

Документ подписан электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 10.07.2024 12:02:42  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

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

Утверждаю:



Руководитель ООП

*[Handwritten signature]*  
\_\_\_\_\_

Б.Б.Педько

«21» мая 2024 г.

Рабочая программа дисциплины

**Физика поверхности и низкоразмерных систем**

Закреплена за кафедрой: **Общей физики**

Направление подготовки: **03.03.02 Физика**

Направленность (профиль): **Физика, технологии и компьютерное моделирование функциональных материалов**

Квалификация: **Бакалавр**

Форма обучения: **очная**

Семестр: **7**

Программу составил(и):

*д-р физ.-мат. наук, проф., Самсонов Владимир Михайлович*

*Самсонов*

Тверь, 2024

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

### Цели освоения дисциплины (модуля):

Формирование у обучающихся представлений о физике процессов на поверхностях раздела сред, о методах диагностики свойств поверхности твердых тел, о физических свойствах твердотельных структур пониженной размерности.

### Задачи:

- формирование базовых знаний и комплекса умений, необходимых для решения задач в области физики поверхности и низкоразмерных систем.
- формирование у обучающихся представлений о современных методах определения состава, структуры, динамики и электронного строения приповерхностной области твердых тел и межфазных границ.
- получение обучающимися знаний о роли физико-химических процессов, протекающих на поверхности твердых тел, на границах раздела сред и в низкоразмерных системах, в современной электронике, микроэлектронике и наноэлектронике.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Цикл (раздел) ОП: Б1.В

### Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Кристаллография

Физика конденсированного состояния вещества

Физика полупроводников

Фазовые переходы

Термодинамика и статистическая физика

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

Нанотехнологии в физике конденсированного состояния

Физика полупроводников

## 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

<b>Общая трудоемкость</b>	2 ЗЕТ
Часов по учебному плану	72
<b>в том числе:</b>	
аудиторные занятия	52
самостоятельная работа	12

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

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

УК-1.1: Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие

УК-1.5: Рассматривает и предлагает возможные варианты решения поставленной задачи, оценивая их достоинства и недостатки

## 5. ВИДЫ КОНТРОЛЯ

Виды контроля в семестрах:
----------------------------

зачеты	7
--------	---

## 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. Гетерогенные термодинамические системы					
1.1	1. Гетерогенные термодинамические системы, границы раздела фаз, толщина границы раздела по Ребиндеру.	Лек	7	1	Л1.1 Л1.3 Л1.2Л2.1 Л2.2	
1.2	1. Гетерогенные термодинамические системы, границы раздела фаз, толщина границы раздела по Ребиндеру.	Пр	7	1	Л1.1 Л1.3 Л1.2Л2.1 Л2.2	
	Раздел 2. 2. Динамическое и энергетическое определения поверхностного натяжения.					
2.1	2. Динамическое и энергетическое определения поверхностного натяжения. Формула Ван-дер-Ваальса-Баккера. Тензор поверхностных напряжений.	Лек	7	1	Л1.1 Л1.3 Л1.2Л2.1 Л2.2	
2.2	2. Динамическое и энергетическое определения поверхностного натяжения. Формула Ван-дер-Ваальса-Баккера. Тензор поверхностных напряжений.	Пр	7	1	Л1.1 Л1.3 Л1.2Л2.1 Л2.2	
	Раздел 3. 3. Основы термодинамики плоской границы раздела фаз					
3.1	3. Основы термодинамики плоской границы раздела фаз: характеристические функции, метод поверхностных фаз Гиббса, удельная поверхностная энергия, адсорбция. Соотношение Гиббса-Гельмгольца. Взаимосвязь между удельной свободной энергией и поверхностным натяжением, эквимолекулярная разделяющая поверхность.	Лек	7	2	Л1.1 Л1.3 Л1.2Л2.1 Л2.2	

