

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ



С.Н. Филимонов

2021 г.

Рабочая программа дисциплины

**КИНЕТИКА ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ**

по направлению подготовки

**03.03.02 – Физика**

Профиль подготовки  
«Фундаментальная физика»

Форма обучения  
**Очная**

Квалификация  
**Бакалавр**

Год приема  
2021

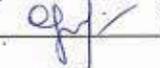
Код дисциплины в учебном плане: Б1.В.ДВ.01.06.06

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

 О.Н. Чайковская

Председатель УМК

 О.М. Сюсина

Томск – 2021

## **1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-2 – способность проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные;

ПК-1 – способность проводить научные исследования в выбранной области с использованием современных экспериментальных и теоретических методов, а также информационных технологий.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК-2.2. Анализирует и интерпретирует экспериментальные и теоретические данные, полученные в ходе научного исследования, обобщает полученные результаты, формулирует научно обоснованные выводы по результатам исследования

ИПК-1.1. Собирает и анализирует научно-техническую информацию по теме исследования, обобщает научные данные в соответствии с задачами исследования.

## **2. Задачи освоения дисциплины**

– Получить представления об основных методах описания фазовых переходов I рода: формальной химической кинетике и неравновесной термодинамике, о феноменологических и атомистических моделях диффузии, о кинетике роста (растворения) изотропной фазы, о классической теории нуклеации.

– Научиться применять понятийный и математический аппарат кинетики фазовых переходов для формулирования краевых задач массопереноса при росте новой фазы в двухфазной системе, научиться выделять предельные режимы роста (растворения) фаз.

## **3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор.

## **4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине**

Семестр 6, зачет с оценкой.

## **5. Входные требования для освоения дисциплины**

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: «Общая физика», «Высшая математика», «Теоретическая физика».

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины (модуля)**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 часов, из которых:

– лекции: 32 ч.;

– практические занятия: 16 ч.;

в том числе практическая подготовка: 8 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

## **8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам**

Тема 1. Постулаты формальной химической кинетики

Классификация химических реакций. Первый постулат формальной химической кинетики (закон действующих масс). Параллельные и последовательные реакции. Второй постулат формальной химической кинетики (принцип Аррениуса). Активированный комплекс. Константа скорости реакции в теории активированного комплекса.

Тема 2. Основы феноменологической кинетики.

Законы термодинамики для закрытых и открытых систем. Возрастание энтропии в "прерывных" системах. Потoki и движущие силы. Уравнение непрерывности. Линейные законы. Феноменологические коэффициенты. Стационарные состояния. Теорема Пригожина.

Тема 3. Феноменологические и микроскопические модели диффузии.

Линейная неравновесная термодинамика и закон Фика. Диффузия в неидеальном твердом растворе ("восходящая" диффузия). Дифференциальное уравнение диффузии. Механизмы миграции атомов в твердом теле. Уравнение Эйнштейна-Смолуховского. Решеточные модели диффузии.

Тема 4. Формальная кинетика роста (растворения) фаз.

Гетерофазные реакции. Реакционный слой. Скорость гетерофазной реакции и межфазный поток. Баланс потоков на фазовой границе. Баланс потоков на границе раздела в системе кристалл-раствор. Диффузионная зона (приближение Нёрнста). Кинетический и диффузионный режимы роста-растворения. Кинетика роста фазы со сферической границей в приближении Нёрнста и в квазистационарном приближении. Представление об устойчивости формы роста. Кинетика движения фазовой границы при кристаллизации расплава (задача Стефана).

Тема 5. Кинетика образования зародышей.

Стационарная скорость образования зародышей в теории Фольмера-Беккера-Дёринга. Формула Зельдовича для скорости образования жидких капель. Образование зародышей в различных фазах. Массовая кристаллизация. Теория Колмогорова-Аврами-Мейла-Джонсона.

