

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич
Должность: врио ректора
Дата подписания: 22.07.2025 17:22:56
Уникальный программный ключ:
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

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

Утверждаю:

Руководитель ООП



Е.М. Семенова

«24»

июня

2025 г.

Рабочая программа дисциплины

**Нанотехнологии в физике конденсированного
состояния**

Закреплена за кафедрой:	Физики конденсированного состояния
Направление подготовки:	03.03.02 Физика
Направленность (профиль):	Физика, технологии и компьютерное моделирование функциональных материалов
Квалификация:	Бакалавр
Форма обучения:	очная
Семестр:	8

Программу составил:

д-р физ.-мат. наук, проф., Солнышкин Александр Валентинович

Тверь, 2025

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цели освоения дисциплины (модуля):

Описание физических свойств и изучение структуры твердотельных наноматериалов, технологий их изготовления и методов исследования наномасштабных структур, а также рассмотрение различных аспектов их практического применения.

Задачи:

- Формирование представления об основных понятиях и идеях нанотехнологий в физике конденсированного состояния;
- обзор нанотехнологических процессов создания наноматериалов;
- рассмотрение основных тенденций развития нанотехнологий;
- знакомство с современными экспериментальными средствами исследования материалов с нанометровым пространственным разрешением;
- подготовка студентов к изучению, в случае необходимости, специальных обзоров и оригинальных работ по отдельным вопросам данной области знания.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Цикл (раздел) ОП: Б1.В

Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Физика конденсированного состояния вещества

Кристаллография

Физика поверхности и низкоразмерных систем

Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость	3 ЗЕТ
Часов по учебному плану	108
в том числе:	
аудиторные занятия	65
самостоятельная работа	16
часов на контроль	27

4. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

ПК-2.1: Проводит экспериментальные исследования с применением научно-исследовательского оборудования в соответствии с утвержденными методиками

ПК-2.2: Анализирует физические явления и процессы в области физики конденсированного состояния и составляет отчет по теме исследования или по результатам проведенных экспериментов

ПК-3.1: Осуществляет анализ структуры материалов

5. ВИДЫ КОНТРОЛЯ

Виды контроля в семестрах:	
экзамены	8

6. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ

Язык преподавания: русский.

7. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Код занят.	Наименование разделов и тем	Вид занятия	Семестр / Курс	Часов	Источники	Примечание
	Раздел 1. 1. Основные понятия, определения, терминология, классификация					
1.1	Введение. Понятие о нанотехнологии. Классификация нанобъектов. Размерные эффекты и свойства нанобъектов. Определение наночастицы. Свойства индивидуальных наночастиц. Характерные особенности нанобъектов.	Лек	8	4	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5	
1.2	Введение. Понятие о нанотехнологии. Классификация нанобъектов. Размерные эффекты и свойства нанобъектов. Определение наночастицы. Свойства индивидуальных наночастиц. Характерные особенности нанобъектов.	Ср	8	2	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5	
	Раздел 2. 2. Углеродные наноструктурированные материалы					
2.1	Основные физико-химические свойства углерода, углеродная связь, ее природа. Новые углеродные структуры. Углеродные кластеры: малые углеродные кластеры; фуллерен C ₆₀ ; структура фуллерена C ₆₀ и его кристаллов; C ₆₀ , легированный щелочными металлами; сверхпроводимость в C ₆₀ ; фуллерены с числом атомов, большим или меньшим 60. Углеродные нанотрубки: структура одностенных и многослойных нанотрубок; методы их получения; механические, электрические и колебательные свойства; дефекты в структуре нанотрубок и их влияние на физические свойства; применение углеродных нанотрубок. Графен: двумерная структура, основные свойства, применение.	Лек	8	7	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5	

2.2	Основные физико-химические свойства углерода, углеродная связь, ее природа. Новые углеродные структуры. Углеродные кластеры: малые углеродные кластеры; фуллерен C ₆₀ ; структура фуллерена C ₆₀ и его кристаллов; C ₆₀ , легированный щелочными металлами; сверхпроводимость в C ₆₀ ; фуллерены с числом атомов, большим или меньшим 60. Углеродные нанотрубки: структура одностенных и многослойных нанотрубок; методы их получения; механические, электрические и колебательные свойства; дефекты в структуре нанотрубок и их влияние на физические свойства; применение углеродных нанотрубок. Графен: двумерная структура, основные свойства, применение.	Ср	8	4	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5	
2.3	Основные физико-химические свойства углерода, углеродная связь, ее природа. Новые углеродные структуры. Углеродные кластеры: малые углеродные кластеры; фуллерен C ₆₀ ; структура фуллерена C ₆₀ и его кристаллов; C ₆₀ , легированный щелочными металлами; сверхпроводимость в C ₆₀ ; фуллерены с числом атомов, большим или меньшим 60. Углеродные нанотрубки: структура одностенных и многослойных нанотрубок; методы их получения; механические, электрические и колебательные свойства; дефекты в структуре нанотрубок и их влияние на физические свойства; применение углеродных нанотрубок. Графен: двумерная структура, основные свойства, применение.	Лаб	8	3	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5	
	Раздел 3. 3. Объемные наноструктурированные материалы					

