**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования**

«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»
(ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ
Директор департамента по УР
_____Ким М.Ю.
«29» _____10_____ 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

# ПРИБОРЫ КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ И ФОТОНИКИ

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки / специальность: **12.03.03 Фотоника и оптоинформатика**
Направленность (профиль) / специализация: **Фотонные и квантовые информационные технологии**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **Институт радиоэлектронной техники (ИРЭТ)**
Кафедра: **электронных приборов (ЭП)**
Курс: **4**
Семестр: **7**
Учебный план набора 2026 года

Объем дисциплины и виды учебной деятельности

| Виды учебной деятельности | 7 семестр | Всего | Единицы |
|---|---|---|---|
| Лекционные занятия | 26 | 26 | часов |
| Практические занятия | 26 | 26 | часов |
| в т.ч. в форме практической подготовки | 24 | 24 | часов |
| Лабораторные занятия | 16 | 16 | часов |
| Самостоятельная работа | 76 | 76 | часов |
| Подготовка и сдача экзамена | 36 | 36 | часов |
| Общая трудоемкость (включая промежуточную аттестацию) | 180 | 180 | часов |
| | 5 | 5 | з.е. |

| Формы промежуточной аттестации | Семестр |
|---|---|
| Экзамен | 7 |

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Ким М.Ю.
Должность: Директор департамента по УР
Дата подписания: 29.10.2025
Уникальный программный ключ:
ed789cd8-2cc6-4431-a59e-8f386b1d44fa

Томск

Согласована на портале № 85495

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели дисциплины

1. Целью изучения дисциплины "Приборы квантовой электроники и фотоники" является формирование у студентов знания основополагающих принципов работы базовых приборов квантовой электроники и фотоники, их функциональных возможностей и параметров, областей применения, а также перспектив развития данного научно-технического направления.

### 1.2. Задачи дисциплины

1. Задачей изучения дисциплины "Приборы квантовой электроники и фотоники" является изучение физических принципов функционирования базовых приборов указанных научно-технических областей, понимание их метрологических возможностей, а также перспектив развития данной научно-технической области.

2. Получение навыков составления метрологического оборудования для экспериментального измерения параметров и характеристик базовых приборов и элементов, проведения измерений и обработки их результатов, а также получение навыков решения типовых задач по расчету параметров элементов и приборов квантовой электроники и фотоники.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Блок дисциплин: Б1. Дисциплины (модули).
Часть блока дисциплин: Часть, формируемая участниками образовательных отношений.
Модуль дисциплин: Модуль направленности (профиля) (major).
Индекс дисциплины: Б1.В.02.09.
Реализуется с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий.

## 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и основной образовательной программой (таблица 3.1):

Таблица 3.1 – Компетенции и индикаторы их достижения

| Компетенция | Индикаторы достижения компетенции | Планируемые результаты обучения по дисциплине |
|---|---|---|
| **Универсальные компетенции** | | |
| - | - | - |
| **Общепрофессиональные компетенции** | | |
| - | - | - |
| **Профессиональные компетенции** | | |
| ПК-2. Способен выполнять технологическую подготовку производства элементов и узлов фотоники и оптоинформатики и комплексов на их основе | ПК-2.1. Знает принципы работы, технические характеристики оборудования для производства приборов фотоники и оптоинформатики | Знание принципов работы, технических характеристик оборудования для производства приборов фотоники и оптоинформатики. |
| | ПК-2.2. Умеет осуществлять регламентное обслуживание оборудования | Умение осуществлять регламентное обслуживание оборудования. |
| | ПК-2.3. Владеет навыками настройки высокотехнологичного оборудования | Владение навыками настройки высокотехнологического оборудования. |

Согласована на портале № 85495

## 4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 академических часов.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам учебной деятельности представлено в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины по видам учебной деятельности

| Виды учебной деятельности | Всего часов | Семестры |
|---|---|---|
| | | 7 семестр |
| **Контактная аудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего** | 68 | 68 |
| Лекционные занятия | 26 | 26 |
| Практические занятия | 26 | 26 |
| Лабораторные занятия | 16 | 16 |
| **Самостоятельная работа обучающихся, в т.ч. контактная внеаудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего** | 76 | 76 |
| Подготовка к тестированию | 39 | 39 |
| Подготовка к лабораторной работе, написание отчета | 19 | 19 |
| Написание отчета по лабораторной работе | 18 | 18 |
| **Подготовка и сдача экзамена** | 36 | 36 |
| **Общая трудоемкость (в часах)** | 180 | 180 |
| **Общая трудоемкость (в з.е.)** | 5 | 5 |

