

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ИНГУШСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

КАФЕДРА ФИЗИКА

**СОГЛАСОВАНО**

**УТВЕРЖДАЮ**

Руководитель образовательной программы

Декан физико-математического факультета

\_\_\_\_\_/ Нальгиева М. А.  
от « 12 » 03 2025 г.

\_\_\_\_\_/ Кульбужев Б. С.  
от « 14 » 03 2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.В.02 Введение в физику полупроводников**  
( индекс дисциплины по учебному плану, наименование дисциплины (модуля))

Направление подготовки – **03.03.02 Физика**  
(код, наименование)

Направленность: **Физика**

Квалификация выпускника – **Бакалавр**

Форма обучения **Очная**

г. Магас, 2025 г

## 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Введение в физику полупроводников» являются формирование у студентов основных понятий, принципов физики полупроводников, навыков практического применения знаний к решению физических задач по физике полупроводников.

### Задачи дисциплины:

получить представление о полупроводниках; применять на практике знание физических законов к решению учебных, научных задач.

Формируемые дисциплиной знания и умения готовят выпускника данной образовательной программы к выполнению следующих обобщенных трудовых функций (трудовых функций):

Код и наименование профессионального стандарта	Обобщенные трудовые функции			Трудовые функции		
	Код	Наименование	Уровень квалификации	Наименование	Код	Уровень (подуровень) квалификации
01.001 Педагог (педагогическая деятельность в дошкольном, начальном общем, основном общем, среднем общем образовании) (воспитатель, учитель)	А	Педагогическая деятельность по проектированию и реализации образовательного процесса образовательных организациях дошкольного, начального общего, основного общего, среднего общего образования	6	Общепедагогическая функция. Обучение	А/01.6	6
				Воспитательная деятельность	А/02.6	6
				Развивающая деятельность	А/03.6	6
	В	Педагогическая деятельность по проектированию и реализации основных общеобразовательных программ	6	Педагогическая деятельность по реализации программ основного и среднего общего образования	В/03.6	6

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП бакалавриата

Дисциплина «Введение в физику полупроводников» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений.

Дисциплина изучается на 4 курсе в 8 семестре.

Для освоения дисциплины «Введение в физику полупроводников» используются знания, умения и виды деятельности, сформированные в процессе изучения предметов модулей «Общая физика», «Теоретическая физика», «Математика», «Информатика и программирование». Освоение данной дисциплины является необходимой основой для прохождения преддипломной практики и ГИА.

### 3. Результаты освоения дисциплины (модуля) - Введение в физику полупроводников

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО по данному направлению:

Код компетенции	Наименование компетенции	Индикатор достижения компетенции (закрепленный за дисциплиной)	В результате освоения дисциплины обучающийся должен:
УК-6	УК-6. Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни	<p>УК-6.1. Использует инструменты и методы управления временем при выполнении конкретных задач, проектов, при достижении поставленных целей;</p> <p>УК-2.2. Предлагает способы решения поставленных задач и ожидаемые результаты; оценивает предложенные способы с точки зрения соответствия цели проекта;</p> <p>УК-6.2. Определяет приоритеты собственной деятельности, личностного развития и профессионального роста;</p> <p>УК-6.3. Оценивает требования рынка труда и предложения образовательных услуг для выстраивания траектории собственного профессионального роста;</p>	<p><b>Знать</b> теоретические основы, основные понятия, законы и модели основных разделов физики;</p> <p><b>Уметь</b> понимать, излагать и критически анализировать физическую информацию. Пользоваться теоретическими основами, законами и моделями физики;</p> <p><b>Владеть</b> физическими и математическими методами обработки и анализа информации в области основных разделов физики.</p>
ПК-4	ПК-4 Способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта	<p>ПК-4.1. Знает основные методы проведения теоретического и экспериментального исследования в сфере профессиональной деятельности.</p> <p>ПК-4.2 Умеет выбирать наиболее эффективные методы для проведения научных исследований.</p> <p>ПК-4.3 Владеет навыками работы с современным приборным оборудованием, методами обработки и анализа полученных результатов научных исследований в сфере профессиональной деятельности</p>	<p><b>Знать</b> теоретические основы, основные понятия, законы и модели основных разделов физики;</p> <p><b>Уметь</b> понимать, излагать и критически анализировать физическую информацию. Пользоваться теоретическими основами, законами и моделями физики;</p> <p><b>Владеть</b> физическими и математическими методами обработки и анализа информации в области основных разделов физики.</p>
ПК -5	ПК-5. Способность	ПК-5.1. Умеет использовать	Владеть: методами

	<p>пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований.</p>	<p>теоретические знания при объяснении результатов экспериментов, применять знания в области физики для освоения общепрофессиональных дисциплин и решения профессиональных задач.</p> <p>ПК-5.2. Анализирует научные данные, результаты экспериментов и наблюдений в соответствующей области знаний.</p>	<p>нахождения, отбора и объединения различных методов проведения физических исследований.</p> <p>Уметь: осмысленно выбирать научный метод проведения физических исследований.</p> <p>Знать: способы определения видов и типов профессиональных задач, а также методы их решения при проведении физических исследований</p>
--	---	--	--

#### 4. Структура и содержание дисциплины (модуля)

##### 4.1. Структура дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

	Всего	Порядковый номер семестра
Общая трудоемкость дисциплины всего (в з.е.), в том числе:	5	8
Аудиторные занятия всего (в акад.часах), в том числе:	90	
Лекции	36	
Практические занятия, семинары		
Лабораторные работы	54	
Контроль	27	
Самостоятельная работа всего (в акад.часах)	63	
Вид итоговой аттестации:	Экзамен	
Общая трудоемкость дисциплины (часах)	180	

