

|                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                             |        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Документ подписан простой электронной подписью<br>Информация о владельце:<br>ФИО: Таскаев Сергей Валерьевич<br>Должность: Ректор<br>Дата подписания: 17.06.2025 12:35:24<br>Уникальный программный ключ:<br>04c19ed8bfb98f3b6cb77a486b9a8788b8322323 | МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ<br>Федеральное государственное бюджетное образовательное<br>учреждение высшего образования<br>«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ») | Рабочая программа дисциплины "Физико-химические основы нанотехнологии" по направлению подготовки<br>(специальности) 28.03.02 "Наноинженерия" направленности (профилю) Нанотехнологии в<br>материаловедении ФГБОУ ВО «ЧелГУ» | стр. 1 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|

## Рабочая программа дисциплины (модуля)\*

Физико-химические основы нанотехнологии

Направление подготовки (специальность)

28.03.02 Наноинженерия

Направленность (профиль)

Нанотехнологии в материаловедении

Присваиваемая квалификация (степень)

бакалавр

Форма обучения

очная

Год(ы) набора 2025

\*Рабочая программа дисциплины (модуля) адаптирована для инклюзивного обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

Челябинск 2025 г.



## Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре ОПОП
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля)
4. Объем дисциплины (модуля)
5. Структура и содержание дисциплины (модуля)
6. Фонд оценочных средств
  - 6.1. Перечень видов оценочных средств
  - 6.2. Типовые контрольные задания и иные материалы для текущей аттестации
  - 6.3. Типовые контрольные вопросы и задания для промежуточной аттестации
  - 6.4. Критерии оценивания
7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)
  - 7.1. Рекомендуемая литература
  - 7.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"
  - 7.3. Перечень информационных технологий
8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Специальные условия освоения дисциплины обучающимися с инвалидностью и ограниченными возможностями здоровья



### 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель курса состоит в изучении студентами физических и химических особенностей нанодисперсных частиц, физико-химии поверхности, процессов формирования наноструктур и наноматериалов, методов получения и исследования наносистем.

Конкретные задачи курса сводятся к следующему:

1. Рассмотрение особенностей физических взаимодействий на наномасштабах;
2. Рассмотрение термодинамики поверхностных явлений в нанодисперсных системах;
3. Рассмотрение процессов формирования наночастиц в газовой и жидкой фазах и наносистем путем молекулярно-лучевой и газофазной эпитаксии;
4. Рассмотрение методов исследования наносистем;
5. Рассмотрение методов создания наноструктур с помощью СЗМ и нанолитографии;
6. Рассмотрение методов получения функциональных и конструкционных наноматериалов неорганической и органической природы.

Результаты обучения по дисциплине направлены на достижение индикаторов:

ОПК-2.1. Проводит технико-экономическое обоснование и экономическую оценку проектных решений и инженерных задач.

ОПК-2.2. Рассчитывает длительность выполнения технологических операций с использованием нормативных справочников.

ОПК-2.3. Анализирует и оценивает затраты предприятия (проекта) с учетом инженерных рисков.

ОПК-2.4. Использует исторический подход, категории исторического познания для анализа процессов, фактов и явлений в прошлом и настоящем.

ОПК-2.5. Проводит экологическую оценку проектных решений и инженерных задач.

ОПК-3.1. Составляет отчеты по учебно-исследовательской деятельности, включая анализ экспериментальных результатов, сопоставления их с известными аналогами

ОПК-3.2. Формирует демонстрационный материал и представляет результаты своей исследовательской деятельности на научных конференциях, во время промежуточных и итоговых аттестаций

ОПК-7.1. Использует нормативную и технологическую документацию для проектирования и сопровождения производства технических объектов, систем и процессов в области наноинженерии

### 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Цикл (раздел) ОПОП: Б1.О.11

#### 2.1 Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Современные технологии поиска и обработки информации

Математический анализ

Физика

Введение в специальность

Введение в наноинженерию

Неорганическая и органическая химия

Физическая химия

Физико-химия неорганических материалов

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

Материаловедение наноматериалов и наносистем

Компьютерное моделирование наносистем и процессов нанотехнологий

Фазовые равновесия и структурообразование

Выполнение и защита выпускной квалификационной работы

Производственная практика (научно-исследовательская работа)



### 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

**ОПК-2: Способен осуществлять профессиональную деятельность с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений на всех этапах жизненного цикла объектов, систем и процессов**

**Знать:**

Для достижения ОПК-2.1: технико-экономическое обоснование и экономическую оценку проектных решений и инженерных задач в области наноструктурированных материалов

**Уметь:**

Для достижения ОПК-2.2, ОПК-2.3: рассчитывать длительность выполнения технологических операций производства наноструктурированных материалов с использованием нормативных справочников

**Владеть:**

Для достижения ОПК-2.4, ОПК-2.5: основными представлениями о формировании наночастиц и наносистем

**ОПК-3: Способен проводить измерения и наблюдения, обрабатывать и представлять экспериментальные данные**

**Знать:**

Для достижения ОПК-3.1: основные физико-химические методы исследования структуры и свойств материалов

**Уметь:**

Для достижения ОПК-3.2: решать задачи по разработке макетов наноизделий и их модулей; производить расчеты технических характеристик макетов;

**Владеть:**

Для достижения ОПК-3.2: методами измерения, обработки и представления экспериментальных данных

**ОПК-7: Способен проектировать и сопровождать производство технических объектов, систем и процессов в области наноинженерии**

**Знать:**

Для достижения ОПК-7.1: физические и химические особенности нанодисперсных частиц, физико-химию поверхности, процессов формирования наноструктур и наноматериалов, методы получения и исследования наносистем

**Уметь:**

Для достижения ОПК-7.1: проектировать и сопровождать производство технических объектов, систем и процессов в области наноинженерии

**Владеть:**

Для достижения ОПК-7.1: представлениями о методах формирования наноструктур, получения и исследования наносистем

**В результате освоения дисциплины обучающийся должен**

|            |                                                                                                                                                     |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>3.1</b> | <b>Знать:</b>                                                                                                                                       |
| 3.1.1      | особенности физико-химических процессов протекающих в нанодисперсных системах; процессы формирования наночастиц и наносистем; методы решения задач; |
| <b>3.2</b> | <b>Уметь:</b>                                                                                                                                       |
| 3.2.1      | решать задачи, разрабатывать макеты наноизделий и их модули; производить расчеты технических характеристик макетов;                                 |
| <b>3.3</b> | <b>Владеть:</b>                                                                                                                                     |
| 3.3.1      | методами проектирования нанообъектов и формируемых на их основе изделий (включая электронные, механические, оптические и другие)                    |



