

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

Физический факультет

УТВЕРЖДАЮ:
Декан физического факультета
 С.Н. Филимонов
«15» апреля 2021 г.

Рабочая программа дисциплины

Теория дислокаций

по направлению подготовки

03.03.02 Физика


Направленность (профиль) подготовки:
«Фундаментальная физика»

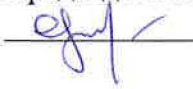
Форма обучения
Очная

Квалификация
Бакалавр

Год приема
2021

Код дисциплины в учебном плане Б1.В.ДВ.01.07.13

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:

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

– ОПК-1 – Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

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

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;

2. Задачи освоения дисциплины

– Ознакомится с основными понятиями и типами дислокаций, их геометрические и упругие свойства. Ядро дислокаций.

– Сформировать представления о дислокациях в поле внешних напряжений. Упругое взаимодействие дислокаций.

– Ознакомится со структурными моделями дислокаций (полные и частичные дислокации). Дислокационные реакции.

– Познакомится с линейным натяжением дислокаций. Генерация дислокаций. Плоскости скольжения. Плоские скопления дислокаций. Малоугловые границы.

3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, входит в модуль по выбору "Физика металлов".

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

Семестр 7, экзамен.

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для изучения и понимания материала данной дисциплины у обучающегося должно быть наличие основных представлений и понятий из курсов: Кристаллография, Физика твердого тела, Дефекты в твердых телах, Термодинамика фазовых равновесий, Физическое металловедение. Знать основы современных методов исследования структуры, элементного и фазового состава (рентгеноструктурный анализ, растровая и просвечивающая электронная микроскопия), физических и механических свойств.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины (модуля)

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

– лекции: 32 ч.;

– практические занятия: 16 ч.;

в том числе практическая подготовка: 12 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

Тема 1. Теоретические оценки прочности и сопротивления сдвигу в кристаллах. Понятие дислокации. Вектор Бюргера, типы дислокаций. Ядро дислокации. Геометрические свойства и упругие модели дислокаций в упруго-напряженной среде.

Феноменология скольжения в кристаллах. Системы скольжения. Хрупкое разрушение. Оценки сопротивления сдвигу по Френкелю и хрупкой прочности по Оровану. Проблема прочности. Дефекты кристаллов. Микро и макро дефекты. Понятие дислокации, линия дислокации, вектор Бюргерса и ядро дислокации. Типы и знак дислокаций. Общее определение дислокации. Контур Бюргерса. Непрерывность дислокаций, инвариантность вектора Бюргерса. Закон Кирхгофа для векторов Бюргерса. Упругая модель прямолинейных дислокаций.

Тема 2. Поля смещений и поля напряжений дислокаций. Упругая энергия дислокаций.

Расчет поля напряжений винтовой дислокации в упруго-изотропной среде. Поля напряжений прямолинейной краевой дислокации. Взаимодействие дислокаций с поверхностью. Силы изображения. Упругая энергия дислокаций в упруго-изотропном твердом теле. Оценка энергии ядра дислокации.

Тема 3. Модель Пайерлса дислокации в кристаллах. Энергия ядра дислокации Пайерлса и напряжения Пайерлса-Набарро.

Модель непрерывного распределения дислокации. Функция смещения в модели Пайерлса. Энергия искаженных связей. Зависимость от смещения дислокации. Расчет силы Пайерлса-Набарро. Подвижность дислокаций. Оценка массы дислокации.

Тема 4. Дислокации в поле внешних напряжений. Упругое взаимодействие дислокаций.

Расчет сил, действующих на прямолинейные дислокации разного типа. Упругое взаимодействие параллельных дислокаций. Дислокационные стенки и дислокационные диполи. Смешанная прямолинейная дислокация. Упругое самодействие криволинейных дислокаций. Связывание (сетки) дислокаций. Скалярная и тензорная плотность дислокаций. Локальные избыточные дислокации. Кривизна-кручение решетки.

Тема 5. Структурные модели дислокаций. Дислокационные реакции. Полные и частичные дислокации в ГЦК решетке.

Дислокации в кристаллах. Полные, единичные и кратные дислокации. Дислокационные реакции; правила записи спонтанных дислокационных реакций. Правило Франка. Частичные дислокации. Частичная дислокация Франка. Дефекты упаковки. Реакция Хайденраха-Шокли. Растянутые дислокации. Равновесная ширина растянутой дислокации. Угловые (вершинные) дислокации Коттрелла и Хирта. Дислокационные барьеры Коттрелла и Хирта. Тензор и треугольник Томпсона. Символика Томпсона. Запись дислокационных реакций в символической форме Томпсона.

Тема 6. Характерные дислокации в ОЦК решетке. Особенности структуры ядра винтовых дислокаций.

Анализ векторов Бюргерса полных дислокаций Холла, Гендерсона и Брауна. Расщепление дислокаций в плоскостях $\{112\}$ (реакции Хирша-Слизвика) и $\{101\}$ (реакции Коэна-Крюссара). Структура ядра винтовых дислокаций - самозакрепление при расщеплении. Двойникование и андвойникование. Частичные дислокации. Асимметрия скольжения в ОЦК кристаллах. Влияние структуры ядра винтовых дислокаций на прочностные свойства ОЦК кристаллов.