№ п/п	Наименование разделов и тем дисциплины (модуля)	семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)									Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра)						
			Контактная работа					Самостоятельная работа				Форма промежуточной аттестации (по семестрам)						
			Всего	Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Др. виды контакт. работы	Всего	Курсовая работа(проект)	Подготовка к экзамену	Другие виды самостоятельной работы	Собеседование	Коллоквиум	Проверка тестов	Проверка контролльн. работ	Проверка реферата	Проверка эссе и иных творческих работ	курсовая работа (проект)
	Введение	8	1	1														
1	Модельные представления о структуре полупроводников	8	10	4		6		11		5	6	+			+			
2	Основы зонной теории твердых тел	8	11	4		7		11		5	6		+		+			
3	Основные свойства полупроводников	8	12	5		7		11		5	6		+		+			
4	Рассеяние носителей заряда в полупроводниках	8	11	4		7		11		5	6			+				
5	Генерация и рекомбинация электронов и дырок	8	12	5		7		11		5	6			+				
6	Кинетические явления в полупроводниках	8	12	5		7		11		5	6			+				

7	Электропроводность полупроводников в сильных электрических полях	8	11	4		7		11		5	6		+		+			
8	Контактные явления в полупроводниках	8	10	4		6		11		5	6	+			+			
			90	36		54		63				Промежуточная аттестация						
												Форма						
												Зачет						
												Зачет с оценкой						
												Экзамен						+

## 4.2. Содержание дисциплины (модуля)

### Введение

Отличительные физические признаки полупроводников. Полупроводники, Металлы и диэлектрики. Модельные представления о механизме электропроводности примесных и собственных полупроводников. Энергетический спектр электрона в полупроводнике. Зона проводимости и валентная зона. Ширина запрещенной зоны в полупроводниках. Представление о дырках.

### Модельные представления о структуре полупроводников

Типы химических связей. Ионная связь. Ковалентная связь. Металлическая связь. Ван-дер-ваальсовая связь. Кристаллическая решетка. Элементарная ячейка. Решетка Браве. Индексы Вейсса. Дефекты в кристаллах. Классы дефектов.

### Основы зонной теории твердых тел

Квантово-механические предпосылки зонной теории. Корпускулярно-волновой дуализм. Волновые функции и уравнение. Адиабатическое приближение и валентная аппроксимация. Одноэлектронное приближение. Приближение сильно связанных электронов. Число состояний электронов в энергетической зоне. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Возможное заполнение электронных состояний валентной зоны. Волна (функция) Блоха. Зоны Бриллюэна. Поверхность и энергия Ферми. Энергетический спектр электронов в кристалле. Одномерная модель электронных зон. Заполнение зон электронами в идеальном кристалле. Эффективная масса электрона. Примесные уровни и поверхностные состояния. Энергетический спектр некристаллических твердых тел. Плотность состояний. Границы применимости зонной теории.

### Основные свойства полупроводников

Зонная структура полупроводников. Дрейфовая и диффузионная электропроводность. Собственная и примесная проводимость. Основные электрофизические свойства полупроводников. Получение и легирование полупроводников. Примесные и собственные полупроводники. Зависимость уровня Ферми от концентрации примеси и температуры для вырожденного полупроводника. Зависимость положения уровня Ферми от температуры для невырожденного полупроводника с частично компенсированной примесью. Примесные зоны.

### Рассеяние носителей заряда в полупроводниках

Механизмы рассеяния электронов и дырок. Кинетическое уравнение Больцмана. Равновесное состояние. Время релаксации. Эффективное сечение рассеяния. Типы центров рассеяния. Рассеяние на ионах примеси. Рассеяние на атомах примеси и дислокациях. Рассеяние на тепловых колебаниях решетки (фононах).

### Генерация и рекомбинация электронов и дырок

Равновесные и неравновесные носители заряда. Биполярная оптическая генерация носителей заряда. Монополярная оптическая генерация носителей заряда. Максвелловское время релаксации. Механизмы рекомбинации. Межзонная излучательная рекомбинация. Межзонная ударная рекомбинация. Рекомбинация носителей заряда через ловушки.

#### Кинетические явления в полупроводниках

Неравновесная функция распределения. Удельная проводимость полупроводников. Зависимость подвижность носителей заряда от температуры. Эффект Холла. Магниторезистивный эффект. Термоэлектрические явления. Поглощение света полупроводниками. Фотопроводимость.

#### Электропроводность полупроводников в сильных электрических полях

«Разогрев» электронного газа. Ударная ионизация. Туннельный эффект и электростатическая ионизация. Эффект Ганна.

#### Контактные явления в полупроводниках

Электронно-дырочный переход. Электрические процессы в р-п-переходе в отсутствие внешнего поля. Электрические процессы в р-п-переходе при наличии внешнего напряжения. Емкости р-п-перехода.

#### **Лабораторные работы**

1. Определены типы электропроводности полупроводников.
2. Определение ширины запрещенной зоны собственного полупроводника.
3. Расчет температурной зависимости ширины запрещенной зоны собственного полупроводника.
4. Расчет температурной зависимости электронов и дырок в собственном полупроводнике.
5. Расчет температурной зависимости уровня Ферми собственного полупроводника.
6. Расчет температурной зависимости уровня Ферми донорного полупроводника.
7. Расчет температурной зависимости уровня Ферми акцепторного полупроводника.