3.2	3. Основы термодинамики плоской границы раздела фаз: характеристические функции, метод поверхностных фаз Гиббса, удельная поверхностная энергия, адсорбция. Соотношение Гиббса-Гельмгольца. Взаимосвязь между удельной свободной энергией и поверхностным натяжением, эквимолекулярная разделяющая поверхность.	Пр	7	2	Л1.1 Л1.3 Л1.2Л2.1 Л2.2	
	Раздел 4. 4. Криволинейные границы раздела.					
4.1	4. Криволинейные границы раздела. Влияние выбора положения разделяющей поверхности на величину поверхностного натяжения. Уравнение Кондо. Поверхность натяжения.	Лек	7	2	Л1.1 Л1.3 Л1.2Л2.1 Л2.2	
4.2	4. Криволинейные границы раздела. Влияние выбора положения разделяющей поверхности на величину поверхностного натяжения. Уравнение Кондо. Поверхность натяжения.	Пр	7	2	Л1.1 Л1.3 Л1.2Л2.1 Л2.2	
	Раздел 5. 5. Влияние кривизны поверхности на термодинамические характеристики.					
5.1	5. Влияние кривизны поверхности на термодинамические характеристики. Соотношения Гиббса, формула Лапласа.	Лек	7	1	Л1.1 Л1.3 Л1.2Л2.1 Л2.2	
5.2	5. Влияние кривизны поверхности на термодинамические характеристики. Соотношения Гиббса, формула Лапласа.	Пр	7	1	Л1.1 Л1.3 Л1.2Л2.1 Л2.2	
	Раздел 6. 6. Капиллярные явления					
6.1	6. Капиллярные явления: смачивание, капиллярная конденсация.	Лек	7	1	Л1.1 Л1.3 Л1.2Л2.1 Л2.2	
6.2	6. Капиллярные явления: смачивание, капиллярная конденсация.	Пр	7	1	Л1.1 Л1.3 Л1.2Л2.1 Л2.2	

	Раздел 7. 7. Классификации низкоразмерных систем					
7.1	7. Классификации низкоразмерных систем по их размерности: 0D, 1D, 2D и 3D структуры. Классификация дисперсных систем в коллоидной химии: по размеру частиц (степени дисперсности), фазовому состоянию диспергированной фазы и дисперсионной среды. Свободнодисперсные системы и связнодисперсные системы, разбавленные и концентрированные дисперсные системы. Классификация дисперсных систем по природе устойчивости и интенсивности межмолекулярного взаимодействия на границе раздела фаз (лиофильные и лиофобные системы).	Лек	7	2	Л1.1 Л1.3 Л1.2Л2.1 Л2.2	
7.2	7. Классификации низкоразмерных систем по их размерности: 0D, 1D, 2D и 3D структуры. Классификация дисперсных систем в коллоидной химии: по размеру частиц (степени дисперсности), фазовому состоянию диспергированной фазы и дисперсионной среды. Свободнодисперсные системы и связнодисперсные системы, разбавленные и концентрированные дисперсные системы. Классификация дисперсных систем по природе устойчивости и интенсивности межмолекулярного взаимодействия на границе раздела фаз (лиофильные и лиофобные системы).	Пр	7	2	Л1.1 Л1.3 Л1.2Л2.1 Л2.2	
	Раздел 8. 8. Основные количественные характеристики дисперсных систем					