#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

|                                      |      |                                                          |
|--------------------------------------|------|----------------------------------------------------------|
| Общая трудоемкость                   |      | 6 ЗЕТ                                                    |
| Часов по учебному плану              | 216  | Виды контроля в семестрах:<br><br>экзамены 6<br>зачеты 5 |
| в том числе                          |      |                                                          |
| аудиторные занятия                   | 86   |                                                          |
| самостоятельная работа               | 99,1 |                                                          |
| часов на контроль                    | 18   |                                                          |
| контактная работа: 98,9<br>ИКР: 12,9 |      |                                                          |

#### 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

| Код занятия | Наименование разделов и тем /вид занятия/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Семестр / Курс | Часов | Литература                                                               |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------|--------------------------------------------------------------------------|
|             | <b>Раздел 1. История возникновения и основные принципы нанотехнологий</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                |       |                                                                          |
| 1.1         | Что такое «нано»? Понятие о нанотехнологии. Классификация нанообъектов. Основные принципы (типы) нанотехнологий: предельная миниатюризация, распределенная структура, принцип построения системы «снизу-вверх» и «сверху- вниз», самоорганизация. Квантовые точки. Междисциплинарность нанотехнологий. Перспективы широкомасштабного применения нанотехнологий /Лек/                                                                                                           | 5              | 2     | Л1.1 Л1.2 Л1.4<br>Л1.5Л2.4 Л2.5<br>Л2.7<br>Э1 Э2 Э3 Э4                   |
| 1.2         | Классификация нанообъектов. Междисциплинарность нанотехнологий. /Ср/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 5              | 12    | Л1.1 Л1.2 Л1.4<br>Л1.5Л2.4 Л2.5<br>Л2.7<br>Э1 Э2 Э3 Э4                   |
|             | <b>Раздел 2. Физические и химические особенности нанодисперсных частиц</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                |       |                                                                          |
| 2.1         | Особенности физических взаимодействий на наномасштабах. Наноразмерные системы. Размерный эффект. Основные характеристики частиц в наноразмерном состоянии. Свойства наночастицы, обусловленные атомной и электронной подсистемами. Комплекс физических и химических свойств, возникающих при переходе от микро- к наноразмерам: большая удельная поверхность, увеличение химического потенциала, высокая адсорбционная активность, высокая проникающая способность и др. /Лек/ | 5              | 2     | Л1.1 Л1.2 Л1.4<br>Л1.5Л2.1 Л2.4<br>Л2.5 Л2.6 Л2.7<br>Л2.8<br>Э1 Э2 Э3 Э4 |
| 2.2         | Наноразмерные системы. Размерный эффект. Основные характеристики частиц в наноразмерном состоянии. Свойства наночастицы, обусловленные атомной и электронной подсистемами. /Пр/                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 5              | 4     | Л1.1 Л1.2 Л1.4<br>Л1.5Л2.1 Л2.4<br>Л2.5 Л2.6 Л2.7<br>Л2.8<br>Э1 Э2 Э3 Э4 |
| 2.3         | Комплекс физических и химических свойств, возникающих при переходе от микро- к наноразмерам: большая удельная поверхность, увеличение химического потенциала, высокая адсорбционная активность и др. /Ср/                                                                                                                                                                                                                                                                      | 5              | 14,5  | Л1.1 Л1.2 Л1.4<br>Л1.5Л2.1 Л2.4<br>Л2.5 Л2.6 Л2.7<br>Л2.8<br>Э1 Э2 Э3 Э4 |
|             | <b>Раздел 3. Физико-химия поверхности</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                |       |                                                                          |
| 3.1         | Термодинамическая теория поверхности. Понятие поверхности разрыва. Давление Лапласа. Влияние поверхностных эффектов на температуру плавления. Испарение. Термодинамика поверхностных явлений в малых кристаллах. /Лек/                                                                                                                                                                                                                                                         | 5              | 4     | Л1.1 Л1.2 Л1.3<br>Л1.4 Л1.5Л2.2<br>Л2.3 Л2.4 Л2.5<br>Л2.7<br>Э1 Э2 Э3 Э4 |



|                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |   |    |                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|----|--------------------------------------------------------------------------|
| 3.2                                                                | Давление Лапласа. Влияние поверхностных эффектов на температуру плавления. Термодинамика поверхностных явлений в малых кристаллах. /Пр/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 5 | 4  | Л1.1 Л1.2 Л1.3<br>Л1.4 Л1.5Л2.2<br>Л2.3 Л2.4 Л2.5<br>Л2.7<br>Э1 Э2 Э3 Э4 |
| 3.3                                                                | Термодинамическая теория поверхности. Понятие поверхности разрыва. Испарение. Термодинамика поверхностных явлений в малых кристаллах. /Ср/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 5 | 12 | Л1.1 Л1.2 Л1.3<br>Л1.4 Л1.5Л2.2<br>Л2.3 Л2.4 Л2.5<br>Л2.7<br>Э1 Э2 Э3 Э4 |
| <b>Раздел 4. Гетерогенные процессы формирования наноструктур</b>   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |   |    |                                                                          |
| 4.1                                                                | Образование зародышей новой фазы. Критический размер зародыша. Флуктуации. Скорость зарождения. Зарождение кристаллов в жидкой фазе. Гетерогенное зарождение. Активные центры на подложке. Формула Юнга. Образование наночастиц в коллоидном растворе, механическое диспергирование крупных частиц. Упорядоченные решетки наночастиц в коллоидных суспензиях. Самоорганизованные коллоидные структуры. Примеры химического синтеза наночастиц. Поверхностно активные вещества (ПАВ). Самособранные монослои и мультислои. /Лек/                                                                                                                                                                                                                  | 5 | 6  | Л1.1 Л1.2 Л1.4<br>Л1.5Л2.4 Л2.5<br>Л2.7<br>Э1 Э2 Э3 Э4                   |
| 4.2                                                                | Образование зародышей новой фазы. Критический размер зародыша. Скорость зарождения. Зарождение кристаллов в жидкой фазе. Гетерогенное зарождение. Поверхностно активные вещества (ПАВ). /Пр/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 5 | 4  | Л1.1 Л1.2 Л1.4<br>Л1.5Л2.4 Л2.5<br>Л2.7<br>Э1 Э2 Э3 Э4                   |
| 4.3                                                                | Активные центры на подложке. Формула Юнга. Образование наночастиц в коллоидном растворе, механическое диспергирование крупных частиц. Упорядоченные решетки наночастиц в коллоидных суспензиях. Примеры химического синтеза наночастиц. /Ср/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 5 | 20 | Л1.1 Л1.2 Л1.4<br>Л1.5Л2.4 Л2.5<br>Л2.7<br>Э1 Э2 Э3 Э4                   |
| <b>Раздел 5. Гетерогенные процессы формирования наноматериалов</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |   |    |                                                                          |
| 5.1                                                                | Коалесценция. Принцип Кюри. Теория Лифшица-Слезова. Самосоогласованное диффузионное поле. Механизмы и лимитирующие стадии массопереноса. Спекание. Спекание с участием жидкой фазы. Механизмы припекания твердых тел контактирующих в точке. Тонкие пленки. Островковые металлические пленки. Получение гибридных полимер-неорганических нанокомпозитов. Получение гибридных нанокомпозитов золь-гель-методом. Металлополимерные пленки Ленгмюра-Блоджетт - самоорганизованные гибридные нанокомпозиты. Электропроводящие свойства гибридных нанокомпозитов. Оптические и полупроводниковые свойства гибридных нанокомпозитов. Основные области применения гибридных нанокомпозитов. Лекция 6. Методы получения упорядоченных наноструктур /Лек/ | 5 | 4  | Л1.1 Л1.2 Л1.4<br>Л1.5Л2.4 Л2.5<br>Л2.7<br>Э1 Э2 Э3 Э4                   |
| 5.2                                                                | Коалесценция. Теория Лифшица-Слезова. Механизмы и лимитирующие стадии массопереноса. Спекание. Спекание с участием жидкой фазы. Механизмы припекания твердых тел контактирующих в точке. Тонкие пленки. Островковые металлические пленки. /Пр/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 5 | 4  | Л1.1 Л1.2 Л1.4<br>Л1.5Л2.4 Л2.5<br>Л2.7<br>Э1 Э2 Э3 Э4                   |
| 5.3                                                                | Получение гибридных полимер-неорганических нанокомпозитов. Электропроводящие, оптические и полупроводниковые свойства гибридных нанокомпозитов. Основные области применения гибридных нанокомпозитов. /Ср/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 5 | 12 | Л1.1 Л1.2 Л1.4<br>Л1.5Л2.4 Л2.5<br>Л2.7<br>Э1 Э2 Э3 Э4                   |
| <b>Раздел 6. Методы получения упорядоченных наноструктур</b>       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |   |    |                                                                          |



