

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

**Теория дислокаций**

по направлению подготовки

**03.03.02 Физика**

Направленность (профиль) подготовки :

**Фундаментальная физика**

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**Бакалавр**

Год приема

**2023**

СОГЛАСОВАНО:  
Руководитель ОП  
О.Н. Чайковская

Председатель УМК  
О.М. Сюсина

Томск – 2023

## **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**

– 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 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**

Седьмой семестр, экзамен

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

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

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: 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 часов, 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 антидвойникование. 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 осуществляется путем контроля посещаемости, выполнения заданий по материалам курса, работы на практических занятиях и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза 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 седьмом 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=22006>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине (<https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>).

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:

– Дж. Хирт, И. Лоте. Теория дислокаций – М. Атомиздат, 1972. – гл. 1, 3, 5, 8, 9, 10, 20, 22.

– Коротаев А.Д. Элементы теории дислокаций: учеб. пособие. – Томск: Изд-во НТЛ, 2020. – 212 с.

– Н. Фредель. Дислокации. – М. Мир, 1967. – гл. 1, 2, 3, 6.

– Дж. Хирт. Дислокации. // Физическое металловедение. М. – Metallurgia, 1968. – Т. 3. – гл. 21.

– Т. Сузуки, Х. Есинага, С. Такеути. Динамика дислокаций и пластичность М.: Мир, 1999. – с. 9-77, 89-136.

– 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.

– Орлов А.Н., Первезенцев В.Н., Рыбин В.В. Границы зерен в металлах. – М.: Metallurgia, 1980. Гл. II, III, VI. – с. 16-51, 90-120.

– В.М. Косевич, В.М. Иевлев, Л.С. Палатник, А.И. Федоренко. Структура межкристаллитных и межфазных границ. – М.: Metallurgia. 1980. – гл. I, II.

– Р.З. Валиев, О.А. Кайбышев. Границы зерен в металлах. – М.: Metallurgia. 1989, 214

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

б) дополнительная литература:

– Дж. Кристиан. Теория превращения в металлах и сплавах. – М.: Мир, 1978. – гл. VII. – с.37-457.

– А.М. Косевич. Физическая механика реальных кристаллов. – К.: Наукова Думка. 1981. – с. 248-270, 275-286.

– А.А. Предводителев, О.А. Троицкий. Дислокации и точечные дефекты в гексагональных металлах. – М.: Атомиздат, 1973. – гл. II с. 37-52.; гл. III с. 55-72.

– И.И. Новиков, К.М. Розин. Кристаллография и дефекты кристаллической решетки. – гл. IV-VII, IX, XI.

– А. Келли, Г. Гровз. Кристаллография и дефекты в кристаллах. – М.: Мир, 1974.

– Т.Рид. дислокация в кристаллах. – М.: Metallurgia, 1964.

– В. Копецкий. Структура и свойства тугоплавких металлов. – М.: Metallurgia. – гл. V. – с.13-29.

в) ресурсы сети Интернет:

– Общероссийская Сеть КонсультантПлюс Справочная правовая система.  
<http://www.consultant.ru>

– ...

### **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.

Аудитории для проведения занятий лекционного и семинарского типа индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации в смешенном формате («Актру»).

### **15. Информация о разработчиках**

Никонов Антон Юрьевич, кандидат физико-математических наук, кафедра физики металлов физического факультета ТГУ, доцент.