## 9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, тестов по лекционному материалу, выполнения домашних заданий и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

## 10. Порядок проведения и критерии оценивания аттестации

**Зачет с оценкой** проводится в устной форме по билетам, содержащим теоретические вопросы, предполагающие развернутый ответ и проверяющие ИОПК-2.2 и контрольным вопросам по материалу курса, требующим краткий ответ и проверяющим ИПК-1.1.

Примеры теоретических вопросов в билете:

1. Возрастание энтропии в "прерывных" системах. Потoki и движущие силы.
2. Приближение пограничного слоя Нёрнста. Кинетический и диффузионный режимы роста (растворения).

Примеры контрольных вопросов:

1. Какие химические реакции называются последовательными?
2. Как связано производство энтропии системы с необратимыми потоками и сопряженными им термодинамическими силами?
3. Назовите основные механизмы миграции атомов в твердом теле.
4. Что такое гетерофазная реакция? Как связана скорость этой реакции с межфазным потоком?
5. Используя понятия коэффициент диффузии ( $D$ ), кинетический коэффициент ( $\beta$ ) и характерный размер новой фазы ( $R$ ), сформулируйте критерии, при которых реализуются кинетический и диффузионный режимы роста (растворения).

Результаты зачета с оценкой определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Промежуточная аттестация (контрольная точка) предполагает посещаемость более половины лекций, ответы на вопросы тестов и выполнение не менее половины домашних заданий.

Оценка «отлично» ставится, если студент твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, способен самостоятельно принимать и обосновывать решения, оценивать их эффективность. Оценка «хорошо» ставится, если студент твердо знает материал, грамотно излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает не критичные неточности в ответе. Оценка «удовлетворительно» ставится, если студент, показывает фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно точно формулирует базовые понятия. Оценка «неудовлетворительно» ставится, если студент не знает большей части основного содержания дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины.

## 11. Учебно-методическое обеспечение

- а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - [Курс: Кинетика фазовых переходов 3 курс \(ФФ.Б.2 сем.\) \(tsu.ru\)](http://tsu.ru)
- б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

## 12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

- а) основная литература:
  - Кристиан Дж. Теория превращений в металлах и сплавах. Ч.1. Термодинамика и общая кинетическая теория. М.: Мир, 1978. – 806 с.
  - Пригожин И. Введение в термодинамику необратимых процессов. Ижевск, 2001 - 159 с. (электронный ресурс НБ ТГУ).
  - Пригожин И., Дефэй Р. Химическая термодинамика. М: БИНОМ. Лаб. Знаний, 2010. – 533 с.
  - Жданов В. П. Элементарные физико-химические процессы на поверхности. - Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1988. - 316 с.
- б) дополнительная литература:
  - Гуров К.П. Взаимная диффузия в многофазных металлических системах. М.: Наука, 1981. – 349 с.
  - Свечникова Л. А. Структурные и фазовые превращения в металлах и сплавах: учебник / Л. А. Свечникова, В. И. Темных, А. М. Токмин. Издательство Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2019. - 284 с.  
URL: <https://znanium.com/catalog/product/1819674>
  - Малютин Ю.Н. Термодинамика фазовых превращений и диффузия в металлах и сплавах: учеб. пособие / Малютин Ю.Н., Батаев И.А., Ленивецова О.Г., Лазуренко Д.В. Издательство Новосибирский государственный технический университет, 2017. – 108 с.
  - Мелихов И. В. Физико-химическая эволюция твердого вещества. 4-е изд., (эл.) - Москва: Лаборатория знаний, 2017. - 312 с.  
URL: <https://znanium.com/catalog/product/540466>

### 13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

- Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);
- публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

- Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>
- Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
- ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>
- ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>
- Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>
- ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>
- ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

### 14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

### 15. Информация о разработчиках

Эрвье Юрий Юрьевич, доктор физ.-мат. наук, ТГУ, кафедра физики полупроводников, профессор.