

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Астраханский государственный университет имени В. Н. Татищева»  
(Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева)

СОГЛАСОВАНО  
Руководитель ОПОП

\_\_\_\_\_ С.А. Тишкова

«06» июня 2024 г.

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедры ФМО

\_\_\_\_\_ С.А. Тишкова

«06» июня 2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Физика реального кристалла»**

Составитель(и)	<b>Фисенко М.А., доцент, к.пед.н., доцент</b>
Направление подготовки / специальность	<b>03.03.02 ФИЗИКА</b>
Направленность (профиль) ОПОП	<b>Инженерная физика</b>
Квалификация (степень)	<b>бакалавр</b>
Форма обучения	<b>очная</b>
Год приёма	<b>2021</b>
Курс	<b>4</b>
Семестр(ы)	<b>7</b>

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1. Целями освоения дисциплины «Физика реального кристалла»** являются: формирование у студентов теоретических знаний в области физики идеальных и реальных кристаллов; формирование знаний, связанных с методами исследований структуры и дефектообразования реальных кристаллов.

### 1.2. Задачи освоения дисциплины:

- изучение основ симметрии кристалла, основных понятий и законов физики реального кристалла;
- изучение взаимосвязи физических свойств кристаллов с особенностями их структуры

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОПОП

**2.1. Учебная дисциплина «Физика реального кристалла»** относится к обязательным дисциплинам вариативной части Б1.В.08 учебного плана и осваивается в 7 семестре.

**2.2. Для изучения данной учебной дисциплины необходимы следующие знания, умения, навыки, формируемые предшествующими учебными дисциплинами (модулями):** общая физика, введение в ФКС.

Знания: основные понятия и законы физики конденсированного состояния.

Умения: применение законов физики к решению задач.

Навыки: проведение и анализ результатов физического эксперимента.

**2.3. Последующие учебные дисциплины (модули) и (или) практики, для которых необходимы знания, умения, навыки, формируемые данной учебной дисциплиной (модулем):** физика конденсированного состояния, термодинамика, статистическая физика, физическая кинетика; ядерная физика твёрдого тела.

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс освоения дисциплины направлен на формирование элементов следующей компетенции в соответствии с ФГОС ВО и ОПОП ВО по данному направлению подготовки / специальности:

*общепрофессиональной:*

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

**Таблица 1 – Декомпозиция результатов обучения**

Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине		
	Знать (1)	Уметь (2)	Владеть (3)
ОПК-3: способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач	ИОПК-3.1: основные дефекты, характерные для реальных кристаллов, опытные факты, экспериментальные методы изучения и получения кристаллов с заданными свойствами	ИОПК-3.2: применять основные уравнения и модели физики кристаллов при решении задач	ИОПК-3.3: навыками анализа и теоретических расчетов характеристик реальных кристаллов, связанных с наличием у них дефектов

Где в наименовании индикатора: **И** – показатель индикатора; **УК** – код типа компетенции; **первое число** – код компетенции; **второе число** – код вида индикатора (1 – индикатор «Знать», 2 – индикатор «Уметь», 3 – индикатор «Владеть»); **третье число** – нумерация индикатора внутри вида]

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Объём дисциплины составляет 3 зачётные единицы (108 часов), в том числе 39 часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (из них 13 часов – лекции, 26 часов – практические, семинарские занятия) и 69 часов – на самостоятельную работу обучающихся.

**Таблица 2 – Структура и содержание дисциплины (модуля)**

Тема дисциплины	Семестр	Контактная работа (в часах)			Самост. работа		Форма текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации
		Л	ПЗ	ЛР	КР	СР	
<i>Тема 1.</i> Идеальные и реальные кристаллы	7	1	2			9	Контр. работа
<i>Тема 2.</i> Точечные дефекты в кристаллах. Примесные центры	7	2	4			10	Контр. работа
<i>Тема 3.</i> Диффузия и самодиффузия в твердых телах	7	2	4			10	Контр. работа
<i>Тема 4.</i> Твердые растворы. Диаграммы состояний	7	2	4			10	Контр. работа
<i>Тема 5.</i> Дислокации. Прочность и пластичность кристаллов	7	2	4			10	Контр. работа
<i>Тема 6.</i> Кристаллизация. Рост кристаллов. Фазовые превращения в твердом состоянии	7	2	4			10	Контр. работа
<i>Тема 7.</i> Аморфные состояния. Жидкие кристаллы	7	2	4			10	Контр. работа
<b>Итого</b>		<b>13</b>	<b>26</b>			<b>69</b>	<b>Экзамен</b>

Примечание: Л – лекция; ПЗ – практическое занятие, семинар; ЛР – лабораторная работа; КР – курсовая работа; СР – самостоятельная работа.