|                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |   |     |                                                        |
|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-----|--------------------------------------------------------|
| 6.1                                                         | Эпитаксия. Механизмы гетерогенного образования зародышей и эпитаксии. Молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ). Самоорганизация при эпитаксиальном росте. МЛЭ и реализация идей сверхрешетки для устройств наноэлектроники. Возможности методов МЛЭ и ГФЭ МОС в наноэлектронике. Создание упорядоченных квантовых наноструктур. Концепция "сверху-вниз". Получение квантовых точек самосборкой атомов (концепция "снизу-вверх"). Сборка наноструктур под влиянием механического напряжения. Автоматическая сборка наноструктур. Управляемая ДНК сборка наноструктур. /Лек/           | 6 | 4   | Л1.1 Л1.2 Л1.4<br>Л1.5Л2.4 Л2.5<br>Л2.7<br>Э1 Э2 Э3 Э4 |
| 6.2                                                         | Эпитаксия. Механизмы гетерогенного образования зародышей и эпитаксии. Молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ). Создание упорядоченных квантовых наноструктур. Получение квантовых точек самосборкой атомов (концепция "снизу-вверх"). /Пр/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 6 | 6   | Л1.1 Л1.2 Л1.4<br>Л1.5Л2.4 Л2.5<br>Л2.7<br>Э1 Э2 Э3 Э4 |
| 6.3                                                         | Самоорганизация при эпитаксиальном росте. Возможности методов МЛЭ и ГФЭ МОС в наноэлектронике. Сборка наноструктур под влиянием механического напряжения. Управляемая ДНК сборка наноструктур. /Ср/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 6 | 3,6 | Л1.1 Л1.2 Л1.4<br>Л1.5Л2.4 Л2.5<br>Л2.7<br>Э1 Э2 Э3 Э4 |
| <b>Раздел 7. Методы исследования наносистем.</b>            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |   |     |                                                        |
| 7.1                                                         | Дифракция рентгеновских лучей. Электронная микроскопия (ПЭМ, СЭМ). Зондовая микроскопия: сканирующий туннельный микроскоп (СТМ); атомно-силовой микроскоп (АСМ); другие сканирующие микроскопы. Оже-спектроскопия. Методы оптической спектроскопии. Технологическое оборудование для исследования поверхности твердых тел и создания наноструктур. /Лек/                                                                                                                                                                                                                        | 6 | 2   | Л1.1 Л1.2 Л1.4<br>Л1.5Л2.4 Л2.5<br>Л2.7<br>Э1 Э2 Э3 Э4 |
| 7.2                                                         | Дифракция рентгеновских лучей. Электронная микроскопия (ПЭМ, СЭМ). Зондовая микроскопия: сканирующий туннельный микроскоп (СТМ); атомно-силовой микроскоп (АСМ); другие сканирующие микроскопы. Методы оптической спектроскопии. /Пр/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 6 | 6   | Л1.1 Л1.2 Л1.4<br>Л1.5Л2.4 Л2.5<br>Л2.7<br>Э1 Э2 Э3 Э4 |
| 7.3                                                         | Оже-спектроскопия. Технологическое оборудование для исследования поверхности твердых тел и создания наноструктур. /Ср/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 6 | 4   | Л1.1 Л1.2 Л1.4<br>Л1.5Л2.4 Л2.5<br>Л2.7<br>Э1 Э2 Э3 Э4 |
| <b>Раздел 8. Методы создания наноструктур с помощью СЗМ</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |   |     |                                                        |
| 8.1                                                         | Физические эффекты, используемые в туннельно-зондовой нанотехнологии. Методы зондовой нанотехнологии. Методы записи информации. Методы записи, основанные на изменении геометрического рельефа поверхности. Прямая модификация рельефа поверхности (механический метод). Электронно-стимулированное осаждение или травление. Массоперенос с помощью острия. Термополевой способ записи. Атомная сборка. Квантовый "загон". Методы записи, основанные на изменении магнитной структуры поверхности. Наностекла - новая запоминающая среда. Электрохимический массоперенос. /Лек/ | 6 | 2   | Л1.1 Л1.2 Л1.4<br>Л1.5Л2.4 Л2.5<br>Л2.7<br>Э1 Э2 Э3 Э4 |
| 8.2                                                         | Методы зондовой нанотехнологии. Методы записи информации. Электронно-стимулированное осаждение или травление. Массоперенос с помощью острия. Термополевой способ записи. Атомная сборка. Электрохимический массоперенос. /Пр/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 6 | 4   | Л1.1 Л1.2 Л1.4<br>Л1.5Л2.4 Л2.5<br>Л2.7<br>Э1 Э2 Э3 Э4 |
| 8.3                                                         | Методы записи, основанные на изменении геометрического рельефа поверхности и на изменении магнитной структуры поверхности. /Ср/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 6 | 4   | Л1.1 Л1.2 Л1.4<br>Л1.5Л2.4 Л2.5<br>Л2.7<br>Э1 Э2 Э3 Э4 |
| <b>Раздел 9. Пучковые и другие методы нанолитографии</b>    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |   |     |                                                        |



