

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

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО:
Декан физического факультета
С.Н. Филимонов

Рабочая программа дисциплины

Кинетика фазовых превращений

по направлению подготовки

03.03.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки:
Фундаментальная и прикладная физика

Форма обучения
Очная

Квалификация
Бакалавр

Год приема
2025

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП
С.Н. Филимонов

Председатель УМК
О.М. Сюсина

Томск – 2025

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

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

ПК-1 Способен 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

– Освоить аппарат кинетики фазовых превращений и физические представления о фазовых переходах первого и второго рода.

– Научиться применять представления кинетики фазовых превращений при решении практических и теоретических задач профессиональной деятельности.

– **Научиться применять представления кинетики фазовых превращений при решении практических и теоретических задач профессиональной деятельности.**

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплины (модули)».

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

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

Восьмой семестр, экзамен

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: Математический анализ; Дифференциальные уравнения; Общий курс физики, Термодинамика фазовых равновесий.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины

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

-лекции: 24 ч.

-практические занятия: 24 ч.

в том числе практическая подготовка: 24 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Тема 1. Кинетика фазовых переходов второго рода.

Феноменологическая теория фазовых переходов по Ландау. Разделение переходов на первый и второй род. Понятие о параметре порядка в теории фазовых переходов. Скачок теплоемкости. Влияние внешнего поля на фазовый переход. Восприимчивость. Изменение симметрии при фазовом переходе второго рода. Примеры с возникновением упорядоченных сверхструктур. Флуктуации параметра порядка. Корреляционный радиус. Условия применимости теории Ландау. Критическая область. Критические индексы.

Тема 2. Кинетика фазовых переходов первого рода.

Зарождение и рост новой фазы в однокомпонентной системе. Изменение термодинамического потенциала при образовании зародыша новой фазы. Критический зародыш. Высота термодинамического барьера зарождения. Частота зарождения. Температурная зависимость. Ансамбль частиц новой фазы и гетерофазных флуктуаций. Термодинамический потенциал системы, содержащей ансамбль частиц новой фазы. Энтропия распределения частиц новой фазы. Равновесная функция распределения. Временная эволюция ансамбля частиц новой фазы. Диффузия в n -пространстве. Уравнение Зельдовича. Стационарная частота зарождения. Кинетика превращения в целом. Кинетический закон $\gamma(t)$. Кинетические кривые. Диаграммы “температура-время-превращение”. Кинетический закон Ерофеева-Аврами. Гетерогенное зарождение новой фазы. Зарождение новой фазы при распаде пересыщенного раствора. Локальное равновесие на межфазной границе при распаде пересыщенных растворов. “Коллоидное равновесие” и возврат фазы выделения. Ознакомление с программным пакетом MatCalc, позволяющем проводить термодинамические и кинетические расчеты. Расчет кинетики выделения вторичных фаз, получение кинетических кривых в программном пакете MatCalc.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем проведения опроса по пройденному материалу на семинарских занятиях (коллоквиумах) и выполнения практических задач в компьютерном классе, и фиксируется в форме контрольной точки не менее двух раз в семестр.

Темы коллоквиумов:

1. «Феноменологическая теория фазовых переходов второго рода».
2. «Кинетика фазовых переходов первого рода».
3. «Кинетика превращения в целом. Кинетический закон Ерофеева - Аврами».

На практическом занятии студенты знакомятся с компьютерной программой термодинамического и кинетического моделирования MatCalc и решают задачу моделирования процесса выделения частиц M_3C в стали в режиме реального времени с получением кинетической кривой и распределения частиц по размерам.

Оценочные материалы текущего контроля размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» – <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Экзамен в восьмом семестре проводится в письменной форме по билетам и последующего устного опроса.

Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» – <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=21886>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

в) План практических занятий по дисциплине.

1. Фазовые переходы второго рода. Скачок теплоемкости.
2. Теория Ландау. Разложение потенциала в ряд вблизи точки фазового перехода.
3. Влияние поля на фазовый переход.
4. Изменение симметрии при фазовом переходе второго рода.
5. Флуктуации параметра порядка.
6. Критические индексы.
7. Кинетика фазовых переходов первого рода. Зарождение новой фазы.
8. Ансамбль частиц новой фазы и гетерофазных флуктуаций.
9. Уравнение Зельдовича.
10. Кинетика превращения в целом. Кинетические кривые.
11. Кинетика распада твердых растворов.
12. Предвыделения и возврат фазы выделения.
13. Ознакомление с программным пакетом MatCalc.
14. Термодинамические расчеты в программе MatCalc.
15. Расчет кинетики выделения вторичных фаз, получение кинетических кривых в программном пакете MatCalc (4 часа).

г) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

Самостоятельная работа студента включает:

- углубленное теоретическое изучение разделов курса при подготовке к лекционным и практическим занятиям;
- подготовку к обсуждению материала, в том числе самостоятельный поиск необходимых источников информации, включая научно-образовательные ресурсы сети Интернет;
- подготовка к зачету.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. Квасников И. А. Термодинамика и статистическая физика: Теория равновесных систем: термодинамика. Т.1. Изд.3, перераб. / И. А. Квасников. – URSS. 2012. – 328 с.
2. Карапетьянц М. Х. Химическая термодинамика. Изд.4 / М. Х. Карапетьянц. – URSS. 2013. – 584 с.
3. Термодинамика : учебное пособие для вузов. В 2ч. : Ч.1. основной курс / В.П. Бурдаков, Б.В. Дзюбенко, С.Ю. Меснякин, Т.В. Михайлова. – 2-е изд., пересмотр. – М. : Дрофа, 2016. – 479, [1] с.: ил.
4. Физическое материаловедение: учеб. пособие. В 3ч. Часть 2. Фазовые превращения в металлах и сплавах / А.К. Федотов. – Минск: Высш. шк., 2012 – 446 с. ISBN 978-985-06-2063-7.
5. Мукашев К. Структурные превращения в металлах и сплавах переходных групп. Palmarium Academic Publishing, 2015.