### **5. Образовательные технологии**

№ п.п.	Тема программы дисциплины	Применяемые технологии
1	Модельные представления о структуре полупроводников	классическое традиционное; лекционное обучение
2	Основы зонной теории твердых тел	классическое традиционное; лекционное обучение, наглядные, программированные
3	Основные свойства полупроводников	классическое традиционное; лекционное обучение
4	Рассеяние носителей заряда в полупроводниках	классическое традиционное; лекционное обучение, самостоятельная работа
5	Генерация и рекомбинация электронов и дырок	классическое традиционное; лекционное обучение, самообучение
6	Кинетические явления в полупроводниках	классическое традиционное; лекционное обучение
7	Электропроводность полупроводников в сильных электрических полях	классическое традиционное; лекционное обучение, компьютерное программированное обучение
8	Контактные явления в полупроводниках	классическое традиционное; лекционное обучение, компьютерное программированное обучение

**6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.**

**6.1. План самостоятельной работы студентов**

Для получения глубоких и прочных знаний, твёрдых навыков и умений, необходима систематическая самостоятельная работа студента.

В рабочей программе предусмотрена самостоятельная работа для проработки лекционного (теоретического) материала при подготовке к контрольным мероприятиям (в частности к тестированию)

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Рекомендуемая литература	Количество часов
1	Плотность квантовых состояний	работа над конспектом лекции	1,5,8,9	2
2	Функция Ферми-Дирака.	доработка конспекта лекции с применением учебника, методической литературы, дополнительной литературы	4,2,7,5	3
3	Степень заполнения примесных уровней.	подбор, изучение, анализ и конспектирование рекомендованной литературы;	2,6,8,3	2
4	Концентрация электронов и дырок. Интеграл Ферми-Дирака.	работа над конспектом лекции; самостоятельное изучение отдельных тем, параграфов	1,4,2,9	3
5	Примесные и собственные полупроводники.	работа над конспектом лекции; консультации по сложным, непонятным вопросам лекций	7,8,3	3
6	Зависимость уровня Ферми от концентрации примеси и температуры для вырожденного полупроводника.	работа над конспектом лекции; написание реферата	3,6	3
7	Примесные зоны.	работа над конспектом лекции; подготовка доклада к конференции	1,5,3,9	3
8	Кинетическое уравнение Больцмана.	работа над конспектом лекции; коллоквиум	3,7,2	2
9	Равновесное состояние.	работа над конспектом лекции; написание реферата;	6,1,8,4	2
10	Время релаксации.	работа над конспектом лекции; подготовка доклада к конференции	6,3,5,1	3
11	Эффективное сечение рассеяния	работа над конспектом лекции; консультации по сложным, непонятным вопросам лекций	2,6,9	2
12	Типы центров рассеяния.	работа над конспектом лекции; коллоквиум	3,7	3
13	Рассеяние на атомах примеси и дислокациях.	работа над конспектом лекции; подготовка к экзамену	2,8,4	2
14	Рассеяние на атомах примеси и дислокациях.	конспектом лекции; консультации по сложным, непонятным вопросам лекций		3



15	Рассеяние на тепловых колебаниях решетки.	конспектом лекции; консультации по сложным, непонятным вопросам лекций		3
16	Неравновесная функция распределения.	конспектом лекции; консультации по сложным, непонятным вопросам лекций		2
17	Удельная проводимость полупроводников.	работа над конспектом лекции; коллоквиум		3
18	Зависимость подвижность носителей заряда от температуры.	работа над конспектом лекции; коллоквиум		3
19	Эффект Холла.	работа над конспектом лекции; коллоквиум		3
20	Эффект Холла в полупроводниках с двумя типами носителей заряда.	конспектом лекции; консультации по сложным, непонятным вопросам лекций		3
21	Магниторезистивный эффект.	работа над конспектом лекции; коллоквиум		2
22	Термоэлектрические явления. Теплопроводность полупроводников.	работа над конспектом лекции; самостоятельное изучение отдельных тем, параграфов		3
23	Эффект Ганна.	работа над конспектом лекции; самостоятельное изучение отдельных тем, параграфов		2
24	Ударная ионизация.	конспектом лекции; консультации по сложным, непонятным вопросам лекций		3

## 6.2. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

Целью самостоятельной работы является самостоятельное приобретение новые знаний и выработка способности к постоянному самообучению и самосовершенствованию в профессиональной и социально-общественных сферах деятельности.

Самостоятельная учебная работа представлена такими формами учебного процесса, как лекция, семинар, лабораторные занятия. Студент должен уметь вести краткие записи лекций, составлять конспекты, планы и тезисы выступлений, подбирать литературу и т.д.

Научная самостоятельная работа студента заключается в его участии в работе кружков на кафедрах, в научных конференциях разного уровня, а также в написании контрольных, курсовых и выпускных квалификационных (дипломных работ) работ.

### Самостоятельная работа студентов включает следующие компоненты:

№№ п/п	Наименование работы	Кол-во часов	Форма контроля
1	Проработка лекционного материала	38	Экзамен
2	Подготовка к лабораторным работам	25	Допуск к каждой лабораторной работе и защита отчета.