|                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |   |   |                                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|--------------------------------------------------------|
| 9.1                                                                                                     | Рентгеновская литография. Электронная литография. Ионная литография. Возможности пучковых методов литографии. Зондовые методы нанолитографии (СЗМ-литография). Прямое нанесение рисунка с помощью СТМ (автоэмиссионный метод). Формирование рисунка в слое металла, полученного разложением металлоорганического соединения. Литография с использованием резиста. Ленгмюровские пленки - перспективный резистивный материал для нанолитографии. Термомеханическая нанолитография. Перьевая нанолитография. Нанопечатная литография (НПЛ). /Лек/                                              | 6 | 2 | Л1.1 Л1.2 Л1.4<br>Л1.5Л2.4 Л2.5<br>Л2.7<br>Э1 Э2 Э3 Э4 |
| 9.2                                                                                                     | Рентгеновская литография. Электронная литография. Ионная литография. Возможности пучковых методов литографии. Зондовые методы нанолитографии. Термомеханическая нанолитография. Перьевая нанолитография. /Пр/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 6 | 4 | Л1.1 Л1.2 Л1.4<br>Л1.5Л2.4 Л2.5<br>Л2.7<br>Э1 Э2 Э3 Э4 |
| 9.3                                                                                                     | Прямое нанесение рисунка с помощью СТМ (автоэмиссионный метод). Ленгмюровские пленки - перспективный резистивный материал для нанолитографии. Нанопечатная литография (НПЛ). /Ср/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 6 | 4 | Л1.1 Л1.2 Л1.4<br>Л1.5Л2.4 Л2.5<br>Л2.7<br>Э1 Э2 Э3 Э4 |
| <b>Раздел 10. Физика наноустройств</b>                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |   |   |                                                        |
| 10.1                                                                                                    | Устройства оптоэлектроники и наноэлектроники. Туннельный диод. Одноэлектроника. Светодиоды и лазеры на двойных гетероструктурах. Фотоприемники на квантовых ямах. Фотодиоды на системе квантовых ям. Устройства и приборы нанофотоники. Волоконная оптика. Оптические переключатели и фильтры. Магнитные наноустройства для записи и хранения информации. Наносенсоры. /Лек/                                                                                                                                                                                                                 | 6 | 2 | Л1.1 Л1.2 Л1.4<br>Л1.5Л2.4 Л2.5<br>Л2.7<br>Э1 Э2 Э3 Э4 |
| 10.2                                                                                                    | Туннельный диод. Одноэлектроника. Светодиоды и лазеры на двойных гетероструктурах. Фотодиоды на системе квантовых ям. Волоконная оптика. Магнитные наноустройства для записи и хранения информации. Наносенсоры. /Пр/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 6 | 4 | Л1.1 Л1.2 Л1.4<br>Л1.5Л2.4 Л2.5<br>Л2.7<br>Э1 Э2 Э3 Э4 |
| 10.3                                                                                                    | Устройства и приборы нанофотоники. Оптические переключатели и фильтры. /Ср/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 6 | 3 | Л1.1 Л1.2 Л1.4<br>Л1.5Л2.4 Л2.5<br>Л2.7<br>Э1 Э2 Э3 Э4 |
| <b>Раздел 11. Функциональные и конструкционные наноматериалы неорганической и органической природы.</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |   |   |                                                        |
| 11.1                                                                                                    | Углеродные наноструктуры. Фуллерены -новые перспективные материалы широкого применения в наноэлектронике. Методы получения и разделения фуллеренов. Применение фуллеренов. Углеродные нанотрубки. Методы получения нанотрубок. Электрические свойства. Механические свойства. Применение углеродных нанотрубок. Ленгмюровские молекулярные пленки. Некоторые свойства ленгмюровских пленок. Наночастицы биологического происхождения. Наноматериалы и наночастицы техногенного происхождения и их классификация – наночастицы металлов и оксидов металлов, дендримеры, наноглины и др. /Лек/ | 6 | 2 | Л1.1 Л1.2 Л1.4<br>Л1.5Л2.4 Л2.5<br>Л2.7<br>Э1 Э2 Э3 Э4 |
| 11.2                                                                                                    | Углеродные наноструктуры. Методы получения и разделения фуллеренов. Углеродные нанотрубки. Электрические и механические свойства. Методы получения нанотрубок. Наночастицы биологического происхождения. Наноматериалы и наночастицы техногенного происхождения. /Пр/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 6 | 6 | Л1.1 Л1.2 Л1.4<br>Л1.5Л2.4 Л2.5<br>Л2.7<br>Э1 Э2 Э3 Э4 |
| 11.3                                                                                                    | Фуллерены -новые перспективные материалы широкого применения в наноэлектронике. Применение углеродных нанотрубок. Ленгмюровские молекулярные пленки. /Ср/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 6 | 3 | Л1.1 Л1.2 Л1.4<br>Л1.5Л2.4 Л2.5<br>Л2.7<br>Э1 Э2 Э3 Э4 |
| <b>Раздел 12. Искусственное нанотехнообразование</b>                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |   |   |                                                        |



