российские и зарубежные источники информации в сфере профессиональной деятельности, метод системного анализа.

**Уметь:**

- умеет выбирать способы и средства измерений и проводить экспериментальные исследования
- обрабатывать полученные спектры излучения в современных автоматизированных программных комплексах
- решать физические задачи с применением различных методик, в том числе с использованием современных вычислительных средств
- выбирать способы и средства измерений и проводить экспериментальные исследования
- формулировать в рамках поставленных целей проекта совокупность взаимосвязанных задач, обеспечивающих ее достижение
- определять цели и осуществлять постановку задач расчета параметров излучения устройств квантовой и оптической электроники, фотоники
- выполнять экспериментальные исследования на установках с различными типами излучения, проводить юстировку, измерения параметров их излучения
- при обработке информации отличать факты от мнений, интерпретаций, оценок, формировать собственные мнения и суждения, аргументирует свои выводы и точку зрения
- применять методики поиска, сбора и обработки информации, осуществлять критический анализ и синтез информации, полученной из разных источников, применять системный подход для решения поставленных задач в области квантовой и оптической электроники, фотоники.
- применять современные методы для расчета и анализа параметров устройств квантовой и оптической электроники, фотоники
- применять полученные знания для объяснения принципов работы приборов и устройств квантовой и оптической электроники, фотоники
- применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера
- осуществлять критический анализ и синтез информации, полученной из разных источников

**Владеть:**

- методами преобразования и обработки результатов экспериментов
- средствами измерений и методиками проведения экспериментальных исследований
- способами обработки и представления полученных данных и оценки погрешности результатов измерений
- способностью анализировать задачу, выделяя ее базовые составляющие
- способностью определять, интерпретировать и ранжировать информацию, требуемую для решения поставленной задачи
- основными методами вычислений электронных и электрофизических характеристик устройств квантовой и оптической электроники, фотоники
- навыками использования физики и математики, необходимыми для решения конкретных задач инженерной деятельности в области квантовой и оптической электроники
- навыками работы с контрольно-измерительными приборами в соответствии с нормативно-технической документацией
- навыками применения знаний физики и математики при решении практических задач
- теориями различных физических явлений и основными областями применения квантовых источников излучения
- методиками поиска, сбора и обработки, критического анализа и синтеза информации, методикой системного подхода для решения поставленных задач.
- навыками системного анализа и обобщения информации при проведении расчетов в рамках реализации проекта



- научно-технической информацией о состоянии квантовой и оптоэлектроники, а также современных устройствах на их основе

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

При проведении учебных занятий организация обеспечивает развитие у обучающихся навыков командной работы, межличностной коммуникации, принятия решений и лидерских качеств.

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Сем.	Часов	Компетенции
<b>1. Введение</b>				
1.1	<b>Предмет квантовой электроники. (Лек).</b> История создания квантовых генераторов. Постулаты Бора.	5	2	УК-1.1, ОПК-1.1
1.2	<b>Основные типы оптических переходов. (Лек).</b> Коэффициенты Эйнштейна. Энергетические состояния квантовых систем. Нормальное и возбужденное состояния системы.	5	2	УК-1.1, ОПК-1.1
1.3	<b>Лабораторная работа №1 (Лаб).</b> Взаимодействие излучения с веществом. Принцип работы спектрометров с энергодисперсионными детекторами.	5	4	ОПК-1.1, ОПК-2.1, ОПК-2.4
1.4	<b>Выполнение практических заданий (Пр).</b> Основные типы оптических переходов. Коэффициенты Эйнштейна.	5	2	ОПК-1.2, ОПК-2.2
1.5	<b>Выполнение практических заданий (Пр).</b> Энергетические состояния квантовых систем.	5	2	ОПК-1.2, ОПК-2.2
1.6	<b>Выполнение домашнего задания (Ср).</b> Выполнение домашнего задания по вариантам преподавателя	5	3	УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3
1.7	<b>Подготовка к аудиторным занятиям (Ср).</b> Повторение пройденного материала	5	3	УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3
<b>2. Когерентные и некогерентные источники оптического излучения.</b>				
2.1	<b>Механизм уширения спектральных линий. (Лек).</b> Эффект Доплера и его влияние в системе.	5	2	УК-1.1, ОПК-1.1
2.2	<b>Когерентные и некогерентные источники оптического излучения. (Лек).</b> Взаимодействие излучения с веществом. Усиление излучения. Когерентное рассеяние, фотоэффект, некогерентное рассеяние.	5	2	УК-1.1, ОПК-1.1
2.3	<b>Лабораторная работа №2 (Лаб).</b> Ознакомление с конструкцией лазеров, методами создания инверсии населенностей уровней.	5	4	ОПК-1.1, ОПК-2.1, ОПК-2.4
2.4	<b>Выполнение практических заданий (Пр).</b> Термодинамическое равновесие энергетической системы	5	2	ОПК-1.2, ОПК-2.2
2.5	<b>Выполнение практических заданий (Пр).</b> Механизм уширения спектральных линий. Эффект Доплера и его влияние в системе.	5	2	ОПК-1.2, ОПК-2.2
2.6	<b>Выполнение домашнего задания (Ср).</b> Выполнение домашнего задания по вариантам преподавателя	5	3	УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3

