

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Наумова Наталия Александровна

Должность: Ректор

Дата подписания: 04.08.2026 11:00:01

Уникальный идентификатор документа: 6b5279da4e034bffa79172803da5b2759c894d

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПРОСВЕЩЕНИЯ»

(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПРОСВЕЩЕНИЯ)

Физико-математический факультет

Кафедра фундаментальной физики и нанотехнологии

Согласовано

деканом физико-математического факультета

«18» марта 2026 г.

/Кулешова Ю.Д./

Рабочая программа дисциплины

Методы исследования наноструктур

Направление подготовки

03.03.02 Физика

Профиль:

Фундаментальная физика и нанотехнологии

Квалификация

Бакалавр

Форма обучения

Очная

Согласовано учебно-методической комиссией
физико-математического факультета

Протокол «18» марта 2026 г. № 8

Председатель УМКом _____

/Кулешова Ю.Д./

Рекомендовано кафедрой фундаментальной
физики и нанотехнологии

Протокол от «17» февраля 2026 г. № 12

Зав. кафедрой _____

/Холина С.А./

Москва

2026

Автор-составитель:
Курилов Александр Дмитриевич, кандидат физико-математических наук

Рабочая программа дисциплины «Методы исследования наноструктур» составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 03.03.02 Физика, утвержденного приказом МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ от 07.08.2020 г. № 891.

Дисциплина входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины (модули)», и является элективной дисциплиной.

Год начала подготовки (по учебному плану) 2026

СОДЕРЖАНИЕ

1. Планируемые результаты обучения	4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы	4
3. Объем и содержание дисциплины	5
4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся	7
5. Фонд оценочных средств для проведения текущей и промежуточной аттестации по дисциплине	10
6. Учебно-методическое и ресурсное обеспечение дисциплины	15
7. Методические указания по освоению дисциплины	16
8. Информационные технологии для осуществления образовательного процесса по дисциплине	16
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины	16

1. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

1.1. Цель и задачи дисциплины

Цель освоения дисциплины «Методы исследования наноструктур»: формирование у студентов базовых знаний в области методов исследования наноструктур, оценки их структуры, состава и свойств наноразмерных систем. Особое внимание уделяется освоению современных методов получения, регистрации и обработки экспериментальных данных, а также интерпретации результатов исследований наноматериалов. В процессе изучения дисциплины обеспечивается подготовка в областях применения микроскопических, спектроскопических и дифракционных методов исследования наноструктур, анализа их морфологии, фазового состава и физико-химических свойств. Рассматриваются особенности пробоподготовки образцов, выбор оптимальных методов исследования, а также принципы работы современного аналитического оборудования.

Задачи дисциплины:

- ознакомить студентов с физическими основами исследования наноструктур и характеристиках наноматериалов,
- сформировать навыки выбора методов исследования в зависимости от типа наноматериала и поставленной задачи,
- дать представление о методах определения структуры, морфологии и фазового состава наноматериалов,
- сформировать представление о взаимосвязи структуры и свойств наноматериалов,
- развить навыки самостоятельной научно-исследовательской работы.

1.2. Планируемые результаты обучения

В результате освоения дисциплины «Методы исследования наноструктур» у обучающихся формируются следующие компетенции:

ДПК-1. Способен понимать и использовать на практике теоретические основы организации и планирования исследований в области физики.

ДПК-2. Способен освоить современные концепции, теории, законы и методы в области физики, математики и информатики, овладеть основными методами решения задач, сформулированными в рамках данных предметных областей, и применить их в профессиональной деятельности

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины (модули)», и является элективной дисциплиной.

Для освоения дисциплины «Методы исследования наноструктур» используются знания, умения и виды деятельности, сформированные в процессе изучения следующих дисциплин: «Введение в общую физику», «Механика», «Молекулярная физика», «Электричество и магнетизм», «Оптика», «Атомная физика», «Математический анализ», «Линейная алгебра» и «Аналитическая геометрия».

Компетенции, знания, навыки и умения, полученные в ходе изучения дисциплины, должны всесторонне использоваться и развиваться студентами в процессе последующей профессиональной деятельности.

Знания и навыки, полученные при изучении дисциплины, дадут возможность студентам осваивать такие дисциплины учебного плана, как «Физика конденсированного состояния», «Статистическая физика», «Физическая кинетика», «Физическая электроника» и «Астрофизика».

Изучение дисциплины «Методы исследования наноструктур» является базой для дальнейшего обучения в бакалавриате, при прохождении практики и в профессиональной деятельности.

