

Документ подписан электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Сенченко Павел Васильевич  
Должность: Проректор по учебной работе  
Дата подписания: 27.09.2023 12:30:50  
Уникальный программный ключ:  
27e516f4c088deb62ba68945f4406e13fd454355

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**

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



УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе  
Документ подписан электронной подписью  
Сертификат: a1119608-cdff-4455-b54e-5235117c185c  
Владелец: Сенченко Павел Васильевич  
Действителен: с 17.09.2019 по 16.09.2024

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**ПОЛУПРОВОДНИКОВАЯ ОПТОЭЛЕКТРОНИКА**

Уровень образования: **высшее образование - магистратура**  
Направление подготовки / специальность: **11.04.04 Электроника и наноэлектроника**  
Направленность (профиль) / специализация: **Квантовая и оптическая электроника**  
Форма обучения: **очная**  
Факультет: **Факультет электронной техники (ФЭТ)**  
Кафедра: **Кафедра электронных приборов (ЭП)**  
Курс: **1**  
Семестр: **2**  
Учебный план набора 2021 года

**Объем дисциплины и виды учебной деятельности**

Виды учебной деятельности	2 семестр	Всего	Единицы
Лекционные занятия	36	36	часов
Практические занятия	52	52	часов
в т.ч. в форме практической подготовки	20	20	часов
Курсовая работа	18	18	часов
Самостоятельная работа	38	38	часов
Подготовка и сдача экзамена	36	36	часов
Общая трудоемкость	180	180	часов
(включая промежуточную аттестацию)	5	5	з.е.

Формы промежуточной аттестация	Семестр
Экзамен	2
Курсовая работа	2

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели дисциплины

1. Целью изучения дисциплины является приобретение студентами знаний по физическим основам функционирования приборов квантовой электроники, оптической микро- и наноэлектроники, об их основных параметрах и характеристиках, условиях применения.

2. приобретение навыков решения типовых задач по расчету параметров перечисленных приборов в приложении к научно-прикладным исследованиям и разработкам.

### 1.2. Задачи дисциплины

1. изучение студентами знаний о физических процессах, происходящих в квантовых системах в условиях нарушения термодинамического равновесия, полупроводниковом материале и структурах на его основе, в том числе наноразмерных структурах.

2. изучение принципов работы современных приборов квантовой электроники, опто- и наноэлектроники по генерации, приему и преобразованию оптического излучения.

3. изучение и освоение студентами современных методов описания и анализа электронных и оптических процессов в полупроводниковых гетероструктурах.

4. освоение студентами подходов к решению типовых задач по расчету параметров приборов квантовой электроники и оптоэлектроники.

## 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.01.01.04.

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
<b>Универсальные компетенции</b>		
-	-	-
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>		
-	-	-
<b>Профессиональные компетенции</b>		

ПКР-7. Способен разрабатывать технологическую документацию на проектируемые устройства, приборы и системы электронной техники	ПКР-7.1. Знает методы отработки и внедрения новых материалов, технологических процессов и оборудования производства изделий микроэлектроники.	Знание методов отработки и внедрения новых материалов, технологических процессов и оборудования производства изделий микроэлектроники.
	ПКР-7.2. Умеет разрабатывать технологическую документацию на проектируемые устройства, приборы и системы электронной техники.	Умение разрабатывать технологическую документацию на проектируемые устройства, приборы и системы электронной техники.
	ПКР-7.3. Владеет навыками организации проведения работ по подготовке производства.	Владение навыками организации проведения работ по подготовке производства.
ПКР-10. Готов формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач	ПКР-10.1. Знает принципы построения и функционирования изделий микро- и нанoeлектроники.	Знание принципов построения и функционирования изделий микро- и нанoeлектроники.
	ПКР-10.2. Умеет рассчитывать предельно допустимые и предельные режимы работы изделий микро- и нанoeлектроники.	Умение рассчитывать предельно допустимые и предельные режимы работы изделий микро- и нанoeлектроники.
	ПКР-10.3. Владеет навыками выбора теоретических и экспериментальных методов исследования изделий микро- и нанoeлектроники.	Владение навыками выбора теоретических и экспериментальных методов исследования изделий микро- и нанoeлектроники.
ПКР-13. Способен к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов	ПКР-13.1. Знает способы организации и проведения экспериментальных исследований.	Знание способов организации и проведения экспериментальных исследований.
	ПКР-13.2. Умеет самостоятельно проводить экспериментальные исследования.	Умение самостоятельно проводить экспериментальные исследования.
	ПКР-13.3. Владеет навыками проведения исследования с применением современных средств и методов.	Владение навыками проведения исследования с применением современных средств и методов.

