

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт физики



*подписано электронно-цифровой подписью*

## **Программа дисциплины**

Квантовые электронные свойства наносистем

Направление подготовки: 28.03.01 - Нанотехнологии и микросистемная техника

Профиль подготовки: Синтез и диагностика наноматериалов, компоненты микро- и наноэлектронной техники

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2023

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий
  - 4.1. Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)
  - 4.2. Содержание дисциплины (модуля)
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)
11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)
12. Средства адаптации преподавания дисциплины (модуля) к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья
13. Приложение №1. Фонд оценочных средств
14. Приложение №2. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
15. Приложение №3. Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Программу дисциплины разработал(а)(и): инженер 1 категории Абдуллин А.Ф. (Кафедра физики твердого тела, Отделение физики), AyFAbdullin@kpfu.ru

**1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО**

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль), должен обладать следующими компетенциями:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОПК-1	Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе применения естественнонаучных и общеинженерных знаний, методов математического анализа и моделирования
ПК-1	Способен проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано-и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен знать:

- физические процессы, происходящие в структурах, имеющих размеры 10-100 нм;
- технологические особенности синтеза новых полупроводниковых материалов и построения на их основе наноразмерных структур для электроники;
- физические основы наноэлектроники - условия возникновения размерного квантования электронного газа в полупроводниковых структурах, специфические эффекты, возникающими вследствие такого квантования;
- механизмы переноса носителей заряда в низкоразмерных системах и полупроводниковых приборах на основе таких систем;
- фотоэлектрические, оптические и люминесцентные явления в гетероструктурах;
- применение наноразмерных структур в электронной технике.

Должен уметь:

измерять на современном оборудовании физические параметры полупроводниковых приборов на основе гетероструктур.

Должен владеть:

проведением экспериментальных исследований по синтезу и анализу материалов и компонентов нано- и микросистемной техники;  
описанием проводимых исследований, анализом результатов, подготовкой данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций

Должен демонстрировать способность и готовность:

- системного научного анализа проблем (как природных, так и профессиональных) различного уровня сложности.

**2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО**

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.В.13 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 28.03.01 "Нанотехнологии и микросистемная техника (Синтез и диагностика наноматериалов, компоненты микро- и наноэлектронной техники)" и относится к части ОПОП ВО, формируемой участниками образовательных отношений.

Осваивается на 4 курсе в 7 семестре.

**3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных(ые) единиц(ы) на 180 часа(ов).

Контактная работа - 85 часа(ов), в том числе лекции - 34 часа(ов), практические занятия - 34 часа(ов), лабораторные работы - 16 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 1 часа(ов).

Самостоятельная работа - 59 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 36 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: экзамен в 7 семестре.

**4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий**

**4.1 Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)**

N	Разделы дисциплины / модуля	Се- местр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)						Само- стоя- тель- ная ра- бота
			Лекции, всего	Лекции в эл. форме	Практи- ческие занятия, всего	Практи- ческие в эл. форме	Лабора- торные работы, всего	Лабора- торные в эл. форме	
1.	Тема 1. Физические свойства основных материалов для формирования гетероструктур.	7	2	0	2	0	0	0	3
2.	Тема 2. Светодиоды с высоким внутренним квантовым выходом излучения.	7	4	0	2	0	0	0	4
3.	Тема 3. Сверхрешетки.	7	2	0	2	0	0	0	3
4.	Тема 4. Молекулярно-лучевая эпитаксия и металлоорганическая газофазная эпитаксия.	7	2	0	4	0	0	0	6
5.	Тема 5. Методы исследования поверхности гетероструктур.	7	2	0	4	0	0	0	6
6.	Тема 6. Размерное квантование электронного газа.	7	2	0	2	0	0	0	3
7.	Тема 7. Электрон в прямоугольной и треугольной потенциальных ямах.	7	2	0	2	0	0	0	3
8.	Тема 8. Туннелирование электрона и надбарьерный перенос электронов через потенциальные барьеры наноразмеров.	7	2	0	2	0	0	0	3
9.	Тема 9. Баллистический транспорт в наноструктурах.	7	2	0	2	0	0	0	3
10.	Тема 10. Плотность состояний в электронных системах пониженной размерности.	7	2	0	2	0	0	0	3
11.	Тема 11. Одноэлектроника. Одноэлектронное туннелирование.	7	3	0	2	0	0	0	3
12.	Тема 12. Квантовый эффект Холла.	7	2	0	2	0	0	0	3
13.	Тема 13. Спиновые эффекты в наносистемах.	7	2	0	2	0	0	0	3
14.	Тема 14. Квантовые транзисторы.	7	3	0	2	0	0	0	3
15.	Тема 15. Применение наноразмерных структур в оптоэлектронных приборах.	7	2	0	2	0	0	0	3
16.	Тема 16. Лаб. работа 'Спектры плазмонного резонанса наночастиц серебра'.	7	0	0	0	0	6	0	3
17.	Тема 17. Лаб. работа 'Спектры светодиодов на гетероструктурах'.	7	0	0	0	0	6	0	2
19.	Тема 19. Лаб. работа 'Туннельный диод'.	7	0	0	0	0	4	0	2
	Итого		34	0	34	0	16	0	59

## 4.2 Содержание дисциплины (модуля)

### Тема 1. Физические свойства основных материалов для формирования гетероструктур.

Физические свойства основных материалов для формирования гетероструктур полупроводниковых соединений АЗВ5, А2В6, А4В6. Зависимость основных физических свойств (ширина запрещенной зоны, параметр кристаллической решетки и т.д.) от состава твердых растворов полупроводников. Некоторые вопросы технологии получения совершенных гетероструктур. Гетероструктуры 1 и 2 типов.