**Таблица 3 – Матрица соотнесения тем учебной дисциплины и формируемых компетенций**

Тема дисциплины	Кол-во часов	Код компетенции				Общее количество компетенций
		ОПК-3	...	...	...	
<i>Тема 1.</i> Идеальные и реальные кристаллы	12	+				1
<i>Тема 2.</i> Точечные дефекты в кристаллах. Примесные центры	16	+				1
<i>Тема 3.</i> Диффузия и самодиффузия в твердых телах	16	+				1
<i>Тема 4.</i> Твердые растворы. Диаграммы состояний	16	+				1

Тема дисциплины	Кол-во часов	Код компетенции				Общее количество компетенций
		ОПК-3	...	...	...	
<i>Тема 5. Дислокации. Прочность и пластичность кристаллов</i>	16	+				1
<i>Тема 6. Кристаллизация. Рост кристаллов. Фазовые превращения в твердом состоянии</i>	16	+				1
<i>Тема 7. Аморфные состояния. Жидкие кристаллы</i>	16	+				1
<b>Итого</b>	<b>108</b>					<b>1</b>

### Краткое содержание каждой темы дисциплины (модуля)

**Тема 1. Идеальные и реальные кристаллы. Конденсированные системы.** Идеальные и реальные кристаллы.

**Тема 2. Точечные дефекты в кристаллах. Примесные центры. Дефекты по Френкелю. Дефекты по Шоттки. Концентрация точечных дефектов. Центры окраски.**

**Тема 3. Диффузия и самодиффузия в твердых телах. Диффузия за счет движения междоузельных атомов. Диффузия за счет движений вакансий. Перемещение частиц на большие расстояния. Макроскопическая диффузия.**

**Тема 4. Твердые растворы. Диаграммы состояний. Твердые растворы. Фазовые диаграммы. Фазовые диаграммы эвтектического типа. Фазовая диаграмма перитектического типа. Зонная плавка.**

**Тема 5. Дислокации. Прочность и пластичность кристаллов. Дислокации. Теоретическая и техническая прочность. Расчет теоретической прочности кристаллов.**

**Тема 6. Кристаллизация. Рост кристаллов. Фазовые превращения в твердом состоянии. Кристаллизация вещества. Центры кристаллизации. Получение искусственных кристаллов. Термодинамика фазовых превращений. Кривая плавления (кристаллизации). Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.**

**Тема 7. Аморфные состояния. Жидкие кристаллы. Аморфные вещества. Аморфное состояние многих веществ. Стекла. Аморфные полимеры. Лиотропные жидкие кристаллы. Термотропные жидкие кристаллы. Сметические жидкие кристаллы. Нематические жидкие кристаллы. Холестерические жидкие кристаллы. Применение жидких кристаллов. Жидкие кристаллы в биологии.**

## 5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРЕПОДАВАНИЮ И ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Указания для преподавателей по организации и проведению учебных занятий по дисциплине

№ п/п	Тема	Семестр	Форма контроля	Методическое обеспечение (см. п. 8.1 – 8.2 рабочей программы)
1.	Идеальные и реальные кристаллы	7	Устные ответы на вопросы, решение задач у доски, контрольная	1, 3

			работа	
2.	Точечные дефекты в кристаллах. Примесные центры	7	Устные ответы на вопросы, решение задач у доски, контрольная работа	1, 3
3.	Диффузия и самодиффузия в твердых телах	7	Устные ответы на вопросы, решение задач у доски, контрольная работа	1, 3
4.	Твердые растворы. Диаграммы состояний	7	Устные ответы на вопросы, решение задач у доски, контрольная работа	1, 3
5.	Дислокации. Прочность и пластичность кристаллов	7	Устные ответы на вопросы, решение задач у доски, контрольная работа	1, 3
6.	Кристаллизация. Рост кристаллов. Фазовые превращения в твердом состоянии	7	Устные ответы на вопросы, решение задач у доски, контрольная работа	1, 2, 3
7.	Аморфные состояния. Жидкие кристаллы	7	Устные ответы на вопросы, решение задач у доски, контрольная работа	1, 2, 3
	<b>Итог</b>		<b>экзамен</b>	

## 5.2. Указания для обучающихся по освоению дисциплины

**Таблица 4 – Содержание самостоятельной работы обучающихся**

<i>Номер темы</i>	<i>Темы/вопросы, выносимые на самостоятельное изучение</i>	<i>Кол-во часов</i>	<i>Форма работы</i>
1.	Идеальные и реальные кристаллы	9	Выполнение домашнего задания, подготовка к контрольной работе
2.	Точечные дефекты в кристаллах. Примесные центры	10	Выполнение домашнего задания, подготовка к контрольной работе
3.	Диффузия и самодиффузия в твердых телах	10	Выполнение домашнего задания, подготовка к контрольной работе
4.	Твердые растворы. Диаграммы состояний	10	Выполнение домашнего задания, подготовка к контрольной работе
5.	Дислокации. Прочность и пластичность кристаллов	10	Выполнение домашнего задания, подготовка к контрольной работе
6.	Кристаллизация. Рост кристаллов. Фазовые превращения в твердом состоянии	10	Выполнение домашнего задания, подготовка к контрольной работе
7.	Аморфные состояния. Жидкие кристаллы	10	Выполнение домашнего задания, подготовка к контрольной работе

### 5.3. Виды и формы письменных работ, предусмотренных при освоении дисциплины (модуля), выполняемые обучающимися самостоятельно

По данной дисциплине письменных работ не предусмотрено.

