

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 23.09.2022 13:39:49  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»

Утверждаю:

Руководитель ООП



*[Handwritten signature]*

Б.Б.Педько

«28» июня 2022 г.

Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)

**Физика реального кристалла**

Направление подготовки

03.03.02 Физика

профиль

Физика конденсированного состояния вещества

Для студентов

4 курса, очной формы обучения

Составитель: к.ф.-м.н., доцент Ляхова М.Б.

*[Handwritten signature]*

Тверь, 2022

## **I. Аннотация**

### **1. Цель и задачи дисциплины**

Целью освоения дисциплины является изучение основных вопросов физики реального кристалла. Обсуждаются понятия идеального и реального кристалла. Подробно изучаются все типы дефектов кристаллической структуры реальных кристаллов (точечные, линейные, поверхностные и объемные), их строение и характеристики (упругие поля, энергия), механизмы движения и взаимодействия, влияние на физические свойства (механические, электрические, магнитные и другие) и процессы, происходящие в кристаллах (диффузия, самодиффузия, упорядочение твердых растворов, пластическая и упругая деформации). Студентами практически осваиваются различные экспериментальные методы исследования структуры кристаллов.

Задачами освоения дисциплины являются формирование и развитие у обучающихся компетенций: способность выполнять экспериментальную работу в области физики и оформлять результаты исследований и разработок; способность сопровождать типовые технологические процессы в области материаловедения и технологии материалов.

### **2. Место дисциплины в структуре ООП**

Дисциплина «Физика реального кристалла» изучается в модуле Физика конденсированного состояния Блока 1. Дисциплины части учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений.

Содержательно дисциплина связана с дисциплинами «Введение в физику конденсированных сред», «Физика конденсированного состояния вещества», «Дифракционный структурный анализ». Для успешного освоения дисциплины необходимы знания дисциплин общей и теоретической физики. Дисциплина является основой общего физического практикума, производственной и преддипломной практик.

Профессиональные компетенции, сформированные при изучении данной дисциплины, необходимы для успешной работы обучающегося при выполнении выпускной квалификационной работы.

**3. Объем дисциплины:** 2 зачетные единицы, 72 академических часа,

**в том числе:**

**контактная аудиторная работа:** лекции 26 часов, практические занятия 26 часов.

**самостоятельная работа:** 20 часов.

**4. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

Планируемые результаты освоения образовательной программы (формируемые компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
<b>ПК-2.</b> Способен выполнять экспериментальную работу в области физики и оформлять результаты исследований и разработок.	<b>ПК-2.1.</b> Проводит экспериментальные исследования с применением научно-исследовательского оборудования в соответствии с утвержденными методиками. <b>ПК-2.2.</b> Анализирует физические явления и процессы в области физики конденсированного состояния и составляет отчет по теме исследования или по результатам проведенных экспериментов.
<b>ПК-3.</b> Способен сопровождать типовые технологические процессы в области материаловедения и технологии материалов.	<b>ПК-3.1.</b> Осуществляет анализ структуры материалов материалов.

## 5. Форма промежуточной аттестации и семестр прохождения

Зачет в 8 семестре.

6. Язык преподавания: русский.

II. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий.

Учебная программа – наименование разделов и тем	Всего (час)	Контактная работа (час.)				Самостоятельная работа, в т.ч. контроль (час.)
		Лекции		Практические занятия		
		всего	в т.ч. практическая подготовка	всего	в т.ч. практическая подготовка	
<b>Введение.</b> Физика реального кристалла и ее цели. Идеальные и реальные кристаллы. Монокристаллы и поликристаллы. Кристаллическая структура. Дефекты кристаллического строения. Классификация дефектов реальных кристаллов.	2	2				
<b>Точечные дефекты.</b> Виды точечных дефектов. Термодинамика точечных дефектов. Миграция точечных дефектов. Источники и стоки точечных дефектов. Комплексы точечных дефектов. Поведение вакансий при закалке и отжиге. Методы определения концентраций вакансий, энергии их образования и миграции.	12	4		4		4
<b>Основные типы дислокаций и их движение.</b> Краевая дислокация. Скольжение и переползание краевой дислокации. Винтовая дислокация. Скольжение винтовой дислокации. Смешанные дислокации и их движение. Призматические дислокации. Контур и вектор Бюргерса. Плотность дислокаций. Методы выявления дислокаций в металлах: метод ямок травления, дифракционная	11	4		4		3