**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
		2 семестр
<b>Контактная аудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего</b>	106	106
Лекционные занятия	36	36
Практические занятия	52	52
Курсовая работа	18	18
<b>Самостоятельная работа обучающихся, в т.ч. контактная внеаудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего</b>	38	38
Написание отчета по курсовой работе	31	31
Подготовка к тестированию	7	7
<b>Подготовка и сдача экзамена</b>	36	36
<b>Общая трудоемкость (в часах)</b>	180	180
<b>Общая трудоемкость (в з.е.)</b>	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	Курс. раб.	Сам. раб., ч	Всего часов (без экзамена)	Формируемые компетенции
<b>2 семестр</b>						
1 История развития оптоэлектроники	1	4	18	3	26	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7
2 Основные понятия физики наносистем	4	4		6	14	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7
3 Физика систем пониженной размерности	9	16		6	31	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7
4 Наноструктуры и сверхрешетки	4	6		5	15	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7
5 Процессы переноса заряда в наноструктурах в электрическом поле	6	4		6	16	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7
6 Оптические свойства наноразмерных гетероструктур	6	4		6	16	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7
7 Электрооптические эффекты для управления оптическим излучением	6	14		6	26	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7
Итого за семестр	36	52	18	38	144	
Итого	36	52	18	38	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
<b>2 семестр</b>			
1 История развития оптоэлектроники	Описана диалектика становления и развития оптоэлектроники 3D полупроводников и оптоэлектроника, использующая элементы наноэлектроники.	1	ПКР-10
	Итого	1	
2 Основные понятия физики наносистем	Характерные длины в мезоскопических системах и основные объекты наноэлектроники.	4	ПКР-10
	Итого	4	
3 Физика систем пониженной размерности	3 Физика полупроводников пониженной размерности Двумерные квантовые наноструктуры. Одномерные квантовые наноструктуры. Нульмерные квантовые структуры. Поляризационные эффекты в наноструктурных объектах.	9	ПКР-10
	Итого	9	
4 Наноструктуры и сверхрешетки	4 Наноструктуры и сверхрешётки Гетероструктуры и гетеропереходы и их свойства Одиночные и множественные квантовые ямы и их свойства Сверхрешетки: типы сверхрешеток и их свойства 4	4	ПКР-10
	Итого	4	
5 Процессы переноса заряда в наноструктурах в электрическом поле	5 Процессы переноса заряда в наноструктурах в электрическом поле Продольный механизм переноса в квантовых ямах. Поперечный перенос в наноструктурах и сверхрешетках. Квантовый перенос в квантовых ямахяяя. евантовых проволоках, квантовых точках 6	6	ПКР-10
	Итого	6	
6 Оптические свойства наноразмерных гетероструктур	6 Оптические свойства наноразмерных гетероструктур Особенности люминесценции в квантовых ямах. Оптические свойства квантовых ям и сверхрешеток. Оптические свойства квантовых точек	6	ПКР-10
	Итого	6	

7 Электрооптические эффекты для управления оптическим излучением	7 Электрооптические эффекты для управления оптическим излучением Общие сведения об электрооптических эффектах в квантовых ямах и сверхрешетках. Эффект Франца-Келдыша в оптоэлектронике. Эффект двулучепреломления в 3D кристаллах и жидких кристаллах для оптоэлектроники. Квантово-размерный эффект Штарка в оптоэлектронике.	6	ПКР-10
	Итого	6	
	Итого за семестр	36	
	Итого	36	

### 5.3. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 5.3.

Таблица 5.3. – Наименование практических занятий (семинаров)