3. ОБЪЕМ И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Объем дисциплины

Показатель объема дисциплины	Форма обучения
	Очная

Объем дисциплины в зачетных единицах	4
Объем дисциплины в часах	144
Контактная работа:	90,2
Лекции	30
Лабораторные занятия	60
Контактные часы на промежуточную аттестацию:	0,2
Зачет	0,2
Самостоятельная работа	46
Контроль	7,8

Формой промежуточной аттестации являются: зачет в 8 семестре.

3.2. Содержание дисциплины

Наименование разделов (тем) дисциплины с кратким содержанием	Количество часов	
	Лекции	Лабораторные занятия
Тема 1. Основные понятия материаловедения и нанотехнологии. Понятие наноматериалов и их отличительные особенности. Основные физико-химические свойства, обусловленные наноразмерным состоянием. Основные термины и определения. Классификация по размерам объектов и изделий. Разделение наноматериалов по размерности (0D, 1D, 2D, 3D-структуры). Понятие дисперсности и ее роль в характеристике порошковых материалов. Методы количественного и качественного описания дисперсности. Подходы и методы определения дисперсности наноматериалов в различных средах, включая природные и техногенные объекты.	2	0
Тема 2. Строение, классификация и области применения наноматериалов. Классификация наноматериалов по фазовому составу. Классификация по природе нанофазы. Формы существования наноматериалов. Углеродные наноматериалы: фуллерены, нанотрубки, графен. Наноматериалы на основе металлов: квантовые точки, нанокристаллы, нанопорошки. Наноккомпозиты и нанопленки. Полимерные наноматериалы. Дендритные и иерархические наноструктуры.	2	0
Тема 3. Методы исследования наноструктур. Принципы классификации методов (микроскопия, спектроскопия, дифракция, масс-анализ). Краткая характеристика методов: электронная микроскопия (SEM, TEM), сканирующая зондовая микроскопия (STM, AFM), рентгеновская дифракция, оптическая и рамановская спектроскопия, масс-спектрометрия. Выбор метода в зависимости от задачи и типа наноматериала.	4	4
Тема 4. Основы рентгеновской дифракции. Порошковый рентгеновский дифрактометр. Дифракция рентгеновских лучей. Кристаллическая решетка. Условие Брэгга–Вульфа. Индексы Миллера. Порядок отражения. Дифракционный максимум. Поликристаллические материалы. Кристаллиты.	2	8
Тема 5. Применение рентгеновской дифракции для изучения структуры и состава. Параметры элементарной ячейки. Твердые растворы замещения. Закон Вегарда. Расчет параметра решетки по межплоскостным расстояниям. Фазовый анализ.	2	8

Тема 6. Масс-спектро스코пия. Вторичная ионная масс-спектро- скопия (ВИМС). Основы масс-спектроскопии. Физические основы метода ВИМС и формирование сигнала. Аппаратура и аналитические характери- стики. Статический и динамический режимы. Подготовка образ- цов. Анализ распределений концентрации по глубине. Количе- ственный анализ. Области применимости.	2	0
Тема 7. Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ). Физические основы туннельного эффекта. Конструкция и принцип действия СТМ. Режимы работы. Разрешение и области приме- нения.	2	0
Тема 8. Основы атомно-силовой микроскопии (АСМ). Устройство и принцип работы АСМ. Режимы работы (контактный, полуконтактный, бесконтактный). Магнитно-силовая и пьезосило- вая микроскопия. Сравнение с СТМ и электронной микроскопией.	2	8
Тема 9. Применение АСМ для исследования поверхности наноматериалов. Подготовка образцов. Определения шероховатости, параметров решеток. Получение достоверных данных. Интерпретация резуль- татов.	2	8
Тема 10. Электронная спектроскопия. Оже-электронная спектроскопия. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС). Фотоэффект. Энергетические спектры электронов. Информационная глубина анализа. Поверхностная чувствительность. Элементный состав поверхности. Применение для исследования наноматериалов.	2	0
Тема 11. Основы оптической спектроскопии. Отражение, пропускание, поглощение, рассеяние. Фотолюминес- ценция. Спектральные коэффициенты. Уравнения Максвелла, формулы Френеля. Комплексный показатель преломления. Интер- ференция в тонких пленках. Оптические свойства тонких пленок.	2	8
Тема 12. Спектроскопия комбинационного рассеяния. Неупругое рассеяние света. Стоксово и антистоксово рассеяние. Колебательные уровни молекул. Поляризуемость. Рамановский сдвиг. Зависимость от длины волны возбуждения и температуры. Рамановский микроскоп.	2	8
Тема 13. Поляризационная оптическая микроскопия. Поляризованный свет. Взаимодействие с анизотропными матери- алами. Контраст изображения. Двойное лучепреломление. Опти- ческая анизотропия кристаллов и полимеров. Применение для ис- следования структуры наноматериалов.	2	8
Тема 14. Компьютерное моделирование наноструктур Метод молекулярной динамики. Теория функционала плотности. Полуэмпирические методы расчета. Метод конечных элементов. Многомасштабное моделирование. Моделирование электронных, тепловых и механических свойств.	2	0
Итого	30	60

4. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУ- ЧАЮЩИХСЯ

Темы для самостоятельного изучения	Изучаемые вопросы	Кол-во часов	Формы самостоятельной работы	Методические обеспечения	Формы отчётности
Тема 1. Основные понятия материаловедения и нанотехнологии.	Подходы и методы определения дисперсности наноматериалов в различных средах, включая природные и техногенные объекты.	4	Работа с учебной и научной литературой, анализ примеров, подготовка краткого реферата по одному из методов	Основная и дополнительная литература (п. 6.1–6.2), интернет-ресурсы (п. 6.3)	Конспект, домашнее задание
Тема 2. Строение, классификация и области применения наноматериалов.	Полимерные наноматериалы. Дендритные и иерархические наноструктуры.	4	Работа с учебной и научной литературой, анализ примеров, подготовка краткого реферата по одному из методов	Основная и дополнительная литература (п. 6.1–6.2), интернет-ресурсы (п. 6.3)	Конспект, домашнее задание
Тема 3. Методы исследования наноструктур.	Выбор метода в зависимости от задачи и типа наноматериала.	4	Работа с учебной и научной литературой, анализ примеров, подготовка краткого реферата по одному из методов	Основная и дополнительная литература (п. 6.1–6.2), интернет-ресурсы (п. 6.3)	Конспект, домашнее задание
Тема 4. Основы рентгеновской дифракции.	Поликристаллические материалы. Кристаллиты.	4	Работа с учебной и научной литературой, анализ примеров, подготовка краткого реферата по одному из методов	Основная и дополнительная литература (п. 6.1–6.2), интернет-ресурсы (п. 6.3)	Конспект, домашнее задание
Тема 5. Применение рентгеновской дифракции для изучения структуры и состава.	Расчет параметра решетки по межплоскостным расстояниям. Фазовый анализ.	4	Работа с учебной и научной литературой, анализ примеров, подготовка краткого реферата по одному из методов	Основная и дополнительная литература (п. 6.1–6.2), интернет-ресурсы (п. 6.3)	Конспект, домашнее задание
Тема 6. Масс-спектро스코пия. Вторичная ионная масс-спектроскопия (ВИМС).	Анализ распределений концентрации по глубине. Количественный анализ. Области применимости.	4	Работа с учебной и научной литературой, анализ примеров, подготовка краткого реферата по одному из методов	Основная и дополнительная литература (п. 6.1–6.2), интернет-ресурсы (п. 6.3)	Конспект, домашнее задание
Тема 7. Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ).	Конструкция и принцип действия СТМ. Режимы работы. Разрешение и области применения.	4	Работа с учебной и научной литературой, анализ примеров, подготовка краткого реферата по одному из методов	Основная и дополнительная литература (п. 6.1–6.2), интернет-ресурсы (п. 6.3)	Конспект, домашнее задание
Тема 8. Основы атомно-сило-	Магнитно-силовая и пьезосиловая микроскопия. Сравнение с	4	Работа с учебной и научной литерату-	Основная и дополнительная литература (п.	Конспект,

