

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

Термодинамика фазовых равновесий

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 (модуля)

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 термодинамики фазовых равновесий и представления о термодинамических системах и диаграммах состояния металлических систем.

– Научиться применять представления о термодинамическом равновесии при решении практических и теоретических задач профессиональной деятельности.

3. Место дисциплины (модуля) 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

Пятый семестр, зачет

Шестой семестр, экзамен

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

Для изучения и понимания материала данной дисциплины обучающийся должен владеть основными представлениями и понятиями из курсов: Математический анализ; Дифференциальные уравнения; Общий курс физики.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 часа, из которых:

– лекции: 32 ч.;

– практические занятия: 32 ч.

в том числе практическая подготовка: 16 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

Тема 1. Введение в термодинамику фазовых равновесий.

Современное использование термодинамических данных. Термодинамическое моделирование. Программный пакет ThermoCalc. Положения о равновесии. Классификация равновесных состояний. Система и среда. Нулевое начало. Температура. Тепловое равновесие. Механическое равновесие.

Тема 2. Начала термодинамики.

Первое начало. Теплота и работа. Внутренняя энергия. Второе начало. Обратимые и необратимые процессы. Равновесная энтропия. Произведенная энтропия при неравновесных процессах. Диссипация энергии. Третье начало. Основное термодинамическое равенство. Термодинамические потенциалы, их первые и вторые производные.

Тема 3. Равновесие фаз в однокомпонентной системе.

Условия термодинамического равновесия. Потенциал Максвелла-Гюи. Условия устойчивости термодинамического равновесия. Условия предельной устойчивости. Качественный вид термодинамических функций. Открытые системы. Вещественное равновесие. Химический потенциал. Большой термодинамический потенциал. Условие двухфазного равновесия.

Тема 4. Равновесие фаз в многокомпонентной системе.

Многокомпонентная открытая система. Химический потенциал компонента. Уравнение Гиббса-Дюгема. Двухкомпонентная система. Равновесие двух фаз в системе с нефиксированными экстенсивными параметрами. Диаграмма состояния Т-Р. Скрытая теплота и скрытая механическая работа превращения. Равновесие двух фаз в системе с фиксированными параметрами. Графическое изображение двухфазного равновесия. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Правило коноды. Изохорные и адиабатические переходы. Правило отрезков. Равновесие в системе жидкость-газ. Равновесие трех фаз в однокомпонентной системе.

Тема 5. Термодинамика растворов.

Графическое изображение состава многокомпонентных систем. Симплекс концентраций. Растворы, мольные парциальные функции. Формулы аддитивности. Обобщенное соотношение Гиббса-Дюгема. Функции смешения. Свойства атермических растворов и растворов с идеальной энтропией смешения. Идеальные растворы. Равновесие и устойчивость растворов. Равновесие двухфазной многокомпонентной системы. Энергия смешения раствора. Модель регулярных растворов.

Тема 6. Диаграммы состояния.

Диаграммы состояния металлических систем. Первичная кристаллизация сплавов. Твердый раствор. Химические соединения. Механические смеси. Правило фаз Гиббса. Диаграммы состояния двухкомпонентных сплавов. Эвтектика, перитектика. Связь между диаграммами состояния, структурой и свойствами сплавов. Понятие о диаграммах состояния трехкомпонентных сплавов. Диаграмма состояния железо-углерод.

Тема 7. Термодинамика растворов (продолжение).

Раствор идеальных газов. Парциальная внутренняя энергия. Парциальный объем и парциальное давление газов. Закон Амага. Закон Дальтона. Парциальная энтальпия. Энтропия смешения идеальных газов. Энергия Гиббса и химические потенциалы идеальных газов. Парадокс Гиббса. Формализм Льюиса. Фугитивность и активность компонентов раствора. Положительные и отрицательные растворы. Закон Рауля. Закон Рауля и Генри для предельно разбавленного раствора. Закон Генри. Интегрирование уравнения Гиббса-Дюгема. Анализ поведения двухкомпонентных регулярных растворов. Фазовое расслоение. Эмпирическое определение регулярных растворов. Графический

анализ экстремумов функции $\varphi_{см}(c)$. Диаграмма состояния Т-С (фазовое расслоение). Сравнение диаграмм состояния различного типа. Влияние энергии смешения на вид диаграмм состояния.

Тема 8. Термодинамика межфазных границ.

