

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФИЗИКО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Утверждено  
на заседании кафедры  
протокол № 1 от «31» августа 2020г

Согласовано:  
Председатель УМК ФТИ

Зав. кафедрой Балапанов М.Х./\_\_



Балапанов М.Х./\_\_



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Дисциплина Физика реальных кристаллов

*(наименование дисциплины)*

\_\_\_\_\_ вариативная \_\_\_\_\_

*(Цикл дисциплины и его часть (базовая, вариативная, дисциплина по выбору))*

**программа бакалавриата**

Направление подготовки (специальность)

**03.03.02 Физика**

*(код и наименование направления подготовки (специальности))*


Направленность (профиль) подготовки

**«Физика конденсированного состояния вещества»**

*(наименование направленности (профиля) подготовки)*

Квалификация

**бакалавр**

<p>Разработчик (составитель) доцент, к.ф.-м.н. (должность, ученая степень, ученое звание)</p>	<p> _____/__ Ишембетов Р.Х. (подпись, Фамилия И.О.)</p>
---	---

Для приема: 2020 г.

Уфа- 2020г.

Составитель: Ишембетов Р.Х.

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры № 1 от «31» августа 2020г

Заведующий кафедрой



\_\_\_\_\_ / Балапанов М.Х.

### Список документов и материалов

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы	
2. Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы	
3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)	
4. Фонд оценочных средств по дисциплине	
4.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания	
4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций	
4.3. <i>Рейтинг-план дисциплины (при необходимости)</i>	
5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	
5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	
5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины	
6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине	
7. Приложение 1	
8. Приложение 2	

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

При изучении дисциплины «Физика реальных кристаллов» у обучающегося должны формироваться следующие компетенции:

ОПК-3 - способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач

ПК-1 - способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин.

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Результаты обучения <sup>1</sup>		Формируемая компетенция (с указанием кода)	Примечание
Знания	<b>Знать</b> Дефекты кристаллов и их классификация. Точечные дефекты в кристаллах и их классификация. Дефекты кристаллов по Френкелю. Дефекты по Шоттки; Диффузия. Самодиффузия. Вакансионный и межузельный механизмы диффузии. Энергия активации Дислокация в кристаллах. Краевая дислокация Винтовая дислокация Вектор Бюргерса Двойники. Двойникование. Механизмы двойникования.	ОПК-3 способностью использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач	
	Знать основные положения в области физики для освоения профильных дисциплин Знать специализированные знания в области физики для освоения профильных дисциплин. ...	ПК-1 способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин	
Умения	<b>Уметь:</b> понимать, излагать и критически анализировать информацию по физике реального кристалла; пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и	ОПК-3 способностью использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и	

<sup>1</sup> Должны соответствовать картам компетенций.

	<p>моделями; применять полученные знания в научно-исследовательских работах и в прикладных задачах профессиональной деятельности;</p>	<p>теоретической физики для решения профессиональных задач</p>	
	<p>Уметь решать стандартные специализированные задачи в физике</p>	<p>ПК-1 способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин</p>	
<p>Владения (навыки / опыт деятельности)</p>	<p>методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической физической информации; современной терминологией и знаниями о свойствах реальных кристаллов.</p>	<p>ОПК-3 способностью использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач</p>	
	<p>Владеть навыками постановки и решения специализированных задач в физике</p> <p>..</p>	<p>ПК-1 способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин</p>	

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «**Физика реальных кристаллов**» относится к *вариативной* части.

Дисциплина изучается на *Зкurse(ax)* в 6 семестре.

Цели изучения дисциплины: ознакомление студентов с основами теории дефектов в кристаллах с последующим их применением к изучению физических характеристик материалов. Основные задачи учебной дисциплины — дать представления структуре реальных кристаллов, типах дефектов кристаллической решетки материалов, их взаимодействии и влиянии на свойства материалов. Дефекты решетки, неизбежно присутствующие в кристалле, определяют практически все физические и технологические свойства материалов. Без достаточно глубокого понимания дефектов структуры невозможно полноценно использовать свойства материалов. Изучение дефектов кристаллической решетки необходимо для тех, кто изучает, разрабатывает и использует материалы в самых разнообразных отраслях техники – в металловедении, физике и технике полупроводников, ядерной технике, космическом материаловедении и т.д.

