

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВО «ИНГУШСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА ФИЗИКА

СОГЛАСОВАНО

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель образовательной программы

Декан физико-математического факультета

_____/ Матиев А. Х.
от « 12 » 03 2025 г.

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

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Б1.В.ДВ.02.02 Комбинационное рассеяние в твердых телах

(_____ индекс дисциплины по учебному плану, наименование дисциплины (модуля))

Направление подготовки - **Магистратура**

03.04.02 Физика

(код, наименование)

Направленность

Физика полупроводников

(наименование профиля, магистерской программы, специализации)

Квалификация выпускника – **магистр**

Форма обучения **очная**

(очная, заочная, очно-заочная)

Магас, 2025

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Комбинационное рассеяние в твердых телах» являются формирование у студентов комплекса профессиональных знаний и умений, изучение природы явления комбинационного рассеяния света, ознакомление с методикой измерения спектров комбинационного рассеяния.

Задачами изучения дисциплины являются:

- формирование и углубление знаний о физической природе фотопроводимости и других проявлений внутреннего фотоэффекта полупроводников и практической реализации полупроводниковых структур, применяемых в приборах и устройствах твердотельной электроники, опто-, микро- и наноэлектроники;
- формирование знаний и умений теоретически исследовать физические процессы внутреннего фотоэффекта, протекающие в структурах полупроводниковых приборов и интегральных схем;
- приобретение навыков (владений) расчета параметров и характеристик полупроводниковых фотоэлектрических приборов, оптимизации режимов их работы.

Перечень задач профессиональной деятельности выпускников:

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

01.003 Педагогическая деятельность в дополнительном образовании детей и взрослых	А	Преподавание по дополнительным общеобразовательным программам.	6	Организация деятельности обучающихся, направленной на освоение дополнительной общеобразовательной программы	A.01.6	6.1
				Организация досуговой деятельности обучающихся в процессе реализации дополнительной общеобразовательной программы	A.02.6	6.1
				Обеспечение взаимодействия с родителями (законными представителями) обучающихся, осваивающих дополнительную общеобразовательную программу, при решении задач обучения и воспитания	A.03.6	6.1
				Педагогический контроль и оценка дополнительной общеобразовательной программы	A.04.6	6.1
				Разработка программно-методического обеспечения реализации дополнительной общеобразовательной программы	A.05.6	6.2

	Б	Организационно-методическое обеспечение реализации дополнительных общеобразовательных программ	6	Организация и проведение исследований рынка услуг дополнительного образования детей и взрослых	В/01.6	6.3
			6	Организационно-педагогическое сопровождение методической деятельности педагогов дополнительного образования	В/02.6	6.3
			6	Мониторинг и оценка качества реализации педагогами дополнительных общеобразовательных программ	В/03.6	6.3
	С	Организационно-педагогическое обеспечение реализации дополнительных общеобразовательных программ	6	Организация дополнительного образования детей и взрослых по одному или нескольким направлениям деятельности	С/03.6	6.3

2. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы

Дисциплина относится к части Блока 1, формируемой участниками образовательных отношений «Дисциплины по выбору Б1.В.ДВ.4». Изучается на 2 курсе в 4 семестре.

Дисциплина «Комбинационное рассеяние в твердых телах» является логическим продолжением таких дисциплин, как «Физика полупроводников» и «Физика полупроводниковых приборов», которые изучаются на 1-ом и 2-ом курсах. Для освоения данной дисциплины студенты должны владеть знаниями о фотопроводимости, подвижности, концентрации основных и неосновных носителей заряда, о полупроводниковых приборах и т.д. Знания, полученные по данной дисциплине, применяются на преддипломной практике на 2-ом курсе 4-го семестра и при написании и защиты выпускной квалификационной работы.

3. Результаты освоения дисциплины «Комбинационное рассеяние в твердых телах»

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

Код компетенции	Наименование компетенции	Индикатор достижения компетенции	В результате освоения дисциплины обучающийся должен:
УК-6.	Способен определить	УК-6.1. Оценивает свои ресурсы и	Знает теорию и основные