2.7	<b>Подготовка к аудиторным занятиям (Ср).</b> Повторение пройденного материала	5	3	УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3
<b>3. Основы теории лазерных резонаторов.</b>				
3.1	<b>Процессы и системы накачки. (Лек).</b> Методы создания инверсии населенности.	5	2	УК-1.1, ОПК-1.1
3.2	<b>Основы теории лазерных резонаторов. (Лек).</b> Обратная связь. Рубиновый лазер.	5	2	УК-1.1, ОПК-1.1
3.3	<b>Лабораторная работа №3 (Лаб).</b> Взаимодействие излучения с веществом. Энергетическая накачка вещества с помощью рентгенофлюоресцентного анализатора. Определение элементов вещества.	5	4	ОПК-1.3, ОПК-2.1, ОПК-2.3, ОПК-2.6, ОПК-2.7, ОПК-3.3
3.4	<b>Выполнение практических заданий (Пр).</b> Взаимодействие излучения с веществом.	5	2	ОПК-1.2, ОПК-2.2
3.5	<b>Выполнение практических заданий (Пр).</b> Расчет энергетических спектров элементов после накачки.	5	2	ОПК-1.2, ОПК-2.2
3.6	<b>Выполнение домашнего задания (Ср).</b> Выполнение домашнего задания по вариантам преподавателя	5	3	УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3
3.7	<b>Подготовка к аудиторным занятиям (Ср).</b> Повторение пройденного материала	5	3	УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3
<b>4. Виды лазеров.</b>				
4.1	<b>Виды лазеров. (Лек).</b> Свойства лазерного излучения.	5	2	УК-1.1, ОПК-1.1
4.2	<b>Квантовые стандарты частоты. (Лек).</b> Стандарты частоты с оптической накачкой.	5	2	УК-1.1, ОПК-1.1
4.3	<b>Лабораторная работа №4 (Лаб).</b> Виды лазеров. Свойства лазерного излучения.	5	4	ОПК-1.3, ОПК-2.1, ОПК-2.3, ОПК-2.6, ОПК-2.7, ОПК-3.3
4.4	<b>Выполнение практических заданий (Пр).</b> Процессы и системы накачки. Методы создания инверсии населенности.	5	2	ОПК-1.2, ОПК-2.2
4.5	<b>Выполнение практических заданий (Пр).</b> Расчеты параметров излучения лазеров.	5	2	ОПК-1.2, ОПК-2.2
4.6	<b>Выполнение домашнего задания (Ср).</b> Выполнение домашнего задания по вариантам преподавателя	5	3	УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3
4.7	<b>Подготовка к аудиторным занятиям (Ср).</b> Повторение пройденного материала	5	3	УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3
<b>5. Промежуточная аттестация (экзамен)</b>				
5.1	<b>Подготовка к сдаче промежуточной аттестации (Экзамен).</b>	5	33,65	УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-2.3, ОПК-2.4, ОПК-2.6, ОПК-2.7, ОПК-3.3

5.2	<b>Контактная работа с преподавателем в период промежуточной аттестации (КрПА).</b>	5	2,35	УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-2.3, ОПК-2.4, ОПК-2.6, ОПК-2.7, ОПК-3.3
-----	---	---	------	--

## 5. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

### 5.1. Перечень компетенций

Перечень компетенций, на освоение которых направлено изучение дисциплины «Квантовая и оптическая электроника», с указанием результатов их формирования в процессе освоения образовательной программы, представлен в п.3 настоящей рабочей программы

### 5.2. Типовые контрольные вопросы и задания

1. Основные характеристики и свойства электромагнитного излучения оптического диапазона.
2. Классификация лазеров.
3. Энергетические состояния квантовых систем.
4. Гелий-неоновый лазер.
5. Нормальное и возбужденное состояния системы.
6. Рубиновый лазер.
7. Поглощение, спонтанное и вынужденное излучение.
8. Когерентное рассеяние, фотоэффект, некогерентное рассеяние.
9. Инверсия населенности.
10. Электронные оболочки. Возникновение флуоресценции.
11. Методы создания инверсии населенности.
12. Постулаты Бора.
13. Когерентные и некогерентные источники оптического излучения.
14. Полупроводниковый лазер.
15. Квантовые стандарты частоты.
16. Обратная связь.
17. Спектральная линия.
18. Уровень Ферми.
19. Ширина спектральной линии.
20. Молекулярные лазеры.
21. Атомнолучевые стандарты частоты.
22. Эффект Доплера и его влияние в системе.
23. Квантовые генераторы.
24. Жидкостные лазеры.
25. Стандарты частоты с оптической накачкой.
26. Свойства лазерного излучения.
  
27. Распределение Больцмана.
28. Коэффициенты Эйнштейна.
29. В чем отличия между спонтанным и вынужденным излучением.
30. Что называется инверсной населенностью и почему она необходима для получения усиления в квантовой системе.
31. От каких факторов зависит ширина спектральной линии.
32. Назовите основные элементы лазера.
33. Назовите и кратко охарактеризуйте основные способы накачки.
34. Что такое когерентность излучения, и для каких областей применения

лазеров она важна.

35. Укажите активные ионы в лазерах на рубине, алюмоиттриевом гранате и неодимовом стекле.
36. Укажите функции гелия в гелий-неоновом лазере.
37. В чем состоит основное достоинство жидкостных лазеров?
38. В чем принцип голографии.
39. Как связаны друг с другом коэффициенты спонтанного и вынужденного излучения и поглощения.
40. От каких факторов зависит пороговая инверсная населенность для излучения.
41. Чем характеризуется усиление сигнала в инверсной среде.
42. Как оценить естественную ширину спектральной линии.
43. Каким методом можно получить инверсную населенность в двухуровневой системе.
44. Сформулируйте условия получения максимального уровня инверсии в трехуровневой системе.
45. Почему в четырехуровневой системе можно получать инверсную населенность при минимальном уровне накачки.
46. Укажите условия возникновения генерации излучения в квантовой системе.
47. Что такое насыщение усиления и как оно проявляется.
48. Почему лазеры на парах меди могут работать только в импульсном режиме.
49. На каких переходах молекул углекислого газа происходит генерация?
50. Почему активная среда лазера на углекислом газе содержит азот и гелий?
51. Укажите, в смесях каких газов при разряде могут образовываться эксимерные молекулы.
52. Сформулируйте принцип работы полупроводникового лазера.
53. Назовите основные свойства электрона.
54. Объясните связь энергии электрона с ускоряющим напряжением.
55. В чем состоит двойственность природы электрона?
56. Сформулируйте принцип неопределенности Гейзенберга.
57. Рассмотрите зонную структуру металла и полупроводника.
58. Объясните, что такое уровень Ферми и укажите его место в зонной структуре металла и полупроводника.
59. Запишите и проведите анализ уравнения Ричардсона-Дешмана.
60. Почему плотность термоэмиссионного тока при наличии внешнего поля возрастает?
61. Как влияет адсорбция атомов и молекул на работу выхода электронов из металла?
62. Сформулируйте основные закономерности фотоэлектронной эмиссии.
63. На что расходуется энергия кванта света при фотоэмиссии?
64. Что называют коэффициентом вторичной электронной эмиссии и от каких факторов он зависит?
65. Что такое автоэлектронная эмиссия?
66. Назовите основные параметры термокатодов.
67. Чем отличается вольфрамовый катод от карбидированного, пропитанного, оксидного катода?
68. Из каких соображений выбирают рабочую температуру термокатада?
69. Как связан квантовый выход фотокатода с его спектральной чувствительностью?
70. Какими характеристиками и параметрами описываются свойства фотокатодов?
71. Опишите структуру, свойства и основные параметры современных фотокатодов для УФ, видимой и ИК области спектра.
72. Что представляют из себя фотоэлементы? Какие факторы ограничивают предел линейности вольт-амперной характеристики фотоэлемента?