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации различных видов учебной работы по дисциплине могут использоваться электронное обучение и дистанционные образовательные технологии.

### 6.1. Образовательные технологии

**Таблица 5 – Образовательные технологии, используемые при реализации учебных занятий**

Тема дисциплины	Форма учебного занятия		
	Лекция	Практическое занятие, семинар	Лабораторная работа
<i>Тема 1. Идеальные и реальные кристаллы</i>	Лекция-диалог	Фронтальный опрос, тематические дискуссии, решение задач	Не предусмотрено
<i>Тема 2. Точечные дефекты в кристаллах. Примесные центры</i>	Лекция-диалог	Фронтальный опрос, тематические дискуссии, решение задач	Не предусмотрено
<i>Тема 3. Диффузия и самодиффузия в твердых телах</i>	Лекция-диалог	Фронтальный опрос, тематические дискуссии, решение задач	Не предусмотрено
<i>Тема 4. Твердые растворы. Диаграммы состояний</i>	Лекция-диалог	Фронтальный опрос, тематические дискуссии, решение задач	Не предусмотрено
<i>Тема 5. Дислокации. Прочность и пластичность кристаллов</i>	Лекция-диалог	Фронтальный опрос, тематические дискуссии, решение задач	Не предусмотрено
<i>Тема 6. Кристаллизация. Рост кристаллов. Фазовые превращения в твердом состоянии</i>	Лекция-диалог	Фронтальный опрос, тематические дискуссии, решение задач	Не предусмотрено
<i>Тема 7. Аморфные состояния. Жидкие кристаллы</i>	Лекция-диалог	Фронтальный опрос, тематические дискуссии, решение задач	Не предусмотрено

### 6.2. Информационные технологии

- использование электронных учебников и сайтов Интернета в качестве источника информации;
- использование возможностей электронной почты преподавателя (рассылка заданий, предоставление выполненных работ, ответы на вопросы, ознакомление учащихся с оценками);
- использование презентаций при проведении занятий;
- использование виртуальной обучающей среды LMS Moodle «Электронное образование».

### **6.3. Программное обеспечение, современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

#### **6.3.1. Программное обеспечение**

Наименование программного обеспечения	Назначение
Adobe Reader	Программа для просмотра электронных документов
Платформа дистанционного обучения LMS Moodle	Виртуальная обучающая среда
Microsoft Office 2013, Microsoft Office Project 2013, Microsoft Office Visio 2013	Пакет офисных программ
7-zip	Архиватор
Microsoft Windows 10 Professional	Операционная система
Kaspersky Endpoint Security	Средство антивирусной защиты
Google Chrome	Браузер

#### **6.3.2. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

1. Электронный каталог Научной библиотеки АГУ на базе MARK SQL НПО «Информ-систем». <https://library.asu.edu.ru>
2. Электронный каталог «Научные журналы АГУ»: <http://journal.asu.edu.ru/>
3. Универсальная справочно-информационная полнотекстовая база данных периодических изданий ООО "ИВИС". <http://dlib.eastview.com>. *Имя пользователя: AstrGU. Пароль: AstrGU*
4. Корпоративный проект Ассоциации региональных библиотечных консорциумов (АРБИКОН) «Межрегиональная аналитическая роспись статей» (МАРС) - сводная база данных, содержащая полную аналитическую роспись 1800 названий журналов по разным отраслям знаний. Участники проекта предоставляют друг другу электронные копии отсканированных статей из книг, сборников, журналов, содержащихся в фондах их библиотек. <http://mars.arbicon.ru>
5. Электронные версии периодических изданий, размещённые на сайте информационных ресурсов [www.polpred.com](http://www.polpred.com).
6. Справочная правовая система КонсультантПлюс <http://www.consultant.ru>.

## **7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

### **7.1. Паспорт фонда оценочных средств**

При проведении текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине «Физика реального кристалла» проверяется сформированность у обучающихся компетенций, указанных в разделе 3 настоящей программы. Этапность формирования данных компетенций в процессе освоения образовательной программы определяется последовательным

освоением дисциплин (модулей) и прохождением практик, а в процессе освоения данной дисциплины – последовательным достижением результатов освоения содержательно связанных между собой разделов, тем.