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения следующих дисциплин:

как Физика, Теоретическая физика, Линейные и нелинейные уравнения физики, Избранные главы физики, Компьютерное моделирование, Основы современных технологий, Современные проблемы ФКС, Компьютерные технологии, Решение задач по профилю, Физика конденсированного состояния, Физико-химия наноструктурированных материалов, Введение в магнетизм и магнитные материалы, Кристаллография, Электрические и магнитные измерения , Физика полупроводников и диэлектриков, Металловедение, Квантовая теория твердого тела\_

Компетенция осваивается в процессе учебных и производственных практик и закрепляется в преддипломной практике. Проверка уровня сформированной компетенции происходит во время Государственной итоговой аттестации.

Компетенция формируется в процессе всех видов занятий: лекционного и семинарского типов, в процессе самостоятельной работы студентов, при написании курсовых работ и выпускной квалификационной работы.

## 3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)

Содержание рабочей программы представлено в Приложении № 1.

#### 4. Фонд оценочных средств по дисциплине

##### 4.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Код и формулировка компетенции

**ОПК-3-способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач**

Этап (уровень) освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2 («Не удовлетворительно»)	3 («Удовлетворительно»)	4 («Хорошо»)	5 («Отлично»)
Первый этап (знания)	Знать: Дефекты кристаллов и их классификация. Точечные дефекты в кристаллах и их классификация. Дефекты кристаллов по Френкелю. Дефекты по Шоттки; Диффузия. Самодиффузия. Вакансионный и межузельный механизмы диффузии. Энергия активации Дислокация в кристаллах. Краевая дислокация Винтовая дислокация Вектор Бюргерса Двойники. Двойникование. Механизмы двойникования.	Показывает полное незнание материала или имеет фрагментарные знания небольшой части материала, допускает грубые ошибки	Имеет значительные пробелы в знаниях, допускает существенные ошибки в ответах	Знает почти всё, допускает незначительные ошибки в ответах	Знает всё
Второй этап (умения)	Уметь: понимать, излагать и критически анализировать информацию по физике реального кристалла; пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и моделями; применять полученные знания в научно-исследовательских работах и в прикладных задачах профессиональной деятельности;	Не умеет	Умеет, но допускает значительные ошибки	Умеет, допускает незначительные ошибки	Умеет в совершенстве
Третий этап (владения навыками)	Владеть: методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической физической информации; современной терминологией и знаниями о свойствах реальных кристаллов	Не владеет	Владеет слабо, допускает значительные ошибки	Владеет, допускает незначительные ошибки	Владеет в совершенстве

**ПК-1-способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин**

Этап (уровень) освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2 («Не удовлетворительно»)	3 («Удовлетворительно»)	4 («Хорошо»)	5 («Отлично»)
Первый этап (знания)	Знать: методы анализа свойств физических систем разного уровня организации. основные экспериментальные методы исследования дефектов твердых тел фундаментальные понятия, терминологию теории;	Показывает полное незнание материала или имеет фрагментарные знания небольшой части материала, допускает грубые ошибки	Имеет значительные пробелы в знаниях, допускает существенные ошибки в ответах	Знает почти всё, допускает незначительные ошибки в ответах	Знает всё
Второй этап (умения)	Уметь: применять знания в области классической и квантовой механики, термодинамики, электромагнетизма, оптики для анализа физических явлений и процессов в сложных системах.	Не умеет	Умеет, но допускает значительные ошибки	Умеет, допускает незначительные ошибки	Умеет в совершенстве
Третий этап (владения навыками)	Владеть: навыками использования специализированных методов решения задач физики и междисциплинарных задач.	Не владеет	Владеет слабо, допускает значительные ошибки	Владеет, допускает незначительные ошибки	Владеет в совершенстве

Критериями оценивания являются баллы, которые выставляются преподавателем за виды деятельности (оценочные средства) по итогам изучения модулей (разделов дисциплины), перечисленных в рейтинг-плане

**4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

Этапы освоения	Результаты обучения	Компетенция	Оценочные средства
----------------	---------------------	-------------	--------------------



1-й этап Знания	Знать: Дефекты кристаллов и их классификация. Точечные дефекты в кристаллах и их классификация. Дефекты кристаллов по Френкелю. Дефекты по Шоттки; Диффузия. Самодиффузия. Вакансионный и межузельный механизмы диффузии. Энергия активации Дислокация в кристаллах. Краевая дислокация Винтовая дислокация Вектор Бюргерса Двойники. Двойникование. Механизмы двойникования.	ОПК-3, ПК-1	Тест, контрольная работа экзамен
2-й этап Умения	1. понимать, излагать и критически анализировать информацию по физике реального кристалла; пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и моделями; применять полученные знания в научно-исследовательских работах и в прикладных задачах профессиональной деятельности;	ОПК-3, ПК-1	Тест, контрольная работа экзамен
3-й этап Владеть навыками	<b>Владеть</b> методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической физической информации; современной терминологией и знаниями о свойствах реальных кристаллов.	ОПК-3, ПК-1	Тест, контрольная работа экзамен

#### 4.3. *Рейтинг-план дисциплины*

Рейтинг–план дисциплины представлен в приложении 2.