Общие сведения о теории поверхностей раздела. Свободная энергия поверхности. Влияние кристаллографической ориентации на поверхностное натяжение. Природа поверхностей раздела твердых тел и сегрегация примесей. Уравнение адсорбции. Поверхностная энергия металлов и соединений. Внутренние границы раздела фаз. Границы раздела зерен. Когерентные и некогерентные границы.

Тема 9. Фазовые превращения и термодинамика зарождения фаз.

Термодинамические стимулы фазовых превращений и классификация фазовых переходов. Термодинамика зарождения фаз. Термодинамика мартенситных превращений.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине осуществляется путем контроля посещаемости, проведения опроса по пройденному материалу на семинарских (практических) занятиях с выставлением баллов, и фиксируется в форме контрольной точки не менее двух раз в семестр.

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

Зачет в пятом семестре проводится в письменной форме по билетам и последующего устного опроса. Продолжительность зачета 1,5 часа.

Экзамен в шестом семестре проводится в письменной форме по билетам. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

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=22018>

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

в) План семинарских / практических занятий по дисциплине.

1. Равновесие фаз в однокомпонентной системе.
2. Равновесие фаз в многокомпонентной системе.
3. Термодинамика растворов-I.
4. Диаграммы состояния.
5. Термодинамика растворов-II.
6. Термодинамическая теория твердого состояния.
7. Термодинамика межфазных границ.
8. Термодинамические стимулы фазовых превращений.

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;
- подготовку к экзамену.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

- Квасников И. А. Термодинамика и статистическая физика: Теория равновесных систем: термодинамика. Т.1. Изд.3, перераб. / И. А. Квасников. – URSS. 2012. – 328 с.
- Карапетьянц М. Х. Химическая термодинамика. Изд.4 / М. Х. Карапетьянц. – URSS. 2013. – 584 с.
- 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.

б) дополнительная литература:

- Базаров И.П. Термодинамика. - М.: Высшая школа, 1991. - 376с.
- Паскаль Ю.И. Термодинамика и кинетика фазовых превращений. -Томск: Изд-во ТГУ (ротапринт), 1977. - 200с.
- Паскаль Ю.И. Термодинамический анализ диаграмм состояния двухкомпонентных систем. - Томск: Изд-во ГУ (ротапринт), 1979. - 120с.
- Паскаль Ю.И. Борисов С.С. Химический формализм в теории фазовых превращений. - Томск. Изд-во ТГУ (ротапринт), 1980. - 200 с.
- Свелин Р.А. Термодинамика твердого состояния. - М.: Металлургия, 1968. - 316с.
- Бурдаков В.П. Термодинамика: учебное пособие для вузов. В 2ч./ В.П. Бурдаков, Б.В. Дзюбенко, С.Ю. Меснякин, Т.В. Михайлова. – М.: Дрофа, 2009. Ч. 1. Основной курс. – 479 с.
- Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика Том V. Статистическая физика. Часть I. - М.: 1976. - 584с.
- Докторов А.Б, Бурштейн А.И. Термодинамика: Курс лекций / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2003. 82с.
- Смирнов Е.А. Термодинамика фазовых превращений в металлах и сплавах. Учебное пособие. М.: МИФИ, 1998. - 84с.
- Пригожин И., Дефей Р. Химическая термодинамика. - Новосибирск: Изд- во Новосиб. Ун-та, 1967. -360с.
- Пригожин И. Кондепуди Д. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур: Пер. с англ. Ю.А. Данилова и В.В. Белого – М.: Мир, 2002. – 461 с., ил. – (Лучший зарубежный учебник).
- Лоренц Г.А. Лекции по термодинамике. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001, 178 стр.
- Жоровков М.Ф. Расчет диаграмм состояния бинарных систем в приближении регулярных растворов-Изд-во Томского ун-та, 2001.-71с.
- Базаров И.П. Заблуждения и ошибки в термодинамике. Изд. 2-е испр. – М: Едиториал УРСС, 2003 – 120с.

в) ресурсы сети Интернет:

- Издательство «Лань» [Электронный ресурс] : электрон.-библиотечная система. – Электрон. дан. – СПб., 2010- . – URL: <http://e.lanbook.com/>
- Издательство «Юрайт» [Электронный ресурс] : электрон.-библиотечная система. – Электрон. дан. – М., 2013- . URL: <http://www.biblio-online.ru/>
- Электронно-библиотечная система Znanium.com [Электронный ресурс] / Научно-

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