б) дополнительная литература:

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика Том V. Статистическая физика. Часть I. - М.: 1976. - 584с.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учебное пособие для вузов в 10 т. Т X. Физическая кинетика. – 2-е изд, испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002.- 536 с.
3. Кацнельсон А.А., Олемской А.И.. Микроскопическая теория неоднородных структур. М.: Изд. Моск. Университета, 1987. - 332с.

4. Паташинский А.З., Покровский В.Л. Флуктуационная теория фазовых переходов. - М.: Наука. 1982.- 381с.
5. Брус А., Каули Р. Структурные фазовые переходы. - М.: Мир, 1984, 352с.
6. Хачатурян А.Г. Теория фазовых переходов и структура твердых растворов. - М.: Наука. 1974. - 384с.
7. Любов Б.Я. Кинетическая теория фазовых превращений. - М.: Metallurgy, 1969.
8. Кристиан Дж. Теория превращений в металлах и сплавах. - М.: Мир, 1978.
9. Бокштейн Б.С., Бокштейн З.С., Жуховицкий А.А. Термодинамика и кинетика диффузии в твердых телах. - М.: Metallurgy, 1976.
10. Уманский Я.С, Скаков Ю.А. Физика металлов. - М.: Атомиздат, 1978. 352с.
11. Паскаль Ю.И., Борисов С.С.. Химический формализм в теории фазовых превращений. Изд. ТГУ. 1980. - 190с.
12. Паскаль Ю.И. Термодинамика и кинетика фазовых превращений. Изд. ТГУ 1977. - 199с.
13. Смирнов Е.А. Термодинамика фазовых превращений в металлах и сплавах. Учебное пособие. М.: МИФИ, 1998. - 84с.
14. Гуров К.П. Смирнов Е.А., Шебалин А.Н. Диффузия и кинетика фазовых превращений в металлах и сплавах. М.: МИФИ, 1990 – 80 с.
15. Шепелевич В.Г. Структурно-фазовые превращения в металлах. Учеб. пособие Минск. БГУ. – 2007 169с.
16. Паскаль Ю.И. Термодинамика и кинетика фазовых превращений. -Томск: Изд-во ТГУ (ротапринт), 1977. - 200с.
17. Паскаль Ю.И. Борисов С.С. Химический формализм в теории фазовых превращений. - Томск. Изд-во ТГУ (ротапринт), 1980. - 200 с.

в) ресурсы сети Интернет:

1. Издательство «Лань» [Электронный ресурс] : электрон.-библиотечная система. – Электрон. дан. – СПб., 2010- . – URL: <http://e.lanbook.com/>
2. Издательство «Юрайт» [Электронный ресурс] : электрон.-библиотечная система. – Электрон. дан. – М., 2013- . URL: <http://www.biblio-online.ru/>
3. Электронно-библиотечная система Znanium.com [Электронный ресурс] / Научно-издательский центр Инфра-М. – Электрон. дан. – М., 2012- . URL: <http://znanium.com/>
4. Электронно-библиотечная система Консультант студента [Электронный ресурс] / ООО «Политехресурс». - М, 2012- . – URL: <http://www.studentlibrary.ru/>
5. Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ [Электронный ресурс] . – Электрон. дан. – Томск, 2011-. URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
6. Электронный каталог [Электронный ресурс] / НИ ТГУ, Научная библиотека ТГУ. – Электрон. дан. – Томск, 2008-2016. – URL: <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?theme=system>
7. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., 2000- . – URL: <http://elibrary.ru/defaultx.asp?>
8. КонсультантПлюс [Электронный ресурс]: справ. правовая система. – Электрон. дан. – М., 1992- . – Доступ из локальной сети Науч. б-ки Том. гос. ун-та.
9. Гарант [Электронный ресурс] : информ.-правовое обеспечение / НПП «Гарант-Сервис». – Электрон. дан. – М., 2016. – Доступ из локальной сети Науч. б-ки Том. гос. ун-та.
10. ScienceDirect [Electronic resource] / Elsevier B.V. – Electronic data. – Amsterdam, Netherlands, 2016. – URL: <http://www.sciencedirect.com/>
11. SpringerLink [Electronic resource] / Springer International Publishing AG, Part of Springer Science+Business Media. – Electronic data. – Cham, Switzerland, [s. n.]. – URL: <http://link.springer.com/>

12. ProQuest Ebook Central [Electronic resource] / ProQuest LLC. – Electronic data. – Ann Arbor, MI, USA, [s. n.]. – URL: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/tomskuniv-ebooks/home.action>

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); системы компьютерной вёрстки LaTeX; системы компьютерной алгебры Wolfram Mathematica, Waterloo Maple; MatCalc.

– публично доступные облачные технологии (GoogleDocs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

– 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); системы компьютерной вёрстки LaTeX; системы компьютерной алгебры Wolfram Mathematica, Waterloo Maple; MatCalc.

– публично доступные облачные технологии (GoogleDocs, 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.

Аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации в смешанном формате, оснащенные системой «Актру».

Все виды материально-информационной базы Научной библиотеки ТГУ.

Мультимедийное оборудование физического факультета ТГУ.

Программное обеспечение курсов, предшествующих изучению представленной дисциплины.

15. Информация о разработчиках

Литовченко Игорь Юрьевич, доктор физико-математических наук, доцент, кафедра физики металлов физического факультета ТГУ, профессор.