	и реализовать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	их пределы (личностные, ситуативные, временные), целесообразно их использует; УК-6.2. Определяет образовательные потребности и способы совершенствования собственной (в том числе профессиональной) деятельности на основе самооценки; УК-6.3. Выбирает и реализует с использованием инструментов непрерывного образования возможности развития профессиональных компетенций и социальных навыков; УК-6.4. Выстраивает гибкую профессиональную траекторию с учетом накопленного опыта профессиональной деятельности, динамично изменяющихся требований рынка труда и стратегии личного развития.	законы в области естественнонаучных дисциплин Умеет использовать естественно-научные знания при объяснении экспериментов, решения профессиональных задач. Владеет основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности и работы в научных группах.
ПК-2	Способность планировать и организовывать физические исследования, научные семинары и конференции и вести преподавание по дополнительным общеобразовательным программам	ИДК ПК2.1 Имеет навыки владения необходимой информацией из современных отечественных и зарубежных источников в избранной области исследования; владения методикой планирования и разработки научного эксперимента; проведения научного эксперимента; методами моделирования различных физических ситуаций; владения современными прикладными программами для изучения объекта научного исследования; владения методами работы в различных операционных системах, с научными базами данных. ИДК ПК2.2 Владеет навыками абстрактно мыслить, анализировать, синтезировать получаемую информацию; навыками делать заключения и выводы; навыками и методами построения физических	Знает как самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта Умеет свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и внедрять результаты научных исследований в область профессиональной деятельности. Владеет способностью свободно владеть

		<p>моделей на основе проведенных исследований и полученной информации.</p> <p>ИДК ПК-2.3 Знает способы организации научных семинаров и конференций, умеет планировать и организовывать научные семинары и конференции.</p>	<p>разделами физики, необходимыми для решения научно-профессиональных задач, и применять результаты научных исследований в профессиональной деятельности</p>
--	--	--	--

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц, 216 часов.

[illegible]

	Общая трудоемкость, в часах		48	32		16		69		37	32	Промежуточная	
												Экзамен	2

4.2. Содержание дисциплины

Введение

История открытия эффекта

Упругое и неупругое рассеяние света

Рассеяние света колебаниями решетки

Колебания кристаллической решетки

Одномерная цепочка с двумя атомами в элементарной ячейке

Рассеяние света колебаниями решетки

Спектры фононов в полупроводниках со структурой алмаза

Кремний (Si)

Гетероструктуры (Ge/Si) и твердые растворы ($\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$)

Теоретическое описание процесса КРС

Классическая теория

Правила отбора (классическое рассмотрение)

Раздел 1 ФОТОПРОВОДИМОСТЬ

Тема 1.1 ФОТОАКТИВНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ И ВНУТРЕННИЙ ФОТОЭФФЕКТ

- Первичные и вторичные фототоки

Тема 1.2. ФОТОПРОВОДИМОСТЬ. ДВИЖЕНИЕ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В ФОТОПРОВОДНИКАХ

- Примеры простых фотопроводящих систем
- Диффузия и дрейф фотоносителей в монополярном полупроводнике
- Эффективное время установления диффузионно-дрейфового
- О длине экранирования в плохо проводящих полупроводниках и диэлектриках
- Распределение концентрации при наличии внешнего электрического поля
- О классификации фототоков в однородных полупроводниках
- Особенности диффузии и дрейфа фотоносителей в биполярном полупроводнике
- Добротность фотопроводников

Тема 1.3. РЕКОМБИНАЦИЯ В ФОТОПРОВОДНИКАХ

- Рекомбинационная модель Шокли-Рида
- Фотопроводник с одним классом центров рекомбинации в условиях различной освещенности
- Прилипание носителей заряда
- Два класса центров рекомбинации
- Очувствление фотопроводников при освещении
- Отрицательная фотопроводимость

Тема 1.4. ФОТОПРОВОДИМОСТЬ НЕОДНОРОДНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ

- Фотопроводимость поликристаллических веществ
- Фотопроводимость, ограниченная контактами
- Фотоэлектрические свойства контакта металл – монополярный полупроводник (диэлектрик)
- Стационарные характеристики монополярного фоторезистора при контактном ограничении
- Фотопроводимость при экситонном поглощении
- Остаточная проводимость
- Униполярная отрицательная фотопроводимость.
- Аномальная фотопроводимость

- Долговременные релаксации в фотопроводниках

Раздел 2 ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С НАГРЕВОМ ЭЛЕКТРОНОВ

Тема 2.1 Фотоэлектрические явления при неравновесном распределении носителей заряда по энергии.