**Таблица 6 – Соответствие разделов, тем дисциплины, результатов обучения по дисциплине и оценочных средств**

№ п/п	Контролируемые разделы дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1.	Идеальные и реальные кристаллы	ОПК-3	Контрольная работа № 1, итоговый тест
2.	Точечные дефекты в кристаллах. Примесные центры	ОПК-3	Контрольная работа № 1, итоговый тест
3.	Диффузия и самодиффузия в твердых телах	ОПК-3	Контрольная работа № 1, итоговый тест
4.	Твердые растворы. Диаграммы состояний	ОПК-3	Контрольная работа № 1, итоговый тест
5.	Дислокации. Прочность и пластичность кристаллов	ОПК-3	Контрольная работа № 2, итоговый тест
6.	Кристаллизация. Рост кристаллов. Фазовые превращения в твердом состоянии	ОПК-3	Контрольная работа № 2, итоговый тест
7.	Аморфные состояния. Жидкие кристаллы	ОПК-3	Устные ответы на вопросы, итоговый тест

### 7.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, описание шкал оценивания

Для оценивания результатов обучения в виде *знаний* используются устные ответы на вопросы на занятии, тестирование.

Для оценивания результатов обучения в виде *умений* и *владений* используются решение задач у доски, контрольная работа.

**Таблица 7 – Показатели оценивания результатов обучения в виде знаний**  
**Критерии оценки устного ответа на теоретический вопрос**

5 «отлично» 90 – 100 баллов	-демонстрируются знания теоретического материала и умение их применять; -студент способен обоснованно излагать свои мысли, делать необходимые выводы.
4 «хорошо» 70 – 89 баллов	-демонстрируются знания теоретического материала; -возможны единичные ошибки при ответах на вопросы, исправляемые самим студентом после замечания преподавателя; - студент способен обоснованно излагать свои мысли.
3 «удовлетворительно» 60 – 69 баллов	-демонстрируются слабые знания теоретического материала; -возможны множественные ошибки при ответах на вопросы; -студент способен излагать свои мысли, делать необходимые выводы.

2 «неудовлетворительно» менее 60 баллов	-демонстрируется отсутствие знаний теоретического материала; -возможны грубые ошибки при ответах на вопросы, которые студент не в состоянии исправить после замечания преподавателя; - студент не способен излагать свои мысли, делать необходимые выводы.
---	--

### Критерии оценивания тестовых заданий

- каждый правильный ответ приносит 4 балла;
- минимальное количество правильных ответов – 15.
- минимальное количество баллов для положительной оценки — 60 баллов;
- максимальное количество баллов за тест — 100 баллов

**Таблица 8 – Показатели оценивания результатов обучения в виде умений и владений**  
**Критерии оценивания решения задач, контрольной работы**

5 «отлично» 90 – 100 баллов	- дается комплексная оценка предложенной ситуации; - демонстрируется умение применять теоретические знания; - последовательное, правильное решение задачи;
4 «хорошо» 70 – 89 баллов	- демонстрируется умение применять теоретические знания; - последовательное, правильное решение задачи с единичными ошибками;
3 «удовлетворительно» 60 – 69 баллов	- - задача решена частично; - - в решении допущены множественные ошибки;
2 «неудовлетворительно» менее 60 баллов	- - - невыполнение задания, - - студент не способен решить задачу даже под руководством преподавателя.

### 7.3. Контрольные задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения по дисциплине

#### Задания контрольной работы № 1

##### Тема 1. Конденсированные системы. Идеальные и реальные кристаллы.

Вариант 1.

Оцените среднее расстояние между молекулами азота при нормальных условиях.

Вариант 2.

Определите диаметр сферической наночастицы платины, содержащей 2869 атомов.

Вариант 3.

Иодистый калий (KI) образует кубические кристаллы плотностью 3,13 г/см<sup>3</sup>. Сколько ионов калия содержится в 1 мм<sup>3</sup> кристалла?

Вариант 4.

Сферическая наночастица золота содержит 1415 атомов. Определите ее радиус.

Вариант 5.

Какой объем приходится на один атом в кристалле железа? Вычислите также кубический корень из этой величины.

##### Тема 2. Точечные дефекты в кристаллах.

Вариант 1.

Для образования вакансии в золоте требуется энергия порядка 1 эВ. Сколько существует вакансий при комнатной температуре в состоянии термодинамического равновесия? При 650° С? При 950° С?

Вариант 2.

Для образования вакансии в литии требуется энергия порядка 0,4 эВ. Сколько существует вакансий при комнатной температуре в состоянии термодинамического равновесия? При 60° С? При 100° С?

Вариант 3.