### Тема 2. Светодиоды с высоким внутренним квантовым выходом излучения.

Излучательная и безызлучательная рекомбинации пар электрон-дырка. Внутренний и внешний квантовый выход излучения. Коэффициент полезного действия. Зависимость рекомбинации от температуры и легирования. Спектр излучения. Методы получения высоких значений внутреннего квантового выхода излучения. Двойные гетероструктуры.

### Тема 3. Сверхрешетки.

Согласование параметров кристаллических решеток. Сверхрешетки. Практическая реализация сверхрешеток. Моделирование атомных конфигураций. Модуляционно-легированные и дельта-легированные структуры. Размерное квантование фононного спектра в сверхрешетках. Уменьшение рассеяния электронов на оптических фонах в сверхрешетках - как этого добиться.

### Тема 4. Молекулярно-лучевая эпитаксия и металлоорганическая газозная эпитаксия.

Молекулярно-лучевая эпитаксия. Метод термического, магнетронного и ионно-плазменного напыления тонких пленок. Преимущества и недостатки. Ионная имплантация как метод модификации физических свойств. Параметры ионно-имплантированных слоев (коэффициент заполнения, средний проекционный пробег). Радиационные дефекты. Ионно-лучевой синтез. Получение гетероструктур методом МОГФЭ. Преимущества и недостатки метода МОГФЭ.

### Тема 5. Методы исследования поверхности гетероструктур.

Методы элементного анализа. Оже-спектроскопия, рентгеноструктурный анализ в наклонных пучках и рентгенофлуоресцентный анализ. Исследование поверхности методами электронной микроскопии. Просвечивающие (ПЭМ) и растровые (РЭМ) электронные микроскопы. Сканирующая зондовая, сканирующая силовая и магнитно-силовая микроскопия.

### Тема 6. Размерное квантование электронного газа.

Фундаментальные явления в низкоразмерных структурах. Размерное квантование электронного газа. Двумерный (квантовые колодцы), одномерный (квантовые нити) и нуль-мерный (квантовые точки) электронный газ. Условия наблюдения квантовых размерных эффектов. Структуры с квантовым ограничением, создаваемым внешним электрическим полем.

### Тема 7. Электрон в прямоугольной и треугольной потенциальных ямах.

Решение уравнения Шредингера для прямоугольной и треугольной потенциальных ям. Волновые функции и энергии электрона в глубоких и мелких потенциальных ямах. Особенности образования потенциальных ям в МОП и гетероструктурах. Методы регулирования поверхностной плотности носителей заряда в МОП структурах.

### Тема 8. Туннелирование электрона и надбарьерный перенос электронов через потенциальные барьеры наноразмеров.

Туннелирование электрона через прямоугольные и треугольные потенциальные барьеры. Зависимость вероятности туннелирования от ширины потенциального барьера. Надбарьерный перенос электронов через потенциальные барьеры наноразмеров. Коэффициент прозрачности потенциальных барьеров произвольной формы.

### Тема 9. Баллистический транспорт в наноструктурах.

Баллистический транспорт носителей заряда в наноструктурах. Особенности транспорта носителей заряда в твердотельных наноструктурах. Длина свободного пробега и длина фазовой когерентности. Интерференция электронных волн. Перенос носителей заряда в низкоразмерных структурах и приборы на их основе. Отрицательное сопротивление изгиба.

### Тема 10. Плотность состояний в электронных системах пониженной размерности.

Зависимость плотности электронных состояний от энергии в квантовых колодцах, квантовых нитях, квантовых точках и сверхрешетках. Статистика носителей в низкоразмерных структурах. Время релаксации и подвижность носителей в двумерном электронном газе. Рассеяние на примесях, на стенках квантового колодца.

### Тема 11. Одноэлектроника. Одноэлектронное туннелирование.

Условия наблюдения одноэлектронного туннелирования. Туннелирование электронов в условиях кулоновской блокады. Туннелирование через квантовую точку. "Кулоновская лестница". Сотуннелирование. Одноэлектроника. Структура одноэлектронного транзистора. Одноэлектронная ловушка. Резонансное туннелирование и приборы на его основе.

### Тема 12. Квантовый эффект Холла.

Энергетический спектр и плотность состояний двумерных систем в магнитном поле. Уровни Ландау. Кинетические явления в сильных магнитных полях. Целочисленный квантовый эффект Холла (КЭХ). Эффекты локализации и их роль в КЭХ. Дробный квантовый эффект Холла. Связь КЭХ с квантованием проводимости в нитях.

#### **Тема 13. Спиновые эффекты в наносистемах.**

Особенности транспорта носителей заряда в спин-поляризованных структурах. Длина спиновой релаксации. Спин-поляризованный транспорт в твердотельных устройствах. Спинтроника. Эффект гигантского магнитосопротивления. Спин-контролируемое туннелирование электронов через слоистую структуру ферромагнетик/диэлектрик/ферромагнетик.

#### **Тема 14. Квантовые транзисторы.**

Магнитные примеси в объёмных металлах. Эффект Кондо в квантовых точках. Квантовые интерференционные транзисторы. Спиновый полевой транзистор. Время-пролетный спиновый транзистор. Магнитный туннельный транзистор. Транзисторы с высокой подвижностью заряда. Транзисторы на горячий электронах. Резонансно-туннельный транзистор на квантовой точке.

#### **Тема 15. Применение наноразмерных структур в оптоэлектронных приборах.**

Нанофотоника. Уменьшение потерь в инжекционных полупроводниковых лазерах на гетероструктурах за счет образования потенциальных ям в узкозонной части ДГС. Полупроводниковые лазеры на квантовых точках. Квантово-каскадные лазеры. Полупроводниковые фотоприемники на квантовых колодцах и квантовых точках.