просвечивающая электронная микроскопия.					
<b>Упругие свойства дислокаций.</b> Энергия дислокаций. Силы, действующие на дислокацию. Упругое взаимодействие параллельных краевых дислокаций. Упругое взаимодействие параллельных винтовых дислокаций.	<b>6</b>	<b>2</b>		<b>2</b>	<b>2</b>
<b>Дислокации в типичных металлических структурах.</b> Подразделение дислокация на полные и частичные. Энергетический критерий дислокационных реакций. Дефекты упаковки. Характерные полные единичные дислокации. Полные дислокации в ГПУ, ГЦК и ОЦК решетках. Частичные дислокации Шокли. Растянутые дислокации. Ширина растянутых дислокаций. Частичные дислокации Франка. Стандартные тетраэдр и дислокационные реакции в ГЦК решетке. Стандартный тетраэдр Томпсона. Вершинные дислокации и дислокации Ломер–Коттрелла. Тетраэдр дефектов упаковки. Стандартная бипирамида и дислокационные реакции в ГПУ решетке. Дислокационные реакции в ОЦК решетке. Поперечное скольжение и переползание растянутых дислокаций. Двойникующая дислокация. Дислокации в упорядоченных сплавах.	<b>11</b>	<b>4</b>		<b>4</b>	<b>3</b>
<b>Пересечение дислокаций.</b> Пересечение единичных дислокаций. Пересечение краевых дислокаций. Пересечение краевой и винтовой дислокаций. Движение дислокаций с порогами. Пересечение растянутых дислокаций.	<b>6</b>	<b>2</b>		<b>2</b>	<b>2</b>
<b>Взаимодействие дислокаций с точечными дефектами.</b> Взаимодействие дислокаций с точечными дефектами. Взаимодействие дислокаций с примесными атомами. Атмосферы Коттрелла, Снука и Сузуки. Взаимодействие дислокаций с вакансиями и межузельными атомами.	<b>6</b>	<b>2</b>		<b>2</b>	<b>2</b>
<b>Образование дислокаций.</b> Происхождение дислокаций. Размножение дислокаций при пластической деформации. Источники Франка – Рида и Бардина – Херринга.	<b>5</b>	<b>2</b>		<b>2</b>	<b>1</b>
<b>Дисклинации.</b> Дисклинации в непрерывной упругой среде. Дисклинации в	<b>5</b>	<b>2</b>		<b>2</b>	<b>1</b>

кристаллической решетке.					
<b>Границы зерен и субзерен.</b> Малоугловые границы. Высокоугловые границы. Специальные и произвольные границы. Зернограничные дислокации.	<b>8</b>	<b>2</b>		<b>4</b>	<b>2</b>
<b>ИТОГО</b>	<b>72</b>	<b>26</b>		<b>26</b>	<b>20</b>

### III. Образовательные технологии

<b>Учебная программа-наименование разделов и тем</b>	<b>Вид занятия</b>	<b>Образовательные технологии</b>
<b>Введение.</b>	Лекция	Традиционная лекция Презентация
<b>Точечные дефекты.</b>	Лекция, практические занятия	Традиционная лекция Презентация Решение индивидуальных задач Самостоятельное изучение теоретического материала
<b>Основные типы дислокаций и их движение.</b>	Лекция, практические занятия	Традиционная лекция Презентация Решение индивидуальных задач Самостоятельное изучение теоретического материала
<b>Упругие свойства дислокаций.</b>	Лекция, практические занятия	Традиционная лекция Презентация Решение индивидуальных задач Самостоятельное изучение теоретического материала
<b>Дислокации в типичных металлических структурах.</b>	Лекция, практические занятия	Традиционная лекция Презентация Решение индивидуальных задач Самостоятельное изучение теоретического материала
<b>Пересечение дислокаций.</b>	Лекция, практические занятия	Традиционная лекция Презентация Решение индивидуальных задач Самостоятельное изучение теоретического материала

<b>Взаимодействие дислокаций с точечными дефектами.</b>	Лекция, практические занятия	Традиционная лекция Презентация Решение индивидуальных задач Самостоятельное изучение теоретического материала
<b>Образование дислокаций.</b>	Лекция, практические занятия	Традиционная лекция Презентация Решение индивидуальных задач Самостоятельное изучение теоретического материала
<b>Дисклинации.</b>	Лекция, практические занятия	Традиционная лекция Презентация Решение индивидуальных задач Самостоятельное изучение теоретического материала
<b>Границы зерен и субзерен.</b>	Лекция, практические занятия	Традиционная лекция Презентация Решение индивидуальных задач Самостоятельное изучение теоретического материала