- описание возмущенного распределения электронов по энергиям
- μ -проводимость, уравнение баланса
- осцилляция фотопроводимости

Тема 2.2 Эффект увлечения электронов фотонами

- эффект увлечения носителей заряда фотонами
- продольный и поперечный эффекты увлечения
- эффект увлечения в случае примесного поглощения света

Раздел 3. ФОТОДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ И ДРУГИЕ ЭФФЕКТЫ

Тема 3.1. ВИДЫ ФОТОДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

- Формирование представлений
- Метод эквивалентных схем
- Фотоиндуктивный эффект
- Остаточная фотоемкость
- О прохождении переменного тока в неоднородных кристаллах с подвижной объёмной неоднородностью
- Применение к биполярному транзистору
- О классификации различных проявлений ФДЭ
- Применение фотодиэлектрического эффекта
- Фотоварикапы
- Динамический фотоконденсатор

ПОНЯТИЕ О ШУМАХ ФОТОПРОВОДНИКОВ

Тема 3.2. ФОТОГАЛЬВАНИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ. ФОТОДИОД

Тема 3.3. СПЕКТРАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФОТОПРОВОДИМОСТИ

5. Образовательные технологии

Таблица 5.1.

Активные и интерактивные формы проведения учебных занятий по дисциплине

№п.п.	Тема программы дисциплины	Применяемые технологии	Кол-во аудит. часов
1	Введение. Фотоактивное поглощение и внутренний фотоэффект	классическое традиционное; лекционное обучение	8
2	Фотопроводимость. Движение носителей заряда в фотопроводниках	классическое традиционное; лекционное обучение, наглядные, программированные	8
3	Рекомбинация в фотопроводниках	классическое традиционное; лекционное обучение, вербальные (аудио)	4
4	Элементарные рекомбинационные процессы	классическое традиционное; лекционное обучение, наглядные, программированные	4
5	Фотопроводимость неоднородных полупроводников и	классическое традиционное; лекционное обучение, самостоятельная работа	8

	диэлектриков		
6	Фотоэлектрические явления при неравновесном распределении носителей заряда по энергии	классическое традиционное; лекционное обучение, самообучение	8
7	Эффект увлечения электронов фотонами	классическое традиционное; лекционное обучение, дистанционные	4
8	Виды фотоэлектрического эффекта	классическое традиционное; лекционное обучение, компьютерное программное обучение	8
9	Фотогальванический эффект. Фотодиод.	классическое традиционное; лекционное обучение, наглядные, программные	4
10	Спектральная характеристика фотопроводимости	классическое традиционное; лекционное обучение, самостоятельная работа	8

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

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература (Указывается номер из раздела 7)	Количество часов
1	Основные параметры фотопроводимости: время ее нарастания и спада, стационарная величина и стационарное время фотопроводимости.	работа над конспектом лекции; лабораторные занятия с оборудованием	Изучить что такое фотопроводимость, время нарастания и спада. Выполнить лабораторную работу № 1		3
2	Эффект прилипания носителей, влияние его на параметры примесной фотопроводимости.	Коллоквиум; доработка конспекта лекции с применением учебника, методической литературы, дополнительной литературы	Подготовиться к коллоквиуму. Самостоятельно изучить эффект прилипания и как он влияет на параметры примесной фотопроводимости.		2
3	Основные механизмы	подбор, изучение, анализ	По материалам лекций и		3

	рекомбинации носителей заряда и температурная зависимость примесной фотопроводимости	и конспектирование рекомендованной литературы;	предложенной литературы изучить основные механизмы рекомбинации		
4	Обнаружительная способность ИК приемников и их зависимости от параметров полупроводников	работа над конспектом лекции; лабораторные занятия с оборудованием, самостоятельное изучение отдельных тем, параграфов	Изучить конспект лекции. Провести лабораторную работу № 2		3
5	Стационарное распределение неравновесной концентрации носителей в направлении распространения света в полупроводнике	работа над конспектом лекции; консультации по сложным, непонятным вопросам лекций	Изучить конспект лекции.		3
6	Спектральная зависимость собственной фотопроводимости, влияние на нее скорости поверхностной рекомбинации	работа над конспектом лекции; лабораторные занятия с оборудованием; написание реферата	Изучить конспект лекции. Провести лабораторную работу № 3. Написать реферат		3
7	Зависимость полной стационарной концентрации носителей от скорости поверхностной рекомбинации	работа над конспектом лекции; подготовка доклада к конференции	Изучить конспект лекции. Подготовить доклад к студенческой конференции		2
8	Квазиуровни Ферми для свободных и захваченных на локальные уровни носителей, демаркационные уровни	работа над конспектом лекции; лабораторные занятия с оборудованием; коллоквиум	Изучить конспект лекции. Провести лабораторную работу № 4. Подготовиться к коллоквиуму		2
9	Зависимость расположения квазиуровней	работа над конспектом лекции;	Изучить конспект лекции.		3