#### **Тема 16. Лаб. работа 'Спектры плазмонного резонанса наночастиц серебра'.**

Измерение спектров плазмонного резонанса наночастиц серебра в диэлектрической матрице. Расчет размеров наночастиц. .

#### **Тема 17. Лаб. работа 'Спектры светодиодов на гетероструктурах'.**

Измерение спектров светодиодов на гетероструктурах. Построение спектральных зависимостей. Анализ результатов. .

#### **Тема 19. Лаб. работа 'Туннельный диод'.**

Измерение ВАХ туннельного диода. Анализ результатов. .

### **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)**

Самостоятельная работа обучающихся выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Самостоятельная работа подразделяется на самостоятельную работу на аудиторных занятиях и на внеаудиторную самостоятельную работу. Самостоятельная работа обучающихся включает как полностью самостоятельное освоение отдельных тем (разделов) дисциплины, так и проработку тем (разделов), осваиваемых во время аудиторной работы. Во время самостоятельной работы обучающиеся читают и конспектируют учебную, научную и справочную литературу, выполняют задания, направленные на закрепление знаний и отработку умений и навыков, готовятся к текущему и промежуточному контролю по дисциплине.

Организация самостоятельной работы обучающихся регламентируется нормативными документами, учебно-методической литературой и электронными образовательными ресурсами, включая:

Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утвержден приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 6 апреля 2021 года №245)

Письмо Министерства образования Российской Федерации №14-55-99бин/15 от 27 ноября 2002 г. "Об активизации самостоятельной работы студентов высших учебных заведений"

Устав федерального государственного автономного образовательного учреждения "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Правила внутреннего распорядка федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Локальные нормативные акты Казанского (Приволжского) федерального университета

### **6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)**

Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) включает оценочные материалы, направленные на проверку освоения компетенций, в том числе знаний, умений и навыков. Фонд оценочных средств включает оценочные средства текущего контроля и оценочные средства промежуточной аттестации.

В фонде оценочных средств содержится следующая информация:

- соответствие компетенций планируемому результату обучения по дисциплине (модулю);
- критерии оценивания сформированности компетенций;
- механизм формирования оценки по дисциплине (модулю);
- описание порядка применения и процедуры оценивания для каждого оценочного средства;

- критерии оценивания для каждого оценочного средства;
- содержание оценочных средств, включая требования, предъявляемые к действиям обучающихся, демонстрируемым результатам, задания различных типов.

Фонд оценочных средств по дисциплине находится в Приложении 1 к программе дисциплины (модулю).

### 7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Освоение дисциплины (модуля) предполагает изучение основной и дополнительной учебной литературы. Литература может быть доступна обучающимся в одном из двух вариантов (либо в обоих из них):

- в электронном виде - через электронные библиотечные системы на основании заключенных КФУ договоров с правообладателями;

- в печатном виде - в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского. Обучающиеся получают учебную литературу на абонементе по читательским билетам в соответствии с правилами пользования Научной библиотекой.

Электронные издания доступны дистанционно из любой точки при введении обучающимся своего логина и пароля от личного кабинета в системе "Электронный университет". При использовании печатных изданий библиотечный фонд должен быть укомплектован ими из расчета не менее 0,5 экземпляра (для обучающихся по ФГОС 3++ - не менее 0,25 экземпляра) каждого из изданий основной литературы и не менее 0,25 экземпляра дополнительной литературы на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих данную дисциплину.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля), находится в Приложении 2 к рабочей программе дисциплины. Он подлежит обновлению при изменении условий договоров КФУ с правообладателями электронных изданий и при изменении комплектования фондов Научной библиотеки КФУ.

### 8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Квантовая яма с бесконечными стенками - [https://ru.wikipedia.org/wiki/Квантовая\\_яма\\_с\\_бесконечными\\_стенками](https://ru.wikipedia.org/wiki/Квантовая_яма_с_бесконечными_стенками)

Квантовый эффект Холла - [https://ru.wikipedia.org/wiki/Квантовый\\_эффект\\_Холла](https://ru.wikipedia.org/wiki/Квантовый_эффект_Холла)

Лазер на квантовых точках - <http://www.nanometer.ru/2009/03/22/12377431214279.html>

Треугольная квантовая яма - [https://ru.wikipedia.org/wiki/Треугольная\\_квантовая\\_яма](https://ru.wikipedia.org/wiki/Треугольная_квантовая_яма)

Туннелирование через прямоугольный барьер -

[https://ru.wikipedia.org/wiki/Туннелирование\\_через\\_прямоугольный\\_барьер](https://ru.wikipedia.org/wiki/Туннелирование_через_прямоугольный_барьер)

### 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Вид работ	Методические рекомендации
лекции	При конспектировании лекций стараться кратко записать все, а не просто переписывать с доски только формулы. Иногда приходится сталкиваться на экзамене с тем, что формулы написаны верно, а их физический смысл, допущения, сделанные при выводе, область применения того или иного соотношения студент не знает
практические занятия	Практические занятия проводятся в виде семинаров по темам, предложенным преподавателем. При подготовке к семинарам рекомендуется выделять в материале проблемные вопросы, затрагиваемые преподавателем на лекциях, и группировать информацию вокруг них. Желательно выделять в используемой литературе постановки вопросов, на которые разными авторам могут быть даны различные ответы
лабораторные работы	Перед выполнением лабораторной работы необходимо тщательно ознакомиться с основами теории и методики выполнения эксперимента. Пройти собеседование с преподавателем по этим вопросам, уточнить непонятные моменты, получить допуск на выполнение работы. Выполнить эксперимент, обработать результаты подготовить отчет в письменной форме