вой микроскопии (АСМ).	СТМ и электронной микроскопией.		рой, анализ примеров, подготовка краткого реферата по одному из методов	6.1–6.2), интернет-ресурсы (п. 6.3)	домашнее задание
Тема 9. Применение АСМ для исследования поверхности наноматериалов.	Получение достоверных данных. Интерпретация результатов.	4	Работа с учебной и научной литературой, анализ примеров, подготовка краткого реферата по одному из методов	Основная и дополнительная литература (п. 6.1–6.2), интернет-ресурсы (п. 6.3)	Конспект, домашнее задание
Тема 10. Электронная спектроскопия.	Элементный состав поверхности. Применение для исследования наноматериалов.	2	Работа с учебной и научной литературой, анализ примеров, подготовка краткого реферата по одному из методов	Основная и дополнительная литература (п. 6.1–6.2), интернет-ресурсы (п. 6.3)	Конспект, домашнее задание
Тема 11. Основы оптической спектроскопии.	Интерференция в тонких пленках. Оптические свойства тонких пленок.	2	Работа с учебной и научной литературой, анализ примеров, подготовка краткого реферата по одному из методов	Основная и дополнительная литература (п. 6.1–6.2), интернет-ресурсы (п. 6.3)	Конспект, домашнее задание
Тема 12. Спектроскопия комбинационного рассеяния.	Рамановский сдвиг. Зависимость от длины волны возбуждения и температуры. Рамановский микроскоп.	2	Работа с учебной и научной литературой, анализ примеров, подготовка краткого реферата по одному из методов	Основная и дополнительная литература (п. 6.1–6.2), интернет-ресурсы (п. 6.3)	Конспект, домашнее задание
Тема 13. Поляризационная оптическая микроскопия.	Оптическая анизотропия кристаллов и полимеров. Применение для исследования структуры наноматериалов.	2	Работа с учебной и научной литературой, анализ примеров, подготовка краткого реферата по одному из методов	Основная и дополнительная литература (п. 6.1–6.2), интернет-ресурсы (п. 6.3)	Конспект, домашнее задание
Тема 14. Компьютерное моделирование наноструктур	Моделирование электронных, тепловых и механических свойств.	2	Работа с учебной и научной литературой, анализ примеров, подготовка краткого реферата по одному из методов	Основная и дополнительная литература (п. 6.1–6.2), интернет-ресурсы (п. 6.3)	Конспект, домашнее задание
Итог		46			

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

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

Код и наименование компетенции	Этапы формирования
ДПК-1. Способен понимать и использовать на практике теоретические основы организации и планирования исследований в области физики.	1. Работа на учебных занятиях 2. Самостоятельная работа

ДПК-2. Способен освоить современные концепции, теории, законы и методы в области физики, математики и информатики, овладеть основными методами решения задач, сформулированными в рамках данных предметных областей, и применить их в профессиональной деятельности.	1. Работа на учебных занятиях 2. Самостоятельная работа
--	--

5.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Оцениваемые компетенции	Уровень сформированности	Этапы формирования	Описание показателей	Критерии оценивания	Шкала оценивания
ДПК-1	Пороговый	1. Работа на учебных занятиях 2. Самостоятельная работа	Знать: основные механизмы и методики поиска и синтеза информации. Уметь: самостоятельно определять основные методики постановки цели и способы ее достижения.	доклад, домашнее задание, конспект	Шкала оценивания домашнего задания, шкала оценивания доклада, шкала оценивания конспекта
	Продвинутый	1. Работа на учебных занятиях 2. Самостоятельная работа	Знать: основные механизмы и методики поиска и синтеза информации. Уметь: разрабатывать этапы решения поставленной задачи, выделяя ее основные составляющие; Владеть: навыками поиска информации с применением современных наиболее эффективных технологий.	доклад, домашнее задание, конспект	Шкала оценивания домашнего задания, шкала оценивания доклада, шкала оценивания конспекта
ДПК-2	Пороговый	1. Работа на учебных занятиях 2. Самостоятельная работа	Знать: основные модели задач в рамках дисциплины с учетом их границ применимости. Уметь: производить целенаправленный поиск образовательных и научных источников по тематике курсовых работ и выпускной квалификационной работы.	доклад, домашнее задание, конспект	Шкала оценивания домашнего задания, шкала оценивания доклада, шкала оценивания конспекта
	Продвинутый	1. Работа на учебных занятиях 2. Самостоятельная работа	Знать: основные модели задач в рамках дисциплины с учетом их границ применимости. Уметь: производить целенаправленный поиск образовательных и научных источников по тематике курсовых работ и выпускной квалификационной работы. Владеть: навыками самостоятельной работы с учебной литера-	доклад, домашнее задание, конспект	Шкала оценивания домашнего задания, шкала оценивания доклада, шкала оценивания конспекта

			турой по фундаментальным разделам общей и теоретической физики; основной терминологией и понятийным аппаратом базовых физических дисциплин; навыками решения базовых физических задач.		
--	--	--	--	--	--

Шкала оценивания написания доклада

Уровни оценивания	Критерии оценивания	Баллы
Высокий (отлично)	Если студент отобразил в докладе 71-90% выбранной темы.	8-10
Оптимальный (хорошо)	Если студент отобразил в докладе 51-70% выбранной темы	5-7
Удовлетворительный	Если студент отобразил в докладе 31-50% выбранной темы	2-4
Неудовлетворительный	Если студент отобразил в докладе 0-30% выбранной темы	0-1

