

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Сердитова Наталья Евгеньевна  
Должность: проректор по образовательной деятельности  
Дата подписания: 21.08.2025 10:37:47  
Уникальный программный ключ:  
6cb002877b2a1ea640fdebb0cc541e4e05322d13

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»



Утверждаю:

Руководитель ООП

А.В. Солнышкин

«24» июня 2025 г.

Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)

**Кинетика и термодинамика поверхностных явлений**

Направление подготовки

03.04.02 Физика

профиль

Физика конденсированного состояния вещества

Для студентов

1 курса, очной формы обучения

Составитель: д.ф.-м.н., профессор Самсонов В.М.

Тверь, 2025

## **I. Аннотация**

### **1. Цель и задачи дисциплины**

Целью освоения дисциплины являются естественное продолжение и углубление знаний и навыков, полученных студентами 1 курса магистратуры. Особое внимание уделяется изучению основ термодинамики и кинетики фазовых превращений, включая термодинамику и кинетику зарождения новой фазы.

Задачами освоения дисциплины являются изучение теоретических основ и решение задач дополняется компьютерными лабораторными работами, посвященными изучению структурных и фазовых превращений в наночастицах на основе методов компьютерного моделирования.

### **2. Место дисциплины в структуре ООП**

Дисциплина «Кинетика и термодинамика поверхностных явлений» относится к модулю Элективные дисциплины 1 Блока 1. Дисциплины части учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений.

Она соответствует одному из основных направлений исследований кафедры общей физики, углубляет и расширяет основы знаний по дисциплинам специализации, изучаемым в бакалавриате, в частности со спецкурсом «Экспериментальные и теоретические методы в ФКС». Данная дисциплина тематически связана с учебной, производственной практиками, в процессе которых формируются навыки научно-исследовательской и инженерной деятельности.

**3. Объем дисциплины:** 3 зачетных единицы, 108 академических часов, в том числе:

**контактная аудиторная работа:** лекции 30 часов;

**самостоятельная работа:** 78 часов.

**4. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

|                                        |                                           |
|----------------------------------------|-------------------------------------------|
| <i>Планируемые результаты освоения</i> | <i>Планируемые результаты обучения по</i> |
|----------------------------------------|-------------------------------------------|

| <i>образовательной программы<br/>(формируемые компетенции)</i>                                                                                                                                                 | <i>дисциплине</i>                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| УК-1. Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий.                                                                              | УК-1.1. Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними                                                                                         |
| ПК-2. Проводит работу по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований.                                                                                                         | ПК-2.3. Проводит анализ научных данных, результатов экспериментов и наблюдений;<br>ПК-2.4. Осуществляет теоретическое обобщение научных данных, результатов экспериментов и наблюдений. |
| ПК-3. Способен выполнять проектирование и разработку продукции в части, касающейся разработки объемных нанометаллов, сплавов и композитов на их основе, а также выбора расходных и вспомогательных материалов. | ПК-3.3. Анализирует результаты испытаний образцов материалов.                                                                                                                           |
| ПК-5. Осуществление научного руководства проведением исследований по отдельным задачам.                                                                                                                        | ПК-5.2. Систематизирует и изучает научно-техническую информацию по теме исследования.                                                                                                   |

## **5. Форма промежуточной аттестации и семестр прохождения**

Зачет во 2 семестре.