Вид работ	Методические рекомендации
самостоятельная работа	<p>Поскольку часть учебного материала отведена на самостоятельное изучение, то необходимо приступить к этому незамедлительно после указания преподавателя и освоить материал в отведенные им сроки. Материал следует изучить по доступным письменным и электронным источникам, о которых сообщит преподаватель.</p> <p>Схема изучения материала:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- постановка проблемы;</li> <li>- варианты решения;</li> <li>- аргументы в пользу тех или иных вариантов решения.</li> </ul> <p>На основе выделения этих элементов проще составлять собственную аргументированную позицию по рассматриваемому вопросу.</p> <p>При возникновении каких-либо трудностей с пониманием материала рекомендуется обратиться за помощью к лектору. Для этого можно лично подойти к преподавателю, либо написать ему электронное письмо, сформулировав в нём возникающие вопросы. К письму можно прикрепить какие-либо электронные материалы, связанные с возникшими вопросами</p>
экзамен	<p>При подготовке к экзамену необходимо опираться, прежде всего, на лекции, а также на источники, которые указаны в списке литературы. В каждом билете на экзамене содержится по два вопроса. Высокая положительная оценка выставляется при полном развернутом ответе на оба. Преподаватель оставляет за собой право задать дополнительные вопросы, связанные с основными вопросами билета</p>

**10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем, представлен в Приложении 3 к рабочей программе дисциплины (модуля).

**11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине (модулю) включает в себя следующие компоненты:

Помещения для самостоятельной работы обучающихся, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья) и оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду КФУ.

Учебные аудитории для контактной работы с преподавателем, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья).

Компьютер и принтер для распечатки раздаточных материалов.

Мультимедийная аудитория.

Специализированная лаборатория.

Специализированная лаборатория.

Специализированная лаборатория.

**12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья**

При необходимости в образовательном процессе применяются следующие методы и технологии, облегчающие восприятие информации обучающимися инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;
- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;
- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников - например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения - аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной, за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;

- применение дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;
- применение дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи:
- продолжительности сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, - не более чем на 90 минут;
- продолжительности подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, - не более чем на 20 минут;
- продолжительности выступления обучающегося при защите курсовой работы - не более чем на 15 минут.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учебным планом по направлению 28.03.01 "Нанотехнологии и микросистемная техника" и профилю подготовки "Синтез и диагностика наноматериалов, компоненты микро- и нанoeлектронной техники".

*Приложение 2  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
Б1.В.13 Квантовые электронные свойства наносистем*

**Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

Направление подготовки: 28.03.01 - Нанотехнологии и микросистемная техника

Профиль подготовки: Синтез и диагностика наноматериалов, компоненты микро- и нанoeлектронной техники

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2023

**Основная литература:**

1. Нанoeлектроника: теория и практика : учебник / В. Е. Борисенко, А. И. Воробьева, А. Л. Данилюк, Е. А. Уткина. - 5-е изд. - Москва : Лаборатория знаний, 2020. - 369 с. - ISBN 978-5-00101-732-5. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/151562> (дата обращения: 30.06.2023). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Смирнов, В. И. Нанoeлектроника, нанofотоника и микросистемная техника : учебное пособие / В. И. Смирнов. - Ульяновск : УлГТУ, 2017. - 280 с. - ISBN 978-5-9795-1726-1. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/170655> (дата обращения: 30.06.2023). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Шишкин, Г. Г. Нанoeлектроника. Элементы, приборы, устройства : учебное пособие / Г. Г. Шишкин, И. М. Агеев. - 3-е изд. (эл.). - Москва : Лаборатория знаний, 2015. - 411 с. - ISBN 978-5-9963-2652-5. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/66208> (дата обращения: 30.06.2023). - Режим доступа: для авториз. пользователей.

**Дополнительная литература:**

1. Игнатов, А. Н. Микросхемотехника и нанoeлектроника : учебное пособие / А. Н. Игнатов. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 528 с. - ISBN 978-5-8114-1161-0. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/210695> (дата обращения: 30.06.2023). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Шука, А. А. Нанoeлектроника : учебное пособие / А. А. Шука ; под редакцией А. С. Сигова. - 5-е изд. - Москва : Лаборатория знаний, 2020. - 345 с. - ISBN 978-5-00101-730-1. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/135510> (дата обращения: 30.06.2023). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Барыбин, А. А. Физико-технологические основы макро-, микро- и нанoeлектроники : учебное пособие / А. А. Барыбин, В. И. Томилин, В. И. Шаповалов. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2011. - 784 с. - ISBN 978-5-9221-1321-2. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/5258> (дата обращения: 30.06.2023). - Режим доступа: для авториз. пользователей.

*Приложение 3*  
*к рабочей программе дисциплины (модуля)*  
*Б1.В.13 Квантовые электронные свойства наносистем*

**Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

Направление подготовки: 28.03.01 - Нанотехнологии и микросистемная техника

Профиль подготовки: Синтез и диагностика наноматериалов, компоненты микро- и нанoeлектронной техники

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2023

Освоение дисциплины (модуля) предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Операционная система Microsoft Windows 7 Профессиональная или Windows XP (Volume License)

Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office 365 или Microsoft Office Professional plus 2010

Браузер Mozilla Firefox

Браузер Google Chrome

Adobe Reader XI или Adobe Acrobat Reader DC

Kaspersky Endpoint Security для Windows

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, учебно-методические комплексы, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Казанский (Приволжский) федеральный университет»  
Институт физики

**Фонд оценочных средств по дисциплине**  
Б1.В.ДВ.05.01 Квантовые электронные свойства наносистем

Направление подготовки: 28.03.01 - Нанотехнологии и микросистемная техника

Профиль подготовки: Синтез и диагностика наноматериалов, компоненты микро- и нанoeлектронной техники

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

### **1. СООТВЕТСТВИЕ КОМПЕТЕНЦИЙ ПЛАНИРУЕМЫМ РЕЗУЛЬТАТАМ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

### **2. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ**

### **3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОЦЕНОК ЗА ФОРМЫ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНУЮ АТТЕСТАЦИЮ**

### **4. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА, ПОРЯДОК ИХ ПРИМЕНЕНИЯ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ**

#### 4.1. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

##### *4.1.1. Контрольная работа 1*

4.1.1.1. Порядок проведения и процедура оценивания.