Для образования вакансии в железе требуется энергия порядка 1,1 эВ. Сколько существует вакансий при комнатной температуре в состоянии термодинамического равновесия? При 700° С? При 1200° С?

Вариант 4.

Для образования вакансии в меди требуется энергия порядка 1 эВ. Сколько существует вакансий при комнатной температуре в состоянии термодинамического равновесия? При 550° С? При 950° С?

Вариант 5.

Для образования вакансии в серебре требуется энергия порядка 0,68 эВ. Сколько существует вакансий при комнатной температуре в состоянии термодинамического равновесия? При 550° С? При 900° С?

### **Тема 3. Диффузия и самодиффузия в твердых телах.**

Вариант 1.

Найти значения  $D_0$  для самодиффузии золота по экспериментальным данным А. Заглубского,  $t = 800^\circ\text{C}$ ,  $D = 1.3 \cdot 10^{-7}$  см<sup>2</sup>/сутки, если энергия активации  $Q = 1.7$  эВ.

Вариант 2.

Найти значения  $D_0$  для самодиффузии золота по экспериментальным данным А. Заглубского,  $t = 900^\circ\text{C}$ ,  $D = 5.0 \cdot 10^{-7}$  см<sup>2</sup>/сутки, если энергия активации  $Q = 1.7$  эВ.

Вариант 3.

Найти значения  $D_0$  для самодиффузии золота по экспериментальным данным А. Заглубского,  $t = 1000^\circ\text{C}$ ,  $D = 1.4 \cdot 10^{-5}$  см<sup>2</sup>/сутки, если энергия активации  $Q = 1.7$  эВ.

### **Тема 4. Твердые растворы.**

Вариант 1.

Сплав серебра и меди содержит 50,5% серебра по массе. Определите процентное содержание атомов серебра в сплаве.

Вариант 2.

Сплав серебра и палладия содержит 39,5% палладия по массе. Определите процентное содержание атомов палладия в сплаве.

Вариант 3.

Сплав серебра и золота содержит 41,4% серебра по массе. Определите процентное содержание атомов серебра в сплаве.

Вариант 4.

Сплав серебра и золота содержит 59,6% золота по массе. Определите процентное содержание атомов золота в сплаве.

Вариант 5.

Сплав серебра и палладия содержит 54,5% серебра по массе. Определите процентное содержание атомов серебра в сплаве.

## **Задания контрольной работы № 2**

### **Тема 5. Прочность и пластичность кристаллов.**

Вариант 1.

$$U(r) = -\frac{\alpha e^2}{4\pi\epsilon_0 r} + \frac{\beta}{r^n},$$

Используя выражение для энергии ионного кристалла и значение коэффициента теплового расширения кристалла NaCl.

Вариант 2.

Оцените в Н/мм<sup>2</sup> теоретическую прочность ионного кристалла NaCl на разрыв, используя

$$U(r) = -\frac{\alpha e^2}{4\pi\epsilon_0 r} + \frac{\beta}{r^n},$$

выражение для энергии ионного кристалла Маделунга,  $r$  – расстояние между ближайшими ионами,  $\beta$ ,  $n$  – постоянные. Принять  $n = 9$ .

Вариант 3.

$$U(r) = -\frac{\alpha e^2}{4\pi\epsilon_0 r} + \frac{\beta}{r^n},$$

Используя выражение для энергии ионного кристалла и значение коэффициента теплового расширения кристалла CsCl.

Вариант 4.

Оцените в Н/мм<sup>2</sup> теоретическую прочность ионного кристалла CsCl на разрыв, используя

$$U(r) = -\frac{\alpha e^2}{4\pi\epsilon_0 r} + \frac{\beta}{r^n},$$

выражение для энергии ионного кристалла Маделунга,  $r$  – расстояние между ближайшими ионами,  $\beta$ ,  $n$  – постоянные. Принять  $n = 9$ .

Вариант 5.

$$U(r) = -\frac{\alpha e^2}{4\pi\epsilon_0 r} + \frac{\beta}{r^n},$$

Используя выражение для энергии ионного кристалла и значение коэффициента теплового расширения кристалла CaF<sub>2</sub>.

## Тема 6. Фазовые превращения.

Вариант 1.

Определите скачок удельной энтропии при кристаллизации железа, если удельная теплота плавления его равна 293 кДж/кг, а температура плавления составляет 1820 К. На сколько изменится температура плавления при увеличении давления на 1.5 атм, если объем железа увеличивается при плавлении на 4.2%?

Вариант 2.

Найти изменение температуры  $\Delta T$  плавления льда при повышении давления на  $\Delta p = 2$  атм. Удельный объем воды при 0° С  $v_{ж} = 1$  см<sup>3</sup>/г, удельный объем льда  $v_{л} = 1.091$  см<sup>3</sup>/г, удельная теплота плавления льда равна  $q = 80$  кал/г.