73. Приведите схематическое изображение ФЭУ и поясните принцип его работы.
74. Какие эмиттеры вторичных электронов применяются в ФЭУ?
75. Объясните природу темнового тока ФЭУ и его зависимость от напряжения питания.
76. Сформулируйте понятие объёмного заряда и рассмотрите его влияние на распределение потенциала в диоде с плоскими электродами.
77. Какими параметрами характеризуются электронные лампы и как их можно определить?
78. Какова роль сеток в триоде, тетроде и пентоде?
79. Что такое динатронный эффект и как он устраняется?
80. Рассмотрите распределение потенциала и роль сеток в тетроде.
81. Как достигается устранение динатронного эффекта лучевом тетроде?
82. Рассмотрите распределение потенциала и роль сеток в пентоде.
83. В чём преимущества пентода по сравнению с триодом?
84. Проведите анализ вольт-амперных характеристик вакуумных приёмно-усилительных ламп.
85. Чем ограничивается возможность использования низкочастотных ламп в диапазоне СВЧ?
86. Сформулируйте принципы динамического управления электронным потоком.
87. Рассмотрите принципы работы клистронов, ламп бегущей и обратной волны, магнетронов.
88. Вольфрамовый катод длиной 5 см и диаметром 0,16 мм имеет ток насыщения 15 мА. Какова его температура?
89. Какой металл – торий или вольфрам – способен дать большую плотность тока термоэмиссии?
90. Имеется металлическая нить диаметром 165 мкм и длиной 65 мм. При температуре 1900 К она даёт эмиссионный ток 445 мкА, а при температуре 2100 К – 6,7 мА. Вычислите эмиссионные постоянные материала нити.
91. Оценить величину плотности термоэлектронного тока сурьмяно-цезиевого фотокатода при комнатной температуре. Во сколько раз понизится ток, если фотокатод охладить до 250 К.
92. Вольфрамовый катод длиной 3 см и диаметром 0,2 см работает при температуре 2700 К. При помещении катода внутрь цилиндрического анода диаметром 0,5 см эмиссионный ток возрастает до 0,1 А. Определить величину анодного напряжения.
93. Эмиссия катода, работающего при 2100 К, через некоторое время снижается на 10%. До какой величины нужно повысить напряженность электрического поля у катода для достижения первоначального уровня эмиссии, если исходное поле составляет 104 В/м?
94. Фоточувствительная поверхность имеет работу выхода 5 эВ. Какова граничная частота фотоэффекта? Какова энергия покидающих катод электронов, если поверхность облучается светом с длиной волны 220 нм?
95. Вычислить максимальную длину волны, которая может вызвать фотоэффект с вольфрама и бария. Какую работу выхода должен иметь металл, который давал бы фотоэмиссию при облучении светом с  $\lambda = 400$  нм?
96. Излучение натриевой лампы ( $\lambda = 589$  нм) мощностью 100 Вт попадает на фотокатод, удаленный на расстояние от лампы 1 м. Определить плотность фототока, если квантовый выход равен 3%.
97. Чувствительность фотокатода 13 каскадного электронного умножителя составляет 50 мкА/Лм, а результирующая чувствительность прибора равна 104 А/Лм. Каково значение  $\sigma$  для каждого каскада?
98. При какой величине напряженности электрического поля будет иметь автоэлектронная эмиссия с тория?
99. В цилиндрической системе электродов катод имеет диаметр 10-2 см, анод 1 см. Катод покрыт толстой пленкой бария. На сколько сместится красная граница фотоэффекта, если к аноду приложить напряжение 2500 В?
100. Какова толщина алюминиевой фольги, которую может прострелить электрон с энергией 20 кэВ? Какую энергию будет иметь такой электрон после прохождения через фольгу толщиной 5.10<sup>-6</sup> м?
101. Какова плотность тока с вольфрамового острия, к которому приложено поле 3.10<sup>9</sup> В/м? Чему равен ток, если площадь острия 10-12 м<sup>2</sup>.
102. Анодное напряжение в неалюминированном кинескопе составляет 12 кВ, а в алюминированном 20 кВ. Найти толщину алюминиевой фольги, если энергия электронов,

падающих на экран, в обоих случаях составляет 12 кэВ.

103. Рассчитать анодный ток в коаксиальном диоде  $r_0=1$  см,  $r_k=10^{-2}$  см,  $l=10$  см,  $U_a=150$  В.

104. Плоский диод имеет расстояние сетка - анод 0,1 см. Рассчитать плотность анодного тока при напряжениях при аноде 100 В и на сетке - 2 В, если коэффициент усиления триода равен 20.