**6. Язык преподавания:** русский.

**II. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий.**

**1.Для студентов очной формы обучения**

| Учебная программа – наименование разделов и тем                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Всего (час.) | Контактная работа (час.) |           | Самостоятельная работа, в том числе Контроль (час.) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------------------|-----------|-----------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |              | Лекции                   |           |                                                     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |              | всего                    | в т.ч. ПП |                                                     |
| <b>Фазовые переходы первого и второго рода</b><br>1.Классификация фазовых переходов. Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.<br>2.Фазовые переходы второго рода. Уравнения Эренфеста.<br>3.Примеры фазовых переходов второго рода: переход жидкого гелия в сверхтекучее состояние; переход ферромагнетик – парамагнетик, переход сегнетоэлектрик – линейный диэлектрик.<br>4. Теория Ландау фазовых переходов второго рода. Понятие о параметре порядка по Ландау. Разложение Ландау. | 31           | 5                        |           | 26                                                  |
| <b>2. Введение в кинетику зарождения новой фазы</b><br>1. Основные характеристики дисперсных систем: степень дисперсности, асферический фактор, удельная поверхность. Теорема Вульфа.<br>2. Условия равновесия дисперсной системы. Влияние степени дисперсности на термодинамические свойства системы «Кристалл (зерно) – пар»<br>3. Работа нуклеации и ее зависимость от радиуса зародыша. Критический зародыш по Гиббсу                                                                                    | 31           | 5                        |           | 26                                                  |
| <b>Компьютерные лабораторные работы:</b><br>– Исследование распределения плотности в малой капле простого леннард-джонсовского флюида и полимерной микрочастицы на основе молекулярно-динамического моделирования;<br>– Исследование размерной зависимости температуры плавления нанокристаллов;<br>– Молекулярно-динамическое исследование гистерезиса плавления и кристаллизации наночастиц.                                                                                                               | 46           | 20                       |           | 26                                                  |
| Итого                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 108          | 30                       |           | 78                                                  |

### III. Образовательные технологии

| Учебная программа-наименование разделов и тем                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Вид занятия         | Образовательные технологии                                                                                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Фазовые переходы первого и второго рода</b><br>4. Классификация фазовых переходов. Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.<br>5. Фазовые переходы второго рода. Уравнения Эренфеста.<br>6. Примеры фазовых переходов второго рода: переход жидкого гелия в сверхтекучее состояние; переход ферромагнетик – парамагнетик, переход сегнетоэлектрик – линейный диэлектрик.<br>4. Теория Ландау фазовых переходов второго рода. Понятие о параметре порядка по Ландау. Разложение Ландау. | Лекции              | Активное слушание.<br>Групповое решение задач.<br>Решение индивидуальных задач<br>Самостоятельное изучение теоретического материала |
| <b>2. Введение в кинетику зарождения новой фазы</b><br>4. Основные характеристики дисперсных систем: степень дисперсности, асферический фактор, удельная поверхность. Теорема Вульфа.<br>5. Условия равновесия дисперсной системы. Влияние степени дисперсности на термодинамические свойства системы «Кристалл (зерно) – пар»<br>6. Работа нуклеации и ее зависимость от радиуса зародыша. Критический зародыш по Гиббсу                                                                                       | Лекции              | Активное слушание.<br>Групповое решение задач.<br>Решение индивидуальных задач<br>Самостоятельное изучение теоретического материала |
| <b>Компьютерные лабораторные работы:</b><br>– Исследование распределения плотности в малой капле простого леннард-джонсовского флюида и полимерной                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Лабораторные работы | Активное слушание.<br>Групповое решение задач.<br>Решение индивидуальных задач<br>Самостоятельное изучение теоретического материала |

|                                                                                                                                                                                                                                                                      |  |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|
| микрочастицы на основе<br>молекулярно-динамического<br>моделирования;<br>– Исследование<br>размерной зависимости<br>температуры плавления<br>нанокристаллов;<br>– Молекулярно-<br>динамическое исследование<br>гистерезиса плавления и<br>кристаллизации наночастиц. |  |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|

#### **IV. Оценочные материалы для проведения текущей и промежуточной аттестации**

*Форма проведения промежуточного контроля:* студенты, освоившие программу курса «Кинетика и термодинамика поверхностных явлений» могут сдать зачет по итогам семестровой аттестации согласно «Положению о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) обучающихся по программам высшего образования ТвГУ» (протокол №11 от 28 апреля 2021 г.).

**Для проведения текущей и промежуточной аттестации:**

**УК-1. Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий.**

УК-1.1. Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними

**Задание:**

Метод молекулярно-динамического моделирования растекания капли по твердой поверхности.

**Способ аттестации:** устный

**Критерии оценки:**

Высокий уровень: Корректно выполнено молекулярно-динамическое моделирование растекания капли по твердой поверхности, результаты моделирования обработаны корректно.

Средний уровень: Корректно выполнено молекулярно-динамическое моделирование растекания капли по твердой поверхности, но результаты моделирования обработаны не вполне корректно.

Низкий уровень: Выполнено молекулярно-динамическое моделирование растекания капли по твердой поверхности, но результаты моделирования корректно не обработаны.