Шкала оценивания конспекта

Уровни оценивания	Критерии оценивания	Баллы
Высокий (отлично)	Если студент отобразил 71-90% от всех тем.	8-10
Оптимальный (хорошо)	Если студент отобразил 51-70% от всех тем.	5-7
Удовлетворительный	Если студент отобразил 31-50% от всех тем.	2-4
Неудовлетворительный	Если студент отобразил 0-30% от всех тем.	0-1

Шкала оценивания домашнего задания

Уровни оценивания	Критерии оценивания	Баллы
Высокий (отлично)	Студент правильно выполнил 76 – 100% всех домашних заданий	8-10
Оптимальный (хорошо)	Студент правильно выполнил 51 – 75% всех домашних заданий	5-7
Удовлетворительный	Студент правильно выполнил 31 – 50% всех домашних заданий	2-4
Неудовлетворительный	Студент правильно выполнил 0 – 30% всех домашних заданий	0-1

5.3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

Примеры домашних заданий

1. В таблице указаны различные аллотропные модификации углерода, на рис. 1 представлены в произвольном порядке схематические изображения структуры этих модификаций.

В работе требуется установить для различных аллотропных модификаций углерода соответствующие им схематические изображения структуры, показанные на рис. 1, и занести в таблицу 1 позиции, которыми они обозначены.

Таблица 1

Аллотропные модификации углерода	Структура (позиция на рис. 1)
Графит	
Алмаз	
Фуллерены	
Нанотрубки	
Нановолокна	
Графен	

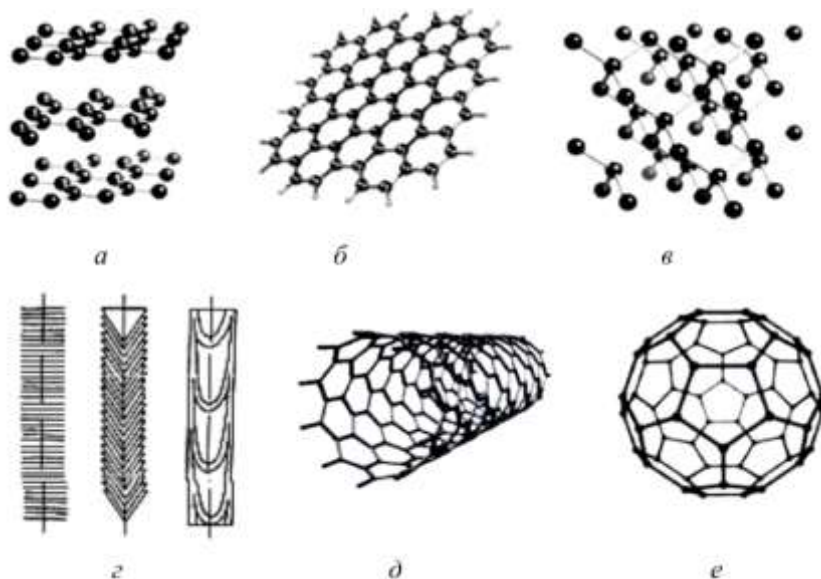


Рис. 1. Схематические изображения кристаллической структуры аллотропных модификаций углерода.

2. Для нанопорошка оксида цинка (ZnO , гексагональная сингония, параметры решётки $a = 0,3249 \text{ нм}$, $c = 0,5206 \text{ нм}$) получена дифрактограмма. Рассчитайте углы дифракционных максимумов (2θ) для плоскостей (100), (002) и (101) при использовании $\text{CuK}\alpha$ -излучения ($\lambda = 0,15418 \text{ нм}$). Определите размер кристаллитов по уширению пика (002), если его полуширина (FWHM) составляет $0,35^\circ$. Поясните, как изменится ширина пика при уменьшении размера кристаллитов до 5 нм .

3. Известно, что тонкие пленки выглядят окрашенными в различные цвета радуги при освещении их белым светом. При какой минимальной толщине пленки субоксида кремния (показатель преломления – $2,5$), нанесенной на кремниевую подложку (показатель преломления – $3,6$), она приобретет определенный цвет? Как изменится минимальная толщина, необходимая, чтобы пленка стала окрашенной, если вместо кремниевой будет использована кварцевая подложка (показатель преломления кварца – $1,5$)? Ответ пояснить. Нижнюю границу видимого света считать равной 380 нм .