8.1	8. Основные количественные характеристики дисперсных систем: средний радиус частиц, степень дисперсности, удельная поверхность, радиус ячейки Вагнера-Зейтца, доля поверхностных атомов.	Лек	7	1	Л1.1 Л1.3 Л1.2Л2.1 Л2.2	
8.2	8. Основные количественные характеристики дисперсных систем: средний радиус частиц, степень дисперсности, удельная поверхность, радиус ячейки Вагнера-Зейтца, доля поверхностных атомов.	Пр	7	1	Л1.1 Л1.3 Л1.2Л2.1 Л2.2	
	Раздел 9. 9. Поверхностно-активные вещества.					
9.1	9. Поверхностно-активные вещества. Монослой Ленгмюра-Блонжет, липидный бислой и его роль в биологических системах.	Лек	7	1	Л1.1 Л1.3 Л1.2Л2.1 Л2.2	
9.2	9. Поверхностно-активные вещества. Монослой Ленгмюра-Блонжет, липидный бислой и его роль в биологических системах.	Пр	7	1	Л1.1 Л1.3 Л1.2Л2.1 Л2.2	
	Раздел 10. 10. Металлические наночастицы					
10.1	10. Металлические наночастицы: синтез, свойства, применение.	Лек	7	2	Л1.1 Л1.3 Л1.2Л2.1 Л2.2	
10.2	10. Металлические наночастицы: синтез, свойства, применение.	Пр	7	2	Л1.1 Л1.3 Л1.2Л2.1 Л2.2	
	Раздел 11. 11. Размерные эффекты.					
11.1	11. Размерные эффекты. Классификации размерных эффектов: классические (непрерывные) и квантовые размерные эффекты. Магические кластеры и магические числа.	Лек	7	2	Л1.1 Л1.3 Л1.2Л2.1 Л2.2	

11.2	11. Размерные эффекты. Классификации размерных эффектов: классические (непрерывные) и квантовые размерные эффекты. Магические кластеры и магические числа.	Пр	7	2	Л1.1 Л1.3 Л1.2Л2.1 Л2.2	
	Раздел 12. 12. Размерные эффекты термодинамических характеристик наночастиц					
12.1	12. Размерные эффекты термодинамических характеристик наночастиц: температур плавления и кристаллизации, теплоты плавления, энергии связи. Размерная зависимость поверхностного натяжения, формула Толмена.	Лек	7	2	Л1.1 Л1.3 Л1.2Л2.1 Л2.2	
12.2	12. Размерные эффекты термодинамических характеристик наночастиц: температур плавления и кристаллизации, теплоты плавления, энергии связи. Размерная зависимость поверхностного натяжения, формула Толмена.	Пр	7	2	Л1.1 Л1.3 Л1.2Л2.1 Л2.2	
	Раздел 13. 13. Размерность малого объекта и электроны проводимости.					
13.1	13. Размерность малого объекта и электроны проводимости. Туннельный эффект, одноэлектронное туннелирование.	Лек	7	2	Л1.1 Л1.3 Л1.2Л2.1 Л2.2	
13.2	13. Размерность малого объекта и электроны проводимости. Туннельный эффект, одноэлектронное туннелирование.	Пр	7	2	Л1.1 Л1.3 Л1.2Л2.1 Л2.2	
	Раздел 14. 14. Углеродные наноструктуры					
14.1	14. Углеродные наноструктуры: природа углеродной связи, фуллерены, углеродные нанотрубки, графен; их механические, каталитические и электронные свойства.	Лек	7	2	Л1.1 Л1.3 Л1.2Л2.1 Л2.2	

14.2	14. Углеродные наноструктуры: природа углеродной связи, фуллерены, углеродные нанотрубки, графен; их механические, каталитические и электронные свойства.	Пр	7	2	Л1.1 Л1.3 Л1.2Л2.1 Л2.2	
	Раздел 15. 15. Процессы переноса в дисперсных системах					
15.1	15. Процессы переноса в дисперсных системах. Реологические свойства дисперсных систем, электрокаталитические явления.	Лек	7	2	Л1.1 Л1.3 Л1.2Л2.1 Л2.2	
15.2	15. Процессы переноса в дисперсных системах. Реологические свойства дисперсных систем, электрокаталитические явления.	Пр	7	2	Л1.1 Л1.3 Л1.2Л2.1 Л2.2	
	Раздел 16. 16. Оптические свойства дисперсных систем					
16.1	16. Оптические свойства дисперсных систем: рассеяние света малыми частицами.	Лек	7	1	Л1.1 Л1.3 Л1.2Л2.1 Л2.2	
16.2	16. Оптические свойства дисперсных систем: рассеяние света малыми частицами.	Пр	7	1	Л1.1 Л1.3 Л1.2Л2.1 Л2.2	
	Раздел 17. 17. Ферромагнетизм в наноструктурах, суперпарамагнетизм.					
17.1	17. Ферромагнетизм в наноструктурах, суперпарамагнетизм.	Лек	7	1	Л1.1 Л1.3 Л1.2Л2.1 Л2.2	
17.2	17. Ферромагнетизм в наноструктурах, суперпарамагнетизм.	Пр	7	1	Л1.1 Л1.3 Л1.2Л2.1 Л2.2	
	Раздел 18. Самостоятельная работа.					
18.1	Самостоятельная работа.	Ср	7	12	Л1.1 Л1.3 Л1.2Л2.1 Л2.2	