3.1	Разупорядоченные твердотельные структуры: строение, свойства, методы синтеза. Наноструктурированные многослойные материалы. Наноструктурированные кристаллы: природные нанокристаллы, теоретическое предсказание кристаллических решеток из нанокластеров, кристаллы из металлических наночастиц, наноструктурированные кристаллы для фотоники. Наноккомпозиты и нанопористые материалы.	Лек	8	7	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5	
3.2	Разупорядоченные твердотельные структуры: строение, свойства, методы синтеза. Наноструктурированные многослойные материалы. Наноструктурированные кристаллы: природные нанокристаллы, теоретическое предсказание кристаллических решеток из нанокластеров, кристаллы из металлических наночастиц, наноструктурированные кристаллы для фотоники. Наноккомпозиты и нанопористые материалы.	Ср	8	1	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5	
3.3	Разупорядоченные твердотельные структуры: строение, свойства, методы синтеза. Наноструктурированные многослойные материалы. Наноструктурированные кристаллы: природные нанокристаллы, теоретическое предсказание кристаллических решеток из нанокластеров, кристаллы из металлических наночастиц, наноструктурированные кристаллы для фотоники. Наноккомпозиты и нанопористые материалы.	Лаб	8	2	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5	
	Раздел 4. 4. Квантовые ямы, проволоки и точки					

4.1	Методы формирования наноструктур. Эффекты, обусловленные размерами и размерностью нанобъектов: размерные эффекты; размерность объекта и электроны проводимости; Ферми-газ и плотность состояний; потенциальные ямы; частичная локализация; свойства, зависящие от плотности состояний. Одноэлектронное туннелирование. Применение наноструктур: инфракрасные детекторы, лазеры на квантовых точках. Сверхпроводимость квантовых наноструктур.	Лек	8	7	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5	
4.2	Методы формирования наноструктур. Эффекты, обусловленные размерами и размерностью нанобъектов: размерные эффекты; размерность объекта и электроны проводимости; Ферми-газ и плотность состояний; потенциальные ямы; частичная локализация; свойства, зависящие от плотности состояний. Одноэлектронное туннелирование. Применение наноструктур: инфракрасные детекторы, лазеры на квантовых точках. Сверхпроводимость квантовых наноструктур.	Лаб	8	4	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5	

4.3	Методы формирования наноструктур. Эффекты, обусловленные размерами и размерностью нанообъектов: размерные эффекты; размерность объекта и электроны проводимости; Ферми-газ и плотность состояний; потенциальные ямы; частичная локализация; свойства, зависящие от плотности состояний. Одноэлектронное туннелирование. Применение наноструктур: инфракрасные детекторы, лазеры на квантовых точках. Сверхпроводимость квантовых наноструктур.	Ср	8	2	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5	
	Раздел 5. 5. Методы зондовой нанотехнологии					
5.1	Технологическое оборудование для исследования поверхности твердых тел и создания наноструктур: общие принципы работы сканирующих зондовых микроскопов; нанотехнологический комплекс; сканирующий туннельный микроскоп (СТМ); атомно-силовой микроскоп (АСМ); другие сканирующие микроскопы. Методы создания наноструктур с помощью СЗМ. Физические эффекты, используемые в туннельно-зондовой нанотехнологии. Методы записи информации, основанные на изменении: геометрического рельефа поверхности, магнитной структуры поверхности, спонтанной поляризации в сегнетоэлектриках.	Лек	8	7	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5	

5.2	Технологическое оборудование для исследования поверхности твердых тел и создания наноструктур: общие принципы работы сканирующих зондовых микроскопов; нанотехнологический комплекс; сканирующий туннельный микроскоп (СТМ); атомно-силовой микроскоп (АСМ); другие сканирующие микроскопы. Методы создания наноструктур с помощью СЗМ. Физические эффекты, используемые в туннельно-зондовой нанотехнологии. Методы записи информации, основанные на изменении: геометрического рельефа поверхности, магнитной структуры поверхности, спонтанной поляризации в сегнетоэлектриках.	Лаб	8	9	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5	
5.3	Технологическое оборудование для исследования поверхности твердых тел и создания наноструктур: общие принципы работы сканирующих зондовых микроскопов; нанотехнологический комплекс; сканирующий туннельный микроскоп (СТМ); атомно-силовой микроскоп (АСМ); другие сканирующие микроскопы. Методы создания наноструктур с помощью СЗМ. Физические эффекты, используемые в туннельно-зондовой нанотехнологии. Методы записи информации, основанные на изменении: геометрического рельефа поверхности, магнитной структуры поверхности, спонтанной поляризации в сегнетоэлектриках.	Ср	8	4	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5	
	Раздел 6. 6. Методы нанолитографии					