#### **IV. Оценочные материалы для проведения текущей и промежуточной аттестации**

##### **Типовые задания для оценки уровня формирования компетенций.**

##### **ПК-2. Способен выполнять экспериментальную работу в области физики и оформлять результаты исследований и разработок:**

**Задание:** перечислите экспериментальные методы исследования:

1. кристаллической структуры материалов;
2. дефектов кристаллической решетки;
3. фазового состава сплавов.

##### **ПК-3. Способен сопровождать типовые технологические процессы в области материаловедения и технологии материалов:**

**Задание:** по представленным изображениям микроструктуры определить количество фаз и их относительное объемное содержание.

## **V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **Рекомендуемая литература**

#### **а) Основная литература:**

1. Розин, К.М. Кристаллофизика. Учебное пособие [Электронный ресурс]: учеб. пособие / К.М. Розин, В.С. Петраков. — Электрон. дан. — Москва : МИСИС, 2006. — 249 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/51712>.
2. Каплунов И. А. Физическое материаловедение. Фазовые равновесия [Электронный ресурс]: учебное пособие. – Тверь: Тверской государственный университет, 2011. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Режим доступа: [http://texts.lib.tversu.ru/texts/fizicheskoe\\_materialovedenie\\_fazovye\\_ravnovesiya\\_2011/e-book/index.html](http://texts.lib.tversu.ru/texts/fizicheskoe_materialovedenie_fazovye_ravnovesiya_2011/e-book/index.html).

#### **б) Дополнительная литература:**

1. Басалаев, Ю.М. Кристаллофизика и кристаллохимия [Электронный ресурс]: учеб. пособие — Электрон. дан. — Кемерово : КемГУ, 2014. — 403 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/61407>.
2. Дегтяренко, Н.Н. Свойства дефектов и их ансамблей, радиационная физика твердого тела: учебное пособие для вузов [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. – Москва: НИЯУ МИФИ, 2011. – 200 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/75892>.
3. Розин, К.М. Кристаллофизика. Учебное пособие [Электронный ресурс]: учеб. пособие / К.М. Розин, В.С. Петраков. — Электрон. дан. — Москва : МИСИС, 2006. – 249 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/51712>.
4. Физика реального кристалла. Лабораторный практикум [Электронный ресурс]: учеб. пособие / И.С. Диденко [и др.]. – Электрон. дан. – Москва: МИСИС, 2013. – 76 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/51699>.

### **Электронные библиотечные системы:**

1. ЭБС «ИНФРА-М» <http://www.znaniyum.com>
2. ЭБС «Университетская библиотека ОН-ЛАЙН» <http://www.biblioclub.ru>
3. ЭБС «ЛАНЬ» <http://e.lanbook.com>
4. Сервер информационно-методического обеспечения учебного процесса ТвГУ <http://edc.tversu.ru>

## **VI. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины**

### **Вопросы для подготовки к письменным опросам рейтингового контроля.**

#### **Модуль №1. Введение. Точечные дефекты**

1. Расшифруйте термин «монокристалл».
2. Расшифруйте термин «поликристалл».
3. Расшифруйте термин «идеальный кристалл».
4. Расшифруйте термин «реальный кристалл».
5. Перечислите точечные дефекты реальных кристаллов.
6. Перечислите линейные дефекты реальных кристаллов.
7. Перечислите поверхностные дефекты реальных кристаллов.
8. Какие упаковки частиц относятся к плотнейшим и каков их коэффициент компактности?
9. Что такое «гантель»?
10. Что такое «краудион»?
11. Поясните с энергетических позиций, почему равновесные кристаллы содержат точечные дефекты.
12. Как зависит от температуры равновесная концентрация вакансий?
13. Что такое энергия активации миграции вакансии?

14. Опишите вакансионные комплексы. Какова их подвижность по сравнению с моновакансиями?
15. Перечислите источники и стоки вакансий.
16. Назовите основные причины появления неравновесной концентрации вакансий и межузельных атомов.
17. Опишите по какому механизму мигрируют межузельные атомы?
18. Опишите по какому механизму мигрируют примесные атомы?
19. Сравните равновесные концентрации и подвижность моновакансий, дивакансий и межузельных атомов.
20. Опишите поведение вакансий при закалке и отжиге.