|                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |   |     |                                                                  |
|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-----|------------------------------------------------------------------|
| 12.1                                            | Напряженные полупроводниковые гетероструктуры и приготовление из них нанотрубок. Метод изготовления нанотрубок сворачиванием полупроводниковых гетерослоев. Формирование полупроводниковых и металлических нановолокон и спиралей. Периодические квантовые твердотельные наноструктуры, сверхрешетки из квантовых точек. Свойства микро- и наноболочек. Репликация наноструктур "формированием" полимеров. /Лек/ | 6 | 2   | Л1.1 Л1.2 Л1.4<br>Л1.5Л2.4 Л2.5<br>Л2.7<br>Э1 Э2 Э3 Э4           |
| 12.2                                            | Напряженные полупроводниковые гетероструктуры и приготовление из них нанотрубок. Метод изготовления нанотрубок сворачиванием полупроводниковых гетерослоев. Формирование полупроводниковых и металлических нановолокон и спиралей. /Пр/                                                                                                                                                                          | 6 | 4   | Л1.1 Л1.2 Л1.4<br>Л1.5Л2.4 Л2.5<br>Л2.7<br>Э1 Э2 Э3 Э4           |
| 12.3                                            | Свойства микро- и наноболочек. Репликация наноструктур "формированием" полимеров. /Ср/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 6 | 3   | Л1.1 Л1.2 Л1.4<br>Л1.5Л2.4 Л2.5<br>Л2.7<br>Э1 Э3 Э4              |
| <b>Раздел 13. Области применения наночастиц</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |   |     |                                                                  |
| 13.1                                            | Пищевая, фармацевтическая, химическая, нефтяная промышленность; экология; энергетика; сельское хозяйство; электроника; машиностроение, космические технологии и др. Выгоды и риски нанотехнологий /Лек/                                                                                                                                                                                                          | 6 | 2   | Л1.1 Л1.2 Л1.4<br>Л1.5Л2.4 Л2.5<br>Л2.7<br>Э1 Э2 Э3 Э4           |
| 13.2                                            | Пищевая, фармацевтическая, химическая, нефтяная промышленность; экология; энергетика; сельское хозяйство; электроника; машиностроение, космические технологии и др. Выгоды и риски нанотехнологий /Ср/                                                                                                                                                                                                           | 6 | 4   | Л1.1 Л1.2 Л1.4<br>Л1.5Л2.4 Л2.5<br>Л2.7<br>Э1 Э2 Э3 Э4           |
| <b>Раздел 14. Иная контактная работа</b>        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |   |     |                                                                  |
| 14.1                                            | Индивидуальные консультации, текущий контроль /ИКР/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 5 | 3,5 | Л1.1 Л1.2 Л1.4<br>Л1.5Л2.2 Л2.3<br>Л2.4 Л2.5 Л2.7<br>Э1 Э2 Э3 Э4 |
| 14.2                                            | Индивидуальные консультации, текущий контроль /ИКР/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 6 | 9,4 | Л1.1 Л1.2 Л1.4<br>Л1.5Л2.2 Л2.3<br>Л2.4 Л2.5 Л2.7<br>Э1 Э2 Э3 Э4 |

## 6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

### 6.1. Перечень видов оценочных средств

Контрольные вопросы, задачи  
Вопросы к зачету, экзамену

### 6.2. Типовые контрольные задания и иные материалы для текущей аттестации

Примеры задач

1. Определите удельную поверхность следующих частиц: а) куб с длиной ребра 1 мкм (10<sup>-6</sup> м), б) шар с диаметром 1 мкм, в) цилиндр с высотой и диаметром основания по 1 мкм.
2. Гидрозо́ль содержит сферические частицы, причем 30% массы приходится на частицы, имеющие радиус 20 нм, а масса остальных – на частицы радиуса 100 нм. Какова удельная поверхность частицы дисперсной фазы?
3. Определите радиус частиц золя иодида серебра, используя следующие данные: коэффициент диффузии равен 1,2•10<sup>-10</sup> м<sup>2</sup>/с, вязкость среды – 1•10<sup>-3</sup> Па•с, температура – 298 К.
4. При исследовании гидрозоля золота методом поточной ультрамикроскопии в объеме W = 1,6•10<sup>-11</sup> м<sup>3</sup> подсчитано 70 частиц. Определите средний радиус частиц золя, считая их форму сферической. Весовая концентрация золя C = 7•10<sup>-21</sup> кг/м<sup>3</sup>, плотность  $\rho$  = 19,3•10<sup>3</sup> кг/м<sup>3</sup>.
5. Определите диаметр частиц аэрозоля, используя результат исследования методом поточной ультрамикроскопии: в объеме 2,2•10<sup>-2</sup> мм<sup>3</sup> подсчитано 87 частиц аэрозоля (дыма мартеновских печей). Концентрация аэрозоля 1•10<sup>-4</sup> кг/м<sup>3</sup>, плотность дисперсной фазы 2 г/см<sup>3</sup>, форма частиц сферическая.
6. Оцените размеры зародышей критического размера кластеров воды и ртути и определите, какие из них образуются с большей термодинамической вероятностью при температуре 200С и давлении 5000 Па. Поверхностное



натяжение воды и ртути при заданной температуре равно 72,5 мДж/м<sup>2</sup> и 470,9 мДж/м<sup>2</sup> соответственно; плотность воды и ртути 0,998 г/см<sup>3</sup> и 13,546 г/см<sup>3</sup> соответственно; давление насыщенных паров воды и ртути 2336,8 Па и 162,66•10<sup>-3</sup> Па соответственно.

7. Рассчитайте работы образования зародышей критического размера в расплавах никеля и меди при охлаждении их от температур плавления до температуры 8000С. Температура плавления меди 10830С, никеля – 14550С. Удельная теплота плавления меди 2688 кал/моль, никеля – 4200 кал/моль; плотность расплава меди 8030 кг/м<sup>3</sup>, никеля – 7800 кг/м<sup>3</sup>, поверхностное натяжение расплавов меди 11,2 Н/м, никеля – 1,7 Н/м.

8. Сравните объемы зародышей жидкой фазы критического размера этанола при их гомогенном образовании в газовой фазе и гетерогенном на поверхности полиэтилена при температуре 200С и давлении 4000 Па.

Поверхностное натяжение спирта при заданной температуре равно 22 мДж/м<sup>2</sup>; плотность – 0,789 г/см<sup>3</sup>; давление насыщенного пара – 5333 Па; краевой угол смачивания составляет 950.

9. Оцените критические размеры зародышей твердой фазы KCl и CaCl<sub>2</sub> при их образовании из пересыщенных водных растворов с концентрацией 90 вес. %, если концентрации их насыщенных растворов равны 73,5 вес. % и 54,5 вес. %. Поверхностная энергия твердых кристаллов KCl и CaCl<sub>2</sub> равна 110 и 450 мН/м, а их плотность - 1,98 и 2,51 г/см<sup>3</sup> соответственно.

10. Сравните скорости образования зародышей критического размера KCl и CaCl<sub>2</sub> при их образовании из пересыщенных водных растворов с концентрацией 90 вес. % (величины поверхностной энергии и плотность твердых кристаллов указаны в предыдущей задаче).

11. Известно, что при температуре воздуха в нижнем слое атмосферы Земли, равной 300С, влажный воздух охлаждается в среднем на 0,440С при подъеме на каждые 100 м высоты. Пользуясь зависимостями поверхностного натяжения воды и ее плотности от температуры, рассчитайте величины работ образования зародышей жидкой фазы критического размера и критические радиусы зародышей на высотах 1 км, 3 км 8 км при степени пересыщения, равной двум. Зависимостями указанных физических величин от атмосферного давления пренебречь.