## 5. Структура и содержание дисциплины

### 5.1. Разделы (темы) дисциплины и виды учебной деятельности

Структура дисциплины по разделам (темам) и видам учебной деятельности приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы (темы) дисциплины и виды учебной деятельности

| Названия разделов (тем) дисциплины | Лек. зан., ч | Прак. зан., ч | Лаб. раб. | Сам. раб., ч | Всего часов (без экзамена) | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **7 семестр** | | | | | | |
| 1 Введение | 1 | 1 | - | 3 | 5 | ПК-2 |
| 2 Эмиссия излучения из твердых тел | 3 | 3 | 3 | 12 | 21 | ПК-2 |
| 3 Спонтанное и вынужденное излучение атома | 3 | 2 | - | 4 | 9 | ПК-2 |
| 4 Возбуждение активного вещества - накачка | 2 | 2 | - | 4 | 8 | ПК-2 |
| 5 Оптические резонаторы | 1 | 3 | - | 4 | 8 | ПК-2 |
| 6 Распространение света в анизотропных средах | 3 | 3 | 5 | 14 | 25 | ПК-2 |
| 7 Квантовые приборы оптического диапазона | 3 | 2 | - | 4 | 9 | ПК-2 |
| 8 Фотоприемники оптического излучения | 4 | 6 | 8 | 14 | 32 | ПК-2 |
| 9 Жидкие кристаллы в оптоэлектронике и фотонике | 3 | 2 | - | 4 | 9 | ПК-2 |

Согласована на портале № 85495

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 Основные приборы квантовой электроники, фотоники и области их применения | 3 | 2 | - | 13 | 18 | ПК-2 |
| Итого за семестр | 26 | 26 | 16 | 76 | 144 | |
| Итого | 26 | 26 | 16 | 76 | 144 | |

### 5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям) приведено в таблице 5.2.
Таблица 5.2 – Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям)

| Названия разделов (тем) дисциплины | Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям) | Трудоемкость (лекционные занятия), ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| **7 семестр** | | | |
| 1 Введение | Основные предпосылки формирования научно-технического направления в виде квантовой электроники и оптоэлектроники, его задачи и место среди других направлений освоения оптического диапазона электромагнитного излучения. | 1 | ПК-2 |
| | Итого | 1 | |
| 2 Эмиссия излучения из твердых тел | Физические механизмы и математическое описание излучательных процессов, спектр излучения, зависимость эмиссии излучения от уровня легирования в полупроводниках | 3 | ПК-2 |
| | Итого | 3 | |
| 3 Спонтанное и вынужденное излучение атома | Феноменологическое описание излучения атома. Стимулированное излучение и его особенности. Принцип создания генератора оптического излучения. Дипольная модель атома. Механизмы уширения спектра излучения атомной системы. | 3 | ПК-2 |
| | Итого | 3 | |
| 4 Возбуждение активного вещества - накачка | Общие принципы накачки и способы их описания. Двухуровневая схема накачки. Трехуровневая схема накачки. Четырехуровневая схема накачки. Сравнение схем. | 2 | ПК-2 |
| | Итого | 2 | |
| 5 Оптические резонаторы | Общие сведения о резонаторах и их особенности в оптическом диапазоне. Спектр собственных частот закрытых и открытых резонаторов. | 1 | ПК-2 |
| | Итого | 1 | |
| 6 Распространение света в анизотропных средах | Электромагнитные волны в анизотропной среде. Оптическая индикатриса. Эффект двулучепреломления в анизотропных кристаллах. Применение эффекта двулучепреломления для управления оптическим излучением. | 3 | ПК-2 |
| | Итого | 3 | |

Согласована на портале № 85495

| | | | |
|---|---|---|---|
| 7 Квантовые приборы оптического диапазона | Квантовые генераторы оптического диапазона: конструкции и параметры: твердотельные лазеры, газовые лазеры, жидкостные лазеры. Полупроводниковые лазеры: принцип работы полупроводникового лазера, его топология и параметры; применение нанообъектов в конструкции полупроводниковых лазеров. | 3 | ПК-2 |
| | Итого | 3 | |
| 8 Фотоприемники оптического излучения | Общие сведения о фотоприемниках. Классификация, технические характеристики и параметры фотоприемников. Фоторезисторные фотоприемники: параметры и характеристики фотопроводимости; полевые свойства фотопроводимости; коэффициент усиления фотопроводимости; частотные свойства фотопроводимости; типичные параметры фоторезисторов (три примера).<br>Фотовольтаические эффекты в полупроводниках: общие сведения; электронно-дырочные переходы; барьерная фотоэдс. Типичные параметры фотодиодов (три примера). Разновидности фотовольтаических приемников. | 4 | ПК-2 |
| | Итого | 4 | |
| 9 Жидкие кристаллы в оптоэлектронике и фотонике | Основные типы жидких кристаллов и их характеристические параметры, конструктивы. Ориентационные эффекты в жидких кристаллах, переход Фредерикса. Оптические свойства жидких кристаллов. Основные конструкции оптических ячеек и их применение в квантовой электронике и фотонике. | 3 | ПК-2 |
| | Итого | 3 | |
| 10 Основные приборы квантовой электроники, фотоники и области их применения | Лазеры и другие светоизлучающие приборы. Основные преобразователи оптического излучения и приборы управления оптическим излучением - эффект Штарка и эффект Франца - Келдыша. Области применения приборов квантовой электроники, оптоэлектроники и фотоники. | 3 | ПК-2 |
| | Итого | 3 | |
| Итого за семестр | | 26 | |
| Итого | | 26 | |