## **Модуль №2. Линейные и поверхностные дефекты**

1. Дайте общее определение дислокации.
2. Опишите строение краевой дислокации.
3. Опишите строение винтовой дислокации.
4. Какая дислокация называется смешанной?
5. Опишите процесс скольжения краевой дислокации.
6. Опишите процесс переползания краевой дислокации.
7. Опишите процесс скольжения винтовой дислокации.
8. Опишите строение призматической дислокации.
9. Как строятся контур и вектор Бюргерса?
10. Опишите упругое взаимодействие параллельных краевых дислокаций.
11. Опишите упругое взаимодействие параллельных винтовых дислокаций.
12. Сформулируйте энергетический критерий дислокационных реакций.
13. По каким признакам дислокации подразделяются на полные и частичные?
14. Что такое дефект упаковки?
15. Опишите строение растянутых дислокаций.
16. Опишите строение частичной дислокации Франка.
17. Что такое атмосферы Коттрелла, Снука и Сузуки?
18. Кратко опишите источник Франка – Рида.

19. Что такое дисклинации?
20. Опишите строение малоугловых и высокоугловых границ зерен.

### **Вопросы для подготовки к зачету:**

1. Виды точечных дефектов. Термодинамика точечных дефектов.
2. Миграция точечных дефектов. Источники и стоки точечных дефектов.
3. Комплексы точечных дефектов. Поведение вакансий при закалке и отжиге.
4. Краевая дислокация. Скольжение краевой дислокации. Переползание краевой дислокации.
5. Винтовая дислокация. Скольжение винтовой дислокации.
6. Смешанные дислокации и их движение.
7. Призматические дислокации.
8. Контур и вектор Бюргерса.
9. Упругие свойства дислокаций. Энергия дислокаций. Взаимодействие параллельных краевых и винтовых дислокаций.
10. Подразделение дислокация на полные и частичные. Энергетический критерий дислокационных реакций.
11. Дефекты упаковки.
12. Характерные полные единичные дислокации в ГПУ, ГЦК и ОЦК решетках.
13. Частичные дислокации Шокли. Растянутые дислокации. Ширина растянутых дислокаций.
14. Частичные дислокации Франка.
15. Стандартный тетраэдр Томпсона. Вершинные дислокации и дислокации Ломер–Коттрелла.
16. Стандартная бипирамида и дислокационные реакции в ГПУ решетке.
17. Поперечное скольжение и переползание растянутых дислокаций. Двойникующая дислокация.
18. Пересечение единичных дислокаций. Пересечение краевых дислокаций. Пересечение краевой и винтовой дислокаций.
19. Движение дислокаций с порогами. Пересечение растянутых дислокаций.

20. Взаимодействие дислокаций с точечными дефектами. Атмосферы Коттрелла, Снука и Сузуки.
21. Происхождение дислокаций. Размножение дислокаций при пластической деформации. Источник Франка – Рида.
22. Дисклинации в непрерывной упругой среде и в кристаллической решетке.
23. Границы зерен и субзерен. Малоугловые и высокоугловые границы. Специальные и произвольные границы. Зернограничные дислокации.
24. Торможение дислокаций. Сила Пайерлса.

### **Требования к рейтинг-контролю**

В семестре проводится два контрольных модуля.

**I модуль** – 30 баллов. Письменный опрос по теории (10 вопросов) – 30 баллов: по 3 балла – за правильный ответ на каждый вопрос, по 1–2 балла – за неполный ответ.

**II модуль** – 70 баллов. Письменный опрос по теории (10 вопросов) – 30 баллов: по 3 балла – за правильный ответ на каждый вопрос, по 1–2 балла – за неполный ответ. 40 баллов за активную работу на практических занятиях.

### **VII. Материально-техническое обеспечение**

Для проведения лекционных и практических занятий необходима аудитория, оборудованная мультимедийным проектором.

### **VIII. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины**

<b>№ п.п.</b>	<b>Обновленный раздел рабочей программы дисциплины</b>	<b>Описание внесенных изменений</b>	<b>Реквизиты документа, утвердившего изменения</b>
1.			
2.			