

**ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ**



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**СОГЛАСОВАНО**

**УТВЕРЖДАЮ**

---

**Руководитель ОПОП ВО**  
**профессор Е.И. Пряхин**

---

**Проректор по образовательной**  
**деятельности**  
**доцент Д.Г. Петраков**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ДИФфуЗИЯ В ТВЁРДЫХ ТЕЛАХ**

<b>Уровень высшего образования:</b>	<i>Магистратура</i>
<b>Направление подготовки:</b>	<i>22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов»</i>
<b>Направленность (профиль):</b>	<i>«Материаловедение и технологии наноматериалов и покрытий»</i>
<b>Квалификация выпускника:</b>	<i>Магистр</i>
<b>Форма обучения:</b>	<i>Очная</i>
<b>Составитель:</b>	<i>к.т.н. Т.В. Стоянова</i>

Санкт-Петербург

**Рабочая программа дисциплины «Диффузия в твёрдых телах» разработана:**

– в соответствии с требованиями ФГОС ВО - магистратура по направлению подготовки 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов» утверждённого приказом Минобрнауки России № 306 от 24.04.2018;

– на основании учебного плана магистратуры по направлению подготовки 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов» направленность (профиль) «Материаловедение и технологии наноматериалов и покрытий».

Составитель: \_\_\_\_\_ к.т.н., доц. Т.В. Стоянова

**Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры общей и технической физики от 15.02.2021 г., протокол № 7**

Заведующий кафедрой ОТФ \_\_\_\_\_ д.ф.-м.н., проф. А.С. Мустафаев

**Рабочая программа согласована:**

Начальник отдела лицензирования, аккредитации и контроля качества образования \_\_\_\_\_ Дубровская Ю.А.

Начальник отдела методического обеспечения учебного процесса к.т.н. \_\_\_\_\_ Романчиков А.Ю.

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель дисциплины «Диффузия в твёрдых телах»** – дать будущим магистрам по материаловедению и технологии материалов современные знания об основных законах и понятиях теории диффузионных процессов в твердых телах, необходимые для решения материаловедческих и металлургических задач, совершенствования и создания новых конструкционных (в том числе нано-) материалов.

### **Основные задачи дисциплины «Диффузия в твёрдых телах»:**

- изучение феноменологической теории диффузии и освоение методов решения уравнений диффузии при различных граничных условиях;
- изучение основ термодинамической теории диффузии, сущности и возможностей современных методов определения коэффициентов диффузии;
- изучение основ атомной теории диффузии, сущности и термодинамических характеристик возможных механизмов диффузии в твердых телах;
- рассмотрение характера и причин влияния основных внутренних и внешних факторов на коэффициент диффузии;
- рассмотрение особенностей диффузионных процессов, протекающих в специфических условиях.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Диффузия в твёрдых телах» входит в состав обязательной части Блока 1 «Дисциплины (модули)» основной профессиональной образовательной программы по направлению подготовки 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов» направленность (профиль) «Материаловедение и технологии наноматериалов и покрытий» и изучается во втором семестре и является основополагающей для изучения дисциплин: «Оборудование и методики исследования наноматериалов и покрытий», «Проектирование технологических процессов формирования и обработки наноматериалов и покрытий», «Физико-механические свойства наноструктурированных материалов и покрытий», «Материаловедение и технология современных и перспективных материалов».

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Процесс изучения дисциплины «Диффузия в твёрдых телах» направлен на формирование следующих компетенций:

Формируемые компетенции		Код и наименование индикатора достижения компетенции
Содержание компетенции	Код компетенции	
Способен решать производственные и (или) исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний в области материаловедения и технологии материалов	ОПК-1	ОПК-1.2. Использовать фундаментальные знания профессиональной деятельности для решения конкретных задач.
Способен обоснованно (осмысленно) использовать знания основных типов металлических, неметаллических	ПКС-1.	ПКС-1.1. Демонстрировать знания основных типов металлических, неметаллических и композицион-

Формируемые компетенции		Код и наименование индикатора достижения компетенции
Содержание компетенции	Код компетенции	
ских и композиционных материалов различного назначения, в том числе наноматериалов для решения профессиональных задач.		ных материалов различного назначения, в том числе наноматериалов для решения профессиональных задач. ПКС-1.2. Устанавливать закономерности взаимосвязи состава материалов, их структуры и физико-механических свойств.

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 4.1. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачётные единицы, 108 ак. часа.