Названия разделов (тем) дисциплины	Наименование практических занятий (семинаров)	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
<b>2 семестр</b>			
1 История развития оптоэлектроники	Задачи на вычисление излучающих и токопроводящих свойств элементов 3D оптоэлектроники	4	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7
	Итого	4	
2 Основные понятия физики наносистем	Задачи на вычисление длины волны де Бройля, длины экранирования в различных полупроводниковых материалах	4	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7
	Итого	4	
3 Физика систем пониженной размерности	Задачи на вычисление базовых параметров (ширины запрещенной зоны, эффективных масс носителей заряда) полупроводниковых материалов сложного состава Задачи на вычисление энергетического спектра прямоугольной и треугольной квантовых ям в различных полупроводниковых материалах. Задачи на вычисление энергетического спектра квантовых ям комбинированного профиля с учетом взаимодействия ям различного размера и профиля.	16	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7
	Итого	16	
4 Наноструктуры и сверхрешетки	Задачи на вычисление энергетического спектра сверхрешеток по методу Кронига-Пенни.	6	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7
	Итого	6	

5 Процессы переноса заряда в наноструктурах в электрическом поле	5 Процессы переноса заряда в наноструктурах в электрическом поле Задачи на вычисление токопроводящих свойств квантовых ям и квантовых проволок с учетом двумерных квантовых состояний Ландауэра.	4	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7
	Итого	4	
6 Оптические свойства наноразмерных гетероструктур	6 Оптические свойства наноразмерных гетероструктур Задачи по вычислению излучающих свойств квантовых ям и квантовых точек.	4	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7
	Итого	4	
7 Электрооптические эффекты для управления оптическим излучением	7 Электрооптические эффекты для управления оптическим излучением Задачи по вычислению параметров объемных и наноразмерных элементов оптоэлектроники для модуляции и отклонения оптического излучения.	14	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7
	Итого	14	
Итого за семестр		52	
Итого		52	

#### 5.4. Лабораторные занятия

Не предусмотрено учебным планом

#### 5.5. Курсовая работа

Содержание, трудоемкость контактной аудиторной работы и формируемые компетенции в рамках выполнения курсовой работы представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Содержание контактной аудиторной работы и ее трудоемкость

Содержание контактной аудиторной работы	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
<b>2 семестр</b>		
Обсуждение при личном контакте со студентами основных вопросов по выполнению курсовых работ, дополнительных пояснений к самостоятельной работе студентов и вопросов по базовым понятиям оптической наноэлектроники.	18	ПКР-10, ПКР-13
Итого за семестр	18	
Итого	18	

Примерная тематика курсовых работ:

1. Численный расчет вольтамперной характеристики гетероструктуры с множественными квантовыми ямами на основе барьера (табулирование теоретических выражений с подгонкой численных значений параметров энергетического спектра гетероструктуры Пуассона).
2. Расчет энергетического спектра множественных квантовых ям гетероструктуры с заданным значением состава, ширины квантовой ямы и периода гетероструктуры, числом квантовых ям. Форма квантовой ямы: прямоугольная, параболическая.
3. Расчет энергетического спектра сверхрешетки на основе гетероструктуры с заданным

значением состава, ширины квантовой ямы и периода гетероструктуры. Форма квантовой ямы: прямоугольная, параболическая.

4. Расчет энергетического спектра квантовой точки гетероструктуры с заданным значением состава, ширины квантовой ямы и периода гетероструктуры. Форма квантовой точки: кубическая квантовая точка; прямоугольная; сферическая.
5. Исследование структуры квантовых ям в гетероструктурах методом вольт-амперных характеристик (метод токового дифференцирования).
6. Исследование структуры квантовых ям в гетероструктурах методом вольт-фарадных характеристик (метод емкостного профилирования).
7. Исследование токовых свойств квантовых наноструктур и их связь с деградационными свойствами (исследование вольтамперной характеристики гетероструктуры и сравнение с ее излучательной характеристикой до и после термополевых испытаний).
8. Исследование излучательной способности наноструктур с варьируемым числом квантовых ям (сравнение излучения диффузионного p-n перехода и гетероструктуры с множественными квантовыми ямами).