	Ферми в запрещенной зоне от параметров уровней, температуры и скорости генерации носителей светом	написание реферата	Написать реферат		
10	Влияние оптической перезарядки на подвижность носителей заряда и на времена их жизни, на спектральные зависимости поглощения и фотопроводимости	работа над конспектом лекции; лабораторные занятия с оборудованием;	Изучить конспект лекции. Провести лабораторную работу № 5.		2
11	Суперлинейность и сублинейность люкс-амперных характеристик этих эффектов и их использование для определения параметров полупроводников	работа над конспектом лекции; консультации по сложным, непонятным вопросам лекций коллоквиум	Изучить конспект лекции. Подготовиться к коллоквиуму		2
12	Фотоэлектромагнитный эффект как метод определения параметров полупроводников	работа над конспектом лекции; лабораторные занятия с оборудованием;	Изучить конспект лекции. Провести лабораторную работу №6.		2
13	Особенности фоторазогрева в сильно легированных и компенсированных полупроводниках	работа над конспектом лекции; подготовка к экзамену	Изучить конспект лекции. Подготовиться к экзамену		14

6.2. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

Целью самостоятельной работы магистранта является самостоятельное приобретение новых 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, практические и лабораторные занятия, экскурсии, подготовка к ним. 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	33 (0.9)	Экзамен
2	Подготовка к лабораторным работам	33 (0.9)	Допуск к каждой лабораторной работе и защита отчета.

6.3. Материалы для проведения текущего и промежуточного контроля знаний студентов

Контроль освоения компетенций

№ п/п	Вид контроля	Контролируемые темы (разделы)	Компетенции, компоненты которых контролируются
	Выполнение лабораторных работ	Фотоактивное поглощение и внутренний фотоэффект	УК-6, ПК-2
	Коллоквиум	Фотопроводимость. Движение носителей заряда в фотопроводниках	УК-6, ПК-2
	Тестирование	Рекомбинация в фотопроводниках	УК-6, ПК-2
	Коллоквиум	Элементарные рекомбинационные процессы	УК-6, ПК-2
	Выполнение лабораторных работ	Фотопроводимость неоднородных полупроводников и диэлектриков	УК-6, ПК-2
	Тестирование	Фотоэлектрические явления при неравновесном распределении носителей заряда по энергии	УК-6, ПК-2
	Коллоквиум	Эффект увлечения электронов фотонами	УК-6, ПК-2
	Выполнение лабораторных работ	Виды фотоэлектрического эффекта	УК-6, ПК-2
	Коллоквиум	Фотогальванический эффект. Фотодиод	УК-6, ПК-2
	Контрольная работа	Спектральная характеристика фотопроводимости	УК-6, ПК-2

Материалы для проведения текущего контроля знаний и промежуточной аттестации составляют отдельный документ – Фонд оценочных средств по дисциплине «Фотоэлектрические явления в полупроводниках»

7. Учебно-методическое и материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

7.1. Учебная литература:

- 1 [1] М. Кардона Рассеяние света в твердых телах, М. (1979).
- [2] Н. Ашкрофт, Н. Мермин Физика твердого тела, М. (1979).
- [3] В. Ф. Гантмахер, И. Б. Левинсон Рассеяние носителей тока в металлах и полупроводниках, М.: Наука (1984)
- [4] В. А. Гайслер, О. А. Кузнецов, И. Г. Неизвестный, Л. К. Орлов, М. П. Синюков, А. Б. Талочкин Комбинационное рассеяние света на локальных колебаниях твердых растворов $GexSi_{1-x}$, ФТТ, 31, 292 (1989).
- [5] Питер Ю, М. Кардона Основы физики полупроводников, М.: Физмат (2002).
- [6] Derek A. Long The Raman Effect, John Wiley & Sons Ltd (2002).