Вариант 3.

Определите изменение энтропии: а) в процессе таяния одного грамма льда при  $t_{пл} = 0^\circ$  С; б) в процессе превращения в пар одного грамма воды при  $t_{кип} = 100^\circ$  С. Удельная теплота плавления льда  $\lambda = 3,3 \cdot 10^5$  Дж/кг, удельная теплота парообразования воды  $r = 2,3 \cdot 10^6$  Дж/кг.

Вариант 4.

Определить критическую температуру перехода проводника в состояние сверхпроводимости, если размер энергетической щели 2.2 мэВ. Как изменится температура при воздействии внешнего магнитного поля?

Вариант 5.

При плавлении алюминия удельный объем возрастает на 7,2 %. Оцените величину критической концентрации вакансий и ее отношение к концентрации атомов.

## Контрольные вопросы

### Тема 7. Аморфные состояния. Жидкие кристаллы.

1. Аморфные вещества, их характеристики и особенности строения.

2. Основные свойства аморфных полимеров.
3. Области применения аморфных веществ и полимеров.
4. Общая характеристика и физические свойства жидких кристаллов.
5. Лиотропные и термотропные жидкие кристаллы.
6. Смектические жидкие кристаллы.
7. Нематические жидкие кристаллы.
8. Холестерические жидкие кристаллы.
9. Применение жидких кристаллов.

### Итоговый тест

1. Конденсированное состояние вещества – это:

- |                                |                       |
|--------------------------------|-----------------------|
| 1) газообразное состояние;     | 2) жидкое состояние;  |
| 3) твердое и жидкое состояния; | 4) твердое состояние. |

2. Плотности веществ в конденсированном состоянии имеют величину порядка

- |                               |                              |                           |                          |
|-------------------------------|------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 1) $10^5$ кг/м <sup>3</sup> ; | 2) $10^2$ г/м <sup>3</sup> ; | 3) 10 г/см <sup>3</sup> ; | 4) 1 г/см <sup>3</sup> . |
|-------------------------------|------------------------------|---------------------------|--------------------------|

3. Вещество находится в твердом состоянии, если его температура

- |                                |                                 |
|--------------------------------|---------------------------------|
| 1) ниже температуры кипения;   | 2) выше температуры кипения;    |
| 3) ниже температуры плавления; | 4) равна температуре плавления. |

4. Дальний порядок в расположении периодически повторяющихся структур, образованных атомами, характерен для

- |                  |                                     |
|------------------|-------------------------------------|
| 1) кристаллов;   | 2) вещества в плазменном состоянии; |
| 3) аморфных тел; | 4) жидкостей.                       |

5. Идеальный кристалл – это кристалл, в котором

- 1) расположение материальных частиц характеризуется строгой трёхмерной периодичностью;
- 2) имеется ряд нарушений идеальной пространственной решетки;
- 3) атомы не взаимодействуют между собой;
- 4) нет совершенной структуры и имеется ряд дефектов.

6. Дефекты, возникающие при внедрении атома между узлами решетки или в результате отсутствия атома в одном из узлов решетки, называют

- |                    |               |               |    |
|--------------------|---------------|---------------|----|
| 1) поверхностными; | 2) точечными; | 3) линейными; | 4) |
|--------------------|---------------|---------------|----|
- химическими.

7. Дефекты по Френкелю

- 1) возникают при замещении одного из атомов кристаллической решетки атомом примеси;
- 2) возникают тогда, когда в приповерхностном слое образуется один свободный узел;
- 3) представляют собой совокупность междоузельного атома и вакансии;
- 4) способствуют перемещению вакансии вглубь кристалла.

8. Дефекты по Шоттки возникают в результате

- 1) нагрева кристаллов;
- 2) облучения кристаллов потоками частиц;
- 3) замещения атомов решетки атомами примеси;
- 4) наличия атомов, энергии которых достаточно для преодоления потенциального барьера и ухода из узла решетки.

9. Образование дефектов по Френкелю

- 1) не влияет на плотность кристалла;
- 2) способствует изменению объема и массы кристалла;
- 3) способствует изменению оптических свойств кристалла;
- 4) сопровождается увеличением внутренней энергии кристалла.

10. Структурные дефекты – это дефекты, вызванные

- 1) замещением атомов решетки атомами примеси;
- 2) образованием вакансий в решетке;
- 3) внедрением атомов в междоузлия;
- 4) наличием фононов в кристаллах.

11. Центры окраски – это точечные дефекты, характерные для

- 1) металлов;
- 2) полупроводников;
- 3) прозрачных диэлектриков;
- 4) твердых растворов.