### 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
<b>2 семестр</b>				
1 История развития оптоэлектроники	Написание отчета по курсовой работе	2	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7	Курсовая работа, Отчет по курсовой работе
	Подготовка к тестированию	1	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7	Тестирование
	Итого	3		
2 Основные понятия физики наносистем	Написание отчета по курсовой работе	5	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7	Курсовая работа, Отчет по курсовой работе
	Подготовка к тестированию	1	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7	Тестирование
	Итого	6		
3 Физика систем пониженной размерности	Написание отчета по курсовой работе	5	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7	Курсовая работа, Отчет по курсовой работе
	Подготовка к тестированию	1	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7	Тестирование
	Итого	6		
4 Наноструктуры и сверхрешетки	Написание отчета по курсовой работе	4	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7	Курсовая работа, Отчет по курсовой работе
	Подготовка к тестированию	1	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7	Тестирование
	Итого	5		



5 Процессы переноса заряда в наноструктурах в электрическом поле	Написание отчета по курсовой работе	5	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7	Курсовая работа, Отчет по курсовой работе
	Подготовка к тестированию	1	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7	Тестирование
	Итого	6		
6 Оптические свойства наноразмерных гетероструктур	Написание отчета по курсовой работе	5	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7	Курсовая работа, Отчет по курсовой работе
	Подготовка к тестированию	1	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7	Тестирование
	Итого	6		
7 Электрооптические эффекты для управления оптическим излучением	Написание отчета по курсовой работе	5	ПКР-10	Курсовая работа, Отчет по курсовой работе
	Подготовка к тестированию	1	ПКР-10	Тестирование
	Итого	6		
Итого за семестр		38		
	Подготовка и сдача экзамена	36		Экзамен
Итого		74		

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

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов учебной деятельности 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.	Курс. раб.	Сам. раб.	
ПКР-7		+	+	+	Курсовая работа, Отчет по курсовой работе, Тестирование, Экзамен
ПКР-10	+	+	+	+	Курсовая работа, Отчет по курсовой работе, Тестирование, Экзамен
ПКР-13		+	+	+	Курсовая работа, Отчет по курсовой 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
<b>2 семестр</b>				
Тестирование	15	25	30	70

Экзамен				30
Итого максимум за период	15	25	30	100
Нарастающим итогом	15	40	70	100

Балльные оценки для курсовой работы представлены в таблице 6.1.1.

Таблица 6.1.1 – Балльные оценки для курсовой работы

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
<b>2 семестр</b>				
Отчет по курсовой работе	25	25	50	100
Итого максимум за период	25	25	50	100
Нарастающим итогом	25	50	100	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	E (посредственно)
	60 – 64	
2 (неудовлетворительно) (не зачтено)	Ниже 60 баллов	F (неудовлетворительно)

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 7.1. Основная литература

1. Полупроводниковая оптоэлектроника. Физические основы современной оптоэлектроники: учебное пособие/ В.Н. Давыдов. - Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники. 2021. - 142 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 5 экз.).

2. Нанoeлектроника [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Сахаров Ю. В., Троян П. Е. - 2010. -88 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/537>.

## 7.2. Дополнительная литература

1. Борисенко, Виктор Евгеньевич. Нанoeлектроника [Текст] : учебное пособие для вузов /В. Е. Борисенко, А. И. Воробьева, Е. А. Уткина. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. - 224с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 81 экз.).

2. Игнатов, Александр Николаевич. Оптоэлектроника и нанофотоника [Текст] : учебное пособие для вузов / А. Н. Игнатов. - СПб. : Лань, 2011. - 539, [5] с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 15 экз.).

## 7.3. Учебно-методические пособия

### 7.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Физические основы оптоэлектроники: Учебно-методическое пособие для студентов направлений подготовки «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» и «Квантовые и оптоэлектронные приборы и устройства» / В. Н. Давыдов - 2016. 92 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/5964>.

2. Квантовые и оптоэлектронные приборы и устройства: Методические указания к практическим занятиям / А. С. Мягков - 2012. 53 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/2495>.