### 6.3. Материалы для проведения текущего и промежуточного контроля знаний студентов

№ п/п	Вид контроля	Контролируемые темы (разделы)	Компетенции, компоненты которых контролируются
1	Коллоквиум	Модельные представления о структуре полупроводников	УК-6; ПК-4, ПК-5
2	Контрольная работа	Основы зонной теории твердых тел	УК-6; ПК-4, ПК-5
3	Тесты	Основные свойства полупроводников	УК-6; ПК-4, ПК-5
4	Коллоквиум	Рассеяние носителей заряда в полупроводниках	УК-6; ПК-4, ПК-5
5	Коллоквиум	Генерация и рекомбинация электронов и дырок	УК-6; ПК-4, ПК-5
6	Тесты	Кинетические явления в полупроводниках	УК-6; ПК-4, ПК-5
7	Контрольная работа	Электропроводность полупроводников в сильных электрических полях	УК-6; ПК-4, ПК-5
8	Коллоквиум	Контактные явления в полупроводниках	УК-6; ПК-4, ПК-5

Материалы для проведения текущего контроля знаний и промежуточной аттестации составляют отдельный документ – Фонд оценочных средств по дисциплине «Введение в физику полупроводников».

#### Экзаменационные вопросы

1. Классификация веществ по величине удельной электропроводности.
2. Модельные представления о механизме электропроводности собственных полупроводников.
3. Модельные представления о механизме электропроводности примесных полупроводников.
4. Элементарная теория электропроводности.
5. Уравнение Шредингера для кристалла.
6. Адиабатическое приближение и валентная аппроксимация.
7. Одноэлектронное приближение
8. Приближение сильно связанных электронов.
9. Число состояния электронов в энергетической зоне.
10. Квазиимпульс электрона в кристалле.
11. Зоны Бриллюэна.
12. Возможные заполнения электронных состояний валентной зоны.
13. Зависимость энергий электрона у дна и потолка энергетической зоны.
14. Движение электрона в кристалле под действием внешнего электрического поля.
15. Эффективная масса носителей заряда.
16. Уравнение изоэнергетической поверхности электрона и вид тензора эффективной массы для кристаллов, у которых две главных оси тензора эквивалентны.
17. Циклотронный резонанс.
18. Колебание одноатомной линейной цепочки.
19. Кинетическая и потенциальная энергии одномерной решетки. Нормальные координаты.

20. Колебания двухатомной линейной цепочки.
21. Колебания атомов трехмерной решетки.
22. Статистика фононов.
23. Теплоемкость кристаллической решетки.
24. Термическое расширение и тепловое сопротивление твердого тела.
25. Плотность квантовых состояний.
26. Функция распределения Ферми-Дирака.
27. Степень заполнения примесных уровней.
28. Концентрация электронов и дырок в зонах.
29. Равновесные концентрации дырок и электронов в примесном полупроводнике.
30. Равновесная концентрация электронов и дырок в невырожденном донорном и акцепторном полупроводниках.
31. Равновесная концентрация электронов и дырок в сильно вырожденном полупроводнике.
32. Собственный полупроводник.
33. Зависимость уровня Ферми от концентрации примеси и температуры для невырожденного полупроводника.
34. Зависимость уровня Ферми от концентрации примеси и температуры для донорного полупроводника ( $N_a = 0$ ).
35. Зависимость уровня Ферми от концентрации примеси и температуры для акцепторного полупроводника ( $N_d = 0$ ).
36. Зависимость положения уровня Ферми от температуры для невырожденного полупроводника с частично компенсированной примесью.
37. Примесные зоны.
38. Механизмы рассеяния электронов и дырок в полупроводниках.
39. Кинетическое уравнение Больцмана.
40. Равновесное состояние системы носителей заряда в полупроводнике.
41. Время релаксации.
42. Рассеяние на ионах примесей.
43. Рассеяние на атомах примеси и дислокациях.
44. Рассеяния на тепловых колебаниях решетки

## **7. Учебно-методическое и материально-техническое обеспечение дисциплины**

### **7.1. Учебная литература:**

#### Основная

1. В.И. Фистуль Введение в физику полупроводников М. Изд. Высшая школа. 1978г.
2. А.И. Ансельм. Введение в теорию полупроводников. М. «Лань», 2008 г.
3. Г.Г. Зегря, В.И. Перель Основы физики полупроводников. Физматгиз. 2009 г.

#### Дополнительная

1. К.В. Шалимова. Физика полупроводников М. «Лань», 2010 г
2. В.Л. Бонч - Бруевич, С.Г.Калашников. Физика полупроводников М. «Наука» 1977г.
3. Л.С. Стилбанс. Физика полупроводников. М. Изд. «Сов. радио» 1967г.
4. П.С. Киреев. Физика полупроводников. Изд. Высшая школа 1969г.
5. К.Зеегер. Физика полупроводников М. «Мир» 1977г.
6. А. А. Харламов. Специальный физический практикум, 2.МГУ. 1977г.