105. Рассчитать действующее напряжение в триоде если  $U_a = 120$  В,  $U_c = -3$  В,  $\mu = 25$ .

106. Плоский диод имеет электроды в форме дисков диаметром 0,8 см. Каким должно быть межэлектродное расстояние, чтобы при анодном напряжении 100 В ток составлял 100 мА?

107. Пусть в этом же диоде работа выхода электронов составляет 1,8 эВ,  $A=104$  А/м<sup>2</sup>К<sup>2</sup> и  $T=1600$  К. Будет ли диод работать в режиме пространственного заряда, если расстояние между электродами 1 см, а анодное напряжение 100 В?

108. Имеется цилиндрический диод:  $l = 6$  см,  $r_a = 0,5$  см,  $r_k = 0,01$  см. Какой должна быть температура, чтобы диод работал в режиме насыщения при анодном напряжении 120 В ( $\phi = 1$  эВ,  $A=103$  А/см<sup>2</sup>К<sup>2</sup>).

109. Определить число электронов, попадающих за 1 с на анод при напряжении 29 В, если мощность потерь на аноде 2,9 Вт.

110. Определить изменение напряжения на аноде, необходимое для изменения тока с 66 до 100 мА. Среднее значение крутизны характеристики составляет 8,5 мА/В.

111. Вычислить крутизну характеристики и внутреннее сопротивление триода, в котором анодный ток составляет 5 мА при напряжениях на сетке и аноде -2 и +200 В.

112. В триоде расстояние между катодом и сеткой составляет  $5 \cdot 10^{-4}$  м плотность тока равна 200 А/м<sup>2</sup> при напряжении на сетке -3 В и напряжении анода +200 В. Определить коэффициент усиления триода (электроды плоско параллельны).

113. Сформулируйте условия существования объемного заряда в электронной лампе с термокатодом.

114. Рассчитать время пролёта электронов в диоде с расстоянием между электродами 1 см и напряжением на аноде 100 В. При какой частоте время пролёта будет равно периоду колебаний.

115. Для условий предыдущей задачи рассчитать и построить зависимость угла пролёта электронов от частоты электромагнитных колебаний. Проанализировать полученные данные. В чем заключается аналогия между световой и электронной оптикой.

116. Сформулируйте основные различия между световой и электронной оптикой.

117. В чем различие воздействия электрического и магнитного полей на движение электронов.

118. Определите условия фокусирующего и рассеивающего действия диафрагмы.

119. Чем отличается одиночная линза от иммерсионной.

120. Перечислите функции модулятора в катодной линзе.

121. Почему иммерсионные и одиночные линзы обладают только фокусирующим действием.

122. Назовите особенности фокусировки электронного луча в длинной магнитной линзе.

123. Почему длинная магнитная линза не фокусирует поток электронов, движущийся параллельно ее оси.

124. Назовите особенности фокусировки электронов в короткой магнитной линзе.

125. Сформулируйте достоинства и недостатки электростатических и магнитных линз.

126. Назовите основные виды искажения изображения в электронных линзах.

127. Рассмотрите основные принципы построения электронно-оптических систем.

128. Назовите общие требования к электронно-оптическим системам.

129. Почему в электронно-лучевых приборах не применяются однолинзовые электронно-оптические системы.

130. Чем определяется размер пятна на экране ЭЛТ.

131. От каких факторов зависит чувствительность отклоняющих систем, каковы пути ее повышения.

132. Дайте сравнительную характеристику электростатических и магнитных отклоняющих систем.

133. Рассмотрите схему и принцип работы осциллографической ЭЛТ.

134. В чем смысл послеускорения в осциллографических ЭЛТ.

135. Рассмотрите принцип действия и особенности кинескопов различных типов.

136. Проанализируйте устройство и принцип действия различных типов запоминающих, передающих ЭЛТ и электронно-оптических преобразователей.

#### ЗАДАЧИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ НА ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЯХ И ПРИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ

1. Электрон с начальной энергией движется в равномерном электрическом поле. На каком расстоянии от катода скорость электрона будет равна  $5 \cdot 10^8$  см/с? Между катодом и анодом приложено 100 В и расположены они на расстоянии 10 см.
2. Решить задачу 1 для цилиндрической системы электродов при отношении  $r_2/r_1=10$ .
3. Рассчитать отклонение электронного пучка в поле пластин длиной 3 см, расположенных на расстоянии 1 см друг от друга, если электронный поток ускорен напряжением 1000 В. Напряжение между пластинами 20 В, расстояние от пластин до экрана 30 см.
4. Через виток радиусом 3 см протекает ток 1 А. Рассчитать магнитное поле на расстоянии 1 см от плоскости витка. Найти расстояние, на котором поле убывает до 0,1 от исходной величины.
5. Электронный пучок вводится в длинный соленоид под малым углом к оси. Через соленоид протекает ток 2 А. Рассчитать магнитное поле и число витков в соленоиде, если электроны фокусируются на расстоянии 25 см от места ввода и ускорены напряжением 625 В.
6. Электронно-оптическая система состоит из катода, ускоряющей сетки под потенциалом 50 В. Расстояние сетка – диафрагма 1 см. Рассчитать, на каком расстоянии необходимо разместить анод, чтобы на нем фокусировался электронный поток.
7. Электроны фокусируются тонкой магнитной линзой на расстоянии от нее 20 см. Индукция магнитного поля в центре катушки составляет 10-3 Тл, средний радиус катушки 2 см, электроны ускорены напряжением 20 В. Рассчитать число витков в катушке.
8. Электрон с нулевой начальной скоростью движется в поле плоского конденсатора, напряжение на пластинах которого 600 В, а расстояние между ними 0,6 см. Через какое время электрон достигает положительно заряженной пластины?
9. В электронно-лучевой трубке используются параллельные отклоняющие пластины длиной 2 см, расстояние между ними 0,5 см. Пластины горизонтального отклонения удалены от экрана на 49 см, а вертикального - на 52 см. Какова чувствительность систем горизонтального и вертикального отклонений, если ускоряющее напряжение составляет 1000 В.
10. Пучок электронов вводится в длинный соленоид, имеющий 1000 витков на 1 м длины. Электроны ускорены потенциалом 1000 В. Определить, каково должно быть магнитное поле в обмотке соленоида, чтобы электроны, вводимые под небольшим углом к оси, фокусировались на расстоянии 20 см от места их ввода.
11. Электрон движется в поле плоского конденсатора, напряжение на пластинах которого составляет 500 В, а расстояние 0,5 см. Какова должна быть величина магнитного поля, приложенного параллельно пластинам, чтобы электрон не достигал положительно заряженной пластины?
12. Пучок электронов, ускоренных напряжением 400 В, отклоняют, пропуская между плоскопараллельными пластинами длиной 15 мм, отстоящими друг от друга на 8 мм и имеющими разность потенциалов 200 В. Вычислить отклонение луча, если мишень расположена на расстоянии 120 мм от края пластин.
13. Сколько оборотов делает электрон за 1 с в магнитном поле индукцией 10-2 Тл?
14. Два электрона начинают свое движение из состояния покоя. Какой электрон прошел большую разность потенциалов и во сколько раз, если первый набрал скорость 6000 км/с, а второй 12000 км/с.
15. Определить разность потенциалов, пройденную электроном, набравшим скорость 18000 км/с при начальной скорости, равной нулю.
16. Электрон, обладающий начальной скоростью 2000 км/с, проходит в ускоряющем электрическом поле разность потенциалов 50 В. Определить его кинетическую энергию.
17. Электрон, прошедший в ускоряющем электрическом поле разность потенциалов 625 В, влетает в поперечное магнитное поле и начинает двигаться по окружности радиусом 1 см.