## **ПК-2. Проводит работу по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований.**

ПК-2.3. Проводит анализ научных данных, результатов экспериментов и наблюдений;

ПК-2.4. Осуществляет теоретическое обобщение научных данных, результатов экспериментов и наблюдений.

### **Задание:**

Методом оценки избыточной поверхностной энтропии по табличным данным для поверхностного натяжения оценить поверхностную энтропию.

### **Способ аттестации:**

### **Критерии оценки:**

Высокий уровень: Представлены корректные оценки поверхностной энтропии, даны правильные ответы на дополнительные вопросы.

Средний уровень: Представлены оценки поверхностной энтропии, но не даны правильные ответы на все дополнительные вопросы.

Низкий уровень: Сделаны оценки поверхностной энтропии после нескольких дополнительных указаний.

## **ПК-3. Способен выполнять проектирование и разработку продукции в части, касающейся разработки объемных нанометаллов, сплавов и композитов на их основе, а также выбора расходных и вспомогательных материалов.**

ПК-3.3. Анализирует результаты испытаний образцов материалов.

### **Задание:**

Продemonстрировать владение методом нахождения равновесных углов смачивания по изображениям капли на твердой поверхности.

**Способ аттестации:** письменный

**Критерии оценки:**

Высокий уровень: Хорошо владеет современными методами нахождения равновесных углов смачивания по изображениям капли на твердой поверхности.

Средний уровень: Удовлетворительно владеет современными методами нахождения равновесных углов смачивания по изображениям капли на твердой поверхности.

Низкий уровень: Плохо владеет современными методами нахождения равновесных углов смачивания по изображениям капли на твердой поверхности.

#### **ПК-5. Осуществление научного руководства проведением исследований по отдельным задачам.**

ПК-5.2. Систематизирует и изучает научно-техническую информацию по теме исследования.

**Задание:**

Подготовка презентации по актуальному направлению физики межфазных явлений.

**Способ аттестации:** письменный

**Критерии оценки:**

Высокий уровень: Презентация подготовлена на высоком уровне, ее представление также заслуживает высокой оценки

Средний уровень: Презентация подготовлена на высоком уровне, но ее представление не заслуживает высокой оценки.

Низкий уровень: Имеется ряд замечаний как по самой презентации, так и по ее представлению.

#### **V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

1) Рекомендуемая литература

1. Буданов, В. В. Химическая термодинамика : учебное пособие / В. В. Буданов, А. И. Максимов. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 320 с. — ISBN 978-5-8114-2271-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/209705>
2. Бажин, Н. М. Основы химической термодинамики : учебное пособие для вузов / Н. М. Бажин, В. Н. Пармон. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 212 с. — ISBN 978-5-507-48594-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/386087>

б) дополнительная литература:

1. Захаров А.Ю. Теоретические основы физического материаловедения. Статистическая термодинамика модельных систем: учебное пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2016. — 256 с. — [Электронный ресурс].- Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=72580](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=72580)
2. Дубровский В.Г. Механика, термодинамика и молекулярная физика: сборник задач и примеры их решения : учебное пособие / В. Г. Дубровский, Г. В. Харламов. - 2-е издание, испр. и доп. - Новосибирск : НГТУ, 2015. - 184 с. : схем. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-7782-2686-9 ; [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=438309>
3. Молекулярная физика. Термодинамика. Конденсированные состояния: учебное пособие / Ш. А. Пиралишвили [и др.]. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 200 с. — [Электронный ресурс].- Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/91292>

2) Программное обеспечение

а) Лицензионное программное обеспечение

б) Свободно распространяемое программное обеспечение

3) Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1.ЭБС«ZNANIUM.COM» [www.znanium.com](http://www.znanium.com);

2.ЭБС «Университетская библиотека онлайн»<https://biblioclub.ru/>;

3.ЭБС «Лань» <http://e.lanbook.com>

4) Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

Научная электронная библиотека eLibrary.ru;

Электронная база данных диссертаций РГБ;

## **VI. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины**

### **1. Текущий контроль успеваемости**

Тема «Фазовые переходы первого и второго рода»

1. Что такое термодинамическая фаза?
2. Какое понятие является более общим: агрегатное состояние или фаза.
3. Какие фазовые переходы называются фазовыми переходами 1 рода?
4. Какие фазовые переходы называются фазовыми переходами 2 рода?
5. Возможны ли фазовые переходы 3 рода и более высоких порядков?
6. Что общего между фазовыми переходами «ферромагнетик-парамагнетик» и «сегнетоэлектрик-парафаза».
7. Чем отличается параметр порядка от остальных термодинамических параметров?