### 6.3. Типовые контрольные вопросы и задания для промежуточной аттестации

Контрольные вопросы по дисциплине физико-химические основы нанотехнологии:

1. Понятие о нанотехнологии. Классификация нанообъектов.
2. Квантовые точки. Особенности физических взаимодействий на наномасштабах.
3. Размерный эффект. Основные характеристики частиц в наноразмерном состоянии.
4. Свойства наночастицы, обусловленные атомной и электронной подсистемами.
5. Термодинамическая теория поверхности. Понятие поверхности разрыва.
6. Давление Лапласа.
7. Влияние поверхностных эффектов на температуру плавления.
8. Термодинамика поверхностных явлений в малых кристаллах.
9. Образование зародышей новой фазы. Критический размер зародыша.
10. Флуктуации. Скорость зарождения.
11. Зарождение кристаллов в жидкой фазе.
12. Гетерогенное зарождение.
13. Активные центры на подложке. Формула Юнга.
14. Образование наночастиц в коллоидном растворе, механическое диспергирование крупных частиц.
15. Примеры химического синтеза наночастиц.
16. Поверхностно активные вещества (ПАВ).
17. Самособранные монослои и мультислои.
18. Упорядоченные решетки наночастиц в коллоидных суспензиях.
19. Самоорганизованные коллоидные структуры.
20. Коалесценция. Принцип Кюри.
21. Теория Лифшица-Слезова. Самосогласованное диффузионное поле.
22. Механизмы и лимитирующие стадии массопереноса.
23. Спекание. Спекание с участием жидкой фазы.
24. Механизмы припекания твердых тел контактирующих в точке.
25. Тонкие пленки. Островковые металлические пленки.
26. Получение гибридных полимер-неорганических нанокомпозитов.
27. Получение гибридных нанокомпозитов золь-гель-методом.
28. Металлополимерные пленки Ленгмюра-Блоджетт.
29. Электропроводящие свойства гибридных нанокомпозитов.
30. Оптические и полупроводниковые свойства гибридных нанокомпозитов.



31. Наноструктурированные материалы.
32. Влияние наноструктурирования объемного материала на магнитные свойства.
33. Наноструктурированные многослойные материалы.
34. Эпитаксия.
35. Механизмы гетерогенного образования зародышей и эпитаксии.
36. Молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ).
37. МЛЭ и реализация идей сверхрешетки для устройств нанoeлектроники.
38. Возможности методов МЛЭ и ГФЭ МОС в нанoeлектронике.
39. Создание упорядоченных квантовых наноструктур.
40. Концепция "сверху-вниз".
41. Получение квантовых точек самосборкой атомов ("снизу-вверх").
42. Сборка наноструктур под влиянием механического напряжения.
43. Управляемая ДНК сборка наноструктур.
44. Дифракция рентгеновских лучей.
45. Электронная микроскопия (ПЭМ, СЭМ).
46. Зондовая микроскопия: сканирующий туннельный микроскоп (СТМ); атомно-силовой микроскоп (АСМ); другие сканирующие микроскопы.
47. Методы оптической спектроскопии.
48. Хроматографические методы.
49. Туннельно-зондовые нанотехнологии.
50. Методы зондовой нанотехнологии.
51. Методы записи информации. Методы записи, основанные на изменении геометрического рельефа поверхности.
52. Методы записи, основанные на изменении магнитной структуры поверхности.
53. Прямая модификация рельефа поверхности (механический метод).
54. Термополевой способ записи.
55. Электронно-стимулированное осаждение или травление.
56. Массоперенос с помощью острия.
57. Атомная сборка.
58. Квантовый "загон".
59. Наностекла - новая запоминающая среда.
60. Рентгеновская литография. Электронная литография.
61. Ионная литография. Возможности пучковых методов литографии.
62. Зондовые методы нанолитографии (СЗМ-литография). Силовая СЗМ-литография. Токовая СЗМ-литография.
63. Прямое нанесение рисунка с помощью СТМ (автоэмиссионный метод).
64. Совместное использование лазера и СТМ в нанолитографии.
65. Ленгмюровские пленки - перспективный резистивный материал для нанолитографии.
66. Термомеханическая нанолитография. Перьевая нанолитография.
67. Устройства оптоэлектроники и нанoeлектроники.
68. Туннельный диод.
69. Одноэлектроника.
70. Светодиоды и лазеры на двойных гетероструктурах.
71. Фотоприемники на квантовых ямах. Фотодиоды.
72. Устройства и приборы нанофотоники.
73. Волоконная оптика.
74. Оптические переключатели и фильтры.
75. Магнитные наноустройства для записи и хранения информации.
76. Наносенсоры.
77. Углеродные наноструктуры.
78. Методы получения и разделения фуллеренов. Применение фуллеренов.
79. Углеродные нанотрубки. Методы получения нанотрубок.
80. Ленгмюровские молекулярные пленки.
81. Перенос монослоев на твердые тела. Нарастивание мультислоев.
82. Наночастицы биологического происхождения.
83. Наноматериалы и наночастицы техногенного происхождения – наночастицы металлов и оксидов металлов, наноглины и др.
84. Напряженные полупроводниковые гетероструктуры и приготовление из них нанотрубок.
85. Метод изготовления нанотрубок сворачиванием полупроводниковых гетерослоев.
86. Формирование полупроводниковых и металлических нановолокон и спиралей.



87. Области применения наночастиц. Выгоды и риски нанотехнологий.

#### 6.4. Критерии оценивания

Текущий контроль теоретических знаний и практических навыков производится при выполнении контрольных работ в форме ответов на контрольные вопросы и решения домашних задач.

В 5 семестре оценка «зачтено» ставится при условии посещения практических и лекционных занятий, а также при выполнении контрольных работ, иначе – «не зачтено»

Студент допускается к сдаче экзамена в конце семестра при выполнении домашних расчетно-практических работ. Экзаменационная оценка ставится на основании письменного и устного ответов по экзаменационному билету.

Оценка «Отлично» ставится в том случае если студент:

- обнаруживает верное понимание сущности рассматриваемых явлений и закономерностей, законов и теорий, дает точное определение и истолкование основных понятий законов, теорий, а также правильное определение физических величин из единиц и способов измерения;
- правильно выполняет чертежи, схемы и графики сопутствующие ответу;
- может устанавливать связь между изучаемым и ранее изученным материалом по курсу дисциплины, а также с материалом, усвоенным при изучении других дисциплин.

Оценка «Хорошо» ставится, если ответ удовлетворяет основным требованиям на оценку «Отлично», но не использует план ответа, новые примеры, не применяет знания в новой ситуации, не использует связи с ранее изученным материалом и материалом, усвоенным другим дисциплинами.

Оценка «Удовлетворительно» ставится, если большая часть ответа удовлетворяет требованиям ответу на оценку «Хорошо», но в ответе обнаруживаются отдельные пробелы, не препятствующие дальнейшему усвоению программного материала. Студент умеет применять полученные знания при решении простых задач с использованием готовых формул, но затрудняется при решении задач требующих преобразования формул.