### 5.3. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 5.3.
Таблица 5.3. – Наименование практических занятий (семинаров)

Согласована на портале № 85495

| Названия разделов (тем) дисциплины | Наименование практических занятий (семинаров) | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| **7 семестр** | | | |
| 1 Введение | Обсуждение базовых положений квантовой электроники и фотоники. Формулирование целей и задач квантовой электроники и фотоники, их приборная реализация. | 1 | ПК-2 |
| | Итого | 1 | |
| 2 Эмиссия излучения из твердых тел | Расчет внутренней и внешней квантовой эффективности излучения для полупроводников различного состава с учетом ограничения выхода эффекта полного внутреннего отражения. | 3 | ПК-2 |
| | Итого | 3 | |
| 3 Спонтанное и вынужденное излучение атома | Связь коэффициентов Эйнштейна, решение задач на вычисление вероятности вынужденного излучения атома и вероятности спонтанного перехода атома. | 2 | ПК-2 |
| | Итого | 2 | |
| 4 Возбуждение активного вещества - накачка | Решение задач на определение вероятностей переходов в трех- и четырех уровневых схемах накачки активного вещества. Определение условий достижения инверсии населенности в этих схемах. | 2 | ПК-2 |
| | Итого | 2 | |
| 5 Оптические резонаторы | Решение задач на определение собственных частот закрытых и открытых резонаторов различных размеров. Определение степени разреженности спектра собственных частот открытого резонатора. Вычисление коэффициента обратной связи в них. | 3 | ПК-2 |
| | Итого | 3 | |
| 6 Распространение света в анизотропных средах | Решение задачи на определение фазовых скоростей распространения обыкновенной и необыкновенной волн в анизотропном кристалле при различных углах вхождения света в кристалл. Ориентация их векторов поляризации. | 3 | ПК-2 |
| | Итого | 3 | |
| 7 Квантовые приборы оптического диапазона | Анализ и сравнение параметров квантовых генераторов на твердом теле. Вычисление реальных спектров излучения с учетом эффектов уширения за счет различных механизмов. | 2 | ПК-2 |
| | Итого | 2 | |

Согласована на портале № 85495

| | | | |
|---|---|---|---|
| 8 Фотоприемники оптического излучения | Решение задач на вычисление сигнала фотопроводимости в резисторных фотоприемника на основе кремния, германия и арсенида галлия. Рассмотрение механизма возникновения барьерной фотоэдс в полупроводниковом p-n переходе. Вычисление величины барьерной фотоэдс в кремниевом, германиевом и арсенид-галлиевом p-n переходе с учетом частотных свойств принимаемого излучения. | 6 | ПК-2 |
| | Итого | 6 | |
| 9 Жидкие кристаллы в оптоэлектронике и фотонике | Решение задач на вычисление оптического модулятора на основе нематического жидкого кристалла с переходом Фредерикса. Рассмотрение конструкции оптического модулятора. Решение задач на модуляционные свойства холестериков в электрическом поле. | 2 | ПК-2 |
| | Итого | 2 | |
| 10 Основные приборы квантовой электроники, фотоники и области их применения | Сравнение молдуяционных свойств модуляторов на основе жидких кристаллах, эффекте двулучепреломления, эффектах Франца-Келдыша и Штарка в квантовой яме из INgAn/GaN. | 2 | ПК-2 |
| | Итого | 2 | |
| Итого за семестр | | 26 | |
| Итого | | 26 | |

### 5.4. Лабораторные занятия

Наименование лабораторных работ приведено в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Наименование лабораторных работ

| Названия разделов (тем) дисциплины | Наименование лабораторных работ | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| **7 семестр** | | | |
| 2 Эмиссия излучения из твердых тел | Измерение ширины запрещенной зоны полупроводника методом температурного сканирования | 3 | ПК-2 |
| | Итого | 3 | |
| 6 Распространение света в анизотропных средах | Исследование эффекта двулучепреломления в кристаллах ниобата лития. | 5 | ПК-2 |
| | Итого | 5 | |

Согласована на портале № 85495

| | | | |
|---|---|---|---|
| 8 Фотоприемники оптического излучения | Свойства и параметры фотопроводимости полупроводниковых фоторезисторов. | 6 | ПК-2 |
| | Исследование барьерной фотоэдс в диффузионных р-п- переходах. | 2 | ПК-2 |
| | Итого | 8 | |
| Итого за семестр | | 16 | |
| Итого | | 16 | |