### 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

1. 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 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 курсовой работы**

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, 233 ауд.;
- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 209 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 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 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 История развития оптоэлектроники	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7	Отчет по курсовой работе	Примерный перечень тематик курсовых работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
2 Основные понятия физики наносистем	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7	Отчет по курсовой работе	Примерный перечень тематик курсовых работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
3 Физика систем пониженной размерности	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7	Отчет по курсовой работе	Примерный перечень тематик курсовых работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
4 Наноструктуры и сверхрешетки	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7	Отчет по курсовой работе	Примерный перечень тематик курсовых работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
5 Процессы переноса заряда в наноструктурах в электрическом поле	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7	Отчет по курсовой работе	Примерный перечень тематик курсовых работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов

6 Оптические свойства наноразмерных гетероструктур	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7	Отчет по курсовой работе	Примерный перечень тематик курсовых работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов
7 Электрооптические эффекты для управления оптическим излучением	ПКР-10, ПКР-13, ПКР-7	Отчет по курсовой работе	Примерный перечень тематик курсовых работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
		Экзамен	Перечень экзаменационных вопросов

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
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 или Знать на уровне <b>ориентирования</b> , 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 <b>репродуктивном</b> уровне. Обучающихся знает изученный элемент содержания репродуктивно: произвольно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях.
4 (хорошо)	Знать, уметь, владеть на <b>аналитическом</b> 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 <b>системном</b> 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. Что такое квантовая яма?
  - а) Это слой полупроводникового материала с шириной запрещённой зоной, больше чем ширина запрещенной зоны в окружающих областях.
  - б) Это слой полупроводникового материала с шириной запрещённой зоной, больше чем ширина запрещенной зоны в окружающих областях, и размерами больше длины волны де Бройля.
  - в) Это слой полупроводникового материала с шириной запрещённой зоной, меньше чем ширина запрещенной зоны в окружающих областях, и размерами больше длины волны де Бройля.
  - г) Это слой полупроводникового материала с шириной запрещённой зоной, меньше чем ширина запрещенной зоны в окружающих областях, и размерами по одной координате меньше длины волны де Бройля
2. Что такое квантовая проволока?
  - а) Это проволоко-подобный полупроводник с шириной запрещенной зоны больше ширины зоны окружающей среды.
  - б) Это тонкая проволока, изготовленная из полупроводника с малой шириной запрещенной зоны.
  - в) Это нанокристаллический объект из полупроводника с малой шириной запрещенной зоны и имеющий толщину больше длины волны де Бройля, окруженный полупроводником с большой шириной запрещенной зоны.
  - г) Это нанокристаллический объект из полупроводника с большой шириной запрещенной зоны и имеющий толщину больше длины волны де Бройля.
3. Что такое квантовая точка?
  - а) Это крупинка полупроводникового материала размерами больше длины волны де Бройля и имеющего большую ширину запрещенной зоны.
  - б) Это крупинка полупроводникового материала, имеющего большую ширину запрещенной зоны.
  - в) Это крупинка полупроводникового материала размерами меньше длины волны де Бройля, окруженная материалом, с большой шириной запрещенной зоны.
  - г) Это крупинка полупроводникового материала размерами меньше длины волны де Бройля, окруженная материалом с малой шириной запрещенной зоны.