7.2. Интернет-ресурсы

1. Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники. Версия 1,0 [Электронный ресурс]: электр. учеб.-метод. комплекс/Г. Н. Шелованова, В. А. Юзова, В. А. Барашков, О. В. Семенова – Электронные дан. (127 Мб). – Красноярск: ИПК СФУ, – 2009.
2. Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники. Версия 1,0 [Электронный ресурс]: учеб. программа дисциплины/сост.: В. А. Юзова, Г. Н. Шелованова. – Электронные дан. (2 Мб). – Красноярск:ИПК СФУ, –2009.
3. Шелованова Г. Н. Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники. Версия 1,0 [Электронный ресурс]: электр. курс лекций / Г. Н. Шелованова. – Электронные дан. (6 Мб). – Красноярск: ИПК СФУ– 2009.
4. Унифицированная система компьютерной проверки знаний тестированием UniTest версии 3.0.0. руководство пользователя/А. Н. Шниперов, Б. М. Бидус. – Красноярск, 2008.
5. Шелованова, Г. Н. Современные проблемы электроники: кремниевая электроника [Электронный ресурс]: электрон. учеб. пособие/Г. Н. Шелованова. – Электрон. дан. – Красноярск: КГТУ, 2006. – Режим доступа: <http://lib.krgtu.ru/pocobia.phpsection=shelovanova> – Загл. с экрана.
6. <http://www.superconductors.org/>
7. <http://www.nanoink.net>
8. <http://www.ioffe.ru/journals/>
9. <http://journal.sfu-kras.ru/>
10. <http://www.mikrosystems.ru>

7.3. Программное обеспечение

1. Операционная система Microsoft Windows XP Professional.
2. Пакет прикладных программ Microsoft Office 2003 Professional.
3. Программный продукт «Антивирус Касперского».
4. Программный продукт FineReader 7.0 Professional Edition.
5. Программный продукт MATLAB 6.

7.4. Материально-техническое обеспечение

Фотоэлектрические явления в полупроводниках	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 «ФЭЯПП. Спецпрактикум» (№301) 386132, РИ, г.Назрань, Гамурзиевский округ, ул.	Стол для преподавателя - 1 шт; стул для преподавателя -1 шт.; доска - 1 шт.; стол - 10 шт.; скамья-20 шт. Стол лабораторный с розетками и ящиками1200*600*850. Автоматизированный лабораторный стенд для

	Магистральная, Корпус 3Е	39а,	исследования полупроводников ФЭ-ЭХ (с ПЭФМ). Установка для изучения внешнего фотоэффекта ФПЭ 10. Установка для изучения температурной зависимости эл. металлов и полупроводников ФПЭ 07. Оптическая скамья модели U, 600 мм. Рейтер модели U, 75 мм. Галогеновая лампа для опытов, Диафрагма с регулируемой щелью на ножке, Выпуклая линза на ножке, Поляризационный фильтр на ножке, Источник постоянного тока, Цифровой мультиметр. Прибор для исследования зависимости сопротивления полупроводников от температуры.
--	-----------------------------	------	--

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Фотоэлектрические явления в полупроводниках

1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

В процессе освоения образовательной программы компетенции формируются по следующим этапам:

- 1) начальный этап дает общее представление о виде деятельности, основных закономерностях функционирования объектов профессиональной деятельности, методов и алгоритмов решения практических задач;
- 2) основной этап позволяет решать типовые задачи, принимать профессиональные и управленческие решения по известным алгоритмам, правилам и методикам;
- 3) завершающий этап предполагает готовность решать практические задачи повышенной сложности, нетиповые задачи, принимать профессиональные и управленческие решения в условиях неполной определенности, при недостаточном документальном, нормативном и методическом обеспечении.

При освоении дисциплины (модуля) компетенции, закрепленные за ней, реализуются по темам (разделам) дисциплины (модуля), в определенной степени (полностью или в оговоренной части) и на определенном этапе, что приведено в Таблице 1.

Таблица 1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

Компетенции/ контролируемые этапы	Показатели	Наименование оценочного средства
Начальный этап формирования компетенций осуществляется в период освоения учебной дисциплины и характеризуется освоением учебного материала		
ОПК-1	Знать ключевые разделы физики конденсированного состояния и физического материаловедения, на основании которых проводится разработка новых методов и методических подходов. Уметь при решении исследовательских и практических задач генерировать новые идеи. Владеть навыками планирования научно-исследовательских работ при разработке новых методов и подходов.	Практические занятия, тесты
ОПК-4	Знать основные методы планирования и организации физических исследований, в том числе - междисциплинарного характера. Уметь выделять и систематизировать основные результаты экспериментальных / теоретических	