### 5.5. Курсовой проект / курсовая работа

Не предусмотрено учебным планом

### 5.6. Самостоятельная работа

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6. – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

| Названия разделов (тем) дисциплины | Виды самостоятельной работы | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции | Формы контроля |
|---|---|---|---|---|
| **7 семестр** | | | | |
| 1 Введение | Подготовка к тестированию | 3 | ПК-2 | Тестирование |
| | Итого | 3 | | |
| 2 Эмиссия излучения из твердых тел | Подготовка к лабораторной работе, написание отчета | 4 | ПК-2 | Лабораторная работа |
| | Написание отчета по лабораторной работе | 4 | ПК-2 | Отчет по лабораторной работе |
| | Подготовка к тестированию | 4 | ПК-2 | Тестирование |
| | Итого | 12 | | |
| 3 Спонтанное и вынужденное излучение атома | Подготовка к тестированию | 4 | ПК-2 | Тестирование |
| | Итого | 4 | | |
| 4 Возбуждение активного вещества - накачка | Подготовка к тестированию | 4 | ПК-2 | Тестирование |
| | Итого | 4 | | |
| 5 Оптические резонаторы | Подготовка к тестированию | 4 | ПК-2 | Тестирование |
| | Итого | 4 | | |

Согласована на портале № 85495

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 6 Распространение света в анизотропных средах | Подготовка к лабораторной работе, написание отчета | 5 | ПК-2 | Лабораторная работа |
| | Написание отчета по лабораторной работе | 5 | ПК-2 | Отчет по лабораторной работе |
| | Подготовка к тестированию | 4 | ПК-2 | Тестирование |
| | Итого | 14 | | |
| 7 Квантовые приборы оптического диапазона | Подготовка к тестированию | 4 | ПК-2 | Тестирование |
| | Итого | 4 | | |
| 8 Фотоприемники оптического излучения | Подготовка к лабораторной работе, написание отчета | 6 | ПК-2 | Лабораторная работа |
| | Написание отчета по лабораторной работе | 4 | ПК-2 | Отчет по лабораторной работе |
| | Подготовка к тестированию | 4 | ПК-2 | Тестирование |
| | Итого | 14 | | |
| 9 Жидкие кристаллы в оптоэлектронике и фотонике | Подготовка к тестированию | 4 | ПК-2 | Тестирование |
| | Итого | 4 | | |
| 10 Основные приборы квантовой электроники, фотоники и области их применения | Подготовка к лабораторной работе, написание отчета | 4 | ПК-2 | Лабораторная работа |
| | Написание отчета по лабораторной работе | 5 | ПК-2 | Отчет по лабораторной работе |
| | Подготовка к тестированию | 4 | ПК-2 | Тестирование |
| | Итого | 13 | | |
| Итого за семестр | | 76 | | |
| | Подготовка и сдача экзамена | 36 | | Экзамен |
| Итого | | 112 | | |

### 5.7. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий представлено в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

| Формируемые компетенции | Виды учебной деятельности | | | | Формы контроля |
|---|---|---|---|---|---|
| | Лек. зан. | Прак. зан. | Лаб. раб. | Сам. раб. | |

Согласована на портале № 85495

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ПК-2 | + | + | + | + | Лабораторная работа, Отчет по лабораторной работе, Тестирование, Экзамен |

## 6. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

### 6.1. Балльные оценки для форм контроля

Балльные оценки для форм контроля представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Балльные оценки

| Формы контроля | Максимальный балл на 1-ую КТ с начала семестра | Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ | Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра | Всего за семестр |
|---|---|---|---|---|
| **7 семестр** | | | | |
| Лабораторная работа | 10 | 10 | 10 | 30 |
| Тестирование | 10 | 10 | 10 | 30 |
| Отчет по лабораторной работе | 2 | 3 | 5 | 10 |
| Экзамен | | | | 30 |
| Итого максимум за период | 22 | 23 | 25 | 100 |
| Нарастающим итогом | 22 | 45 | 70 | 100 |

### 6.2. Пересчет баллов в оценки за текущий контроль

Пересчет баллов в оценки за текущий контроль представлен в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Пересчет баллов в оценки за текущий контроль

| Баллы на дату текущего контроля | Оценка |
|---|---|
| ≥ 90% от максимальной суммы баллов на дату ТК | 5 |
| От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату ТК | 4 |
| От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату ТК | 3 |
| < 60% от максимальной суммы баллов на дату ТК | 2 |

### 6.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку представлен в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

| Оценка | Итоговая сумма баллов, учитывает успешно сданный экзамен | Оценка (ECTS) |
|---|---|---|
| 5 (отлично) (зачтено) | 90 – 100 | A (отлично) |
| 4 (хорошо) (зачтено) | 85 – 89 | B (очень хорошо) |
| | 75 – 84 | C (хорошо) |
| | 70 – 74 | D (удовлетворительно) |
| 3 (удовлетворительно) (зачтено) | 65 – 69 | |
| | 60 – 64 | E (посредственно) |
| 2 (неудовлетворительно) (не зачтено) | Ниже 60 баллов | F (неудовлетворительно) |

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 7.1. Основная литература

Согласована на портале № 85495

1. Малышев В.А. Основы квантовой электроники и квантовой техники. Учебное пособие для вузов / В.А. Малышев - М.: Высшая школа. 2005, -542 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 38 экз.).