4.1.1.2. Критерии оценивания

4.1.1.3. Содержание оценочного средства

##### *4.1.2. Доклад + реферат*

4.1.2.1. Порядок проведения и процедура оценивания

4.1.2.2. Критерии оценивания

4.1.2.3. Содержание оценочного средства

##### *4.1.3. Контрольная работа 2*

4.1.3.1. Порядок проведения и процедура оценивания

4.1.3.2. Критерии оценивания

4.1.3.3. Содержание оценочного средства

##### *4.1.4. Лабораторная работа*

4.1.4.1. Порядок проведения и процедура оценивания

4.1.4.2. Критерии оценивания

4.1.4.3. Содержание оценочного средства

#### 4.2. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

##### *4.2.1. Зачет*

4.2.1.1. Порядок проведения.

4.2.1.2. Критерии оценивания.

4.2.1.3. Оценочные средства.

##### *4.2.2. Экзамен*

4.2.2.1. Порядок проведения.

4.2.2.2. Критерии оценивания.

4.2.2.3. Оценочные средства.

## 1. Соответствие компетенций планируемым результатам обучения по дисциплине

Код и наименование компетенции	Проверяемые результаты обучения для данной дисциплины	Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации
ОПК-1 способность решать задачи профессиональной деятельности на основе применения естественнонаучных и инженерных знаний, методов математического анализа и моделирования	<u>Знать</u> теоретические основы квантовой теории и физики конденсированного состояния; <u>Уметь</u> формулировать и доказывать некоторые результаты квантовой теории, применимые к наноструктурам; <u>Владеть</u> навыками решения задач по квантовой механике.	<b>Текущий контроль:</b> Контрольная работа 1 Доклад + реферат Контрольная работа 2 Лабораторная работа  <b>Промежуточная аттестация:</b> Зачет Экзамен
ПК-1 Способность проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано-и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий	<u>Знать</u> физические и математические законы и модели физических процессов, лежащих в основе принципов действия объектов нанотехнологии и микросистемной техники; <u>Уметь</u> решать задачи, использовать математический аппарат и численные методы компьютерного моделирования объектов нанотехнологии и микросистемной техники; <u>Владеть</u> математическим аппаратом и методами компьютерных технологий для моделирования объектов нанотехнологии и микросистемной техники.	<b>Текущий контроль:</b> Контрольная работа 1 Доклад + реферат Контрольная работа 2 Лабораторная работа  <b>Промежуточная аттестация:</b> Зачет Экзамен

## 2. Критерии оценивания сформированности компетенций

Компетенция	Зачтено			Не зачтено
	Высокий уровень (отлично) (86-100 баллов)	Средний уровень (хорошо) (71-85 баллов)	Низкий уровень (удовлетворительно) (56-70 баллов)	
ОПК-1	Успешное и систематическое знание теоретических основ квантовой теории и физики конденсированного состояния	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание теоретических основ квантовой теории и физики конденсированного состояния	В целом успешное, но не систематическое знание теоретических основ квантовой теории и физики конденсированного состояния	Фрагментарное знание теоретических основ квантовой теории и физики конденсированного состояния
	Успешное и систематическое умение формулировать и доказывать некоторые результаты квантовой теории, применимые к наноструктурам	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение формулировать и доказывать некоторые результаты квантовой теории, применимые к наноструктурам	В целом успешное, но не систематическое умение формулировать и доказывать некоторые результаты квантовой теории, применимые к наноструктурам	Фрагментарное умение формулировать и доказывать некоторые результаты квантовой теории, применимые к наноструктурам
	Успешное и систематическое владение навыками решения задач по квантовой механике	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками решения задач по квантовой механике	В целом успешное, но не систематическое владение навыками решения задач по квантовой механике	Фрагментарное владение навыками решения задач по квантовой механике
ПК-1	Успешное и систематическое знание	В целом успешное, но содержащее отдельные	В целом успешное, но не систематическое знание	Фрагментарное знание физических и

физических и математических законов и моделей физических процессов, лежащих в основе принципов действия объектов нанотехнологии и микросистемной техники	пробелы знание физических и математических законов и моделей физических процессов, лежащих в основе принципов действия объектов нанотехнологии и микросистемной техники	физических и математических законов и моделей физических процессов, лежащих в основе принципов действия объектов нанотехнологии и микросистемной техники	математических законов и моделей физических процессов, лежащих в основе принципов действия объектов нанотехнологии и микросистемной техники
Успешное и систематическое умение решать задачи, использовать математический аппарат и численные методы компьютерного моделирования объектов нанотехнологии и микросистемной техники	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение решать задачи, использовать математический аппарат и численные методы компьютерного моделирования объектов нанотехнологии и микросистемной техники	В целом успешное, но не систематическое умение решать задачи, использовать математический аппарат и численные методы компьютерного моделирования объектов нанотехнологии и микросистемной техники	Фрагментарное умение решать задачи, использовать математический аппарат и численные методы компьютерного моделирования объектов нанотехнологии и микросистемной техники
Успешное и систематическое владение математическим аппаратом и методами компьютерных технологий для моделирования объектов нанотехнологии и микросистемной техники	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение математическим аппаратом и методами компьютерных технологий для моделирования объектов нанотехнологии и микросистемной техники	В целом успешное, но не систематическое владение математическим аппаратом и методами компьютерных технологий для моделирования объектов нанотехнологии и микросистемной техники	Фрагментарное владение математическим аппаратом и методами компьютерных технологий для моделирования объектов нанотехнологии и микросистемной техники

### 3. Распределение оценок за формы текущего контроля и промежуточную аттестацию

#### 7 семестр:

Текущий контроль:

##### 1. Контрольная работа 1

Количество баллов по БРС за эту форму контроля (из 50): 25

##### 2. Доклад + реферат

Количество баллов по БРС за эту форму контроля (из 50): 25

Итого  $25 + 25 = 50$  баллов

Промежуточная аттестация – зачет

Устный ответ по билету, в каждом билете 2 вопроса, время на подготовку ответа 60 минут.