4. Что такое функция плотности состояний для квантовой ямы?
  - а) Это функция, показывающая распределение упругих свойств материала квантовой ямы по её глубине.
  - б) Это функция, показывающая количество электронов, находящихся в квантовой яме по её толщине.
  - в) Это функция, показывающая сколько разрешенных состояний имеется в квантовой яме на единицу её толщины.
  - г) Это функция, показывающая сколько разрешенных состояний имеется в квантовой яме на единичный интервал энергии.
5. Как выглядит функция плотности состояний для квантовой проволоки?
  - а) Это параболическая зависимость числа электронов по длине проволоки.
  - б) Это гиперболическая зависимость числа уровней размерного квантования по поперечному сечению проволоки.
  - в) Это экспоненциальная зависимость числа уровней размерного квантования по поперечному сечению проволоки.
  - г) Это зависимость числа уровней размерного квантования в единичном интервале энергии.
6. Как выглядит функция плотности состояний для квантовой точки?
  - а) Это линейный спектр в виде числа уровней размерного квантования.
  - б) Это эквидистантный спектр уровней разрешенных состояний электронов.
  - в) Это параболический спектр уровней разрешенных состояний для электронов.
  - г) Это экспоненциальный спектр запрещенных состояний для электронов.
7. Что такое длина волны де Бройля?
  - а) Это расстояние, которое проходит волна де Бройля в кристалле.
  - б) Это расстояние, которое должен пройти электрон в кристалле прежде чем из частицы он превратится в волну.
  - в) Это расстояние, которое должен пройти электрон в кристалле прежде чем из волны он превратится в частицу.
  - г) Это толщина потенциальной ямы, находясь в которой электрон превращается из частицы в волну.
8. Как зависит длина волны де Бройля от энергии частицы?
  - а) Длина волны де Бройля не зависит от энергии.
  - б) Длина волны де Бройля линейно зависит от энергии электрона.
  - в) Длина волны де Бройля экспоненциально зависит от энергии электрона.
  - г) Длина волны де Бройля линейно зависит от энергии электрона обратно пропорционально корню из энергии.
9. Как зависит длина волны де Бройля от массы частицы?
  - а) Длина волны де Бройля не зависит от массы частицы.
  - б) Длина волны де Бройля линейно зависит от массы электрона обратно пропорционально корню из массы.
  - в) Длина волны де Бройля линейно зависит от массы электрона пропорционально корню из энергии.
  - г) Длина волны де Бройля линейно экспоненциально зависит от массы электрона.
10. Чем отличается сверхрешетка от множества квантовой ямы?
  - а) Сверхрешетка представляет собой множество невзаимодействующих между собой квантовых точек равномерно распределенных по объему кристалла.
  - б) Сверхрешетка представляет собой множество невзаимодействующих между собой квантовых ям, равномерно распределенных по объему кристалла.
  - в) Сверхрешетка представляет собой множество взаимодействующих между собой квантовых ям, равномерно распределенных по объему кристалла.
  - г) Сверхрешетка представляет собой множество взаимодействующих между собой квантовых ям, случайным образом распределенных по объему кристалла.

### 9.1.2. Перечень экзаменационных вопросов

1. Свойства основных объектов наноэлектроники: квантовых ям, квантовых проволок, квантовых точек, множественных квантовых ям, сверхрешёток. Условие возникновения размерного квантования.



2. Поперечный перенос в наноструктурах: резонансное туннелирование в наноструктурах, токопротекание в сверхрешётках и блоховские осцилляции, образование штарковских лестниц, образование областей с отрицательным дифференциальным сопротивлением.
3. Поведение наноструктур в постоянном электрическом поле. Токопротекание в квантовых ямах, проводимость квантовой проволоки, кулоновская блокада переноса заряда.
4. Квантовые ямы: строение, возможные типы квантовых ям, их энергетический и долинный спектры, вид функции плотности состояний в квантовой яме (квантовые ямы прямоугольной формы, параболической формы и треугольной формы).
5. Квантовые проволоки и квантовые точки: строение, их энергетический и долинный спектры, вид функции плотности состояний, роль упругих напряжений в формировании долинного спектра валентной зоны. Роль экситонных явления в квантовых ямах.
6. Процессы переноса заряда в квантовых наноструктурах: вид функции плотности состояний в проволоке, токопротекание в квантовой проволоке, формула Ландауэра, токопротекание в квантовой точке, вид функции плотности состояний в квантовой точке, кулоновская блокада.
7. Понятие сверхрешётки в наноэлектронике. Её типы, энергетические диаграммы и спектры энергий электронов, его зависимость от периода трансляции решётки.
8. Оптические свойства наноразмерных систем: оптические свойства квантовых ям и сверхрешеток, оптические свойства квантовых точек (уширение запрещенной зоны, повышение силы осциллятора, уширение спектров излучения).
9. Эффект Франца-Келдыша в квантово-размерных объектах: физическая суть эффекта и его применение.
10. Квантово-размерный эффект Штарка: физическая суть эффекта и его применение.