Вид учебной работы	Всего ак. часов	Ак. часы по семестрам
		2
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	<b>45</b>	<b>45</b>
В том числе:		
Лекции	15	15
Практические занятия (ПЗ)	30	30
<b>Самостоятельная работа студентов (СРС), в том числе)</b>	<b>27</b>	<b>27</b>
Подготовка к практическим занятиям	7	7
РГР	10	10
Реферат	10	10
<b>Вид промежуточной аттестации: экзамен (Э), зачет (З), дифф. зачет (Д)</b>	<b>Э(36)</b>	<b>Э(36)</b>
<b>Общая трудоёмкость дисциплины</b>		
	ак. час	<b>108</b>
	зач. ед.	<b>3</b>

##### 4.2. Содержание дисциплины

Учебным планом предусмотрены: лекции, практические занятия и самостоятельная работа.

##### 4.2.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование разделов	Виды занятий			
		Всего ак. Часов	Лекции	Практические занятия	Самостоятельная работа студента,
1.	Раздел 1. Введение	8	2	2	4
2.	Раздел 2. Феноменологическая теория диффузии	15	4	6	5
3.	Раздел 3. Атомная теория диффузии	17	4	8	5
4.	Раздел 4. Основные факторы, влияющие на ко-	16	2	8	6

№ п/п	Наименование разделов	Виды занятий			
		Всего ак. Часов	Лекции	Практические занятия	Самостоятельная работа студента,
	эффициент диффузии				
5.	Раздел 5. Специфические случаи диффузии	16	3	6	7
	<b>Итого:</b>	<b>72</b>	<b>15</b>	<b>30</b>	<b>27</b>

#### 4.2.2. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Раздел дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудо- ёмкость в ак. часах
1.	Раздел 1	Понятие диффузии. Виды диффузии. Особенности диффузии в различных средах. Место диффузии в процессах производства и обработки материалов.	2
2.	Раздел 2	Диффузионный поток. Первое уравнение диффузии (первый закон Фика). Закон Фика в поле внешних сил. Закон сохранения вещества при диффузии. Второе уравнение диффузии (второй закон Фика). Диффузионные характеристики и диффузионные параметры. Краевые задачи теории диффузии. Некоторые решения второго уравнения диффузии. Способы определения концентрационной зависимости коэффициента диффузии. Метод Больцмана-Матано. Основы термодинамической теории диффузии. Парциальные коэффициенты диффузии. Коэффициент взаимной диффузии. Восходящая диффузия и ее причины. Экспериментальные методы определения коэффициентов диффузии и их сравнительный анализ.	4
3.	Раздел 3	Случайные блуждания и коэффициент диффузии. Возможные механизмы диффузии в кристаллических твердых телах. Связь коэффициентов самодиффузии с характеристиками образования и перемещение вакансий. Диффузионная пористость.	4
4.	Раздел 4	Температурная зависимость коэффициента диффузии. Уравнение Аррениуса. Влияние природы диффундирующего элемента, типа, состава и кристаллической структуры твердого раствора на коэффициент диффузии. Анизотропия коэффициента диффузии. Влияние дефектов кристаллического строения на коэффициент диффузии. Диффузия по дислокациям и границам зёрен. Результаты экспериментального изучения диффузии по границам зёрен.	2
5.	Раздел 5	Особенности диффузии на внешней поверхности и на внутренних поверхностях раздела. Диффузия в многофазных системах. Диффузионный рост фаз. Спекание. Особенности диффузии в наноматериалах. Диффузия в тонких поликристаллических плёнках. Диффузионное	3

№ п/п	Раздел дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоёмкость в ак. часах
		легирование. Особенности диффузии в расплавленных металлах и сплавах.	
<b>Итого</b>			15

#### 4.2.3. Практические занятия

№ п/п	Раздел	Тематика практических занятий	Трудоёмкость в ак. часах
1.	1	Вводное занятие	2
2.	2	Уравнение потока. Решения задач диффузии газов	6
3.	2	Решения уравнения диффузии	8
4.	2	Оценка параметров диффузии на основе экспериментальных данных	8
5.	3	Случайные блуждания. Оценка параметров случайных блужданий и пути диффузии	6
6.	4	Вакансии и вакансионный механизм диффузии	2
7.	5	Диффузия в многофазных системах	6
8.	5	Диффузия в межкристаллитных границах и наноматериалах	8
<b>Итого:</b>			<b>30</b>

#### 4.2.4. Лабораторный практикум

Лабораторный практикум по дисциплине «Диффузия в твердых телах» учебным планом не предусмотрен.