	исследований и корректировать план дальнейших научных работ с учетом полученных результатов. Владеть навыками организационной деятельности (в части организации научных семинаров для небольших научных групп).	
Базовый этап формирования компетенции (ий) (формируется по окончании изучения дисциплины (модуля))		
ПК-3	Знать принципы разработки новых методов (методик) исследований структуры и свойств материалов. Уметь организовывать (научные семинары и конференции). Владеть навыками планирования научно-исследовательских работ при разработке новых методов и подходов Владеть навыками организационной деятельности (в части организации научных семинаров для небольших научных групп).	Практические занятия, тесты
ПК-4	Знать основные этапы (правила) организации и работы научных семинаров и конференций. Уметь использовать технологии планирования сложных научных исследований, в том числе - междисциплинарного характера. Владеть навыками коммуникации с ведущими учеными в режиме «научной конференции» или «научного семинара».	
Заключительный этап формирования компетенций <i>направлен на закрепление определенных компетенций</i>		
ПК-3	Знать принципы верификации разрабатываемых методов ключевые разделы физики конденсированного состояния и физического материаловедения, на основании которых проводится разработка новых методов и методических подходов. Уметь при решении исследовательских и практических задач генерировать новые идеи. При решении исследовательских и практических задач генерировать новые идеи. Владеть навыками разработки новых методов и методических подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности.	Вопросы к экзамену
ПК-4	Знать основные методы планирования и организации физических исследований, в том числе - междисциплинарного характера. Уметь самостоятельно и в составе научно-производственного коллектива решать конкретные задачи профессиональной деятельности при выполнении физических исследований. Владеть навыками критического анализа и оценки современных научных достижений и	

	результатов деятельности по решению исследовательских (и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.	
--	--	--

2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, описание шкал оценивания

Шкала оценивания, показатели и критерии оценивания образовательных результатов обучающегося во время текущей аттестации

Шкала оценивания	Показатели и критерии оценивания
5, «отлично»	Полностью сформированное и системное знание ключевых разделов физики конденсированного состояния и физического материаловедения, на основании которых проводится разработка новых методов и методических подходов. Полностью сформированное и системное знание основных этапов (правил) организации и работы научных семинаров и конференций. Полностью сформированное умение выделять и систематизировать основные результаты экспериментальных / теоретических исследований и корректировать план дальнейших научных работ с учетом полученных результатов
4, «хорошо»	Сформированное, но содержащее отдельные пробелы, знание ключевых разделов физики конденсированного состояния и физического материаловедения, на основании которых проводится разработка новых методов и методических подходов. Сформированное, но содержащее отдельные пробелы, знание основных этапов (правил) организации и работы научных семинаров и конференций. В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение выделять и систематизировать основные результаты экспериментальных / теоретических исследований и корректировать план дальнейших научных работ с учетом полученных результатов
3, «удовлетворительно»	Неполное (содержащее существенные пробелы) знание основных методов планирования и организации физических исследований, в том числе – междисциплинарного характера. Неполное (содержащее существенные пробелы) знание основных этапов (правил) организации и работы научных семинаров и конференций. В целом успешное, но не системное умение выделять и систематизировать основные результаты экспериментальных / теоретических исследований и корректировать план дальнейших научных работ с учетом полученных результатов.
2, «неудовлетворительно»	Фрагментарные знания основных методов планирования и организации физических исследований, в том числе – междисциплинарного характера. Фрагментарные знания основных этапов (правил) организации и работы научных семинаров и конференций. Частично освоенное умение выделять и систематизировать основные результаты экспериментальных / теоретических исследований и корректировать план дальнейших научных работ с учетом полученных результатов

Оценивание выполнения практических заданий

4-балльная шкала (уровень освоения)	Показатели	Критерии
Отлично (повышенный уровень)	1. Полнота выполнения практического задания; 2. Своевременность выполнения задания; 3. Последовательность и рациональность выполнения задания; 4. Самостоятельность решения;	Студентом задание решено самостоятельно. При этом составлен правильный алгоритм решения задания, в логических рассуждениях, в выборе формул и решении нет ошибок, получен верный ответ, задание решено рациональным способом.
Хорошо (базовый уровень)		Студентом задание решено с подсказкой преподавателя. При этом составлен правильный алгоритм решения задания, в логическом рассуждении и решении нет существенных ошибок; правильно сделан выбор формул для решения; есть объяснение решения, но задание решено нерациональным способом или допущено не более двух несущественных ошибок, получен верный ответ.
Удовлетворительно (пороговый уровень)		Студентом задание решено с подсказками преподавателя. При этом задание понято правильно, в логическом рассуждении нет существенных ошибок, но допущены существенные ошибки в выборе формул или в математических расчетах; задание решено не полностью или в общем виде.
Неудовлетворительно (уровень не сформирован)		Студентом задание не решено.
незачтено (уровень не сформирован)		Лабораторная работа студентом не выполнена.