#### **Экзаменационные билеты**

Структура экзаменационного билета:

*Билет состоит из двух теоретических вопросов.*

Примерные вопросы для экзамена:

1. Введение. Идеальные и реальные кристаллы. Дефекты кристаллов и их классификация. Точечные дефекты в кристаллах и их классификация. Дефекты кристаллов по Френкелю. Дефекты по Шоттки.
2. Межузельные атомы. Радиационные дефекты. Искажение кристаллической решетки

- вокруг дефектов Термодинамика точечных дефектов. Подвижность точечных дефектов.
3. Комплексы точечных дефектов. Поведение вакансий при термической обработке.
  4. Экспериментальные методы изучения точечных дефектов. Автоионная микроскопия. Сканирующий туннельный микроскоп. Туннельный микроскоп. Концентрация вакансий и энергия их образования. Энергия активации миграции вакансий.
  5. Диффузия. Самодиффузия. Вакансионный и межузельный механизмы диффузии. Энергия активации самодиффузии.
  6. Законы Фика. Частные случаи решения уравнения диффузии. Коэффициенты диффузии. Восходящая диффузия. Термодиффузия. Электро-перенос.
  7. Теоретическая прочность кристаллов. Дислокация в кристаллах. Краевая дислокация. Скольжение краевой дислокации. Скорость движения дислокации.
  8. Переползание краевой дислокации. Винтовая дислокация.
  9. Смешанные дислокации и их движение. Призматические дислокации.
  10. Вектор Бюргерса. Плотность дислокаций.
  11. Энергия дислокаций. Силы, действующие на дислокацию.
  12. Образование дислокаций. Происхождение дислокаций. Размножение дислокаций при пластической деформации. Источник Франка-Рида.
  13. Дефекты упаковки. Частичные дислокации Франка. Тетраэдр Томпсона. Вершинные дислокации и дислокации Ломера-Коттрела.
  14. Дислокации в твердых растворах. Дисклинации. Дисклинации в континууме. Системы дисклинации. Дисклинации в решетке. Движение дисклинаций.
  15. Двойники. Двойникование. Механизмы двойникования. Скольжение и двойникование как механизмы пластической деформации.
  16. Малоугловые границы зерен. Высокоугловые границы зерен. Специальные и произвольные границы. Зернограничные дислокации.
  17. Основные параметры структуры материала и их влияние на свойства.
  18. Поры в твердых телах. Пористость. Влияние пористости на структуру и свойства твердых тел.
  19. Механизмы разрушения. Нарушения сплошности. Критерии роста и зарождения трещин. Механизмы зарождения трещин и пор. Механизмы роста трещин.
- ...

### Форма экзаменационного билета

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1  
по дисциплине Физика реальных кристаллов  
Направление 03.03.02 Физика  
Профиль Физика конденсированного состояния вещества

1. Введение. Идеальные и реальные кристаллы. Дефекты кристаллов и их классификация. Точечные дефекты в кристаллах и их классификация
2. Механизмы разрушения. Нарушения сплошности. Критерии роста и зарождения трещин.

Утверждено на заседании кафедры \_\_\_\_\_, протокол № \_\_\_\_  
(дата)

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Балапанов М.Х.  
(подпись)

В рамках использования модульно-рейтинговой системы обучения и оценки успеваемости студентов итоговая оценка знаний студента по дисциплине производится по сумме баллов, полученных в рамках текущего и рубежного контроля знаний, умений и навыков в течение семестра, и баллов, полученных на экзамене.

За работу в семестре студент получает до 70 баллов за выполнение заданий в рамках текущего и рубежного контроля и дополнительно до 10 баллов за результаты участия в олимпиаде студентов по общей физике. Для допуска к экзамену студент должен набрать в семестре не менее 35 баллов.

Максимальное количество баллов, получаемое студентом на экзамене, составляет 30 баллов.

Перевод оценки из 100-балльной в четырехбалльную производится следующим образом:

- отлично – от 80 до 110 баллов (включая 10 поощрительных баллов);
- хорошо – от 60 до 79 баллов;
- удовлетворительно – от 45 до 59 баллов;
- неудовлетворительно – менее 45 баллов.

