

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

Структурные фазовые переходы

по направлению подготовки

03.04.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки:
«Фундаментальная и прикладная физика»

Форма обучения
Очная

Квалификация
Магистр

Год приема
2025

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП
О.Н. Чайковская

Председатель УМК
О.М. Сюсина

Томск – 2025

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

– ПК-1 – Способен самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИПК-1.1. Знает основные стратегии исследований в выбранной области физики, критерии эффективности, ограничения применимости;

ИПК-1.2. Умеет выделять и систематизировать основные цели исследований в выбранной области физики, извлекать информацию из различных источников, включая периодическую печать и электронные коммуникации, представлять её в понятном виде и эффективно использовать.

2. Задачи освоения дисциплины

– Освоить фундаментальные основы физики структурных фазовых переходов в различных металлах и сплавах, в том числе в сплавах со сверхструктурами.

– Научиться применять основные физические представления о структурных фазовых переходах в различных металлах и сплавах при решении практических и теоретических задач профессиональной деятельности.

3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, входит в модуль по выбору "Физика конденсированного состояния вещества"

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

Третий 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: Элементы теории групп, Кристаллография, Физика твердого тела, Дефекты в твердых телах, Теория дислокаций, Термодинамика фазовых равновесий, Кинетика фазовых переходов.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины (модуля)

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

– лекции: 20 ч.;

– практические занятия: 12 ч.

в том числе практическая подготовка: 12 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

Тема 1. Общие сведения и классификация фазовых переходов.

Явление аллотропии. Обозначения структурных типов чистых веществ. Пространственные группы симметрии структурных типов. Полиморфизм. Структурный фазовый переход. Изменение симметрии при фазовых переходах, изоструктурные переходы, изоморфные переходы. Классификация фазовых переходов по изменению симметрии. Схема подчинения высших точечных групп кристаллической сингонии. Переходы типа смещения. Деформационные переходы и переходы, осуществляемые волной смещений. Дисторсионные и реконструктивные переходы.

Тема 2. Упорядоченные твердые растворы. Простейшие сверхструктуры. Концентрационные волны.

Сверхструктура. Вероятность заполнения узлов сверхструктуры. Типы узлов. Разбиение кубических решеток на идентичные подрешетки. Степень дальнего порядка. Антифазные и ориентационные домены упорядочения. Структуры $L1_0$ и $L1_2$. Координация узлов сверх решетки для $L1_0$ и $L1_2$. Простейшие сверхструктуры, образующиеся при упорядочении твердых растворов замещения с ГЦК решеткой. Исходная структура $A1$. Сверхрешетка $AuCuI$, структурный тип $L1_0$, стехиометрия AB . Сверхструктура Au_3Cu , структурный тип $L1_2$, стехиометрия A_3B или AB_3 . Сверхструктура типа $CuPt$, структурный тип $L1_1$, стехиометрия AB . Простейшие сверхструктуры, образующиеся при упорядочении твердых растворов замещения с ОЦК решеткой. Исходная структура $A2$. Сверхструктура $\beta CuZn$ или $CsCl$. Структурный тип $B2$. Сверхструктура типа $NaTi$. Структурный тип $B32$, стехиометрия. Сверхструктура типа Fe_3Al или BiF_3 . Структурный тип $D0_3$, стехиометрия A_3B или AB_3 . Простейшие структуры, образующиеся при упорядочении твердых растворов замещения с ГПУ решеткой. Симметрия структуры $A3$ и отношение осей. Упорядочения в $A3$ с сохранением трансляционной симметрии. Сверхструктура типа $MgCd$. Сверхструктура $B19$, как результат разбиения на две примитивные орторомбические ячейки с двухатомным мотивом. Пространственная группа $B19$. Снижение сингонии и однородная деформация сверхструктуры. Реконструктивный переход с понижением симметрии. Статические плоские концентрационные волны (СПКВ). Единичная концентрационная волна. Структура $B2$. Структура $L1_0$, $\vec{k}$ - звезда. Канал перехода. Структура $L1_1$. Структура $L1_2$. Суперпозиция СПКВ без сдвига фаз. Структура $B32$. Суперпозиция СПКВ, смещенных по фазе. Структура $D0_3$. Двухканальный переход. Сложные СПКВ. Лифшицевские и нелифшицевские структуры.

Тема 3. Переходы типа смещения.

Реконструктивные деформационные переходы. Переход $A1 \rightarrow A2$ (ГЦК $\rightarrow$ ОЦК). Построение Бейна. Переход ГЦК $\rightarrow$ ОЦТ в твердых растворах внедрения. Переход $A2 \rightarrow A1$ (ОЦК $\rightarrow$ ГЦК). Переходы $B2 \rightarrow L1_0$ и $L1_0 \rightarrow B2$. Переход $B1 \rightarrow B2$. Переходы $A2 \rightarrow A3$ и $B2 \rightarrow B19$. Переход $A1 \rightarrow A3$ и механическое двойникование структуры $A1$. Геометрическая схема. Дислокационная модель. Дислокационные модели перехода $A1-A2$ (ГЦК-ОЦК). Модели Богерса-Бюргерса, Олсона-Коэна, Зинера, Венейблса. Общие сведения о феноменологической теории мартенситных превращений (ГЦК-ОЦК) Векслера-Либермана-Рида.