Шкала и критерии оценки промежуточной аттестации в форме зачета

Оценка (баллы)	Уровень сформированности компетенций	Общие требования к результатам аттестации в форме зачета	Планируемые результаты обучения
«Зачтено» (61-100)	Высокий уровень	Теоретическое содержание курса освоено полностью без пробелов или в целом, или большей частью, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы или в	Знать: Имеет системные знания о структуре самосознания, о видах самооценки, об этапах профессионального становления личности и механизмах социальной

		<p>основном сформированы, все или большинство предусмотренных рабочей программой учебных заданий выполнены, отдельные из выполненных заданий содержат ошибки</p>	<p>адаптации.</p> <p>Уметь: Осуществлять анализ социальной действительности с позиций профессиональных знаний и мировоззренческой рефлексии. Вырабатывает мотивацию на дальнейшее повышение профессиональной квалификации и мастерства. Оценивает уровень самоорганизации и самообразования. Прогнозирует последствия своей социальной и профессиональной деятельности.</p> <p>Владеть: навыками самоанализа социальной действительности с позиций профессиональных знаний и мировоззренческой рефлексии. Способен к самооценке уровня самоорганизации и самообразования. Владеет навыками прогнозирования последствий своей</p>
Базовый уровень	<p>Теоретическое содержание курса освоено в целом без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, предусмотренные рабочей учебной программой учебные задания выполнены с отдельными неточностями, качество выполнения большинства заданий оценено числом баллов, близким к максимуму.</p>	<p>Знать: теоретические основы, основные понятия, электричества и магнетизма разделов общей физики для решения профессиональных задач.</p> <p>Уметь: понимать, излагать и критически анализировать базовую общезначимую информацию.</p> <p>Владеть: физическими и математическими методами обработки и анализа информации в области общей физики.</p>	
Минимальный уровень	<p>Теоретическое содержание курса освоено большей частью, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных рабочей учебной программой учебных заданий выполнены, отдельные из выполненных</p>	<p>Знать: основные понятия, законы и модели электричества и магнетизма разделов общей физики.</p> <p>Уметь: понимать, излагать базовую общезначимую информацию.</p> <p>Владеть: физическими и математическими методами обработки и анализа информации в области общей физики.</p>	

		заданий содержат ошибки.	
«Не зачтено» (менее 61)	компетенции, закреплённые за дисциплиной, не сформированы	Теоретическое содержание курса освоено частично, необходимые навыки работы не сформированы или сформированы отдельные из них, большинство предусмотренных рабочей учебной программой заданий не выполнено либо выполнено с грубыми ошибками, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к минимуму.	Планируемые результаты обучения не достигнуты

3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Для оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций используются следующие типовые контрольные задания:

Текущий контроль успеваемости

3.1. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ И ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ


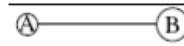
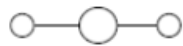



Задания 1.

1. Записать спектр КРС твердого раствора $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$ ($x = 0.25$).
2. Объяснить происхождение всех пиков в спектре.
3. По сдвигу пика колебаний Si-Si определить постоянную решетки твердого раствора. Сравнить полученное значение с известными постоянными решетки для Si и Ge.

Вопросы

1. Что такое стоксово и антистоксово рассеяние.
2. Типы комбинационного рассеяния света, отличающиеся механизмами взаимодействия света с веществом.
3. Какая частица является «посредником» в комбинационном рассеянии света?
4. Нарисовать схемы переходов при поглощении и комбинационном рассеянии света на фонах для 2-х случаев: 1) Испускание фона электроном 2) Испускание фона дыркой. Нарисовать соответствующие диаграммы Фейнмана для КРС в полупроводниках.
5. На каких колебаниях решетки вы наблюдали рассеяние света? Возможно ли в таком материале как Si рассеяние света на оптических фонах? Насколько изменяется частота падающего света при рассеянии на акустических фонах?