Тема 7. Пересечение дислокаций. Уступы, перегибы и рекомбинация дислокаций

при пересечениях. Расщепление уступов.

Пересечение дислокаций. Образование уступов и перегибов. Особенности движения винтовой дислокации с уступом – генерация точечных дефектов дислокационных диполей. Рекомбинация дислокаций при пересечении. Расщепление уступов. Закрепление уступов при расщеплении. «Лес» дислокаций. Близкодействующее взаимодействие. Термически активируемое взаимодействие скользящей дислокации с «лесом».

Тема 8. Линейное натяжение дислокаций. Генерация дислокаций. Источники Франка-Рида. Плоские скопления дислокаций.

Изгиб дислокаций в полях напряжений. Оценка линейного натяжения дислокаций. Источник Франка-Рида. Критическое напряжение генерации дислокаций. Поперечное скольжение. Динамические источники Франка-Рида. Источники дислокаций в реальных кристаллах. Формирование плоских скоплений. Условия равновесия дислокаций в скоплениях. Плоские скопления в модели непрерывного распределения дислокаций. Оценка поля напряжений в вершине плоского скопления. Экранировка источников плоскими скоплениями.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится с применением балльно-рейтинговой системы, включающей контроль посещаемости, результаты выполнения заданий по материалам курса (выступление и работа на практических занятиях), и фиксируется в форме баллов (нарастающим итогом): посещаемость – максимальный балл 10, выполнение заданий по материалам курса – 40. Контрольная точка проводится не менее одного раза в семестр.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

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

На промежуточную аттестацию планируется не более 50 баллов.

Итоговая оценка по дисциплине складывается из суммы баллов, полученных по итогам текущего контроля и промежуточной аттестации.

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Экзаменационная оценка определяется исходя из результатов экзамена и текущей аттестации в течение семестра и согласуется с принятым соответствием с 5-ти балльной шкалой оценивания: 100-86 – «отлично»; 85-66 – «хорошо»; 65-50 – «удовлетворительно», менее 50 – «неудовлетворительно».

Экзаменационный билет включает 2 вопроса из списка контрольных вопросов по курсу (приведен в разделе 11), проверяющих сформированность компетенции ПК-1 и ОПК-1 в соответствии с индикаторами ИПК-1.1 и ИОПК-2.2 соответственно. Ответы даются в развернутой форме.

Пример экзаменационного билета:

БИЛЕТ № 1

Вопрос 1. Анализ сверхдислокаций в $L1_2$ сверхструктуре по Марсинковскому. Структура Сверхдислокации в ГЦК решетке.

Вопрос 2. Скалярная и тензорная плотность дислокаций. Кривизна-кручение кристаллической решетки.

Дополнительные и/или уточняющие вопросы по основным темам и содержанию курса (разделы 8, 11), позволяющие оценить уровень освоения всей программы. Ответ на

уровне формулировки основных определений и/или краткого изложения физики явления и соответствующих представлений.

Например:

Вопрос 1. Дать определение скалярной и тензорной плотности дислокаций.

Вопрос 2. Треугольник Томпсона.

Вопрос 3. Характерные дислокации в кристаллах.

Вопрос 4. Общее определение дислокации.

И т.д.

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» – <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=22006>

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

Перечень вопросов, выносимых на экзамен.

1. Структура малоугловой симметричной границы. Связь между плотностью дислокаций и углом разориентации.

2. Зависимость энергии антифазной границы в свердислокации в сверхструктуре $L1_2$.

3. Диссоциация дислокации в О.Ц.К. решетке на плоскости (112).

4. Скалярная и тензорная плотность дислокаций. Кривизна-кручение кристаллической решетки.

5. Структура тройного узла дислокаций, расположенных в одной плоскости (111) Г.Ц.К. кристалла.

6. Удельная энергия дефекта упаковки. Оценка равновесной ширины растянутой дислокации в Г.Ц.К. решетке.

7. Двухстороннее плоское скольжение дислокаций в модели их непрерывного распределения.

8. Треугольник Томпсона. Анализ образования барьеров Хирта $a/3 \langle 100 \rangle$ при скольжении по плоскостям (111).

9. Двухсторонний дислокационный источник Франка-Рида. Критическое напряжение работы источника.

10. Понятие дислокации Пайерлса. Уравнение для функции смещения в этой дислокации.

11. Одностороннее плоское скопление в модели непрерывного распределения дислокаций.

12. Дислокация в поле внешних напряжений. Сила, действующая на дислокацию.

13. Уступы на винтовых дислокациях. Генерация точечных дефектов движущимися уступами.

14. Уравнение равновесия твердого тела с винтовой дислокацией. Поле смещений винтовой дислокацией.

15. Характерные дислокации в кристаллах. Единичные и кратные дислокации. Дислокационные реакции.

16. Упругая энергия винтовой дислокации. Условия на поверхности.

17. Упругое взаимодействие краевых дислокаций.