### 7.2. Дополнительная литература

1. Игнатов А.Н. Оптоэлектроника и нанофотоника: Учебное пособие для вузов/ А.Н. Игнатов. - СПб.: Лань, 2011. - 539 с. I. (наличие в библиотеке ТУСУР - 15 экз.).

### 7.3. Учебно-методические пособия

#### 7.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Основы оптоэлектроники: Учебно-методическое пособие для самостоятельной работы и решения задач / В. Н. Давыдов - 2022. 85 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/10094.

2. Измерение ширины запрещенной зоны полупроводника методом температурного сканирования: Методические указания к лабораторной работе / В. Н. Давыдов - 2022. 16 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/10096.

3. Исследование эффекта двулучепреломления в кристаллах ниобата лития: Методические указания к лабораторной работе / В. Н. Давыдов - 2022. 19 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/10107.

4. Свойства и параметры фотопроводимости полупроводниковых фоторезисторов: Методические указания к лабораторной работе / В. Н. Давыдов - 2022. 26 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/10095.

5. Исследование барьерной фотоэдс в диффузионных p-n переходах: Методические указания к лабораторной работе / В. Н. Давыдов - 2022. 21 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/10098.

6. Полупроводниковая оптоэлектроника: Учебное пособие / В. Н. Давыдов - 2022. 87 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/9910.

#### 7.3.2. Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

**Для лиц с нарушениями зрения:**

– в форме электронного документа;

– в печатной форме увеличенным шрифтом.

**Для лиц с нарушениями слуха:**

– в форме электронного документа;

– в печатной форме.

**Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

– в форме электронного документа;

– в печатной форме.

### 7.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

При изучении дисциплины рекомендуется обращаться к современным базам данных, информационно-справочным и поисковым системам, к которым у ТУСУРа открыт доступ: https://lib.tusur.ru/ru/resursy/bazy-dannyh.

## 8. Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

### 8.1. Материально-техническое и программное обеспечение для лекционных занятий

Для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория с достаточным количеством посадочных мест для учебной группы, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются мультимедийное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие

Согласована на портале № 85495

тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

### 8.2. Материально-техническое и программное обеспечение для практических занятий

Учебная лаборатория: учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа, помещение для курсового проектирования (выполнения курсовых работ), помещение для проведения групповых и индивидуальных консультаций; 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 110 ауд.

Описание имеющегося оборудования:
- Лабораторные стенды (6 шт.);
- Измерительные приборы;
- Доска магнитно-маркерная;
- Оптическая скамья ОСК-4;
- Помещение для хранения учебного оборудования;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

### 8.3. Материально-техническое и программное обеспечение для лабораторных работ

Учебная лаборатория: учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа, помещение для курсового проектирования (выполнения курсовых работ), помещение для проведения групповых и индивидуальных консультаций; 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 110 ауд.

Описание имеющегося оборудования:
- Лабораторные стенды (6 шт.);
- Измерительные приборы;
- Доска магнитно-маркерная;
- Оптическая скамья ОСК-4;
- Помещение для хранения учебного оборудования;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

### 8.4. Материально-техническое и программное обеспечение для самостоятельной работы

Для самостоятельной работы используются учебные аудитории (компьютерные классы), расположенные по адресам:
- 634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 40, 101 ауд.;
- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 107 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 130 ауд.

Описание имеющегося оборудования:
- учебная мебель;
- компьютеры;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду ТУСУРа.

Перечень программного обеспечения:
- Microsoft Windows;
- OpenOffice;
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows;
- 7-Zip;
- Google Chrome.

### 8.5. Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Освоение дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья и инвалидами

Согласована на портале № 85495

осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями слуха** предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы преподавания для обучающихся с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой занимаются обучающиеся с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями зрения** предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видеоувеличителей для комфортного просмотра.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями опорно-двигательного аппарата** используются альтернативные устройства ввода информации и другие технические средства приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы обучения для людей с инвалидностью.

## 9. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины

### 9.1. Содержание оценочных материалов для текущего контроля и промежуточной аттестации

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы, представленные в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Формы контроля и оценочные материалы

| Названия разделов (тем) дисциплины | Формируемые компетенции | Формы контроля | Оценочные материалы (ОМ) |
|---|---|---|---|
| 1 Введение | ПК-2 | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| 2 Эмиссия излучения из твердых тел | ПК-2 | Лабораторная работа | Темы лабораторных работ |
| | | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| | | Отчет по лабораторной работе | Темы лабораторных работ |
| 3 Спонтанное и вынужденное излучение атома | ПК-2 | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| 4 Возбуждение активного вещества - накачка | ПК-2 | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| 5 Оптические резонаторы | ПК-2 | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |

Согласована на портале № 85495

| | | | |
|---|---|---|---|
| 6 Распространение света в анизотропных средах | ПК-2 | Лабораторная работа | Темы лабораторных работ |
| | | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| | | Отчет по лабораторной работе | Темы лабораторных работ |
| 7 Квантовые приборы оптического диапазона | ПК-2 | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| 8 Фотоприемники оптического излучения | ПК-2 | Лабораторная работа | Темы лабораторных работ |
| | | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| | | Отчет по лабораторной работе | Темы лабораторных работ |
| 9 Жидкие кристаллы в оптоэлектронике и фотонике | ПК-2 | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| 10 Основные приборы квантовой электроники, фотоники и области их применения | ПК-2 | Лабораторная работа | Темы лабораторных работ |
| | | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| | | Отчет по лабораторной работе | Темы лабораторных работ |

Шкала оценки сформированности отдельных планируемых результатов обучения по дисциплине приведена в таблице 9.2.

Таблица 9.2 – Шкала оценки сформированности планируемых результатов обучения по дисциплине

| Оценка | Баллы за ОМ | Формулировка требований к степени сформированности планируемых результатов обучения | | |
|---|---|---|---|---|
| | | знать | уметь | владеть |
| 2 (неудовлетворительно) | < 60% от максимальной суммы баллов | отсутствие знаний или фрагментарные знания | отсутствие умений или частично освоенное умение | отсутствие навыков или фрагментарные применение навыков |

Согласована на портале № 85495

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 3 (удовлетворительно) | от 60% до 69% от максимальной суммы баллов | общие, но не структурированные знания | в целом успешно, но не систематически осуществляемое умение | в целом успешное, но не систематическое применение навыков |
| 4 (хорошо) | от 70% до 89% от максимальной суммы баллов | сформированные, но содержащие отдельные проблемы знания | в целом успешное, но содержащие отдельные пробелы умение | в целом успешное, но содержащие отдельные пробелы применение навыков |
| 5 (отлично) | ≥ 90% от максимальной суммы баллов | сформированные систематические знания | сформированное умение | успешное и систематическое применение навыков |

Шкала комплексной оценки сформированности компетенций приведена в таблице 9.3.

Таблица 9.3 – Шкала комплексной оценки сформированности компетенций

| Оценка | Формулировка требований к степени компетенции |
|---|---|
| 2 (неудовлетворительно) | Не имеет необходимых представлений о проверяемом материале<br>или<br>Знать на уровне **ориентирования**, представлений. Обучающийся знает основные признаки или термины изучаемого элемента содержания, их отнесенность к определенной науке, отрасли или объектам, узнает в текстах, изображениях или схемах и знает, к каким источникам нужно обращаться для более детального его усвоения. |
| 3 (удовлетворительно) | Знать и уметь на **репродуктивном** уровне. Обучающихся знает изученный элемент содержания репродуктивно: произвольно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях. |
| 4 (хорошо) | Знать, уметь, владеть на **аналитическом** уровне. Зная на репродуктивном уровне, указывать на особенности и взаимосвязи изученных объектов, на их достоинства, ограничения, историю и перспективы развития и особенности для разных объектов усвоения. |
| 5 (отлично) | Знать, уметь, владеть на **системном** уровне. Обучающийся знает изученный элемент содержания системно, произвольно и доказательно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях, учитывая и указывая связи и зависимости между этим элементом и другими элементами содержания дисциплины, его значимость в содержании дисциплины. |

### 9.1.1. Примерный перечень тестовых заданий

1. Какими параметрами описывается эффективность эмиссии излучения внутри твердого тела и эмиссия излучения из твердого тела?
   а) Эти параметры объединяют в коэффициент полезного действия.
   б) Это квантовая эффективность излучения - один параметр.
   в) это внутренняя и внешняя квантовые эффективности эмиссии излучения.
   г) Это интенсивность на выходе из твердого тела, деленая на рабочую длину кристалла.
2. Что такое вынужденное излучение атома?
   а) Это излучение, вызванное действием стороннего фотона с произвольной энергией.
   б) Это излучение атома, вызванное действием другого фотона с энергией, равной энергии

Согласована на портале № 85495

излучательного перехода атома.

в) Это излучение атома, возникающее при действии на возбужденный атом фотона, спонтанно испущенного соседним атомом.

3. Какова физическая природа инверсии населенности в лазерах?

а) Инверсия населенности относится к ситуации в атомной системе, когда на верхнем уровне находится атом, а на нижнем ион.

б) Инверсия населенности описывает ситуацию, когда на верхнем уровне находится ион а на нижнем атом.

в) Инверсия населенности соответствует ситуации когда число атомов в возбужденном состоянии больше, числа атомов в невозбужденном состоянии.

г) Инверсия населенности соответствует ситуации, когда число атомов на верхнем уровне больше числа атомов на нижнем уровне.

4. Для каких целей применяется накачка в лазерах?

а) накачка в лазерах необходима для накачки в лазер охлаждающей жидкости или охлаждающего газа.