Устный ответ по вопросу билета – 50.

Итого 50 баллов.

Общее количество баллов по дисциплине за текущий контроль и промежуточную аттестацию:  $50+50=100$  баллов.

Соответствие баллов и оценок:

Для зачета:

56-100 – зачтено

0-55 – не зачтено

## 8 семестр:

Текущий контроль:

1. Контрольная работа 2.

Количество баллов по БРС за эту форму контроля (из 50): 25

2. Лабораторная работа

Количество баллов по БРС за эту форму контроля (из 50): 25

Итого  $25 + 25 = 50$  баллов

Промежуточная аттестация – экзамен

Устный ответ по билету, в каждом билете 2 вопроса, время на подготовку ответа 60 минут.

Устный ответ по вопросу билета – 50.

Итого 50 баллов.

Общее количество баллов по дисциплине за текущий контроль и промежуточную аттестацию:  $50+50=100$  баллов.

Для экзамена:

86-100 – отлично

71-85 – хорошо

56-70 – удовлетворительно

0-55 – неудовлетворительно

## 4. Оценочные средства, порядок их применения и критерии оценивания

4.1. Оценочные средства текущего контроля

4.1.1. Контрольная работа 1

4.1.1.1. Порядок проведения и процедура оценивания.

Контрольная работа проводится на практических занятиях. Обучающимся выдаются по 1 варианту контрольной работы. В одном варианте 3 вопроса. Оценивается уровень домашней подготовки по темам, способность системно и логично излагать материал, анализировать.

4.1.1.2. Критерии оценивания

**Баллы в интервале 86-100% от максимальных ставятся, если обучающийся:**

Правильно выполнены все задания. Продемонстрирован высокий уровень владения материалом. Проявлены превосходные способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.

**Баллы в интервале 71-85% от максимальных ставятся, если обучающийся:**

Правильно выполнена большая часть заданий. Присутствуют незначительные ошибки. Продемонстрирован хороший уровень владения материалом. Проявлены средние способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.

**Баллы в интервале 56-70% от максимальных ставятся, если обучающийся:**

Задания выполнены более чем наполовину. Присутствуют серьезные ошибки. Продемонстрирован удовлетворительный уровень владения материалом. Проявлены низкие способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.

**Баллы в интервале 0-55% от максимальных ставятся, если обучающийся:**

Задания выполнены менее чем наполовину. Продемонстрирован неудовлетворительный уровень владения материалом. Проявлены недостаточные способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.

4.1.1.3. Содержание оценочного средства

Вариант 1.

1. Физические свойства основных материалов для формирования гетероструктур.
2. Светодиоды с высоким внутренним квантовым выходом излучения.
3. Сверхрешетки.

Вариант2.

1. Молекулярно-лучевая эпитаксия и металл-органическая газофазная эпитаксия.
2. Методы исследования поверхности гетероструктур.
3. Размерное квантование электронного газа.

Вариант3.

1. Туннелирование электрона и надбарьерный перенос электронов через потенциальные барьеры наноразмеров.
2. Баллистический транспорт в наноструктурах.
3. Плотность состояний в электронных системах пониженной размерности.

#### 4.1.2. Доклад + реферат

##### 4.1.2.1. Порядок проведения и процедура оценивания.

Обучающийся готовит устный доклад и письменный реферат на определенную тему и представляет их на практических занятиях. Оценивается уровень домашней подготовки по теме, способность системно и логично излагать материал, анализировать, отвечать на дополнительные вопросы.

##### 4.1.2.2. Критерии оценивания

###### **Баллы в интервале 86-100% от максимальных ставятся, если обучающийся:**

Тема раскрыта полностью. Продемонстрировано превосходное владение материалом. Используются надлежащие источники в нужном количестве. Структура работы соответствует поставленным задачам. Степень самостоятельности работы высокая.

###### **Баллы в интервале 71-85% от максимальных ставятся, если обучающийся:**

Тема в основном раскрыта. Продемонстрировано хорошее владение материалом. Используются надлежащие источники. Структура работы в основном соответствует поставленным задачам. Степень самостоятельности работы средняя.

###### **Баллы в интервале 56-70% от максимальных ставятся, если обучающийся:**

Тема раскрыта слабо. Продемонстрировано удовлетворительное владение материалом. Используемые источники и структура работы частично соответствуют поставленным задачам. Степень самостоятельности работы низкая.

###### **Баллы в интервале 0-55% от максимальных ставятся, если обучающийся:**

Тема не раскрыта. Продемонстрировано неудовлетворительное владение материалом. Используемые источники недостаточны. Структура работы не соответствует поставленным задачам. Работа несамостоятельна.

##### 4.1.2.3. Содержание оценочного средства

Примерные темы докладов на семинаре:

Тема 1. Создание наноструктур методом химического осаждения из газовой фазы.

Тема 2. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Метод термического, магнетронного и ионно-плазменного напыления тонких пленок. Преимущества и недостатки.

Тема 3. Электрохимическое осаждение и электрохимическое оксидирование металлов и полупроводников.