#### Периодические издания

1. Известия РАН. Серия физическая.
2. Физика и техника полупроводников
3. Физика твердого тела
4. Оптика и спектроскопия
5. Известия Вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки

## 7.2. Интернет-ресурсы

Название ресурса	Ссылка/доступ
Электронная библиотека онлайн «Единое окно к образовательным ресурсам»	<a href="http://window.edu.ru">http://window.edu.ru</a>
«Образовательный ресурс России»	<a href="http://school-collection.edu.ru">http://school-collection.edu.ru</a>
Федеральный образовательный портал: учреждения, программы, стандарты, ВУЗы, тесты ЕГЭ, ГИА	<a href="http://www.edu.ru">http://www.edu.ru</a>
Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов (ФЦИОР)	<a href="http://fcior.edu.ru">http://fcior.edu.ru</a>
Русская виртуальная библиотека	<a href="http://rvb.ru">http://rvb.ru</a>
Еженедельник науки и образования Юга России «Академия»	<a href="http://old.rsue.ru/Academy/Archives/Index.htm">http://old.rsue.ru/Academy/Archives/Index.htm</a>
Научная электронная библиотека «e-Library»	<a href="http://elibrary.ru/defaultx.asp">http://elibrary.ru/defaultx.asp</a>
Электронно-библиотечная система IPRbooks	<a href="http://www.iprbookshop.ru">http://www.iprbookshop.ru</a>
Электронно-справочная система документов в сфере образования «Информо»	<a href="http://www.informio.ru">http://www.informio.ru</a>
Информационно-правовая система «Гарант»	Сетевая версия, доступна со всех компьютеров в корпоративной сети ИнГГУ
Электронно-библиотечная система «Юрайт»	<a href="https://www.biblio-online.ru">https://www.biblio-online.ru</a>

## 7.3. Программное обеспечение

1. Microsoft Windows 7, Windows 8, Windows 8.1, Windows 10
2. Microsoft Windows server 2003, 2008, 2012, 2016
3. Microsoft Office 2007, 2010, 2016
4. Антивирусное ПО Kaspersky endpoint security
5. Справочно-правовая система «Гарант»
6. Операционная система Microsoft Windows XP Professional.
7. Пакет прикладных программ Microsoft Office 2003 Professional.
8. Программный продукт «Антивирус Касперского».
9. Программный продукт FineReader 7.0 Professional Edition.
10. Программный продукт MATLAB 6.

## 7.4. Материально-техническое обеспечение

Учебная аудитория для лекционных занятий (№ 306) 386132, РИ, г.Назрань, Гамурзиевский округ, ул. Магистральная, 39а, Корпус 3Е	Стол для преподавателя - 1 шт. (состоит из 2-х секций); стул для преподавателя -1 шт.; доска - 1 шт.; трибуна-1 шт, стол – 28 шт.; скамья-56 шт
Лаборатория «Физика полупроводников» (№05)	<p>Автоматизированный лабораторный стенд для исследования магнит. свойств матер. эл. техники ФЭ-ММ (с ПЭФМ).</p> <p>Автоматизированный лабораторный стенд для исследования полупров. структур методом вольт-фарадных характеристик. Автоматизированный лабораторный стенд для исследования полупроводников ФЭ-ЭХ (с ПЭФМ).</p> <p>Автоматизированный лабораторный стенд для исследования свойств однокомпонентный и много компонентных полупроводниковых материалов ФЭ. Автоматизированный</p>

	<p>лабораторный стенд для исследования оптических свойств матер. тех. и параметр приборов ФЭ-ОМ. Модуль «Ток в вакууме» ФПЭ 06. Монохроматор МУМ-01. Установка для изучения внешнего фотоэффекта ФПЭ 10. Установка для изучения температурной зависимости эл. металлов и полупроводников ФПЭ 07. Установка для изучения эффекта Холла в полупроводниках ФПЭ 08.</p>
--	---

# ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

## Физика полупроводников

### 1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы, описание показателей и критериев оценивания компетенций

Этап (уровень) освоения компетенции*	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения			
		2	3	4	5
Первый этап (базовый, пороговый)	Знать фундаментальные основы физики полупроводников	Фрагментарные знания фундаментальных основ физики полупроводников	Неполное (содержащее существенные пробелы) знание фундаментальных основ физики полупроводников	Сформированное, но содержащее отдельные пробелы, знание фундаментальных основ физики полупроводников	Полностью сформированное и системное знание фундаментальных основ физики полупроводников
	Знать основные научные результаты, полученные в области физики полупроводников	Фрагментарные знания основных научных результатов, полученных в области физики полупроводников	Неполное (содержащее существенные пробелы) знание основных научных результатов, полученных в области физики полупроводников	Сформированное, но содержащее отдельные пробелы, знание основных научных результатов, полученных в области физики полупроводников	Полностью сформированное и системное знание основных научных результатов, полученных в области физики полупроводников
	Знать основные и приоритетным направления научных исследований и разработок в области физики полупроводников	Фрагментарные знания основных и приоритетных направлений научных исследований и разработок в области физики полупроводников	Неполное (содержащее существенные пробелы) знание основных и приоритетных направлений научных исследований и разработок в области физики полупроводников	Сформированное, но содержащее отдельные пробелы, знание основных и приоритетных направлений научных исследований и разработок в области физики полупроводников	Полностью сформированное и системное знание основных и приоритетных направлений научных исследований и разработок в области физики полупроводников
	Уметь применять результаты научных исследований в инновационной деятельности	Частично освоенное умение применять результаты научных исследований в инновационной деятельности	В целом успешное, но не системное умение применять результаты научных исследований в инновационной деятельности	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение применять результаты научных исследований в инновационной деятельности	Полностью сформированное умение применять результаты научных исследований в инновационной деятельности