1	Дискуссионные технологии (форум, симпозиум, дебаты, аквариумная дискуссия, панельная дискуссия, круглый стол, фасилитированная и т.д.)
2	Информационные (цифровые) технологии
3	Активное слушание

## **8. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ**

### **8.1. Оценочные материалы для проведения текущей аттестации**

См. Приложение 1

### **8.2. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации**

См. Приложение 1

### **8.3. Требования к рейтинг-контролю**

Студенты, освоившие программу курса могут получить зачет по итогам семестровой и полусеместровой рейтинговой аттестации согласно «Положению о рейтинговой системе обучения ТвГУ» (протокол №8 от 30 апреля 2020 г.).

Если условия «Положения о рейтинговой системе ...» не выполнены, то зачет сдается согласно «Положению о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) обучающихся по программам высшего образования ТвГУ» (протокол №11 от 28 апреля 2021 г.).

Модуль 1.

Контрольная работа - 20 баллов

Решение задач на практике - 20 баллов

Выступление с докладом - 10 баллов

Модуль 2

Итоговая контрольная работа - 20 баллов

Решение задач на практике - 20 баллов

Выступление с докладом - 10 баллов

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

### **9.1. Рекомендуемая литература**

#### **9.1.1. Основная литература**

<b>Шифр</b>	<b>Литература</b>
Л1.1	Рогов, Технология конструкционных материалов. Нанотехнологии, Москва: Юрайт, 2024, ISBN: 978-5-534-00528-8, URL: <a href="https://urait.ru/bcode/537668">https://urait.ru/bcode/537668</a>
Л1.2	Галочкин, Введение в нанотехнологии и нанoeлектронику, Вологда: Инфра-Инженерия, 2023, ISBN: 978-5-9729-1338-1, URL: <a href="https://znanium.com/catalog/document?id=432975">https://znanium.com/catalog/document?id=432975</a>
Л1.3	Морозов В. Г., Физика низкоразмерных структур, Москва: РТУ МИРЭА, 2019, ISBN: , URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/171471">https://e.lanbook.com/book/171471</a>

### 9.1.2. Дополнительная литература

Шифр	Литература
Л2.1	Гадиев Р. М., Физика низкоразмерных систем, Уфа: БГПУ имени М. Акмуллы, 2013, ISBN: 978-5-87978-828-0, URL: <a href="http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=42269">http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=42269</a>
Л2.2	Погосов В. В., Введение в физику зарядовых и размерных эффектов: Поверхность, кластеры, низкоразмерные системы, Москва: Физматлит, 2006, ISBN: 5-9221-0700-3, URL: <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=68819">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=68819</a>

### 9.3.1 Перечень программного обеспечения

1	Adobe Acrobat Reader
2	Google Chrome

### 9.3.2 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1	Репозиторий ТвГУ
2	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU (подписка на журналы)
3	ЭБС ТвГУ
4	ЭБС BOOK.ru
5	ЭБС «Лань»
6	ЭБС «Университетская библиотека онлайн»
7	ЭБС IPRbooks
8	ЭБС «ЮРАИТ»
9	ЭБС «ZNANIUM.COM»