#### **Критерии оценивания ответа на экзамене:**

Максимальная оценка – 30 баллов складывается из оценки за ответ на теоретические вопросы билета (два вопроса оцениваются максимально по 10 баллов каждый), и оценок за ответы на дополнительные вопросы (два вопроса, оцениваемых каждый в 5 балла максимально).

#### **За ответы на вопросы билета выставляется**

- **15-20 баллов**, если студент дал полные, развернутые ответы на все теоретические вопросы билета, продемонстрировал знание формул, терминологии, понимание физической сути явлений и экспериментов, умение последовательно и логично отвечать на вопросы билета в объеме рекомендованной литературы.

Студент без затруднений ответил на уточняющие вопросы преподавателя по материалам билета.

- **10-14 баллов** выставляется студенту, если студент раскрыл без серьезных ошибок оба теоретических вопроса, однако показал пробелы в знаниях 20-25 % объема билета. Не на все уточняющие вопросы были даны корректные ответы.

- **5-9 баллов** выставляется студенту, если даны ответы на оба теоретических вопроса в объеме 35-50 % от полного ответа. Студентом допущено несколько существенных ошибок в толковании основных понятий, законов и формул, описании основных экспериментов. Студент не дает удовлетворительных ответов на уточняющие вопросы по билету.

- **1-4 балла** выставляется студенту, если ответ на теоретические вопросы свидетельствует о непонимании и крайне неполном знании основных понятий, законов и экспериментов, или полностью отсутствует ответ на один вопрос и допущены серьезные ошибки и пробелы при ответе на второй вопрос. На уточняющие вопросы по билету не получены ответы или ответы на них в корне ошибочны.

**За ответ на дополнительный вопрос на экзамене выставляется:**

- 5 балла, если студент дал исчерпывающе полный и правильный ответ;
- 3 балла, если ответ верен, но дан не в полном объеме учебной программы, или содержит незначительные ошибки;
- 1 балл, если ответ на вопрос дан, но содержит серьезные ошибки или большие пробелы в изложении;
- 0 баллов, если студент не ответил или ответил в корне неверно.

## Тесты(вопросы)

### Тесты по физике реальных кристаллов

1. Дефект кристаллической решетки, представляющий собой край лишней полуплоскости, называется...
2. Вакансия является дефектом...
3. Малоугловые границы зерен являются дефектом...
4. Минимальный объем кристалла, при трансляции (последовательном перемещении) которого вдоль координатных осей можно воспроизвести всю решетку, называется...
5. Дефекты по Френкелю
6. Плотность кристалла
7. Введение дефектов в кристалл
8. Атом внедрения это:  
Атомы примесного элемента, находящиеся в междоузлиях кристаллической решетки;
9. Краевые дислокации:
10. К поверхностным дефектам относятся:
11. . К точечным дефектам относятся:
12. . К линейным дефектам относятся:
13. К объемным дефектам относятся:  
краевые и винтовые дислокации;
14. . Если атомы растворимого компонента В замещают в узлах решетки атомы компонента-растворителя А, то образуется:
15. . Если атомы растворенного вещества С располагаются между атомами в кристаллической решетке растворителя А., то образуется:
16. . Неограниченные твердые растворы замещения образуются в случае:
17. . Скольжение в реальном кристалле при пластической деформации осуществляется в результате;
18. . Отношение объема всех частиц, приходящихся на 1 элементарную ячейку, ко всему объему элементарной ячейки это:
19. . Число ближайших равноудаленных частиц (атомов) от любого атома в кристаллической решетке это:
20. . Какую группу дефектов представляют собой б искажения, охватывающие области в радиусе  $6 \dots 7$  периодов кристаллической решетки? 21. Как называется дефект, представляющий собой область искажений кристаллической решетки вдоль края экстроплоскости?
21. .. представляет собой переходную область в  $3 \dots 4$  периода от кристаллической решетки одной ориентации к решетке другой ориентации". О какой структуре идет речь?
22. При повышении температуры концентрация вакансий
23. . Количество атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку в ОЦК
24. . Двойники, как дефекты кристаллического строения относятся к виду 26..
25. ..Какие из указанных дефектов относятся к линейным?
26. .Разместите дефекты в ряд в порядке возрастания их размеров?