Уметь решать типовые и нестандартные задачи по выбранной направленности подготовки	Частично освоенное умение решать типовые и нестандартные задачи по выбранной направленности подготовки	В целом успешное, но не системное умение решать типовые и нестандартные задачи по выбранной направленности подготовки	В целом успешное, но содержащие отдельные пробелы умение решать типовые и нестандартные задачи по выбранной направленности подготовки	Полностью сформированное умение решать типовые и нестандартные задачи по выбранной направленности подготовки
Владеть базовыми навыками проведения научно-исследовательских работ по предложенной теме под научным руководством или в составе небольшой научной группы	Фрагментарное применение базовых навыков проведения научно-исследовательских работ по предложенной теме под научным руководством или в составе небольшой группы	В целом успешное, но не систематическое применение базовых навыков проведения научно-исследовательских работ по предложенной теме под научным руководством или в составе небольшой группы	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение базовых навыков проведения научно-исследовательских работ по предложенной теме под научным руководством или в составе небольшой группы	Успешное и систематическое применение базовых навыков проведения научно-исследовательских работ по предложенной теме под научным руководством или в составе небольшой научной группы
Владеть общими знаниями в области физики и полупроводников	Фрагментарное применение общих знаний в области физики полупроводников	В целом успешное, но не систематическое применение общих знаний в области физики полупроводников	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение общих знаний в области физики полупроводников	Успешное и систематическое применение общих знаний в области физики и астрономии, а также общих знаний в области физики полупроводников
Владеть углубленными знаниями по выбранной направленности подготовки	Фрагментарное применение навыков владения углубленными знаниями по выбранной направленности подготовки	В целом успешное, но не систематическое применение навыков владения углубленными знаниями по выбранной направленности подготовки	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков владения углубленными знаниями по выбранной направленности подготовки	Успешное и систематическое применение навыков владения углубленными знаниями по выбранной направленности подготовки
Владеть базовыми навыками проведения научно-исследовательских и научно-инновационных работ по предложенной теме	Фрагментарное применение базовых навыков проведения научно-исследовательских и научно-инновационных работ по предложенной теме	В целом успешное, но не систематическое применение базовых навыков проведения научно-исследовательских и научно-инновационных работ по предложенной	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение базовых навыков проведения научно-исследовательских и научно-инновационных работ по предложенной теме	Успешное и систематическое применение базовых навыков проведения научно-исследовательских и научно-инновационных работ по предложенной теме

### Перечень оценочных средств

№ п/п	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представленность оценочного средства в ФОС
1	Коллоквиум	Средство контроля усвоения учебного материала раздела или разделов, темы дисциплины, организованное как учебное занятие в виде собеседования преподавателя с обучающимися.	Вопросы по разделам/темам дисциплины
3	Экзаменационные материалы	Итоговая форма оценки знаний	Примерный перечень вопросов и заданий к экзамену по дисциплине

### Вопросы для коллоквиума

#### Коллоквиум № 1 (рубежный контроль 1)

- 1 Классификация веществ по величине удельной электропроводности.
- 2 .Модельные представления о механизме электропроводности собственных полупроводников.
- 3 .Модельные представления о механизме электропроводности примесных полупроводников
- 4 .Элементарная теория электропроводности.
- 5 .Уравнение Шредингера для кристалла.
- 6 .Адиабатическое приближение и валентная аппроксимация
- 7 .Одноэлектронное приближение
- 8 .Приближение сильно связанных электронов.
- 9 Число состояния электронов в энергетической зоне.
- 10 Квазиимпульс электрона в кристалле.
- 11 .Зоны Бриллюэна.
- 12 .Возможные заполнения электронных состояний валентной зоны.
- 13 Зависимость энергий электрона у дна и потолка энергетической зоны.
- 14 .Движение электрона в кристалле под действием внешнего электрического поля.
- 15 .Эффективная масса носителей заряда.
- 16 .Уравнение изоэнергетической поверхности электрона и вид тензора эффективной массы для кристаллов, у которых две главные оси тензора эквивалентны

#### Коллоквиум № 2 ( рубежный контроль 2)

#### Вопросы

- 1.Циклотронный резонанс.
- 2.Колебание одноатомной линейной цепочки.
- 3.Кинетическая и потенциальная энергии одномерной решетки. Нормальные координаты.
- 4.Колебания двухатомной линейной цепочки
- 5.Колебания атомов трехмерной решетки.
- 6.Статистика фононов.
- 7.Теплоемкость кристаллической решетки.
- 8.Термическое расширение и тепловое сопротивление твердого тела.
- 9.Плотность квантовых состояний.
- 10.Функция распределения Ферми-Дирака.
- 11.Степень заполнения примесных уровней.
- 12.Концентрация электронов и дырок в зонах.
- 13.Равновесные концентрации дырок и электронов в примесном полупроводнике.
- 14.Равновесная концентрация электронов и дырок в невырожденном донорном и акцепторном полупроводниках.
- 15.Равновесная концентрация электронов и дырок в сильно вырожденном полупроводнике.
- 16.Собственный полупроводник.
- 17 Зависимость уровня Ферми от концентрации примеси и температуры для невырожденного полупроводника.
- 18 Зависимость уровня Ферми от концентрации примеси и температуры для донорного полупроводника ( $N_a=0$ ).
- 19 Зависимость уровня Ферми от концентрации примеси и температуры для акцепторного полупроводника ( $N_d=0$ ).
- 20 Зависимость положения уровня Ферми от температуры для невырожденного полупроводника с частично компенсированной примесью.
- 21 .Примесные зоны.
- 22 Аморфные полупроводники

#### Коллоквиум № 3



1. Соотношение Эйнштейна.
2. Полупроводники во внешнем электрическом поле.
3. Контакт металл – полупроводник.
4. Контактная разность потенциалов.
5. Контакт металл – металл.
6. Выпрямление на контакте металл – полупроводник.
5. Контакт электронного и дырочного полупроводника.
7. Выпрямление на p-n переходе.
8. Природа поверхностных уровней. Эффект поля.
9. Поверхностная рекомбинация. Влияние поверхностной рекомбинации на время жизни носителей заряда.
10. Спектр отражения и спектр поглощения.
11. Собственное поглощение при прямых переходах
12. Собственные поглощения при непрямых переходах
13. Экситонное поглощение