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

Аудит-я	Оборудование
3-218	комплект учебной мебели, переносной ноутбук, проектор, экран
3-226	комплект учебной мебели, Микшерный пульт, Аудиокомплект, Интерактивная система, проектор, Телекоммуникационные шкафы, экран, компьютер
3-227	комплект учебной мебели, переносной ноутбук, проектор, экран
3-228	комплект учебной мебели, переносной ноутбук, проектор, экран

## 11. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Список вопросов к зачету

1. Гетерогенные термодинамические системы, границы раздела фаз, толщина границы раздела по Ребиндеру.
2. Динамическое и энергетическое определения поверхностного натяжения.
3. Формула Ван-дер-Ваальса-Баккера. Тензор поверхностных напряжений.
4. Основы термодинамики плоской границы раздела фаз: характеристические функции, метод поверхностных фаз Гиббса, удельная поверхностная энергия, адсорбция.
5. Соотношение Гиббса-Гельмгольца. Взаимосвязь между удельной свободной энергией и поверхностным натяжением, эквимолекулярная разделяющая поверхность.

6. Криволинейные границы раздела. Влияние выбора положения разделяющей поверхности на величину поверхностного натяжения. Уравнение Кондо. Поверхность натяжения.

7. Влияние кривизны поверхности на термодинамические характеристики. Соотношения Гиббса, формула Лапласа.

8. Капиллярные явления: смачивание, капиллярная конденсация.

9. Классификации низкоразмерных систем по их размерности: 0D, 1D, 2D и 3D структуры.

10. Классификация дисперсных систем в коллоидной химии: по размеру частиц (степени дисперсности), фазовому состоянию диспергированной фазы и дисперсионной среды. Свободнодисперсные системы и связнодисперсные системы, разбавленные и концентрированные дисперсные системы.

11. Классификация дисперсных систем по природе устойчивости и интенсивности межмолекулярного взаимодействия на границе раздела фаз (лиофильные и лиофобные системы).

12. Основные количественные характеристики дисперсных систем: средний радиус частиц, степень дисперсности, удельная поверхность, радиус ячейки Вагнера-Зейтца, доля поверхностных атомов.

13. Поверхностно-активные вещества. Монослои Ленгмюра-Блонжет, липидный бислой и его роль в биологических системах.

14. Металлические наночастицы: синтез, свойства, применение.

15. Размерные эффекты. Классификации размерных эффектов: классические (непрерывные) и квантовые размерные эффекты. Магические кластеры и магические числа.

16. Размерные эффекты термодинамических характеристик наночастиц: температур плавления и кристаллизации, теплоты плавления, энергии связи.

17. Размерная зависимость поверхностного натяжения, формула Толмена.

18. Размерность малого объекта и электроны проводимости.

19. Туннельный эффект, одноэлектронное туннелирование.

20. Углеродные наноструктуры: природа углеродной связи, фуллерены, углеродные нанотрубки, графен; их механические, каталитические и электронные свойства.

21. Процессы переноса в дисперсных системах. Реологические свойства дисперсных систем, электрокаталитические явления.

22. Оптические свойства дисперсных систем: рассеяние света малыми частицами.

23. Ферромагнетизм в наноструктурах, суперпарамагнетизм.

#### **Задание:**

1. Сделать доклад на тему "Особые свойства нанообъектов".
2. Сделать доклад на тему "Физические и химические методы получения тонких пленок".

#### **Задание:**

Выполнить тест:

1. Почему зародыш, отвечающий максимуму работы нуклеации  $W$  называют критическим?
  - Потому что он отвечает критической температуре
  - Потому что только при размере зародыша больше критического возможен его самопроизвольный рост
  - Термин «критический зародыш» в теории фазовых переходов не используется
  - Потому что при превышении критического размера зародыш исчезает
  - Потому что только критический зародыш является стабильным
2. Выберите правильное утверждение
  - Температура плавления наночастиц возрастает с уменьшением их размера
  - Температура плавления наночастиц не зависит от их размера
  - Температура плавления наночастиц уменьшается с уменьшением их размера
  - Понятие температуры плавления к наночастицам неприменимо

Температура плавления изменяется по гармоническому закону