Оценка «Неудовлетворительно» ставится в том случае, если студент не овладел основными знаниями и умениями в соответствии с требованиями программы либо не может ответить ни на один из поставленных вопросов.

В письменных работах учитывается также, какая часть работы выполнена.

### 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

#### 7.1. Рекомендуемая литература

##### 7.1.1. Основная литература

|      | Авторы,                                                                                 | Заглавие                                                                                                                                                                                                                              | Издательство,                      | Ресурс |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|--------|
| ЛП.1 | Егорова Е. В.,<br>Поленов Ю. В.                                                         | Физико-химические основы нанотехнологий: руководство к практическим занятиям<br>( <a href="http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&amp;pl1_id=4510">http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&amp;pl1_id=4510</a> ) | Иваново :<br>ИГХТУ, 2009           | ЭБС    |
| ЛП.2 | Елисеев А. А.,<br>Лукашин А. В.                                                         | Функциональные наноматериалы: учебное пособие<br>( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=68876">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=68876</a> )                                                      | Москва :<br>Физматлит, 2010        | ЭБС    |
| ЛП.3 | Морачевский А. Г.                                                                       | Физическая химия. Поверхностные явления и дисперсные системы<br>( <a href="https://e.lanbook.com/book/212024">https://e.lanbook.com/book/212024</a> )                                                                                 | Санкт-Петербург :<br>Лань, 2022    | ЭБС    |
| ЛП.4 | Смирнов В.И.                                                                            | Физические основы нанотехнологий и наноматериалы: учебное пособие<br>( <a href="https://znanium.com/catalog/document?id=434808">https://znanium.com/catalog/document?id=434808</a> )                                                  | Вологда : Инфра-Инженерия,<br>2023 | ЭБС    |
| ЛП.5 | Пряхин Е. И.,<br>Вологжанина С. А.,<br>Петкова А. П.,<br>Ганзуленко О. Ю.,<br>Под р. П. | Наноматериалы и нанотехнологии: учебник для вузов<br>( <a href="https://e.lanbook.com/book/323648">https://e.lanbook.com/book/323648</a> )                                                                                            | Санкт-Петербург :<br>Лань, 2023    | ЭБС    |

##### 7.1.2. Дополнительная литература

|      | Авторы,                                             | Заглавие                                                                                                                                                                                            | Издательство,            | Ресурс |
|------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------|
| Л2.1 | Сафонова Л. П.,<br>Королев В. В.,<br>Савельев В. И. | Физическая химия дисперсных систем<br>( <a href="http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&amp;pl1_id=4465">http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&amp;pl1_id=4465</a> )         | Иваново :<br>ИГХТУ, 2007 | ЭБС    |
| Л2.2 | Егорова Е. В.,<br>Поленов Ю. В.                     | Поверхностные явления и дисперсные системы<br>( <a href="http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&amp;pl1_id=4500">http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&amp;pl1_id=4500</a> ) | Иваново :<br>ИГХТУ, 2008 | ЭБС    |



|      | Авторы,                                               | Заглавие                                                                                                                                                                                                  | Издательство,                       | Ресурс |
|------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------|
| Л2.3 | Улитин М. В.,<br>Филиппов Д. В.,<br>Федоров А. А.     | Поверхностные явления. Адсорбция: учебное пособие<br>( <a href="https://e.lanbook.com/book/96114">https://e.lanbook.com/book/96114</a> )                                                                  | Иваново :<br>ИГХТУ, 2014            | ЭБС    |
| Л2.4 | Пул Ч., Оуэнс Ф. ,<br>Головин Ю. И.,<br>Лучинин В. В. | Нанотехнологии: учебное пособие для вузов                                                                                                                                                                 | Москва :<br>Техносфера,<br>2006     |        |
| Л2.5 | Гусев А. И.                                           | Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии                                                                                                                                                              | Москва :<br>Физматлит, 2007         |        |
| Л2.6 | Ершов Ю.А.                                            | Коллоидная химия. Физическая химия дисперсных систем:<br>учебник<br>( <a href="https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785970424285.html">https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785970424285.html</a> ) | Москва :<br>ГЭОТАР-<br>Медиа, 2013  | ЭБС    |
| Л2.7 | Гусев А. И.                                           | Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии:<br>монография<br>( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=68859">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=68859</a> )            | Москва :<br>Физматлит, 2009         | ЭБС    |
| Л2.8 | Морачевский А. Г.,<br>Фирсова Е. Г.                   | Физическая химия. Гетерогенные системы<br>( <a href="https://e.lanbook.com/book/213284">https://e.lanbook.com/book/213284</a> )                                                                           | Санкт-<br>Петербург :<br>Лань, 2022 | ЭБС    |

#### 7.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

|    |                                                                                                                                                                                               |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Э1 | Лань [Электронный ресурс] : электронно-библиотечная система (ЭБС) / издательство Лань. URL:<br><a href="http://e.lanbook.com/">http://e.lanbook.com/</a>                                      |
| Э2 | Юрайт [Электронный ресурс] : электронно-библиотечная система (ЭБС) / издательство Юрайт. URL:<br><a href="https://urait.ru">https://urait.ru</a>                                              |
| Э3 | Университетская библиотека онлайн [Электронный ресурс] : электронно-библиотечная система (ЭБС) / ООО<br>Директмедиа Паблишинг. URL: <a href="http://biblioclub.ru/">http://biblioclub.ru/</a> |
| Э4 | eLIBRARY.RU [Электронный ресурс] : электронная библиотека / Науч. электрон. б-ка. URL:<br><a href="http://elibrary.ru/defaultx.asp">http://elibrary.ru/defaultx.asp</a>                       |

#### 7.3 Перечень информационных технологий

##### 7.3.1 Программное обеспечение

|                       |
|-----------------------|
| Adobe Reader          |
| WinDjView             |
| LMS Moodle            |
| Adobe Connect Acrobat |
| OpenOffice            |
| Ubuntu Linux          |
| LibreOffice           |
| ПО Kaspersky          |

##### 7.3.2 Профессиональные базы данных и информационно-справочные системы

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Электронный каталог научной библиотеки ЧелГУ [Электронный ресурс] : база данных / Челяб. гос. ун-т. – Челябинск, 1992.                                                                                                                                                                                                 |
| 2. APS JOURNALS. Physical Review Letters, Physical Review X, Physical Review, and Reviews of Modern Physics : журналы American Physical Society : сайт. – URL: <a href="http://journals.aps.org/about">http://journals.aps.org/about</a> – Яз. англ. – Режим доступа: только из сети университета. – Текст : электронный. |
| 3. Web of Science : мультидисциплинарная реферативная база данных / компания Thomson Reuters. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей ЧелГУ. – Текст : электронный.                                                                                                                                               |
| 4. Scopus : реферативная база данных / Elsevier BV. – URL: <a href="http://www.scopus.com/">http://www.scopus.com/</a> – Яз. англ. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей ЧелГУ. – Текст : электронный.                                                                                                          |
| 5. Springer Link : [сайт]. – URL: <a href="http://link.springer.com/">http://link.springer.com/</a> – Яз. англ. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей ЧелГУ. – Текст : электронный.                                                                                                                             |

#### 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)



Освоение дисциплины осуществляется в учебной аудитории первого корпуса, рассчитанной на 25 студентов. Если занятия ведутся для потока студентов, то дисциплина ведется в лекционной аудитории первого корпуса, рассчитанной на 100 студентов.