Тема 4. Статистическая теория фазовых переходов порядок - беспорядок в двухкомпонентных растворах замещения и внедрения.

Модель твердого раствора в статистической теории упорядочивающихся сплавов. Метод статических концентрационных волн в уравнениях самосогласованного поля (простые решетки Изинга). Примеры упорядочения в системах на основе бинарных ГЦК твердых растворов.

Тема 5. Влияние интенсивных внешних воздействий на структурно-фазовые превращения в металлических материалах.

Механизмы пластической деформации. Скольжение, двойникование, мартенситные превращения, дислокационно-дислокационные моды деформации, диффузионный механизм, зернограничное проскальзывание, локализация деформации. Структурные превращения при пластической деформации. Дислокационные субструктуры. Большие пластические деформации. Наноструктурные состояния. Механизмы деформации в наноструктурных состояниях.

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

Экзамен в третьем 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=21997>

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

в) План семинарских / практических занятий по дисциплине.

1. Упорядоченные твердые растворы.
2. Структурно-фазовые переходы в сплавах на основе Ti-Ni.
3. Переходы типа смещения.
4. Мартенситные превращения и двойникование в сплавах на основе железа.

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;
- подготовку к экзамену.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. 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.
2. Мукашев К. Структурные превращения в металлах и сплавах переходных групп. Palmarium Academic Publishing, 2015.
3. Калиев И., Сабитова Г. Математические модели фазовых переходов. Lambert Academic Publishing, 2013.

4. Wang S.J., Wang H., Du K., Zhang W., Sui M.L. AND Mao S.X. Deformation-induced structural transition in body-centred cubic molybdenum. Nat. Commun. 5:3433 DOI: 10.1038/ncomms4433 (2014).
5. Xie H., Yin F., Yu T., Lu G. and Zhang Y. A new strain-rate-induced deformation mechanism of Cu nanowire: Transition from dislocation nucleation to phase transformation. Acta Mater. 85 191-198 (2015)
6. Квасников И. А. Термодинамика и статистическая физика: Теория равновесных систем: термодинамика. Т.1. Изд.3, перераб. / И. А. Квасников. – URSS. 2012. – 328 с.
7. Карапетьянц М. Х. Химическая термодинамика. Изд.4 / М. Х. Карапетьянц. – URSS. 2013. – 584 с.
8. 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 с.

б) дополнительная литература:

1. Г. Шульце "Металлофизика" – М.: Мир, 1971. – 500 с.
2. Ю.М. Гуфан "Структурные фазовые переходы" М.: Наука. – 1982. – 382 с.
3. Стабильность фаз и фазовые равновесия в сплавах переходных металлов. Киев: Наукова думка, 1991. – 200 с.
4. А.З. Паташинский, В.Л. Покровский. Флуктуационная теория фазовых переходов. – М.: Наука, 1989.
5. У. Пирсон " Кристаллохимия и физика металлов и сплавов М.: Мир, 1977. – Т. 1. – 419 с.; – Т. 2. – 470 с.
6. Потекаев А.И., Дмитриев С.В., Кулагина В.В. и др. Слабоустойчивые длиннопериодические структуры в металлических системах / под ред. А.И. Потекаева. – Томск: Изд-во НТЛ, 2002. – 260 с.
7. Потекаев А.И., Наумов И.И., Кулагина В.В. и др. Естественные длиннопериодические наноструктуры / под ред. А.И. Потекаева. – Томск: Изд-во НТЛ, 2002. – 260 с.
8. К. Шуберт "Кристаллические структуры двухкомпонентных фаз". - М.: Металлургия, 1971. – 530 с.
9. О.В. Ковалев "Неприводимые и индуцированные представления и копредставления федоровских групп. М.: Наука, 1986. – 365 с.
10. А.Г. Хачатурян "Теория фазовых превращений и структура твердых растворов " М.: Наука, 1974. – 384 с.
11. М.Ф. Жоровков Симметрия гамильтониана смещения в решетках с базисом // Изв.вузов СССР, Физика. – 1993.– Т. 38. – №8. – С.13-25.
12. Н. К. D. H. Bhadeshia, Worked Examples in the Geometry of Crystals, 2nd edition, 2001. ISBN 0-904357-94-5. First edition published in 1987 by the Institute of Metals, 1 Carlton House Terrace, London SW1Y 5DB.
13. M. S. Wechsler, D. S. Lieberman, T. A. Read. On the Theory of the Formation of Martensite // Journal of metals, 1953. – С. 1503-1515.
14. Кассан-Оглы Ф. А., Найш В. Е., Сагарадзе И. В. Диффузное рассеяние в металлах с ОЦК решеткой и кристаллогеометрия мартенситных фазовых переходов ОЦК-ГЦК и ОЦК-ГПУ. - Физика металлов и металловедение. – 1988. – Т.65, №3. – С. 481-492.
15. Найш В.Е., Новоселова Т.В., Сагарадзе И.В. Теория мартенситных фазовых переходов в никелиде титана. I. Модель кооперативных колебаний и анализ возможных мартенситных фаз. // Физика металлов и металловедение. – 1995. – Т.80.– Вып.5. – С. 14-27.

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 OneNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook); системы компьютерной верстки 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 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.