4. В спектре комбинационного рассеяния углеродной нанотрубки наблюдаются пики при 1582 см^{-1} (G-мода) и 1350 см^{-1} (D-мода). Рассчитайте отношение интенсивностей I_D/I_G , если интенсивность G-пики составляет 8200 усл. ед. , а D-пики – 2460 усл. ед. . Оцените размер графитоподобных кластеров по формуле $L_a = C(\lambda) / (I_D/I_G)$, где для $\lambda = 532 \text{ нм}$ $C \approx 4,4 \text{ нм}$. Как изменится это отношение после термообработки образца? Объясните физический смысл.

5. Тонкая плёнка кремния (Si , $n = 3,5$) толщиной 200 нм нанесена на кварцевую подложку ($n = 1,46$). Рассчитайте спектр пропускания в диапазоне длин волн $400\text{--}800 \text{ нм}$ при нормальном падении света. Определите длины волн, соответствующие максимумам и минимумам пропускания. Как изменится картина, если плёнка будет иметь толщину 100 нм ? Постройте качественный график зависимости $T(\lambda)$ для обоих случаев.

6. На ПЭМ-изображении нанокompозита Ag-SiO_2 видны наночастицы серебра со средним диаметром 8 нм и дисперсией 15% . С помощью энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (ЭДС) получен спектр с пиками Ag и Si . Оцените массовую долю серебра в композите,

если известно, что площадь пика Ag составляет 1200 имп./с, а Si – 3400 имп./с. Для расчёта используйте факторы чувствительности Cliff–Lorimer: $K_{Ag/Si} = 1,8$. Поясните, какие факторы могут влиять на точность количественного анализа.

7. Вам необходимо определить: морфологию наночастиц оксида железа (сферичность, распределение по размерам); фазовый состав (магнетит/маггемит); толщину поверхностного слоя (олеиновая кислота, ~2 нм). Предложите последовательность методов исследования, обоснуйте выбор каждого метода. Укажите возможные альтернативы и их ограничения.

Примерные темы докладов

1. Сравнительный анализ разрешающей способности и областей применения SEM, TEM и AFM.
2. Физические основы и аналитические возможности рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (XPS).
3. Методы определения размера наночастиц: DLS, NTA, электронная микроскопия.
4. Применение спектроскопии комбинационного рассеяния для идентификации аллотропных форм углерода.
5. Подготовка образцов для исследований наноструктур.
6. In situ и operando методы исследования наноструктур.
7. Квантовые точки: синтез, методы характеризации и перспективы применения в биомедицине.
8. Искусственный интеллект в обработке данных микроскопии и спектроскопии наноматериалов.
9. Методы исследования дефектов в 2D-материалах (графен, TMDC).
10. Многомасштабное моделирование наноструктур.
11. Современные методы исследования наноструктурированных покрытий: механические, трибологические, коррозионные тесты.
12. Экологические аспекты нанотехнологий. Методы анализа миграции и трансформации наночастиц в окружающей среде.
13. Разработка методики контроля качества нанопорошков для аддитивных технологий.
14. Наноматериалы в фотовольтаике.
15. Методы диагностики биосовместимости наноструктурированных имплантатов (in vitro и in vivo).

Перечень примерных тем конспекта

Примерные вопросы к зачету

1. Дайте определение наноматериала. Каковы критерии отнесения объекта к нанодиапазону?
2. Объясните проявление размерных эффектов на примере зависимости температуры плавления, оптических свойств и реакционной способности наночастиц от их размера.
3. Классификация наноматериалов по размерности (0D, 1D, 2D, 3D). Приведите примеры.
4. Принцип работы сканирующего электронного микроскопа (СЭМ). Типы детекторов и получаемая информация.
5. Принцип работы просвечивающего электронного микроскопа (ПЭМ).
6. Физические основы сканирующей туннельной микроскопии (СТМ). Режимы работы и ограничения метода.
7. Принцип работы атомно-силового микроскопа (АСМ). Сравнение основных режимов (контактный, полуконтактный, бесконтактный). Преимущества и недостатки каждого.
8. Что такое магнитно-силовая микроскопия (МСМ) и для каких задач она применяется?
9. Сравните информативность и область применения СЭМ, ПЭМ и АСМ при исследовании нанокompозитов.
10. Что такое параметр элементарной ячейки? Как его определить по дифрактограмме поликристаллического образца?
11. Закон Вегарда. Как с его помощью определить состав твёрдого раствора?
12. Физические основы метода рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (XPS).
13. Принцип работы Оже-электронного спектрометра. В чём отличие от XPS?
14. Физические основы вторичной ионной масс-спектрометрии (ВИМС). Статический и динамический режимы, их применение.