6. Чем отличается КРС от фотолюминесценции и горячей фотолюминесценции? •
Что такое твердый раствор?
7. Что такое дислокации в кристалле? Причины их возникновения при выращивании гетероструктур. Что такое релаксированный слой?
8. Каким физическим процессам соответствуют в выражении (7) слагаемые, содержащие различные степени Q?
9. Каким физическим процессам соответствуют в выражениях (13, 14) слагаемые, содержащие различные степени E?
10. Для приведенных ниже молекул заполните таблицу с правилами отбора для указанных колебательных мод:

Молекула			
Колебательная мода			
$(\alpha'_{\rho\sigma})_k = \left(\frac{\partial \alpha_{\rho\sigma}}{\partial Q_k} \right)_0$	$\neq 0$		
КРС-активность	Есть		
$(\alpha_{\rho\sigma})_0$	$= 0$		
ИК-активность	Нет		

11. Чем обусловлена различная интенсивность КР, связанного с разными типами колебаний молекул в этиловом спирте?
12. Найдите соотношение между антистоксовой и стоксовыми компонентами КР при малых и при очень высоких температурах.
13. Укажите возможные причины расхождения в результатах расчета и эксперименте.
14. Рассчитайте во сколько раз выше будет интенсивность КР при возбуждении лазером длиной волны 405 нм по сравнению с возбуждением лазером с длиной волны 532 нм.
15. Найдите в литературных или онлайн источниках спектры ИК-поглощения воды и этилового спирта. Сравните ИК спектр поглощения воды и этилового спирта с полученными спектрами КР. В чем разница между ними?

4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания достижения запланированных результатов обучения по дисциплине (модулю)

При оценивании устного опроса и участия в дискуссии на семинаре (практическом занятии) учитываются:

- степень раскрытия содержания материала;

- изложение материала (грамотность речи, точность использования терминологии и символики, логическая последовательность изложения материала);

- знание теории изученных вопросов, сформированность и устойчивость используемых при ответе умений и навыков.

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются такие процедуры и технологии как тестирование и опрос на семинарах (практических занятиях).

Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются следующие процедуры и технологии:

- практические контрольные задания (далее – ПКЗ), включающих одну или несколько задач (вопросов) в виде краткой формулировки действий (комплекса действий), которые следует выполнить, или описание результата, который нужно получить.

По сложности ПКЗ разделяются на простые и комплексные задания.

Простые ПКЗ предполагают решение в одно или два действия. К ним можно отнести: простые ситуационные задачи с коротким ответом или простым действием; несложные задания по выполнению конкретных действий. Простые задания применяются для оценки умений. Комплексные задания требуют многоходовых решений как в типичной, так и в нестандартной ситуациях. Это задания в открытой форме, требующие поэтапного решения и развернутого ответа, в т.ч. задания на индивидуальное или коллективное выполнение проектов, на выполнение практических действий или лабораторных работ. Комплексные практические задания применяются для оценки владений.

Типы практических контрольных заданий:

- задания на установление правильной последовательности, взаимосвязанности действий, выяснения влияния различных факторов на результаты выполнения задания;

- установление последовательности (описать алгоритм выполнения действия),

- нахождение ошибок в последовательности (определить правильный вариант последовательности действий);

- указать возможное влияние факторов на последствия реализации умения и т.д.

- задания на принятие решения в нестандартной ситуации (ситуации выбора, много альтернативности решений, проблемной ситуации).

Оценивание обучающегося на текущей аттестации осуществляется в соответствии с критериями, представленными в п. 7.1, и носит балльный характер.

Промежуточная аттестация

Форма промежуточной аттестации: Зачет.

При проведении промежуточной аттестации студент должен ответить на вопросы теоретического характера и практического характера.

При оценивании ответа на вопрос теоретического характера учитывается:

- теоретическое содержание не освоено, знание материала носит фрагментарный характер, наличие грубых ошибок в ответе;
- теоретическое содержание освоено частично, допущено не более двух-трех недочетов;
- теоретическое содержание освоено почти полностью, допущено не более одного-двух недочетов, но обучающийся смог бы их исправить самостоятельно;
- теоретическое содержание освоено полностью, ответ построен по собственному плану.

При оценивании ответа на вопрос практического характера учитывается объем правильного решения.

Основой для определения оценки служит уровень усвоения студентами материала, предусмотренного данной рабочей программой.

Оценивание обучающегося на промежуточной аттестации осуществляется в соответствии с критериями и носит балльный характер.

Рабочая программа дисциплины «Комбинационное рассеяние света в твердых телах» составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.04.02 Физика, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 7 августа 2020 г. № 914

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

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