6.1	Общие сведения. Рентгеновская, электронная и ионная литографии. Возможности пучковых методов литографии. Зондовые методы нанолитографии (СЗМ-литография). Литография наносферами. Нанопечатная литография (НПЛ). Литографически индуцированная самосборка наноструктур (ЛИС).	Лек	8	7	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5	
6.2	Общие сведения. Рентгеновская, электронная и ионная литографии. Возможности пучковых методов литографии. Зондовые методы нанолитографии (СЗМ-литография). Литография наносферами. Нанопечатная литография (НПЛ). Литографически индуцированная самосборка наноструктур (ЛИС).	Лаб	8	8	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5	
6.3	Общие сведения. Рентгеновская, электронная и ионная литографии. Возможности пучковых методов литографии. Зондовые методы нанолитографии (СЗМ-литография). Литография наносферами. Нанопечатная литография (НПЛ). Литографически индуцированная самосборка наноструктур (ЛИС).	Ср	8	3	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2 Л2.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5	
	Раздел 7. Экзамен					
7.1		Экзамен	8	27		

8. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

8.1. Оценочные материалы для проведения текущей аттестации

Оценочные материалы для проведения текущей аттестации приведены в приложении 2

8.2. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации

Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации приведены в приложении 2

8.3. Требования к рейтинг-контролю

Требования к рейтинг-контролю приведены в приложении 2

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

9.1. Рекомендуемая литература

9.1.1. Основная литература

Шифр	Литература
Л1.1	Рыжонков, Левина, Дзидзигури, Наноматериалы, Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012, ISBN: 978-5-9963-0345-8, URL: http://texts.lib.tversu.ru/texts/1002330ogl.pdf
Л1.2	Марголин В. И., Жабрев В. А., Лукьянов Г. Н., Тупик В. А., Введение в нанотехнологию, Санкт-Петербург: Лань, 2021, ISBN: 978-5-8114-1318-8, URL: https://e.lanbook.com/book/168460
Л1.3	Гусев А. И., Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии, Москва: Физматлит, 2009, ISBN: 978-5-9221-0582-8, URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68859

9.1.2. Дополнительная литература

Шифр	Литература
Л2.1	Мишина Е. Д., Шерстюк Н. Э., Евдокимов А. А., Методы получения и исследования наноматериалов и наноструктур. Лабораторный практикум по нанотехнологиям : учебное пособие, Москва: Лаборатория знаний, 2021, ISBN: 978-5-93208-545-5, URL: https://e.lanbook.com/book/166740
Л2.2	Иванов Н. Б., Покалюхин Н. А., Нанотехнологии материалов и покрытий, Казань: КНИТУ, 2019, ISBN: 978-5-7882-2538-8, URL: https://e.lanbook.com/book/166186
Л2.3	Неволин В. К., Зондовые нанотехнологии в электронике, Москва: Техносфера, 2014, ISBN: 978-5-94836-382-0, URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=260697

9.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

Э1	ЭБС «ИНФРА-М»: http://www.znaniyum.com
Э2	ЭБС «Университетская библиотека ОН-ЛАЙН»: http://www.biblioclub.ru
Э3	ЭБС «ЛАНЬ»: http://e.lanbook.com
Э4	Сайт "Нанометр. Нанотехнологическое сообщество": http://www.nanometer.ru
Э5	Сайт "Nano News Net": http://www.nanonewsnet.ru
Э6	:

9.3.1 Перечень программного обеспечения

1	Google Chrome
2	Adobe Acrobat Reader
3	OpenOffice
4	Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows
5	WinDjView

6	Foxit Reader
---	--------------

9.3.2 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1	ЭБС BOOK.ru
2	ЭБС ТвГУ
3	ЭБС «Лань»
4	ЭБС IPRbooks
5	ЭБС «Университетская библиотека онлайн»
6	ЭБС «ЮРАИТ»
7	ЭБС «ZNANIUM.COM»

10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Аудит-я	Оборудование
3-247	комплект учебной мебели, научно-учебный программно-аппаратный комплекс для микроанализа и морфологического анализа поверхности и для подготовки
3-218	комплект учебной мебели, переносной ноутбук, проектор, экран
3-4а	компьютеры, проектор, экран, переносной ноутбук, сумка для ноутбука, коммутатор, видеокамеры

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля) приведены в приложении 1