Тема 4. Ионная имплантация как метод модификации физических свойств. Параметры ионно-имплантированных слоев (коэффициент заполнения, средний проекционный пробег). Радиационные дефекты. Ионно-лучевой синтез.

Тема 5. Получение гетероструктур методом металлоорганической газофазной эпитаксии (МОГФЭ). Преимущества и недостатки метода МОГФЭ.

Тема 6. Методы элементного анализа. Оже-спектроскопия, рентгеноструктурный анализ в наклонных пучках и рентгенофлюоресцентный анализ.

Тема 7. Зондовые методы формирования наноструктур. Атомная инженерия.

Тема 8. Исследование поверхности методами электронной микроскопии. Просвечивающие (ПЭМ) и растровые (РЭМ) электронные микроскопы. Сканирующая зондовая, сканирующая силовая и магнитно-силовая микроскопия.

Тема 9. Саморегулирующиеся процессы. Самосборка и самоорганизация.

Требования к реферату:

Реферат должен содержать:

- титульный лист;
- содержание;
- введение;
- основная часть;
- заключение;
- список использованных источников;
- приложения (при необходимости).

Реферат должен быть написан обучающимся самостоятельно и иллюстрирован схемами, рисунками и фотографиями. Объем реферата 6-15 страниц текста формата А-4, выполненный в соответствии с настоящей программой и оформленный в соответствии с ГОСТ.

#### 4.1.3. Контрольная работа 2

##### 4.1.3.1. Порядок проведения и процедура оценивания.

Контрольная работа проводится на практических занятиях. Обучающимся выдаются по 1 варианту контрольной работы. В одном варианте 3 вопроса. Оценивается уровень домашней подготовки по темам, способность системно и логично излагать материал, анализировать.

##### 4.1.3.2. Критерии оценивания

###### **Баллы в интервале 86-100% от максимальных ставятся, если обучающийся:**

Правильно выполнены все задания. Продемонстрирован высокий уровень владения материалом. Проявлены превосходные способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.

###### **Баллы в интервале 71-85% от максимальных ставятся, если обучающийся:**

Правильно выполнена большая часть заданий. Присутствуют незначительные ошибки. Продемонстрирован хороший уровень владения материалом. Проявлены средние способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.

###### **Баллы в интервале 56-70% от максимальных ставятся, если обучающийся:**

Задания выполнены более чем наполовину. Присутствуют серьёзные ошибки. Продемонстрирован удовлетворительный уровень владения материалом. Проявлены низкие способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.

###### **Баллы в интервале 0-55% от максимальных ставятся, если обучающийся:**

Задания выполнены менее чем наполовину. Продемонстрирован неудовлетворительный уровень владения материалом. Проявлены недостаточные способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.

##### 4.1.3.3. Содержание оценочного средства

Примерные вопросы в контрольной работе 2:

1. Одноэлектроника. Одноэлектронное туннелирование.
2. Целочисленный квантовый эффект Холла.
3. Спиновые эффекты в наносистемах.
4. Квантовые транзисторы.
5. Применение наноразмерных структур в оптоэлектронных приборах.
6. Дробный квантовый эффект Холла.

#### 4.1.4. Лабораторная работа

##### 4.1.4.1. Порядок проведения и процедура оценивания.

Лабораторная работа проводится на лабораторных занятиях. Обучающимся необходимо выполнить 3 лабораторные работы. Оценивается уровень домашней подготовки по темам, способность системно и логично излагать материал, анализировать.

##### 4.1.4.2. Критерии оценивания

###### **Баллы в интервале 86-100% от максимальных ставятся, если обучающийся:**

Оборудование и методы использованы правильно. Проявлена превосходная теоретическая подготовка. Необходимые навыки и умения полностью освоены. Результат лабораторной работы полностью соответствует её целям.

###### **Баллы в интервале 71-85% от максимальных ставятся, если обучающийся:**

Оборудование и методы использованы в основном правильно. Проявлена хорошая теоретическая подготовка. Необходимые навыки и умения в основном освоены. Результат лабораторной работы в основном соответствует её целям.

**Баллы в интервале 56-70% от максимальных ставятся, если обучающийся:**

Оборудование и методы частично использованы правильно. Проявлена удовлетворительная теоретическая подготовка. Необходимые навыки и умения частично освоены. Результат лабораторной работы частично соответствует её целям.

**Баллы в интервале 0-55% от максимальных ставятся, если обучающийся:**

Оборудование и методы использованы неправильно. Проявлена неудовлетворительная теоретическая подготовка. Необходимые навыки и умения не освоены. Результат лабораторной работы не соответствует её целям.

#### 4.1.4.3. Содержание оценочного средства

Темы лабораторных работ:

1. Лабораторная работа 'Спектры плазмонного резонанса наночастиц серебра'
2. Лабораторная работа 'Спектры светодиодов на гетероструктурах'
3. Лабораторная работа 'Туннельный диод'

## 4.2. Оценочные средства промежуточной аттестации

### 4.2.1. Зачет

#### 4.2.1.1. Порядок проведения.

Зачет нацелен на комплексную проверку освоения дисциплины. Обучающийся получает вопрос и время на подготовку. Зачет проводится в устной форме по билетам, в которых содержатся вопросы по всем темам курса по текущему семестру. В каждом билете 2 вопроса. Обучающемуся даётся время на подготовку – 60 минут. Оценивается владение материалом, его системное освоение, способность применять нужные знания, навыки и умения при анализе проблемных ситуаций и решении практических заданий.

#### 4.2.1.2. Критерии оценивания.

**Баллы в интервале 56-100% от максимальных ставятся, если обучающийся:**

Обучающийся обнаружил знание основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по специальности, справился с выполнением заданий, предусмотренных программой дисциплины.