#### **Коллоквиум № 4**

1. Примесное поглощение
2. Решеточное поглощение.
3. Типы люминесценции.
4. Мономолекулярное свечение твердых тел.
5. Рекомбинационное излучение при фундаментальных переходах.
6. Рекомбинационное излучение при переходах между зонной и примесными уровнями.
7. Спонтанное и вынужденное излучение атома.
8. Стимулированное излучение твердых тел.
9. Внутренний фотоэффект.
10. Фотопроводимость.
11. Эффект Дембера.
12. Внешний фотоэффект.
13. Рассеяния на тепловых колебаниях решетки.

#### **5. Методические рекомендации по проведению коллоквиумов.**

Посредством проведения коллоквиумов осуществляется промежуточная аттестация по дисциплине «Введение в физику полупроводников». На коллоквиум выносятся ключевые вопросы каждого раздела. Коллоквиум проводится в виде собеседования (устного опроса). На поставленный вопрос может отвечать как один студент, так и несколько, дополняя и расширяя ответы друг друга. Каждый студент имеет возможность ответить на несколько вопросов. Минимальное количество вопросов, позволяющее оценить текущий уровень знаний студента, – два.

#### **6. Шкалы и критерии оценивания при текущем и рубежном контроле**

При проведении текущего контроля (рубежных аттестаций) используется пятибалльная система оценивания, которая затем переводится в баллы согласно балльно-рейтинговой системе, принятой в вузе.

#### Шкала и критерии оценивания коллоквиума по пятибалльной системе

оценка «отлично»	Студент показывает высокий уровень теоретических знаний по изучаемой дисциплине, видит междисциплинарные связи. Умеет анализировать практические ситуации. Ответ построен логично. Материал излагается четко, ясно, аргументировано
оценка «хорошо»	Студент показывает достаточный уровень теоретических и практических знаний, свободно оперирует категориальным аппаратом. Умеет анализировать практические ситуации, но допускает некоторые погрешности. Ответ построен логично, материал излагается грамотно
оценка «удовлетворительно»	Студент показывает знание основного лекционного и практического материала. В ответе не всегда присутствует логика изложения. Студент испытывает затруднения при приведении практических примеров
оценка «неудовлетворительно»	Студент показывает слабый уровень теоретических знаний, не может привести примеры из реальной практики. Неуверенно и логически непоследовательно излагает материал. Неправильно отвечает на дополнительные вопросы

#### 7.Экзаменационные материалы

- 1.Классификация веществ по величине удельной электропроводности.
- 2.Модельные представления о механизме электропроводности собственных полупроводников.
- 3.Модельные представления о механизме электропроводности примесных полупроводников
- 4.Элементарная теория электропроводности.
- 5.Уравнение Шредингера для кристалла.
- 6.Адиабатическое приближение и валентная аппроксимация
- 7.Одноэлектронное приближение
- 8.Приближение сильно связанных электронов.
- 9.Число состояния электронов в энергетической зоне.
- 10.Квазиимпульс электрона в кристалле.
- 11.Зоны Бриллюэна.
- 12.Возможные заполнения электронных состояний валентной зоны.
- 13.Зависимость энергий электрона у дна и потолка энергетической зоны.
- 14.Движение электрона в кристалле под действием внешнего электрического поля.
- 15.Эффективная масса носителей заряда.
- 16.Уравнение изоэнергетической поверхности электрона и вид тензора эффективной массы для кристаллов, у которых две главные оси тензора эквивалентны
- 17.Циклотронный резонанс.
- 18.Колебание одноатомной линейной цепочки.
- 19.Кинетическая и потенциальная энергии одномерной решетки. Нормальные координаты.
- 20.Колебания двухатомной линейной цепочки
- 21.Колебания атомов трехмерной решетки.
- 22.Статистика фононов.
- 23 Теплоемкость кристаллической решетки.
- 24 Термическое расширение и тепловое сопротивление твердого тела.
- 25 Плотность квантовых состояний.
- 26 Функция распределения Ферми-Дирака.
- 27 Степень заполнения примесных уровней.
- 28 Концентрация электронов и дырок в зонах.
- 29 Равновесные концентрации дырок и электронов в примесном полупроводнике.
- 30 Равновесная концентрация электронов и дырок в невырожденном донорном и акцепторном полупроводниках.
- 31 Равновесная концентрация электронов и дырок в сильно вырожденном полупроводнике.
- 32 Собственный полупроводник.
- 33 Зависимость уровня Ферми от концентрации примеси и температуры для невырожденного полупроводника.