Определить напряженность магнитного поля.

18. Определить минимальную скорость, которую должен иметь электрон, чтобы преодолеть тормозящее поле, созданное разностью потенциалов  $-3 \text{ В}$ .

19. Определить индукцию магнитного поля, в котором на электрон, движущийся со скоростью  $107 \text{ м/с}$  под углом  $45^\circ$  к силовым линиям, действует сила  $10\text{-}12 \text{ Н}$ .

20. Начальная скорость электрона, входящего в однородное электрическое поле, составляет  $7,2 \cdot 10^6 \text{ м/с}$ . Какую разность потенциалов должен пройти электрон, чтобы его энергия удвоилась.

21. Определить расстояние, на котором электрон с начальной скоростью  $3 \cdot 10^6 \text{ м/с}$  в электрическом поле  $400 \text{ В/м}$  утроит свою энергию.

22. К двум параллельным пластинам, расположенным на расстоянии  $10 \text{ мм}$ , приложена разность потенциалов  $100 \text{ В}$ . Электрон испускается отрицательной пластиной с начальной скоростью  $107 \text{ м/с}$ . Вычислить: 1) Скорость электрона в момент соударения с положительной пластиной и его энергию; 2) Время пролета электрона между пластинами.

23. Определить напряженность электрического поля, в котором электрон с нулевой начальной скоростью набирает скорость  $4800 \text{ км/с}$  на расстоянии  $0,4 \text{ см}$ .

24. Начальная скорость электрона  $1,5 \cdot 10^6 \text{ м/с}$ . Какую разность потенциалов должен пройти электрон в электрическом поле до полной остановки?

25. Какова скорость электрона, движущегося в магнитном поле по окружности радиусом  $10\text{-}3 \text{ м}$  и испытывающего действие силы  $9,1 \cdot 10\text{-}14 \text{ Н}$ ?

26. Какова индукция магнитного поля, в котором электрон с начальной скоростью  $6 \cdot 10^6 \text{ м/с}$  движется по окружности радиусом  $1 \text{ см}$ ?

27. Период обращения электрона по окружности  $1,18 \cdot 10\text{-}8 \text{ с}$ . Определить индукцию магнитного поля.

28. Отклоняющая система представляет собой две пластины длиной  $20 \text{ мм}$  на расстоянии друг от друга  $5 \text{ мм}$ . Расстояние от центра пластин до экрана  $0,25 \text{ м}$ , ускоряющее напряжение  $2 \text{ кВ}$ . Рассчитать чувствительность электростатического отклонения. При какой частоте переменного напряжения на пластинах чувствительность к отклонению равна нулю?

29. Какую разность потенциалов должен пройти в электрическом поле электрон, чтобы, попав затем в поперечное магнитное поле с индукцией  $0,006 \text{ Тл}$ , описать окружность радиусом  $0,5 \text{ см}$ ?

30. Две параллельные пластины длиной  $50 \text{ мм}$  расположены горизонтально на расстоянии  $5 \text{ мм}$  друг от друга. Из середины зазора между пластинами в горизонтальном направлении вылетает электрон с энергией  $250 \text{ эВ}$ . Вычислить разность потенциалов между пластинами, если траектория электрона лишь касается края положительно заряженной пластины.

31. Сформулируйте смысл количественных характеристик столкновений (сечение, коэффициент скорости, Таунсендовский коэффициент).

32. Как можно аналитически описать зависимость сечения процесса от энергии электрона.

33. Какие столкновения являются упругими и от чего зависит доля энергии, теряемой электроном при столкновении.

34. Чем отличаются неупругие столкновения первого и второго рода.

35. Какое излучение называется резонансным.

36. Чем отличаются функции возбуждения при изменении и без изменения спина.

37. Сформулируйте принцип Франка - Кондона.

38. Объясните вид функции ионизации атомов и молекул электронным ударом.

39. От чего зависит степень термической ионизации газа.

40. Сформулируйте условие возникновения фотоионизации.

41. Как зависит скорость ступенчатого процесса от концентрации электронов.