15. Интерференция света в тонких плёнках. Как определить толщину плёнки по спектру отражения/пропускания?
16. Физические основы спектроскопии комбинационного рассеяния. Что такое стоксово и антистоксово рассеяние?
17. Какие параметры рамановского спектра (положение пиков, интенсивность, ширина) несут информацию о структуре и дефектах углеродных наноматериалов?
18. Поляризационная оптическая микроскопия: для исследования каких наноструктур она применяется и почему?
19. Методы определения размера наночастиц в коллоидных растворах (динамическое рассеяние света, нанотрекинг-анализ).
20. Термогравиметрический анализ (ТГА) и дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) в исследовании наноматериалов.
21. Методы компьютерного моделирования наноструктур: молекулярная динамика, теория функционала плотности, метод конечных элементов. Области применения каждого.
22. Подготовка образцов для исследования наноструктур: общие принципы и особенности для электронной микроскопии, АСМ, рентгенофазового анализа.
23. Составьте план исследования для определения морфологии, элементного состава, фазового состава и толщины оксидного слоя наночастиц алюминия. Обоснуйте выбор методов.
24. Сравните возможности методов элементного анализа: XPS, ЭДС, ВИМС. В каких случаях какой метод предпочтительнее?

5.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Оценивание степени освоения обучающимися дисциплины осуществляется на основе «Положение о балльно-рейтинговой системе оценки успеваемости студентов ГУП».

Сопоставимость рейтинговых показателей студента по разным дисциплинам и балльно-рейтинговой системы оценки успеваемости студентов обеспечивается принятием единого механизма оценки знаний студентов, выраженного в баллах, согласно которому 100 баллов – это полное усвоение знаний по учебной дисциплине, соответствующее требованиям учебной программы.

Максимальный результат, который может быть достигнут студентом по каждому из Блоков рейтинговой оценки – 100 баллов.

В зачетно-экзаменационную ведомость и зачетную книжку выставляются оценки по пяти-балльной шкале и рейтинговые оценки в баллах.

При получении студентом на зачете неудовлетворительной оценки в ведомость выставляется рейтинговая оценка в баллах (меньше 40 баллов), соответствующая фактическим знаниям (ответу) студента.

Критерии оценки знаний студентов в рамках каждой учебной дисциплины или групп дисциплин вырабатываются преподавателями согласованно на кафедрах университета исходя из требований образовательных стандартов.

Требования к зачету

Для допуска к зачету нужно выполнить все домашние задания, пройти все опросы, тестирование, и защитить одну курсовую работу по выбору студента. На зачете студент должен ответить на два теоретических вопроса.

Итоговая оценка «зачет» или «незачет» складывается из оценок за опросы, за домашние задания, за тестирования, а также за зачет с оценкой не менее «удовлетворительно». максимальный итоговый балл – 100 баллов.

Шкала оценивания зачета.

Критерии оценивания	Баллы
Свободное владение основными терминами и понятиями курса; последовательное и логичное изложение материала курса; законченные выводы и обобщения по теме	15-20

Критерии оценивания	Баллы
вопросов; исчерпывающие ответы на вопросы при сдаче зачета. Полностью выполнены и защищены лабораторные работы.	
Знание основных терминов и понятий курса; последовательное изложение материала курса; умение формулировать некоторые обобщения по теме вопросов; достаточно полные ответы на вопросы при сдаче зачета. Полностью выполнены и защищены лабораторные работы.	10-14
Удовлетворительное знание основных терминов и понятий курса; удовлетворительное знание и владение методами и средствами решения задач; недостаточно последовательное изложение материала курса; умение формулировать отдельные выводы и обобщения по теме вопросов. Выполнено и защищено не менее 75 % лабораторных работ.	5-9
Ответ, не соответствующий вышеуказанным критериям выставления оценок.	0-4

Итоговая шкала оценивания результатов освоения дисциплины

Итоговая оценка по дисциплине выставляется по приведенной ниже шкале. При выставлении итоговой оценки преподавателем учитывается работа обучающегося в течение освоения дисциплины, а также оценка по промежуточной аттестации.

Количество баллов	Оценка по традиционной шкале
81-100	Зачтено
61-80	Зачтено
41-60	Зачтено
0-40	Не зачтено

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И РЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Основная литература

1. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии : учебное пособие. – Нижний Новгород : Институт физики микроструктур РАН, 2004. – 144 с.
2. Неволин В.К. Зондовые нанотехнологии в электронике. – М. : Техносфера, 2014. – 174 с.
3. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. – 2-е изд., испр. – М. : Физматлит, 2007. – 414 с.
4. Ремпель А.А., Валеева А.А. Материалы и методы нанотехнологий: учебное пособие. – Екатеринбург: Изд-во Урал. Ун-та, 2015. – 136 с.
5. Уманский Я.С., Скаков Ю.А., Иванов А.Н., Расторгуев Л.Н. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. – М. : Металлургия, 1982. – 632 с.