Тема «Введение в кинетику зарождения новой фазы»

1. Что такое квазигидростатика? Какой смысл вкладывается в префикс «квази-»?
2. Как зависит поверхностное натяжение от выбора положения разделяющей поверхности?
3. Каковы основные характеристики дисперсных систем?

4. Дайте определение фактору асферичности по Стребейко.
5. Является ли равновесие между малой каплей жидкости и перенасыщенным паром стабильным?
6. Какой зародыш называется критическим?
7. Возможна ли гетерогенная нуклеация из недосыщенного пара?

## 2. Методические рекомендации для самостоятельной работы студентов.

Для оценивания результатов обучения в виде владения предлагается, используя [2] из дополнительной литературы исследовать темы «Фактор асферичности. Гомогенное зарождение жидкого аэрозоля» (с. 22-25) и «Гетерогенное зарождение на ионах» (с. 25-28).

Для оценивания результатов обучения в виде владения предлагается, используя [2] из дополнительной литературы исследовать темы «Гетерогенное зарождение на совершенной плоской подложке» (с. 28-33) и «Типы ядер конденсации. Гетерогенное зарождение на ядрах конденсации» (с. 33-43).

## VII. Материально-техническое обеспечение

| Наименование специальных помещений                                                                                                   | Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Перечень лицензионного программного обеспечения.<br>Реквизиты подтверждающего документа                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Базовая учебная лаборатория общей физики. Лаборатория молекулярной физики №211 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35) | 1.Монитор 17" LG Flatron 1751SQ-SN Silver-Black 8ms TFT TCO 03<br>2 Принтер лазерный HP LJ 1005 (14 стр./мин)<br>3 Экран настенный Screen Media 153*203(M082-08150)<br>4 Экран настенный Screen Media 213*213(M082-08157)<br>5 Компьютер (DEPO Neos 420MD WP/OF Pro AE/E4600/2*1G/DDR667/160G/DV16/FDD/KBb/Монитор LCD BenQ17<br>6 Компьютер<br>7 Установка для определения | Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows<br>Adobe Acrobat Reader<br>Google Chrome<br>OpenOffice<br>Notepad++<br>Многофункциональный редактор ONLYOFFICE<br>VLC media player |

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |  |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  | <p>определения коэф. диффузии воздуха и водяного пара ФПТ 1-4</p> <p>8 Установка для измерения теплоты парообразования ФПТ 1-10</p> <p>9 Установка для определения универсальной газовой постоянной ФПТ 1-12</p> <p>10 Установка для определения коэф. теплопроводности воздуха ФПТ 1-3</p> <p>11 Установка для определения коэффициента вязкости воздуха ФПТ 1-1</p> <p>12 Установка для определения энтропии при плавлении олова ФПТ 1-11</p> <p>13 Установка для изучения зависимости скорости звука от температуры ФПТ 1-7</p> <p>14 Установка для исследования теплоёмкости твердого тела ФПТ 1-8</p> <p>15 Компьютер iRU Corp 510 I5-2400/4096/500/G210-512/DVD-RW/W7S/монитор E-Machines E220HQVB 21.5" (2 шт)</p> <p>16 Установка для определения отношения теплоемкостей воздуха при постоянном давлении и объеме ФПТ 1-6</p> <p>17 Уравнение состояния идеального газа с применением ПК</p> <p>18 Демонстрационный набор по термодинамике</p> <p>19 Установка для формирования и измерения температур МЛИ-2</p> |  |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

### **VIII. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины**

| № п.п. | Обновленный раздел рабочей программы дисциплины | Описание внесенных изменений | Реквизиты документа, утвердившего изменения |
|--------|-------------------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------|
| 1.     |                                                 |                              |                                             |
| 2.     |                                                 |                              |                                             |