42. Что такое пеннинговская ионизация.

43. Укажите основные типы процессов образования отрицательных ионов.

44. Какой вид имеют кривые зависимости сечения прилипания электронов от их энергии: а) для порогового процесса, б) для беспорогового процесса.

45. Назовите основные пути рассеяния энергии при электрон - ионной и ион - ионной рекомбинации.

46. Как меняется концентрация электронов во времени в рекомбинационно распадающейся



плазме.

47. Как зависит скорость рекомбинации от температуры.
48. В чем особенности рекомбинации заряженных и нейтральных частиц.
49. Как связаны подвижность и коэффициент диффузии электронов и ионов.
50. В чем заключаются особенности амбиполярной диффузии.
51. Назовите основные виды электрических разрядов в газе.
52. Опишите процесс развития электронной лавины при несамостоятельном разряде.
53. Укажите необходимые условия существования несамостоятельного разряда.
54. Сформулируйте условия перехода разряда из несамостоятельного в самостоятельный.
55. В чем смысл закона Пашена.
56. Условия возникновения тлеющего разряда.
57. Дайте феноменологическое описание структуры тлеющего разряда.
58. Почему катодная область является необходимым признаком существования тлеющего разряда.
59. Что такое нормальный и аномальный тлеющий разряды.
60. Укажите основные параметры нормального тлеющего разряда.
61. При каких условиях возникает дуговой разряд.
62. Рассмотрите структуру дугового разряда.
63. От чего зависят параметры катодных областей дугового разряда.
64. Назовите типы дуговых разрядов и виды эмиссии электронов с катода в дуговом разряде.
65. Укажите условия возникновения искрового разряда.
66. Почему искровой разряд имеет прерывистый характер.
67. В чем причина звуковых эффектов, сопровождающих дуговой разряд.
68. Сформулируйте особенности стримерной теории искрового разряда.
69. При каких условиях возникает коронный разряд.
70. Чем ограничен ток коронного разряда.
71. Какие особенности имеют разряды на высоких и сверхвысоких частотах. Сформулируйте понятие плазмы.
72. Чем отличается изотермическая и неизотермическая плазма.
73. Назовите основные параметры неизотермической плазмы.
74. Проведите анализ вольт-амперной характеристики одиночного зонда.
75. Укажите параметры плазмы, измеряемые зондовым методом.
76. Сформулируйте основные ограничения зондового метода.
77. Каковы возможности и области применения оптических методов исследования плазмы.
78. Каковы возможности и области применения СВЧ методов исследования плазмы.
79. В каком диапазоне условий работает диффузионная теория плазмы.
80. Укажите исходные предпосылки диффузионной теории плазмы.
81. Как зависят параметры плазмы от давления газа и диаметра разрядной трубки.
82. С чем может быть связано влияние тока разряда на параметры плазмы.
83. Сформулируйте основные ограничения диффузионной теории плазмы.
84. Какие особенности имеет теоретическое описание плазмы низкого давления.
85. Как подойти к описанию плазмы высокого давления.
86. Рассмотрите динамику развития разряда.
87. От чего зависит время восстановления электрической прочности прибора после прекращения разряда.
88. Почему в световых индикаторах используется неоновое наполнение.
89. Рассмотрите принцип действия стабилитрона.
90. Какую роль играет сетка в тиратроне.
91. Каковы области практического использования тиратронов.
92. В чем состоит принцип действия переключаемых световых индикаторов.
93. Сформулируйте принципы работы декатронов.
94. Каковы особенности работы одноимпульсных декатронов.
95. Назовите преимущества и недостатки газоразрядных источников света.
96. Укажите пути повышения КПД газоразрядных источников света.
97. Почему в люминесцентные лампы вводится ртуть.

98. В чем принцип обнаружения ионизирующих частиц с использованием газовых разрядов.
99. Каков принцип действия и возможности ионизационной камеры.
100. В чем особенности работы пропорциональных счетчиков.
101. Сформулируйте физические принципы работы счетчика Гейгера.
102. Для чего в состав газового наполнения счетчиков вводятся многоатомные и электронозахватывающие газы.
103. Как обеспечивается малое время восстановления разрядников антенных переключателей РЛС.
104. В чем особенности работы приборов дугового разряда.
105. Сформулируйте принципы отображения информации с помощью газоразрядных приборов.
106. Укажите принцип работы многоразрядных знаковых индикаторов.
107. Как работает ГИП постоянного тока.
108. В чем особенности работы ГИП с самосканированием.
109. Рассмотрите принцип работы ГИП переменного тока.
110. Как можно создать цветное изображение с помощью ГИП.
111. Каковы принципы формирования полутоновых изображений с помощью ГИП.