6.2. Дополнительная литература

1. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. – М.: Наука, 1973. – 713 с.
2. Ландсберг Г.С. Оптика. – М.: Физматлит, 2003. – 848 с.
3. Нанотехнологии и наноматериалы. Практикум : учебно-методическое пособие / сост. Н. К. Толочко. – Минск : БГАТУ, 2021 – 80 с.

6.3. Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. Научная электронная библиотека <http://elibrary.ru>
2. SpringerLink : <https://link.springer.com>
3. Электронно-библиотечная система Лань <https://e.lanbook.com>
4. ООО «Электронное издательство Юрайт» <https://urait.ru>

7. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям.
2. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы по дисциплинам.

3. Методические рекомендации по написанию курсовой работы

8. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Лицензионное программное обеспечение:

Microsoft Windows

Microsoft Office

Kaspersky Endpoint Security

Информационные справочные системы:

Система «КонсультантПлюс»

Профессиональные базы данных

fgosvo.ru – Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования

pravo.gov.ru - Официальный интернет-портал правовой информации

www.edu.ru – Федеральный портал Российское образование

Свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства

ОМС Плеер (для воспроизведения Электронных Учебных Модулей)

7-zip

Google Chrome

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает в себя:

- учебные аудитории для проведения учебных занятий, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: комплект учебной мебели, доска, технические средства обучения (проектор подвесной, компьютер стационарный - моноблок);

- учебная аудитория для проведения учебных занятий, оснащенная оборудованием и техническими средствами обучения: Цифровые лаборатории: лаборатория атомно-силовой микроскопии, лаборатория рентгеноструктурного анализа. Лабораторные столы (1.10×0.75), Интерактивная доска, Подставка для проектора, Силовой щит с рубильником и автоматическими выключателями, Вентилятор в металлическом корпусе, Лабораторные шкафы школьные 2-секционные, Мультимедиа проектор Sanyo Pro, Компьютер, Сетевой фильтр, Аудиоколонки, Монитор, Электрический фильтр, Электрический удлинитель, Осциллограф, Милливольтметр, Стенд универсальный, Генератор сигналов низкочастотный, Источник питания универсальный, Амперметр универсальный, Вольтметр универсальный, Ваттметр универсальный, Фазометр универсальный, Стенд универсальный, Миллиамперметр универсальный, Вольтметр универсальный, Стенд универсальный (5 шт), Выпрямитель, Амперметр универсальный, Вольтметр универсальный (2 шт), Вольтметр универсальный цифровой, Рабочая модель трансформатора на подставке, Источник питания универсальный (3 шт), Вольтамперметр M2017, Вольтамперметр M2017, Вольтамперметр M2038, Вольтамперметр M2020, Вольтамперметр M1106, Вольтамперметр M1106, Вольтамперметр M2020, Панель для включения транзистора, биполярный транзистор. Панель для включения транзистора, транзистор. Лабораторная электрическая схема для изучения полупроводникового диода и стабилитрона. Список учебных таблиц и демонстрационных пособий: Порядок работы в лаборатории, Погрешности при физических измерениях, Фундаментальные физические константы, Греческий алфавит, Основные единицы СИ.

- помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой, подключенной к сети Интернет, обеспеченные доступом к электронной информационно-образовательной среде Университета. Персональные компьютеры с подключением к сети Интернет и обеспечением доступа к электронным библиотекам и в электронную информационно-образовательную среду Университета. Доска. Программное обеспечение: Лицензионное программное

обеспечение: Зарубежное: Microsoft Windows, Microsoft Office Отечественное: Kaspersky Endpoint Security Свободно распространяемое программное обеспечение: Зарубежное: Google Chrome, 7-zip Отечественное: ОМС Плеер (для воспроизведения Электронных Учебных Модулей) Информационные справочные системы: система «КонсультантПлюс»
Профессиональные базы данных: fgosvo.ru pravo.gov.ru;

- помещение для самостоятельной работы для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья, оснащенное компьютерной техникой, подключенной к сети Интернет, обеспечено доступом к электронно-образовательной среде Университета, Комплект учебной мебели, персональные компьютеры с подключением к сети Интернет и обеспечением доступа к электронным библиотекам и в электронную информационно-образовательную среду Университета, доска, проектор подвесной.