27. . Какой тип дефектов приводит только к образованию вакансий в кристалле?
28. . Какой тип дефектов приводит к образованию пары вакансия-междоузельный атом?
29. . Какой тип дефектов требует наличия в кристалле стоков?
30. . Какой формулой описывается равновесная концентрация дефектов Френкеля в кристалле ( $N_0$ -количество узлов,  $N_a$  – количество междоузлий) ?
31. . Что такое F-центр?
32. . Что такое V-центр?
33. . Что такое облако Котрелла?
34. . Как записывается 1-ый закон Фика?
35. . Как записывается 2-ой закон Фика?
36. . Что такое конфигурационная энтропия?
37. . Что называется дефектом упаковки?
38. . Какие движения совершает краевая дислокация?
39. . . Какие движения совершает винтовая дислокация?
40. . При взаимодействии краевых дислокаций разного знака могут образоваться:
41. . Взаимодействие краевой дислокации с примесными атомами обусловлено:
42. . Дислокации в основном возникают :
43. . всеми перечисленными факторами
44. . Дислокационная стенка является:
45. . В какой из кристаллических структур возник дефект АВАВСАСАСА?
46. . Дефект упаковки бывает :
47. . Энергия образования вакансии для большинства металлов хорошо согласуется с температурой их плавления  $T_{пл}$ :
48. . В чистых металлах в условиях теплового равновесия
49. . Вектор Бюргерса
50. . Энергия дислокации:
51. . Как записывается формула для вычисления равновесной концентрации дефекта Френкеля?
52. . . Как записывается формула для вычисления равновесной концентрации дефекта Шоттки?
53. . Найдите примерную величину критического скалывающего напряжения кристалла
54. . Плоскость скольжения дислокации определяется выражением( $\vec{b}$ -вектор Бюргерса;  $\vec{n}$ -нормаль к плоскости;  $\vec{m}$ -орт направления движения дислокации):

#### **Описание шкалы оценивания:**

В каждом тесте 25 вопросов. Нужно выбрать правильный ответ из 4 ответов

**Критерии оценки (в баллах):** 1 балл за 1 правильный ответ

Тест считается пройденным на "отлично", если правильно выполнено не менее 75% заданий (всего в 1 тесте 50 заданий).

Тест считается пройденным на "хорошо", если правильно выполнено не менее 65% заданий.

Тест считается пройденным на "удовлетворительно", если правильно выполнено не менее 50% заданий.

Тест считается не пройденным (или пройденным на неудовлетворительную отметку), если правильных ответов менее 50% заданий.

#### **Контрольные вопросы для письменной работы**

Описание контрольной работы:

задание состоит из 10 вопросов по каждому разделу

#### **«Точечные дефекты»**

1. Деление дефектов кристаллического строения по геометрическим признакам на точечные, линейные, поверхностные.
2. Отличие «реального совершенного» кристалла от «идеального»
3. Виды точечных дефектов.
4. Коэффициент компактности упаковки, указать чему он равен для типичных металлических решеток.
5. Тетраэдрические и октаэдрические пустоты. Их расположение в решетках гексагональной плотноупакованной, ГЦК, ОЦК.
6. Объяснить, что такое «ядро дефекта» и как искажается решетка вокруг вакансии и вокруг междоузельного атома.
7. Поясните, с чем связана основная доля энергии образования точечного дефекта.
8. Объясните, почему изменение свободной энергии при введении  $n$  – вакансий в кристалл определяется формулой:  $\Delta F = \Delta U - T\Delta S$ .
9. Объясните образование вакансий по механизму Шоттки, по механизму Френкеля.
10. Укажите, что может явиться стоками точечных дефектов.

#### **«Основные виды дислокаций и их движение»**

1. Что такое экстраплоскость? Как образуется линейный дефект, называемый линией дислокации?
2. Расскажите о расположении атомов в ядре краевой дислокации.
3. Дайте понятие критического скалывающего напряжения.
4. Оцените величину критического скалывающего напряжения по до дислокационной теории скольжения.
5. Рассмотрите механизм консервативного движения (скольжения) краевой дислокации.
6. Укажите расположение линии краевой дислокации по отношению к вектору касательно напряжения.
7. Покажите на рисунке, по какой плоскости проходит скольжение краевой дислокации.
8. Дайте определение механизма переползания краевой дислокации.
9. Объясните варианты положительного и отрицательного переползания краевой дислокации.
10. Объясните, почему переползание относят к диффузионному процессу.

#### **«Упругие свойства дислокаций и поверхностные дефекты»**

1. Объясните величины, входящие в формулу  $B = 2 E b ds$ , и запишите, какой она примет вид, если при малых сдвиговых деформациях справедлив закон Гука.
2. Объясните, как вычислить энергию краевой дислокации, смешанной дислокации.
3. Укажите, от чего зависит энергия дислокаций.
4. Объясните, что такое линейное натяжение дислокации, по какой формуле его рассчитывают.
5. Объясните, как рассчитать энергию движущейся винтовой дислокации.
6. Объясните, почему дислокации являются термодинамически неравновесными дефектами.
7. Выведите, чему равна сила, действующая на единицу длины дислокации (для краевой дислокации).
8. Определите напряжение, необходимое для изгибания линии дислокации в дугу с радиусом  $r$ .
9. Рассмотрите взаимодействие двух краевых дислокаций одного знака, разных знаков, расположенных в параллельных плоскостях скольжения.
10. Объясните причину устойчивости конфигурации, которую называют дислокационной стенкой.