#### ЗАДАЧИ И ЗАДАНИЯ для практических занятий и самостоятельной работы

1. Определить время дрейфа электронов в гелии между катодом и анодом, расстояние между которыми равно 5 см. Поле между электродами однородное, разность потенциалов 80 В. Давление гелия составляет 0,1 мм.рт.ст., 5 и 15 мм.рт.ст. (частота соударений электронов с атомами гелия не зависит от энергии электронов и равна  $2,3 \times 10^9 \times p$  (сек<sup>-1</sup>), где  $p$  - давление гелия в мм.рт.ст.).
2. В кислородно-цезиевом фотоэлементе с плоскими электродами расстояние между электродами составляет 2 см, разность потенциалов - 200 В, давление газа 0,5 мм.рт.ст. Определить коэффициент газового усиления, если фотоэлемент заполнен: а) аргоном; б) гелием.
3. Оценить значение пробойной напряженности однородного поля в воздухе при атмосферном давлении. Al-электрод.
4. Разрядный промежуток с плоскопараллельными электродами ( $d = 5$  см) заполнен: а) гелием; б) азотом; в) парами ртути. Найти значение давлений, отвечающих минимальным пробойным напряжениям и величину этих напряжений. Как зависят эти напряжения от рода газа? Pt-электроды.
5. В трубке радиусом 1 см возбуждается тлеющий разряд. Найти напряженность поля в столбе разряда, если трубка наполнена а) гелием; б) водородом; в) парами ртути. Давление во всех случаях составляет 1 мм.рт.ст.
6. Воспользовавшись условиями первой задачи, найти частоту ионизирующих соударений электронов в гелии.
7. Рассчитать концентрацию электронов в столбе тлеющего разряда в водороде, если радиус разрядной трубки равен 1,5 см, а сила тока разряда - 1 мА, 20 мА, 100 мА (частота соударений электронов с молекулами водорода не зависит от энергии и равна  $6 \times 10^9 \times P$ ;  $P$  - давление водорода в мм.рт.ст.).  $P = 1$  мм.рт.ст.
8. Ток луча в электронно-лучевой трубке равен 20 мкА. Наличие остаточных газов приводит к появлению ионного тока величиной  $3 \times 10^{-8}$  мА. Определить вероятность того, что электрон, пролетевший от катода до экрана трубки, вызовет появление одного иона.
9. Определить концентрацию электронов в изотермической плазме с температурой 8000 К в аргоне, водороде и цезии. Объяснить зависимость степени ионизации от рода газа.  $P = 1$  мм.рт.ст.
10. Записать приближенную формулу Саха через дебройлевскую длину волны электрона.
11. Объяснить, почему в газоразрядной плазме температура электронов значительно превышает температуру ионов.
12. Показать, что коэффициент амбиполярной диффузии больше, чем коэффициент свободной диффузии ионов, и меньше, чем коэффициент свободной диффузии электронов.

13. Вычислить среднее диффузионное время жизни ионов в неизотермической гелиевой плазме в трубке радиусом 2,4 см при давлении 10 Па.
14. Определить среднюю по сечению цилиндрической разрядной трубки концентрацию электронов в плазме при концентрации заряженных частиц на оси  $10^{10}$  см<sup>-3</sup>.
15. Определить поток зарядов на стенку для неизотермической ртутной плазмы в трубке радиусом 1 см при давлении 10 Па и осевой концентрации электронов  $10^{12}$  см<sup>-3</sup>.
16. Оценить разрядный ток в гелии в трубке радиусом 3 см при давлении 10 Па, частоте столкновений электронов с атомами  $2,3 \times 10^8$  с<sup>-1</sup> и плотности электронов  $10^{10}$  см<sup>-3</sup>.
17. Оценить продольный градиент потенциала в гелиевой плазме при средней энергии электронов 4 эВ и частоте столкновений электронов с атомами  $2,3 \times 10^8$  с<sup>-1</sup>. Принять давление газа равным 133 Па.
18. Почему в молекулярных газах величина приведённой напряжённости электрического поля больше, чем в инертных?
19. Почему в плазме положительного столба происходит увеличение осевого градиента потенциала при уменьшении радиуса трубки?
20. В чём причина уменьшения интенсивности свечения плазмы при увеличении радиуса разрядной трубки?
21. Пользуясь уравнением Саха рассчитать степень ионизации и концентрацию заряженных частиц в азоте при давлении 105 Па и температуре газа 6500 К.
22. Найти, при какой напряжённости переменного электрического поля, прикладываемого к разрядному промежутку с плоскопараллельными электродами, электроны будут совершать колебательное движение, не касаясь электродов. Расстояние между электродами 2 см, прибор наполнен водородом при  $P = 133$  Па, частота столкновений  $4,8 \times 10^9$  с<sup>-1</sup>, частота приложенного напряжения 107 Гц.
23. Оценить, при каких концентрациях отрицательных ионов, вклад ионов и электронов в проводимость плазмы будет одинаков (газы - хлор, пары воды).
24. Определить время уменьшения концентрации электронов в 10 раз в распадающейся плазме за счёт процесса диффузии в гелии, аргоне, ксеноне. Радиус трубки 1 см, давление газа 100 Па.
25. Сравнить характерные времена жизни электронов в процессах диффузии, рекомбинации и прилипания для хлорной плазмы при давлении 15 Па и радиусе трубки 1 см.
26. Определить время спада концентрации электронов в распадающейся плазме паров воды в процессе электрон-ионной рекомбинации для начальных концентраций электронов  $10^{10}$ ,  $10^{11}$ ,  $10^{12}$  1/см<sup>3</sup>.
27. Для условий предыдущей задачи вычислить время спада концентрации электронов до  $10^8$  1/см<sup>3</sup>. Обсудить влияние начальной концентрации электронов на характерное время процесса деэлектронизации.
28. Определить основной механизм гибели электронов в хлорном послесвечении для трубки радиусом 1 см при давлении газа 103 Па и начальной концентрации электронов  $10^{11}$  1/см<sup>3</sup>.
29. Почему увеличивается катодное падение потенциала при переходе от нормального тлеющего разряда к аномальному?

### 5.3. Фонд оценочных материалов

Полный перечень оценочных материалов представлен в приложении 1.

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 6.1. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Наименование помещения	Перечень основного оборудования
Учебная аудитория для проведения занятий лекционного и семинарского типа,	Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, наборы

групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий, обеспечивающие тематические иллюстрации.
Помещение для самостоятельной работы обучающихся	Компьютерная техника с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации.
Лаборатория гибридно-интегральных схем и технологий производства электронных средств	Платформа NI Elvis III, плата NI Elvis III prototyping board, платформа NI Elvis 2, плата для макетирования схем в аппаратно-программном комплексе NI Elvis 2