18. Общее определение дислокации. Геометрические свойства дислокаций.

19. Энергия взаимодействия краевых дислокаций. Полная энергия дислокационного диполя.

20. Оценка (расчет) колебательной энтропии краевой дислокации в модели Эйнштейна (модель N осцилляторов).

21. Пересечение дислокаций. Образование уступов, перегибов и рекомбинированных сегментов дислокаций при пересечении.

в) План семинарских / практических занятий по дисциплине.

1. Общее определение дислокации. Анализ компонент векторов смещений в задаче о поле напряжений винтовой и краевой дислокации.
2. Структура дислокационных узлов в Г.Ц.К. кристаллах.
3. Символика Томпсона. Тетраэдр и треугольник Томпсона.
4. Дислокационные реакции с образованием уголкового дислокаций Коттрелла в символикe Томпсона.
5. Реакция Хайенрайха-Шокли. Растянутые дислокации, роль дефекта упаковки.
6. Дислокационные реакции образования дислокаций Хирта в символикe Миллера и Томпсона.
7. Анализ полей напряжений плоских скоплений дислокаций в модели их непрерывного распределения.
8. Структура дислокационных узлов в Г.Ц.К. кристаллах.
9. Особенности движения уступа винтовой дислокации – генерация точечных дефектов.
10. Взаимодействия дислокаций с внешней поверхностью. Напряжения изображения.
11. Дислокационные реакции диссоциации дислокационных уступов. Эффекты их закрепления.
12. Динамические источники дислокаций.
 - 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. Дж. Хирт, И. Лоте. Теория дислокаций – М. Атомиздат, 1972. – гл. 1, 3, 5, 8, 9, 10, 20, 22.
2. Коротаев А.Д. Элементы теории дислокаций: учеб. пособие. – Томск: Изд-во НТЛ, 2020. – 212 с.
3. Н. Фредель. Дислокации. – М. Мир, 1967. – гл. 1, 2, 3, 6.
4. Дж. Хирт. Дислокации. // Физическое металловедение. М. – Металлургия, 1968. – Т. 3. – гл. 21.
5. Т. Сузуки, Х. Есинага, С. Такеути. Динамика дислокаций и пластичность М.: Мир, 1999. – с. 9-77, 89-136.
6. М.А. Штремель. Прочность сплавов. – ч. I, Дефекты решетки. – М.: Изд. МИСИС, 1999. Гл. III. С 118-182; гл. IV с. 188-202; гл. V с. 218-242.
7. Орлов А.Н., Первезенцев В.Н., Рыбин В.В. Границы зерен в металлах. – М.: Металлургия, 1980. Гл. II, III, VI. – с. 16-51, 90-120.
8. В.М. Косевич, В.М. Иевлев, Л.С. Палатник, А.И. Федоренко. Структура межкристаллитных и межфазных границ. – М.: Металлургия. 1980. – гл. I, II.
9. Р.З. Валиев, О.А. Кайбышев. Границы зерен в металлах. – М.: Металлургия. 1989, 214

10. Hull D. Introduction to Dislocations : Fifth Edition / D. Hull, D. J. Bacon. – Great Brintain: Elsevier Ltd., 2011. – p. 257.

б) дополнительная литература:

1. Дж. Кристиан. Теория превращения в металлах и сплавах. – М.: Мир, 1978. – гл. VII. – с.37-457.
2. А.М. Косевич. Физическая механика реальных кристаллов. – К.: Наукова Думка. 1981. – с. 248-270, 275-286.
3. А.А. Предводителей, О.А. Троицкий. Дислокации и точечные дефекты в гексагональных металлах. – М.: Атомиздат, 1973. – гл. II с. 37-52.; гл. III с. 55-72.
4. И.И. Новиков, К.М. Розин. Кристаллография и дефекты кристаллической решетки. – гл. IV-VII, IX, XI.
5. А. Келли, Г. Гровз. Кристаллография и дефекты в кристаллах. – М.: Мир, 1974.
6. Т.Рид. дислокация в кристаллах. – М.: Металлургия, 1964.
7. В. Копецкий. Структура и свойства тугоплавких металлов. – М.: Металлургия. – гл. V. – с.13-29.

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 [Электронный ресурс] / НИ ТГУ, Научная библиотека ТГУ. – Электрон. дан. – Томск, 2008-2016. – URL: <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?theme=system>
- Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ [Электронный ресурс] . – Электрон. дан. – Томск, 2011. – URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
- ЭБС Издательство «Лань» [Электронный ресурс]:/ – Электрон. дан. – СПб., 2010. – URL: <http://e.lanbook.com/>
- ЭБС Консультант студента [Электронный ресурс] / ООО «Политехресурс». – М, 2012. – URL: <http://www.studentlibrary.ru/>
- Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>
- ЭБС Znanium.com [Электронный ресурс] / Научно-издательский центр Инфра-М. – Электрон. дан. – М., 2012. – URL: <http://znanium.com/>
- ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения практических занятий, 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

Кортаев Александр Дмитриевич, доктор физико-математических наук, профессор, кафедры физики металлов физического факультета ТГУ.