#### **«Дислокации в типичных металлических структурах. Частичные и растянутые дислокации»**

1. Дайте определение вектора тождественной трансляции. Приведите примеры векторов тождественной трансляции в простой кубической решетке.
2. Определите отличие единичной дислокации, полной  $n$  – кратной мощности и частичной.
3. Как определить правильность записи дислокационных реакций?  
113
4. Критерий Франка, его применение для доказательства неустойчивости полной дислокации  $n$  – кратной мощности, распада ее на  $n$  – единичных дислокаций
5. Полные дислокации в ГЦК-решетке. Рассмотрите векторы тождественной трансляции в элементарной ячейке ГЦК-решетки. Объясните геометрию образования краевой единичной дислокации минимальной мощности и единичной винтовой дислокации, покажите разницу между ними и докажите, что в обоих случаях это линейные дефекты.
6. Полные дислокации в ОЦК-решетке. Укажите, с какими векторами Бюргерса возможны дислокации в ОЦК-решетке, по каким плоскостям идет скольжение и в каких направлениях. Определите единичную винтовую дислокацию.
7. Частичные дислокации Шокли в ОЦК-решетке. Покажите на рисунке расщепление единичной винтовой дислокации на две частичные. Проверьте по критерию Франка возможность их образования.
8. Покажите связь ширины растянутых дислокаций с энергией дефекта упаковки, а также влияние легирующих элементов на ширину растянутых дислокаций.
9. Покажите, что дислокация Франка не имеет возможности скользить. Объясните возможность образования петли Франка за счет захлопывания вакансионных дисков при закалке, а также при ядерном облучении металлов.

#### **«Взаимодействие дислокаций между собой и с точечными дефектами»**

1. Объясните, почему затруднено поперечное скольжение растянутых дислокаций по сравнению со скольжением единичных дислокаций и что нужно, чтобы произошло поперечное скольжение растянутых дислокаций.
2. Расскажите о стадиях поперечного скольжения растянутых дислокаций.
3. Докажите, что поперечное скольжение облегчается с ростом температуры.
4. Покажите, когда становится возможным переползание растянутых дислокаций.
5. Объясните перестройку кристаллической решетки при двойниковании.
6. Дайте понятие двойнивающей дислокации. Покажите, как перемещается скольжением двойнивающая дислокация.
7. Расскажите о процессе роста двойниковой области.
8. Пересечение краевых дислокаций. Рассмотрите пересечение краевых дислокаций, у которых векторы Бюргерса взаимно перпендикулярны и параллельны. Покажите разницу и найдите общие закономерности.
9. Пересечение краевой и винтовой дислокаций. Обратите внимание на ориентацию образующихся порогов на дислокациях.
10. Пересечение винтовых дислокаций

#### **Диффузия**

1. Диффузия.
2. Самодиффузия.
3. Вакансионный и межузельный механизмы диффузии.
4. Энергия активации самодиффузии.
5. Законы Фика.
6. Частные случаи решения уравнения диффузии.
7. Коэффициенты диффузии.
8. Восходящая диффузия.

9.Термодиффузия.

10Электродиффузия.

**Критерии оценки (в баллах):** 1 балл за 1 правильный ответ

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

### **5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

#### **Основная литература:**

1. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. М.: Высш. шк.; 2000. – 494 с.
2. Физическое материаловедение: *Учебник для вузов.*/Под общей ред. Б.А. Калина. – М.: МИФИ, 2007.

#### **Дополнительная литература:**

3. Орлов А.Н. Введение в теорию дефектов в кристаллах. М.: Высш.шк., 1983. – 144 с.
4. Купрекова Е.И. Физика твердого тела. Сборник заданий: учебное пособие/Томск:Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 172 с.
5. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела.(т.2) М: Мир, 1979, 422 с.
6. Новиков И.И. Дефекты кристаллического строения металлов. М.: Металлургия, 1983.- 232 с.
7. Горелик С.С.. Рекристаллизация металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1978.-568 с.