## 6.2. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

1. Microsoft Windows. Договор №32009183466 от 02.07.2020 г.
2. Microsoft Office. Договор №32009183466 от 02.07.2020 г.

## 6.3. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

### 6.3.1. Основная литература

1. Киселев Г. Л. Квантовая и оптическая электроника [Электронный ресурс]: учебное пособие. - Санкт-Петербург: Лань, 2020. - 316 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/130188>
2. Панов М. Ф., Соломонов А. В. Физические основы фотоники [Электронный ресурс]:. - Санкт-Петербург: Лань, 2021. - 564 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/169030>
3. Петров В. М., Шамрай А. В. Интерференция и дифракция для информационной фотоники [Электронный ресурс]: монография. - Санкт-Петербург: Лань, 2019. - 460 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/112682>
4. Игнатов А. Н. Оптоэлектроника и нанофотоника [Электронный ресурс]:. - Санкт-Петербург: Лань, 2020. - 596 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/133479>
5. Петров В. М., Шамрай А. В. Интерференция и дифракция для информационной фотоники [Электронный ресурс]:. - Санкт-Петербург: Лань, 2020. - 460 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/133481>

## 6.4. РЕКОМЕНДУЕМЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ СОВРЕМЕННЫХ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

1. Научная электронная библиотека <http://www.elibrary.ru>
2. Электроника НТБ - научно-технический журнал  
<http://www.electronics.ru>
3. Международный ресурс для поиска и обмена научными публикациями  
<https://www.researchgate.net>
4. Журнал "Нано- и микросистемная техника"  
<http://www.microsystems.ru>
5. База данных Web of Science  
<http://www.webofknowledge.com>

## 6.5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Самостоятельная работа студента направлена на подготовку к учебным занятиям и на развитие знаний, умений и навыков, предусмотренных программой дисциплины.

В соответствии с учебным планом дисциплина может предусматривать лекции, практические занятия и лабораторные работы, а также выполнение и защиту курсового проекта (работы). Успешное изучение дисциплины требует посещения всех видов занятий, выполнение заданий преподавателя и ознакомления с основной и дополнительной

литературой. В зависимости от мероприятий, предусмотренных учебным планом и разделом 4, данной программы, студент выбирает методические указания для самостоятельной работы из приведенных ниже.

При подготовке к лекционным занятиям студентам необходимо: перед очередной лекцией необходимо просмотреть конспект материала предыдущей лекции. При затруднениях в восприятии материала следует обратиться к основным литературным источникам. Если разобраться в материале опять не удалось, то обратитесь к лектору (по графику его консультаций) или к преподавателю на практических занятиях.

Практические занятия завершают изучение наиболее важных тем учебной дисциплины. Они служат для закрепления изученного материала, развития умений и навыков подготовки докладов, сообщений, приобретения опыта устных публичных выступлений, ведения дискуссии, аргументации и защиты выдвигаемых положений, а также для контроля преподавателем степени подготовленности студентов по изучаемой дисциплине. При подготовке к практическому занятию студенты имеют возможность воспользоваться консультациями преподавателя.

При подготовке к практическим занятиям студентам необходимо: приносить с собой рекомендованную преподавателем литературу к конкретному занятию; до очередного практического занятия по рекомендованным литературным источникам проработать теоретический материал, соответствующей темы занятия; в начале занятий задать преподавателю вопросы по материалу, вызвавшему затруднения в его понимании и освоении при решении задач, заданных для самостоятельного решения; в ходе семинара давать конкретные, четкие ответы по существу вопросов; на занятии доводить каждую задачу до окончательного решения, демонстрировать понимание проведенных расчетов (анализов, ситуаций), в случае затруднений обращаться к преподавателю.

Студентам, пропустившим занятия (независимо от причин), не имеющим письменного решения задач или не подготовившихся к данному практическому занятию, рекомендуется не позже чем в 2-недельный срок явиться на консультацию к преподавателю и отчитаться по теме, изученную на занятии.

Методические указания, необходимые для изучения и прохождения дисциплины приведены в составе образовательной программы.

## **6.6. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОБУЧЕНИЮ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ И ИНВАЛИДОВ**

Освоение дисциплины обучающимися с ограниченными возможностями здоровья может быть организовано как совместно с другими обучающимися, так и в отдельных группах. Предполагаются специальные условия для получения образования обучающимися с ограниченными возможностями здоровья.

Профессорско-педагогический состав знакомится с психолого-физиологическими особенностями обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья, индивидуальными программами реабилитации инвалидов (при наличии). При необходимости осуществляется дополнительная поддержка преподавания тьюторами, психологами, социальными работниками, прошедшими подготовку ассистентами.

В соответствии с методическими рекомендациями Минобрнауки РФ (утв. 8 апреля 2014 г. № АК-44/05вн) в курсе предполагается использовать социально-активные и рефлексивные методы обучения, технологии социокультурной реабилитации с целью оказания помощи в установлении полноценных межличностных отношений с другими студентами, создании комфортного психологического климата в студенческой группе. Подбор и разработка учебных материалов производятся с учетом предоставления материала в различных формах: аудиальной, визуальной, с использованием специальных технических средств и информационных систем.

Медиа материалы также следует использовать и адаптировать с учетом индивидуальных особенностей обучения лиц с ОВЗ.

Освоение дисциплины лицами с ОВЗ осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения (персонального и коллективного использования).

Материально-техническое обеспечение предусматривает приспособление аудиторий к нуждам лиц с ОВЗ.

Форма проведения аттестации для студентов-инвалидов устанавливается с учетом индивидуальных психофизических особенностей. Для студентов с ОВЗ предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

- в печатной или электронной форме (для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата);
- в печатной форме или электронной форме с увеличенным шрифтом и контрастностью (для лиц с нарушениями слуха, речи, зрения);
- методом чтения ассистентом задания вслух (для лиц с нарушениями зрения).

Студентам с инвалидностью увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких студентов предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

- письменно на бумаге или набором ответов на компьютере (для лиц с нарушениями слуха, речи);
- выбором ответа из возможных вариантов с использованием услуг ассистента (для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата);
- устно (для лиц с нарушениями зрения, опорно-двигательного аппарата).

При необходимости для обучающихся с инвалидностью процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