б) накачка в лазерах необходима для заполнения межзеркального пространства резонатора газом, обеспечивающим когерентность генерируемого излучения.

в) накачка в лазерах необходима для заполнения межзеркального пространства резонатора газом, обеспечивающим параллельность зеркал оптического резонатора.

г) накачка в лазерах необходима для создания инверсии населенности между состояниями излучательного перехода активного вещества лазера.

5. Почему в лазерах, генерирующих излучение в оптическом диапазоне, используют открытые резонаторы и не используют закрытые?

а) Открытые резонаторы позволяют выводить генерируемое излучение во внешнюю среду через боковые поверхности, а закрытые не позволяют.

б) Открытые резонаторы легче и дешевле из-за меньшего объема материала, необходимого для изготовления открытого резонатора.

в) У закрытых резонаторов спектр собственных частот очень плотный, что приводит к потере селективных свойств резонатора, а у открытого о разреженный из-за отсутствия боковых стенок.

г) У закрытых резонаторов спектр собственных частот очень разреженный, что приводит к потере селективных свойств резонатора в оптическом диапазоне частот, а у открытого он более плотный.

6. Какие требования на время жизни атомов накладываются на верхнем и нижним уровнях излучательного перехода в лазерах?

а) Оба времени жизни должны быть как можно меньше, чтобы получить высокую интенсивность излучения.

б) Оба времени жизни должны быть как можно больше, чтобы получить высокую интенсивность излучения.

в) Время жизни атома на верхнем уровне должно быть большим, а на нижнем как можно меньше для облегчения условия созданий инверсии населенности.

г) Время жизни атома на верхнем уровне должно быть малым, а на нижнем как можно больше для создания инверсии населенности.

7. Для чего в газовом лазере на основе смеси гелия и неона используют гелий?

а) Ионы гелия, разгоняясь в электрическом поле, накапливают достаточную энергию для ионизации атомов неона, которые излучают свет.

б) Атомы неона, разгоняясь в электрическом поле, накапливают достаточную энергию для ударной ионизации атомов гелия, которые излучают свет.

в) Ионы гелий, разгоняясь в электрическом поле, накапливают достаточную энергию для туннельной ионизации атомов неона, которые излучают свет.

г) Атомы гелия в гелий-неоновом лазере выполняют функцию охлаждения, осуществляемую за счет соударения с атомами неона, разогретыми при излучении ими квантов света.

8. Что такое время релаксации фотопроводимости?

а) Это время, в течение которого в полупроводнике наблюдается фотопроводимость.

б) Это время, в течение которого фотопроводимость в полупроводнике уменьшается в два раза после выключения светового излучения.

Согласована на портале № 85495

в) Это время, в течение которого фотопроводимость в полупроводнике уменьшается в e-раз после выключения светового излучения.

г) Это время охлаждения полупроводника после выключения оптического возбуждения.

9. Какова физическая причина возникновения барьерной фотоэдс?

а) Причиной возникновения барьерной фотоэдс в р-п- переходе является возникновение электрического поля разделенных переходом неравновесных носителей заряда, направленному по полю перехода.

б) Причиной возникновения барьерной фотоэдс в р-п- переходе является возникновение электрического поля разделенными переходом неравновесными носителями заряда, направленного навстречу полю перехода.

в) Причиной возникновения барьерной фотоэдс в р-п- переходе является различие в скоростях диффузии неравновесных электронов и дырок.

г) Причиной возникновения барьерной фотоэдс в р-п- переходе является возникновение магнитного поля разделенных переходом неравновесных носителей заряда.

10. Как влияет электрическое поле на ориентацию длинных осей молекул нематика и как на шаг холестерической спирали?

а) Электрическое поле, превышающее по величине критическое значения, вызывает переход Фредерикса - поворот длинных осей молекул нематика на 90 градусов. На холестерики электрическое поле влияет только после распрямления его спирали.

б) Электрическое поле, превышающее по величине критическое значения, вызывает переход Фредерикса - поворот длинных осей молекул нематика на 90 градусов. На холестерики электрическое поле влияет увеличением шага спирали вплоть до её распрямления.

в) Электрическое поле, превышающее по величине критическое значения, вызывает переход Фредерикса - образование спиралевидной ориентации длинных осей молекул нематика. На холестерики электрическое поле влияет увеличением шага спирали вплоть до её распрямления.

г) Электрическое поле, начиная с его малых величин, вызывает переход Фредерикса - образование спиралевидной ориентации длинных осей молекул нематика. На холестерики электрическое поле влияет увеличением шага спирали вплоть до её распрямления.

### 9.1.2. Перечень экзаменационных вопросов

1. Что такое инверсия населенности и как она создается в лазерах?
2. В чем заключается сущность эффекта двулучепреломления света в анизотропных кристаллах?
3. Что такое фотопроводимость в полупроводниках и как она возникает?
4. В чем заключается суть перехода Фредерикса в жидких кристаллах?
5. В чем суть эффекта Франца-Келдыша, используемого для управления оптическим излучением?