### **5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины**

#### **А). Ресурсы Интернет.**

Согласно ФГОС7.3.4. Обучающимся должен быть обеспечен доступ (удаленный доступ), в том числе в случае применения электронного обучения, дистанционных образовательных технологий, к современным профессиональным базам данных и информационным справочным системам, состав которых определяется в рабочих программах дисциплин (модулей) и подлежит ежегодному обновлению

1. Электронная библиотечная система. ЭБ БашГУ. — Собственная электронная библиотека учебных и научных электронных изданий, которая включает издания преподавателей БашГУ. Авторизованный доступ по паролю из любой точки сети Интернет. Регистрация в Библиотеке БашГУ, дальнейший доступ из любой точки сети Интернет. — <https://elib.bashedu.ru/>
2. Электронная библиотечная система .Университетская библиотека онлайн.  
— Полнотекстовая БД учебных и научных электронных изданий. Авторизованный доступ по паролю из любой точки сети Интернет. Регистрация в Библиотеке БашГУ, дальнейший доступ из любой точки сети Интернет. —<https://biblioclub.ru/>
3. Электронная библиотечная система издательства .Лань. — Полнотекстовая БД учебных и научных электронных изданий. Авторизованный доступ по паролю из любой точки сети



Интернет. Регистрация в Библиотеке БашГУ, дальнейший доступ из любой точки сети Интернет. — <https://e.lanbook.com/>

4. Электронный каталог Библиотеки БашГУ — Справочно-поисковый аппарат библиотеки. Включает в себя систему каталогов и картотек, справочно-библиографический фонд. — <http://www.bashlib.ru/catalogi/>

Б)

**Электронные ресурсы (дополнение списка литературы)**

**5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины**

1. Учебные пособия, физический практикум, демонстрации. Кафедра общей физики физфака МГУ им. М.В. Ломоносова: <http://genphys.phys.msu.ru>
2. Физикам - преподавателям и студентам: <http://teachmen.csu.ru>
3. Физическая энциклопедия в 5-ти томах: <http://www.elmagn.chalmers.se>
4. Электронная библиотечная система «ЭБ БашГУ» – <https://elib.bashedu.ru/>
5. Электронная библиотечная система «Университетская библиотека онлайн» – <https://biblioclub.ru/>
6. Электронная библиотечная система издательства «Лань» – <https://e.lanbook.com/>
8. Электронный каталог Библиотеки БашГУ – <http://www.bashlib.ru/catalogi/>

№	Наименование ресурса	Краткая характеристика
1	<a href="http://www.ph4s.ru">http://www.ph4s.ru</a>	Задачи по физике твердого тела. Под ред. Г. Дж. Гольдсмита.
2	<a href="http://www.twirpx.com">http://www.twirpx.com</a>	Давыдов А.С. Теория твердого тела
3	<a href="http://www.twirpx.com">http://www.twirpx.com</a>	Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике
4	<a href="http://www.biblioclub.ru/">http://www.biblioclub.ru/</a>	

**6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий	Вид занятий	Наименование оборудования, программного обеспечения
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<i>учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа:</i> аудитории № 322 или № 324 или № 318 (физмат корпус)	Лекции, практические занятия	Доска, мел, сборники задач, Мультимедиа-проектор
Читальный зал №1 (главный корпус, 1 этаж)	Самостоятельная работа	Научный и учебный фонд, научная периодика, ПК (моноблок) - 3 шт, Wi-Fi доступ для мобильных устройств, неограниченный доступ к ЭБС и БД; количество посадочных мест – 76.
Читальный зал №2 (корпус физмата, 2 этаж)	Самостоятельная работа	Научный и учебный фонд, научная периодика, Wi-Fi доступ для мобильных устройств, неограниченный доступ к ЭБС и БД; количество посадочных мест – 50.
Читальный зал №4 (корпус биофака, 4 этаж)	Самостоятельная работа	Научный и учебный фонд, научная периодика, неограниченный доступ к ЭБС и БД; количество посадочных мест – 60.

Приложение № 1

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ**

дисциплины «Физика реальных кристаллов» на 6 семестр  
очная

<b>Вид работы</b>	<b>Объем дисциплины</b>
Общая трудоемкость дисциплины (ЗЕТ / часов)	2/72
Учебных часов на контактную работу с преподавателем:	37,2
лекций	18
практических/ семинарских лабораторных	18
других (групповая, индивидуальная консультация и иные виды учебной деятельности, предусматривающие работу	1,2

обучающихся с преподавателем) (ФКР)	
Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СР) включая подготовку к экзамену/зачету	9
Учебных часов на подготовку к экзамену/зачету/дифференцированному зачету (Контроль	25,8

Форма(ы) контроля:

экзамен \_\_\_\_\_ 6 \_\_\_\_\_ семестр

№ п/п	Тема и содержание	Форма изучения материалов: лекции, практические занятия, семинарские занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа и трудоемкость (в часах)					Основная и дополнительная литература, рекомендуемая студентам (номера из списка)	Задания по самостоятельной работе студентов	Форма текущего контроля успеваемости (коллоквиумы, контрольные работы, компьютерные тесты и т.п.)
		Всего	ЛК	ПР/СЕМ	ЛР	СР			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Идеальные и реальные кристаллы. Дефекты кристаллов и их классификация. Точечные дефекты в кристаллах и их классификация. Дефекты кристаллов по Френкелю. Дефекты по Шоттки.		2				1,2	3,4	
2.	Межузельные атомы. Радиационные дефекты. Искажение кристаллической решетки вокруг дефектов. Термодинамика точечных дефектов. Миграция вакансий Миграция межузельных атомов. Миграция примесных атомов.		2	2			1,2	3,4	Решение задач
3.	Комплексы точечных дефектов. Поведение вакансий при термической обработке Закалка. Отжиг.		2			1	1,2	3,4	
4.	Экспериментальные методы изучения точечных дефектов. Автоионная микроскопия.			2		1	1,	3,4	Тестирование контрольная работа

	Сканирующий туннельный микроскоп. Микроскоп атомных сил. Концентрация вакансий и энергия их образования. Энергия активации миграции вакансий								
...	<b>Модуль II.</b>								
5	Диффузия. Самодиффузия. Вакансионный и межузельный механизмы диффузии. Энергия активации самодиффузии		2	2		1	1, 2	3,4	Решение задач
6	Законы Фика. Частные случаи решения уравнения диффузии. Коэффициенты диффузии			2		1	1,2;	3,4	
7	Теоретическая прочность кристаллов Дислокация в кристаллах. Краевая дислокация. Скольжение краевой дислокации. Скорость движения дислокации		2			1	1,2		
8	Переползание краевой дислокации. Винтовая дислокация			2		1	1,2	3,4	
9	Смешанные дислокации и их движение. Призматические дислокации		2			1	1,2	3,4	
	Вектор Бюргера. Плотность дислокаций.			2		1	1. 2	3. 4	
	Образование дислокаций. Происхождение дислокаций Размножение дислокаций при пластической деформации.		2			1	1. 2;	3. 64	Решение задач

	Источник Франка-Рида.								
	Образование дислокаций. Происхождение дислокаций Размножение дислокаций при пластической деформации. Источник Франка-Рида.			2			1,2	3.4	Решение задач
	Двойники. Двойникование. Механизмы двойникования. Скольжение и двойникование как механизмы пластической деформации..		2				1,2	3. 4	
	Малоугловые границы зерен. Высокоугловые границы зерен. Специальные и произвольные границы. Зернограничные дислокации			2			1. ,2	3. 4	
	Основные параметры структуры материала и их влияние на свойства.		2				1,2	3. 94	
	Поры в твердых телах. Пористость. Влияние пористости на структуру и свойства твердых тел. Механизмы разрушения. Нарушения сплошности. Критерии роста и зарождения трещин. Механизмы зарождения трещин и пор. Механизмы роста трещин			2	2		1. ,2	13,4	Тестирование, контрольная работа
	<b>Всего часов:</b>		18	18		40			

## Рейтинг – план дисциплины

Физика реальных кристаллов  
 Направление 03.03.02.Физика  
 курс 3, семестр 6

Виды учебной деятельности студентов	Балл за конкретное задание	Число заданий за семестр	Баллы	
			Минимальный	Максимальный
<b>Модуль 1</b>				<b>35</b>
<b>Текущий контроль</b>				
1. Решение задач	1	5	0	5
2. Тестовый контроль	0,5	20	0	10
3. Письменный опрос...	1	5	0	5
<b>Рубежный контроль</b>				
1. Письменная контрольная работа	3	5	0	15
<b>Модуль 2</b>				<b>35</b>
<b>Текущий контроль</b>				
1. Решение задач	1	5	0	5
2. Тестовый контроль	0,5	20	0	10
3. Письменный опрос...	1	5	0	5
<b>Рубежный контроль</b>				
1. Письменная контрольная работа	3	5	0	15
<b>Поощрительные баллы</b>				
1. Студенческая олимпиада				<b>10</b>
<b>Посещаемость (баллы вычитаются из общей суммы набранных баллов)</b>				
1. Посещение лекционных занятий			<b>0</b>	<b>-6</b>
2. Посещение практических (семинарских, лабораторных занятий)			<b>0</b>	<b>-10</b>
<b>Итоговый контроль</b>				
Экзамен			0	<b>30</b>