Для успешного освоения дисциплины аудитория должна быть оборудована мультимедийным комплексом и экраном для демонстрации слайдовых презентаций.

Используются электронный читальный зал научной библиотеки ЧелГУ (аудитории 205, 206) для самостоятельной работы студента, оснащенные персональными компьютерами, мультимедийной аппаратурой. В аудиториях обеспечен доступ к различной справочной литературе, энциклопедиям, библиографическим и полнотекстовым базам данных, информационным ресурсам «Интернет».

## 9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

При изучении данной дисциплины используются лекционные, практические занятия и самостоятельная работа студента. На лекционных занятиях преподаватель излагает основное содержание тем программы. Проработку лекционного материала желательно проводить как после каждого занятия, так и по завершению темы. Это позволит связать воедино полученные сведения и составить цельную картину.

На практических занятиях рассматриваются основные методы и приемы решения задач. Рекомендуется перед каждым практическим занятием выполнить домашнее задание, что позволит лучше усвоить предыдущий материал и изучить лекционный материал по предстоящей теме.

Важным моментом при изучении любой дисциплины является организация самостоятельной работы. При освоении материала не следует стремиться к механическому запоминанию приведенных определений, формулировок и положений, если требования к Вам прямо не указывают на это. Вполне эффективной может оказаться попытка понять суть явления, выработать свое отношение к нему, опираясь на материал, содержащийся в рекомендованной литературе. Сказанное особенно эффективно, когда речь идет о таких требованиях, как «понимает» или «имеет представление». Напротив, если Вы имеете дело с требованием к деятельности «должен уметь», то рекомендуется поупражняться в соответствующем виде деятельности. Все это имеет непосредственное отношение к подготовке к практическим занятиям.

В случае применения при обучении дисциплины электронного обучения, дистанционных образовательных технологий общение обучающихся и преподавателя осуществляется в режиме реального времени (онлайн-лекции (вебинары), чаты, видео-конференции и др.) или отложенного времени (система дистанционного обучения Moodle, MS Office365, форумы, электронная почта и др.).

При обучении лиц с ограниченными возможностями здоровья электронное обучение, дистанционные образовательные технологии предусматривают возможность приема-передачи информации в доступных для них формах.

Реализация дисциплины с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий (далее – ЭО, ДОТ) осуществляется на основании «Положения о реализации основных и дополнительных образовательных программ с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Челябинский государственный университет», «Положения о порядке зачета обучающимися по основным профессиональным образовательным программам высшего образования в ФГБОУ ВО «ЧелГУ» результатов освоения в организациях, осуществляющих образовательную деятельность, учебных предметов, курсов, дисциплин (модулей), практик, дополнительных образовательных программ» посредством электронной информационно-образовательной среды ФГБОУ ВО «ЧелГУ». В исключительных случаях (форс-мажор и т.п.) при реализации образовательной деятельности с применением ЭО, ДОТ могут применять компоненты, не входящие в перечень электронной информационно-образовательной среды.

## 10. СПЕЦИАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ ОБУЧАЮЩИМИСЯ С ИНВАЛИДНОСТЬЮ И ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

Освоение дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья осуществляется с использованием специальных технических средств и информационных технологий, предоставляемых Ресурсным учебно-методическим центром по обучению инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья ЧелГУ по запросу обучающегося (мобильные специальные технические средства для лиц с нарушениями зрения и с нарушением слуха, ассистивные информационные технологии).

При необходимости для обучающихся с нарушениями зрения на рабочих местах для проведения практических или лабораторных занятий устанавливается специальное программное обеспечение (программа речевой навигации, речевые синтезаторы, экранные лупы).

В учебные аудитории обеспечивается беспрепятственный доступ для обучающихся с инвалидностью и с ограниченными возможностями здоровья. В каждой аудитории, где обучаются инвалиды и лица с ограниченными возможностями здоровья, предусматривается соответствующее количество мест для обучающихся с учетом



нарушений их здоровья.

Для освоения дисциплины инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется доступ к печатным источникам, имеющимся в научной библиотеке ЧелГУ, с помощью специальных технических средств; доступ с помощью специальных технических и программных средств к электронным источникам, представленным в форме электронного документа в фонде научной библиотеки ЧелГУ или электронно-библиотечных системах.

Учебно-методические материалы для обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и особенностям восприятия информации.

Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья освоение дисциплины может быть частично или полностью осуществлено с использованием дистанционных образовательных технологий.

При проведении промежуточной аттестации по дисциплине обучающимся с инвалидностью и с ограниченными возможностями здоровья обеспечивается по их заявлению предоставление в доступной форме в зависимости от их индивидуальных особенностей инструкции о порядке проведения промежуточной аттестации, оценочных средств и возможности ответов на задания (письменно на бумаге, набор ответов на компьютере, письменно шрифтом Брайля, с использованием услуг ассистента, устно).

При проведении процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предусматривается использование предоставленных ЧелГУ или собственных технических средств, необходимых им в связи с их индивидуальными особенностями. При необходимости инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется дополнительное время для подготовки ответа на задания, процедура оценивания результатов обучения по дисциплине может проводиться в несколько этапов.

**28.03.02 Наноинженерия, профиль "Нанотехнологии в материаловедении", РПД "Физико-химические основы нанотехнологии", 2025 г.н., очная форма обучения**

Проректор по учебной работе                      утверждено 24.02.25                      А.А. Саламатов

Ученым советом физического факультета

## Протокол заседания № 06 от 20.02.2025

Председатель Ученого совета  
физического факультета

согласовано

М.А. Загребин

**Заседанием кафедры физики конденсированного состояния**

## Протокол заседания № 04 от 18.02.2025

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ согласовано \_\_\_\_\_ В.Д. Бучельников

Автор (составитель) Ш.Ш. Ягафаров

**Структура рабочей программы соответствует приказу ректора ФГБОУ ВО «ЧелГУ» от «13» апреля 2021 г. № 247-1**