12. Закон Фика для диффузии в трехмерном случае имеет вид

$$1) D = qd^2/2; \quad 2) \frac{\partial C}{\partial t} = -\text{div } \vec{j}; \quad 3) \frac{\partial C}{\partial t} = D\nabla^2 C; \quad 4) \vec{j} = -D \cdot \text{grad} C.$$

13. Энергия образования вакансий при комнатной температуре для большинства кристаллов составляет примерно:

- 1) 10 эВ;
- 2)  $1.6 \cdot 10^{-19}$  Дж;
- 3) 1.6 МэВ;
- 4) 2 эВ.

14. Равновесная концентрация дефектов по Френкелю, соответствующая температуре кристалла, определяется по формуле:

$$1) n = \sqrt{NN'} \exp\left(-\frac{E}{2kT}\right); \quad 2) n = N \exp\left(-\frac{E}{kT}\right); \quad 3) \frac{dn}{dt} = \alpha(N-n)e^{-\frac{E_f}{kT}} - \beta \frac{n^2}{N}; \quad 4) \frac{dN}{dt} = -\frac{q}{2}(N_2 - N_1).$$

15. Относительная концентрация вакансий в кристаллах при 600 К примерно равна:

- 1)  $10^{-14}$ ;
- 2)  $10^{-5}$ ;
- 3)  $10^{-2}$ ;
- 4)  $10^{22}$ .

16. В процессе фазовых превращений в сплавах состав жидкости, соответствующий определённой температуре, характеризуется точкой на линии, которая называется

- 1) областью двух фаз;
- 2) фазовой диаграммой;
- 3) линией ликвидуса;
- 4) линией солидуса.

17. Перитектическая точка – это

- 1) самая высокая температура плавления определенной твердой фазы;
- 2) наименьшая температура застывания определенной жидкой фазы;
- 3) тройная точка;
- 4) температура, при которой происходит конденсация вещества.

18. Метод очистки твёрдых веществ, основанный на различной растворимости примесей в твердой и жидкой фазах, называется

- 1) электролитическим рафинированием;
- 2) пирометаллургическим рафинированием;
- 3) электролизом;
- 4) зонной плавкой.

19. Дислокации – это

- 1) точечные дефекты в кристаллах;

- 2) одномерные дефекты кристаллической решетки;
- 3) примеси;
- 4) поверхностные дефекты.

20. Процесс кристаллизации представляет собой

- 1) фазовый переход второго рода;
- 2) переход вещества из газообразного состояния в жидкое;
- 3) фазовый переход первого рода;
- 4) плавление вещества.

21. Аморфные вещества – это вещества,

- 1) атомная структура которых в конденсированном состоянии имеет ближний порядок;
- 2) атомная структура которых в конденсированном состоянии имеет дальний порядок;
- 3) температура которых выше температуры кипения;
- 4) которые имеют температуру плавления.

22. При растворении твердых кристаллов в определенных растворителях образуются

- 1) твердые растворы;
- 2) термотропные жидкие кристаллы;
- 3) аморфные вещества;
- 4) лиотропные жидкие кристаллы.

23. Водные растворы мыл относят к

- 1) нематическим жидким кристаллам;
- 2) смектическим жидким кристаллам;
- 3) лиотропным жидким кристаллам;
- 4) холестерическим жидким кристаллам.

24. Диаметр атома ртути, плотность которой  $13,6 \text{ г/см}^3$ , примерно равен

- 1)  $3 \cdot 10^{-12} \text{ см}$ ;
- 2)  $2,5 \cdot 10^{-29} \text{ м}$ ;
- 3)  $5,8 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ ;
- 4)  $0,1 \text{ нм}$ .

25. Для образования дефекта внедрения в меди требуется около  $3,5 \text{ эВ}$ . Отношение числа внедрений к числу вакансий ( $n_i/n_v$ ) при  $950^\circ \text{ С}$  примерно равно

- 1)  $0,39 \cdot 10^{-15}$ ;
- 2)  $4,65 \cdot 10^{-15}$ ;
- 3)  $4,65 \cdot 10^{-14}$ ;
- 4)  $0,39 \cdot 10^{-16}$ .

### Перечень вопросов, выносимых на экзамен

1. Конденсированные системы. Идеальные и реальные кристаллы.

2. Понятие точечных дефектов. Дефекты по Френкелю. Дефекты по Шоттки.

Концентрация точечных дефектов.

3. Центры окраски: общие свойства и классификация. Центры окраски в щёлочно-галоидных кристаллах.

4. Примесные центры окраски. Центры окраски в стёклах: кварцевое стекло; щелочно-силикатные стёкла.

5. Диффузия в твердых телах. Диффузия за счет движения междоузельных атомов.

Диффузия за счет движений вакансий.

6. Перемещение частиц на большие расстояния. Макроскопическая диффузия. Закон Фика.

7. Самодиффузия в твердых телах.

8. Твердые растворы. Твердые растворы замещения. Твердые растворы внедрения.