### **9.1.3. Примерный перечень вопросов для защиты курсовой работы**

1. Какова физическая причина размерного квантования в полупроводниковых элементах?
2. Поясните физический смысл длины волны де Бройля?
3. Почему введение квантовых ям позволяет увеличить коэффициент полезного действия источники излучения типа лазер и светодиод?
4. Какова суть квантово-размерного эффекта Штарка?
5. Какова суть эффекта Франца-Келдыша?
6. По какой причине эффект двулучепреломления используют для модуляции оптического излучения?
7. В чем различие структуры множественных квантовых ям о сверхрешетки?

### **9.1.4. Примерный перечень тематик курсовых работ**

1. Численный расчет вольтамперной характеристики гетероструктуры с множественными квантовыми ямами на основе барьера (табулирование теоретических выражений с подгонкой численных значений параметров энергетического спектра гетероструктуры Пуассона).
2. Расчет энергетического спектра множественных квантовых ям гетероструктуры с заданным значением состава, ширины квантовой ямы и периода гетероструктуры, числом квантовых ям. Форма квантовой ямы: прямоугольная, параболическая.
3. Расчет энергетического спектра сверхрешетки на основе гетероструктуры с заданным значением состава, ширины квантовой ямы и периода гетероструктуры. Форма квантовой ямы: прямоугольная, параболическая.
4. Расчет энергетического спектра квантовой точки гетероструктуры с заданным значением состава, ширины квантовой ямы и периода гетероструктуры. Форма квантовой точки: кубическая квантовая точка; прямоугольная; сферическая.
5. Исследование структуры квантовых ям в гетероструктурах методом вольт-амперных характеристик (метод токового дифференцирования).
6. Исследование структуры квантовых ям в гетероструктурах методом вольт-фарадных характеристик (метод емкостного профилирования).
7. Исследование токовых свойств квантовых наноструктур и их связь с деградационными свойствами (исследование вольтамперной характеристики гетероструктуры и сравнение с ее излучательной характеристикой до и после термополевых испытаний).
8. Исследование излучательной способности наноструктур с варьируемым числом

квантовых ям (сравнение излучения диффузионного p-n перехода и гетероструктуры с множественными квантовыми ямами).

## 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.

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.

Основные методические рекомендации касаются организации и контроля выполнения самостоятельных заданий.

Структура подачи лекционного материала. Среди разнообразных методов наибольшая активность студентов наблюдается при применении технологии «интенсивной педагогики» в виде «продвинутой конферентной обзорной лекции», совмещенной с семинаром. Важно на фоне общих учебных заданий найти «изюминку» в каждом задании студента и показать актуальность и перспективы применения решения. Также важно показать достижения конкретных выпускников по предложенной тематике.

Практические занятия. Интерес к заданию появляется тогда, когда у него получаются решения по предложенным заданиям. Выполнение задания учитывает возможности и наклонности студента и позволяет предложить творческое развитие отдельных частей задания.

Защита самостоятельной (курсовой) работы. Наибольший интерес к развитию дает научно-техническая конференция, где каждый студент выступает с сообщением о своей работе. При подготовке к выступлению у студента происходит переоценка своей деятельности, прирост команды энтузиастов к развитию работы. Это способствует развитию общекультурных профессиональных компетенций, вырабатывает навыки грамотного изложения результатов работы и защиты их перед аудиторией.

## 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;
- 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.

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ЭП  
протокол № 87 от «20» 11 2020 г.

### СОГЛАСОВАНО:

Должность	Инициалы, фамилия	Подпись
Заведующий выпускающей каф. ЭП	С.М. Шандаров	Согласовано, ab3ff0e2-dc9a-420c- 9fb4-5f882facc349
Заведующий обеспечивающей каф. ЭП	С.М. Шандаров	Согласовано, ab3ff0e2-dc9a-420c- 9fb4-5f882facc349
Начальник учебного управления	Е.В. Саврук	Согласовано, fa63922b-1fce-4aba- 845d-9ce7670b004c

### ЭКСПЕРТЫ:

Доцент, каф. ЭП	А.И. Аксенов	Согласовано, d90d5f87-f1a9-4440- b971-ce4f7e994961
Профессор, каф. ЭП	Л.Н. Орликов	Согласовано, 8afa57b7-3fcf-44bc- 922a-3c3f168876e6

### РАЗРАБОТАНО:

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