**Баллы в интервале 0-55% от максимальных ставятся, если обучающийся:**

Обучающийся обнаружил значительные пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допустил принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий и не способен продолжить обучение или приступить по окончании университета к профессиональной деятельности без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

#### 4.2.1.3. Оценочные средства.

Вопросы к зачету:

Зачетный билет №   1  

1. Зависимость основных физических свойств от состава твердых растворов полупроводников.
2. Оже- спектроскопия, рентгеноструктурный анализ в наклонных пучках и рентгенофлюоресцентный анализ.

Зачетный билет №   2  

1. Излучательная и безызлучательная рекомбинации пар электрон-дырка. Внутренний и внешний квантовый выход излучения.
2. Исследование поверхности методами электронной микроскопии. Просвечивающие и растровые электронные микроскопы.

Зачетный билет №   3  

1. Согласование параметров кристаллических решеток.

2. Сканирующая зондовая, сканирующая силовая и магнитно-силовая микроскопия.

Зачетный билет № 4

1. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Метод термического, магнетронного и ионно-плазменного напыления тонких пленок.

2. Размерное квантование электронного газа.

Зачетный билет № 5

1. Ионная имплантация как метод модификации физических свойств. Параметры ионно-имплантированных слоев.

2. Решение уравнения Шредингера для прямоугольной и треугольной потенциальных ям.

Зачетный билет № 6

1. Металлоорганическая газофазная эпитаксия.

2. Туннелирование электрона через прямоугольные и треугольные потенциальные барьеры.

#### 4.2.2. Экзамен

##### 4.2.2.1. Порядок проведения.

Экзамен нацелен на комплексную проверку освоения дисциплины. Обучающийся получает вопрос и время на подготовку. Экзамен проводится в устной форме по билетам, в которых содержатся вопросы по всем темам курса. В каждом билете 2 вопроса. Обучающемуся даётся время на подготовку – 60 минут. Оценивается владение материалом, его системное освоение, способность применять нужные знания, навыки и умения при анализе проблемных ситуаций и решении практических заданий.

##### 4.2.2.2. Критерии оценивания.

###### **Баллы в интервале 86-100% от максимальных ставятся, если обучающийся:**

Обучающийся обнаружил всестороннее, систематическое и глубокое знание учебно-программного материала, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоил основную литературу и знаком с дополнительной литературой, рекомендованной программой дисциплины, усвоил взаимосвязь основных понятий дисциплины в их значении для приобретаемой профессии, проявил творческие способности в понимании, изложении и использовании учебно-программного материала.

###### **Баллы в интервале 71-85% от максимальных ставятся, если обучающийся:**

Обучающийся обнаружил полное знание учебно-программного материала, успешно выполнил предусмотренные программой задания, усвоил основную литературу, рекомендованную программой дисциплины, показал систематический характер знаний по дисциплине и способен к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности.

###### **Баллы в интервале 56-70% от максимальных ставятся, если обучающийся:**

Обучающийся обнаружил знание основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справился с выполнением заданий, предусмотренных программой, знаком с основной литературой, рекомендованной программой дисциплины, допустил погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладает необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя.

###### **Баллы в интервале 0-55% от максимальных ставятся, если обучающийся:**

Обучающийся обнаружил значительные пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допустил принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий и не способен продолжить обучение или приступить по окончании университета к профессиональной деятельности без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

##### 4.2.2.3. Оценочные средства.

Вопросы к экзамену:

Экзаменационный билет № 1

1. Физические свойства основных материалов для формирования гетероструктур.

2. Плотность состояний в электронных системах пониженной размерности.

Экзаменационный билет № 2

1. Размерное квантование электронного газа. Условия наблюдения квантовых размерных эффектов.
2. Туннелирование электрона через потенциальные барьеры различной формы.

Экзаменационный билет № 3

1. Технологии получения гетероструктур: молекулярно-лучевая эпитаксия.
2. Надбарьерный перенос электронов через потенциальные барьеры наноразмеров.

Экзаменационный билет № 4

1. Технологии получения гетероструктур: металлоорганическая газофазная эпитаксия.
2. Сверхрешетки. Практическая реализация сверхрешеток.

Экзаменационный билет № 5

1. Ионная имплантация и ионно-лучевой синтез.
2. Одноэлектроника. Одноэлектронное туннелирование.

Экзаменационный билет № 6

1. Методы исследования поверхности гетероструктур.
2. Решение уравнения Шредингера для электрона в прямоугольной и треугольной потенциальных ямах.

Экзаменационный билет № 7

1. Сканирующая зондовая, сканирующая силовая и магнитно-силовая микроскопия.
2. Светодиоды с высоким внутренним квантовым выходом излучения.

Экзаменационный билет № 8

1. Баллистический транспорт в наноструктурах.
2. Полупроводниковые лазеры на квантовых точках. Квантово-каскадные лазеры.

Экзаменационный билет № 9

1. Целочисленный квантовый эффект Холла.
2. Инжекционные лазеры на гетероструктурах. Лазеры на квантовых точках.

Экзаменационный билет № 10

1. Дробный квантовый эффект Холла.
2. Полупроводниковые фотоприемники на квантовых колодцах и квантовых точках.

Экзаменационный билет № \_11\_

1. Магнитный туннельный транзистор. Транзисторы с высокой подвижностью заряда. Транзисторы на горячий электронах. Резонансно-туннельный транзистор на квантовой точке.
2. Особенности транспорта носителей заряда в спин-поляризованных структурах. Длина спиновой релаксации.

Экзаменационный билет № \_12\_

1. Квантовые интерференционные транзисторы. Спиновый полевой транзистор. Время-пролетный спиновый транзистор.
2. Спин-контролируемое туннелирование электронов через слоистую структуру ферромагнетик/диэлектрик/ферромагнетик.