9. Фазовые диаграммы. Фазовые диаграммы эвтектического типа. Фазовые диаграммы перитектического типа.

10. Зонная плавка (зонная перекристаллизация).

**Таблица 9 – Примеры оценочных средств с ключами правильных ответов**

№ п/п	Тип задания	Формулировка задания	Правильный ответ	Время выполнения (в минутах)
ОПК-3: способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач				
1.	Задание закрытого типа	Плотности веществ в конденсированном состоянии имеют величину порядка 1) $10^5$ кг/м <sup>3</sup> ; 2) $10^2$ г/м <sup>3</sup> ; 3) 10 г/см <sup>3</sup> ; 4) 1 г/см <sup>3</sup> .	№ 4	1
2.		Дефекты по Шоттки возникают в результате 1) нагрева кристаллов; 2) облучения кристаллов потоками частиц; 3) замещения атомов решетки атомами примеси; 4) наличия атомов, энергии которых достаточно для преодоления потенциального барьера и ухода из узла решетки.	№ 4	2
3.		Структурные дефекты – это дефекты, вызванные 1) замещением атомов решетки атомами примеси; 2) образованием вакансий в решетке; 3) внедрением атомов в междоузлия; 4) наличием фононов в кристаллах.	№№ 2, 3	2-3
4.		Перитектическая точка – это 1) самая высокая температура плавления определенной твердой фазы; 2) наинизшая температура застывания определенной жидкой фазы; 3) тройная точка; 4) температура, при которой происходит конденсация вещества.	№ 1	2
5.		Для образования дефекта внедрения в меди требуется около 3,5 эВ. Отношение числа внедрений к числу вакансий ( $n_i/n_v$ ) при 950° С примерно	№ 2	7-9

№ п/п	Тип задания	Формулировка задания	Правильный ответ	Время выполнения (в минутах)
		равно 1) $0.39 \cdot 10^{-15}$ ; 2) $4.65 \cdot 10^{-15}$ ; 3) $4.65 \cdot 10^{-14}$ ; 4) $0.39 \cdot 10^{-16}$ .		
6.	Задание открытого типа	Продолжите фразу: дефекты, возникающие при внедрении атома между узлами решетки или в результате отсутствия атома в одном из узлов решетки, называют ...	точечными	1
7.		Дайте определение дефектов по Френкелю	Дефектами по Френкелю называют совокупность междоузельного атома и вакансии	3-5
8.		Продолжите фразу: центры окраски – это точечные дефекты, характерные для ...	прозрачных диэлектриков	1
9.		Дайте определение реального кристалла	Реальный кристалл – это кристалл, в котором имеется ряд дефектов	3-5
10.		Продолжите фразу: дальний порядок в расположении периодически повторяющихся структур, образованных атомами, характерен для ...	кристаллов	1

#### 7.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине

Устные ответы на теоретический вопрос, контрольные работы, тест, активность на занятиях оцениваются по сто бальной шкале. Итоговая оценка определяется как среднее арифметическое.

При реализации дисциплины в зависимости от уровня подготовленности обучающихся могут быть использованы иные формы, методы контроля и оценочные средства, исходя из конкретной ситуации.

### 8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

#### 8.1. Основная литература

1. Вайнштейн Б.К. *Кристаллография* и жизнь [Электронный ресурс] / Ответственный редактор Ковальчук М.В. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2012. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922114035.html>

2. Деффейс К., Удивительные наноструктуры / К. Деффейс, С. Деффейс - М. : Лаборатория знаний, 2015. - 209 с. - ISBN 978-5-9963-2501-6 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996325016.html>

## **8.2. Дополнительная литература**

3. Диденко И.С., Физика реального кристалла : лаб. практикум / Диденко И.С., Козлова Н.С., Кугаенко О.М., Петраков В.С. - М. : МИСиС, 2013. - 76 с. - ISBN 978-5-87623-747-7 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785876237477.html>

## **8.3. Интернет-ресурсы, необходимые для освоения дисциплины**

Электронно-библиотечная система (ЭБС) ООО «Политехресурс» «Консультант студента». [www.studentlibrary.ru](http://www.studentlibrary.ru)

## **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Для проведения занятий по данной дисциплине необходима аудитория, в которой имеется мультимедийная установка с компьютером, лекционная доска, мел или маркер.

Рабочая программа дисциплины при необходимости может быть адаптирована для обучения (в том числе с применением дистанционных образовательных технологий) лиц с ограниченными возможностями здоровья, инвалидов. Для этого требуется заявление обучающихся, являющихся лицами с ограниченными возможностями здоровья, инвалидами, или их законных представителей и рекомендации психолого-медико-педагогической комиссии. Для инвалидов содержание рабочей программы дисциплины может определяться также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида (при наличии).