### 9.1.3. Темы лабораторных работ

1. Измерение ширины запрещенной зоны полупроводника методом температурного сканирования
2. Исследование эффекта двулучепреломления в кристаллах ниобата лития.
3. Свойства и параметры фотопроводимости полупроводниковых фоторезисторов.
4. Исследование барьерной фотоэдс в диффузионных р-п- переходах.

## 9.2. Методические рекомендации

Учебный материал излагается в форме, предполагающей самостоятельное мышление студентов, самообразование. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Начать изучение дисциплины необходимо со знакомства с рабочей программой, списком учебно-методического и программного обеспечения. Самостоятельная работа студента включает работу с учебными материалами, выполнение контрольных мероприятий, предусмотренных учебным планом.

Согласована на портале № 85495

В процессе изучения дисциплины для лучшего освоения материала необходимо регулярно обращаться к рекомендуемой литературе и источникам, указанным в учебных материалах; пользоваться через кабинет студента на сайте Университета образовательными ресурсами электронно-библиотечной системы, а также общедоступными интернет-порталами, содержащими научно-популярные и специализированные материалы, посвященные различным аспектам учебной дисциплины.

При самостоятельном изучении тем следуйте рекомендациям:

– чтение или просмотр материала осуществляйте со скоростью, достаточной для индивидуального понимания и освоения материала, выделяя основные идеи; на основании изученного составить тезисы. Освоив материал, попытаться соотнести теорию с примерами из практики;

– если в тексте встречаются незнакомые или малознакомые термины, следует выяснить их значение для понимания дальнейшего материала;

– осмысливайте прочитанное и изученное, отвечайте на предложенные вопросы.

Студенты могут получать индивидуальные консультации, в т.ч. с использованием средств телекоммуникации.

По дисциплине могут проводиться дополнительные занятия, в т.ч. в форме вебинаров. Расписание вебинаров и записи вебинаров публикуются в электронном курсе / электронном журнале по дисциплине.

Обязательным условием освоения дисциплины является посещение всех лекций и практических занятий, теоретическая и методологическая самоподготовка к выполнению лабораторных работ

### 9.3. Требования к оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусмотрены дополнительные оценочные материалы, перечень которых указан в таблице 9.4.

Таблица 9.4 – Дополнительные материалы оценивания для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

| Категории обучающихся | Виды дополнительных оценочных материалов | Формы контроля и оценки результатов обучения |
|---|---|---|
| С нарушениями слуха | Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы | Преимущественно письменная проверка |
| С нарушениями зрения | Собеседование по вопросам к зачету, опрос по терминам | Преимущественно устная проверка (индивидуально) |
| С нарушениями опорно-двигательного аппарата | Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету | Преимущественно дистанционными методами |
| С ограничениями по общемедицинским показаниям | Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы | Преимущественно проверка методами, определяющимися исходя из состояния обучающегося на момент проверки |

### 9.4. Методические рекомендации по оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

– в печатной форме;

– в печатной форме с увеличенным шрифтом;

– в форме электронного документа;

– методом чтения ассистентом задания вслух;

Согласована на портале № 85495

– предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Лицам с ограниченными возможностями здоровья и инвалидам увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких обучающихся предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

– письменно на бумаге;

– набор ответов на компьютере;

– набор ответов с использованием услуг ассистента;

– представление ответов устно.

Процедура оценивания результатов обучения лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

**Для лиц с нарушениями зрения:**

– в форме электронного документа;

– в печатной форме увеличенным шрифтом.

**Для лиц с нарушениями слуха:**

– в форме электронного документа;

– в печатной форме.

**Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

– в форме электронного документа;

– в печатной форме.

При необходимости для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

Согласована на портале № 85495

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ЭП
протокол №09-25 от «23» 9 2025 г.

**СОГЛАСОВАНО:**

| Должность | Инициалы, фамилия | Подпись |
|---|---|---|
| Заведующий выпускающей каф. ЭП | Н.И. Буримов | Согласовано, 393931b1-af66-45e5-a537-c5831244e4ca |
| Заведующий обеспечивающей каф. ЭП | Н.И. Буримов | Согласовано, 393931b1-af66-45e5-a537-c5831244e4ca |
| Начальник учебного управления | Г.А. Цой | Согласовано, 8a5745e4-63a0-4946-bbb0-ce4977ac113e |

**ЭКСПЕРТЫ:**

| | | |
|---|---|---|
| Доцент, каф. ЭП | А.И. Аксенов | Согласовано, d90d5f87-f1a9-4440-b971-ce4f7e994961 |
| Доцент, каф. ЭП | А.И. Аксенов | Согласовано, d90d5f87-f1a9-4440-b971-ce4f7e994961 |

**РАЗРАБОТАНО:**

| | | |
|---|---|---|
| Профессор, каф. ЭП | В.Н. Давыдов | Разработано, 0a70921e-3a8f-4010-94a3-71f1447ec6f2 |

Согласована на портале № 85495