- 34 Зависимость уровня Ферми от концентрации примеси и температуры для донорного полупроводника ( $N_a=0$ ).
- 35 Зависимость уровня Ферми от концентрации примеси и температуры для акцепторного полупроводника ( $N_d=0$ ).
- 36 Зависимость положения уровня Ферми от температуры для невырожденного полупроводника с частично компенсированной примесью.
- 37 Примесные зоны.
- 38 Механизмы рассеяния электронов и дырок в полупроводниках.
- 39 Кинетическое уравнение Больцмана.
- 40 Равновесное состояние системы носителей заряда в полупроводнике.
- 41 Время релаксации.
- 42 Рассеяние на ионах примесей.
- 43 Рассеяние на атомах примеси и дислокациях.
- 44 Удельная проводимость полупроводников.
- 45 Неравновесная функция распределения.
- 46 Эффект Холла.
- 47 Эффект Холла в полупроводниках с двумя типами носителей заряда.
- 48 Магниторезистивный эффект.
- 49 Термоэлектрические явления.
- 50 Теплопроводность полупроводников.
- 51 Эффект Ганна.
- 52 Равновесные и неравновесные носители заряда.
- 53 Биполярная световая генерация носителей заряда.
- 54 Монополярная световая генерация.
- 55 Максвелловское время релаксации.
- 56 Межзонная рекомбинация.
- 57 Межзонная ударная рекомбинация.
- 58 Рекомбинация носителей заряда через рекомбинационные ловушки.
- 59 Уравнение непрерывности.
- 60 Диффузия и дрейфовые потоки.
- 61 Соотношение Эйнштейна.
- 62 Полупроводники во внешнем электрическом поле.
- 63 Контакт металл – полупроводник.
- 64 Контактная разность потенциалов.
- 65 Контакт металл – металл.
- 66 Выпрямление на контакте металл – полупроводник.
- 67 Контакт электронного и дырочного полупроводника.
- 68 Выпрямление на p-n переходе.
- 69 Природа поверхностных уровней. Эффект поля.
- 70 Поверхностная рекомбинация. Влияние поверхностной рекомбинации на время жизни носителей заряда.
- 71 Спектр отражения и спектр поглощения.
- 72 Собственное поглощение при прямых переходах
- 73 Собственные поглощения при не прямых переходах
- 74 Экситонное поглощение
- 75 Примесное поглощение
- 76 Решеточное поглощение.
- 77 Типы люминесценции.
- 78 Мономолекулярное свечение твердых тел.
- 79 Рекомбинационное излучение при фундаментальных переходах.
- 80 Рекомбинационное излучение при переходах между зонной и примесными уровнями.
- 81 Спонтанное и вынужденное излучение атома.
- 82 Стимулированное излучение твердых тел.
- 83 Внутренний фотоэффект.
- 84 Фотопроводимость.
- 85 Эффект Дембера.
- 86 Внешний фотоэффект.
- 87 Рассеяния на тепловых колебаниях решетки.

## 8.Методические рекомендации по подготовке к экзамену

Подготовка студентов к экзамену включает следующие стадии: самостоятельная работа в течение учебного года (семестра); непосредственная подготовка в дни, предшествующие экзамену.

Подготовку к экзамену необходимо целесообразно начать с планирования и подбора источников и литературы. Прежде всего, следует внимательно перечитать учебную программу и программные вопросы для подготовки к экзамену, чтобы выделить из них наименее знакомые. Далее должен следовать этап повторения всего

программного материала. На эту работу целесообразно отвести большую часть времени. Следующим этапом является самоконтроль знания изученного материала, который заключается в устных ответах на вопросы, выносимые на экзамен. Тезисы ответов на наиболее сложные вопросы желательно записать, так как в процессе записи включаются дополнительные моторные ресурсы памяти.

Литература для подготовки к экзамену обычно рекомендуется преподавателем. Она также может быть указана в программе курса и учебно-методических пособиях.

В ходе подготовки к экзамену студентам необходимо обращать внимание не только на уровень запоминания, но и на степень понимания категорий и реальных проблем. А это достигается не простым заучиванием, а усвоением прочных, систематизированных знаний, аналитическим мышлением. Следовательно, непосредственная подготовка к экзамену должна в разумных пропорциях сочетать и запоминание, и понимание программного материала.

В этот период полезным может быть общение студентов с преподавателями по дисциплине на групповых и индивидуальных консультациях. Хорошо помогает совместная подготовка двух или нескольких обучающихся.

### **9. Шкала и критерии оценивания при итоговом контроле**

При проведении итогового контроля используется пятибалльная система оценивания.

оценка «отлично»	Студент показывает высокий уровень теоретических знаний по изучаемой дисциплине, видит междисциплинарные связи. Умеет анализировать практические ситуации. Ответ построен логично. Материал излагается четко, ясно, аргументировано
оценка «хорошо»	Студент показывает достаточный уровень теоретических и практических знаний, свободно оперирует категориальным аппаратом. Умеет анализировать практические ситуации, но допускает некоторые погрешности. Ответ построен логично, материал излагается грамотно
оценка «удовлетворительно»	Студент показывает знание основного лекционного и практического материала. В ответе не всегда присутствует логика изложения. Студент испытывает затруднения при приведении практических примеров
оценка «неудовлетворительно»	Студент показывает слабый уровень теоретических знаний, не может привести примеры из реальной практики. Неуверенно и логически непоследовательно излагает материал. Неправильно отвечает на дополнительные вопросы

Рабочая программа дисциплины «Введение в физику полупроводников» составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 Физика, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от « 07 » августа 2020 г. № 891.

Программу составила: к.ф-м.н., доцент кафедры «Физика» М. А. Нальгиева

Программа одобрена на заседании кафедры «Физика»

Протокол № 8 от « 11 » марта 2025 года

Программа одобрена Учебно-методическим советом физико-математического факультета

Протокол № 7 от « 13 » марта 2025 года

**Сведения о переутверждении программы на очередной учебный год и регистрации изменений**

Учебный год	Решение кафедры (№ протокола, дата)	Внесенные изменения	Подпись зав. кафедрой