#### 4.2.5. Курсовые работы (проекты)

*Курсовые работы (проекты) по дисциплине «Диффузия в твердых телах» учебным планом не предусмотрены.*

### 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В ходе обучения применяются:

**Лекции**, которые являются одним из важнейших видов учебных занятий и составляют основу теоретической подготовки обучающихся.

Цели лекционных занятий:

- дать систематизированные научные знания по дисциплине, акцентировать внимание на наиболее сложных вопросах дисциплины;
- стимулировать активную познавательную деятельность обучающихся, способствовать формированию их творческого мышления.

**Практические занятия.** Цели практических занятий:

- совершенствовать умения и навыки решения практических задач.

Главным содержанием этого вида учебных занятий является работа каждого обучающегося по овладению практическими умениями и навыками профессиональной деятельности.

**Консультации** (текущая консультация, накануне экзамена) является одной из форм руководства учебной работой обучающихся и оказания им помощи в самостоятельном изучении материала дисциплины, в ликвидации имеющихся пробелов в знаниях, задолженностей по текущим занятиям, в подготовке письменных работ (проектов).

Текущие консультации проводятся преподавателем, ведущим занятия в учебной группе, научным руководителем и носят как индивидуальный, так и групповой характер.

**Самостоятельная работа обучающихся** направлена на углубление и закрепление знаний, полученных на лекциях и других занятиях, выработку навыков самостоятельного активного приобретения новых, дополнительных знаний, подготовку к предстоящим учебным занятиям и промежуточному контролю.

## **6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1. Вопросы для самостоятельной работы и текущего контроля успеваемости**

В рамках самостоятельной работы обучающиеся должны получить представление и освоить следующий материал.

#### **Раздел 1. Введение**

1. Определение явления диффузии.
2. Возможные причины возникновения диффузии.
3. Самодиффузия
4. Гетеродиффузия.
5. Применение диффузии в технологических процессах. (Не менее трёх примеров).
6. Два подхода для изучения диффузионных процессов: феноменологический и микроскопический.

#### **Раздел 2. Феноменологическая теория диффузии**

1. Поток вещества, плотность потока вещества.
2. Первый закон Фика.
3. Ограничения, при которых справедлив первый закон Фика.
4. Первый закон Фика с учётом действия внешних сил.
5. Второй закон Фика.
6. Сравнение первого и второго закона Фика.
7. Модель Лоренца.
8. Используя модель неподвижных рассеивающих центров, получите выражение для коэффициента диффузии.
9. Второй закон Фика, с коэффициентом диффузии зависящим от координат.
10. Типы коэффициентов диффузии.
11. Краевые условия для решения дифференциального уравнения диффузии.
12. Согласованные граничные условия.
13. Решение краевой задачи.
14. Решение дифференциального уравнения диффузии в виде функции ошибок.
15. Истокообразное решение дифференциального уравнения диффузии.

#### **Раздел 3. Атомная теория диффузии**

1. Основные положения теории случайных блужданий.
2. Последовательность проведения экспериментов, необходимых для определения параметров диффузии ( $D_0$ ,  $E$ ).
3. Основные результаты исследования самодиффузии (эмпирические закономерности).
4. Какие эксперименты и расчёты необходимо провести для определения  $D_0$  и  $E$  используя абсорбционный метод?
5. Какими свойствами вещества и параметрами эксперимента необходимо руководствоваться при выборе одного из двух методов определяете коэффициент самодиффузии с использованием радиоактивного изотопа: профилирования и абсорбционный?

#### Раздел 4. Факторы, влияющие на коэффициент диффузии

1. Температурная зависимость коэффициента диффузии.
2. Уравнение Аррениуса.
3. Влияние природы диффундирующего элемента, типа, состава и кристаллической структуры твёрдого раствора на коэффициент диффузии.
4. Влияние дефектов кристаллического строения на коэффициент диффузии.
5. Диффузия по границам зёрен.
6. Вакансионный механизм диффузии.

#### Раздел 5. Специфические случаи диффузии

1. Какая система называется многофазной. Перечислите основные особенности диффузии в многофазных системах.
2. Особенности диффузии на внешней поверхности и на внутренних поверхностях раздела фаз.
3. Особенности диффузионных процессов в материалах с ионными и ковалентными связями.
4. Диффузионный рост фаз.
5. Диффузия в межкристаллитных границах
6. Диффузия в наноматериалах
7. Диффузионное легирование.
8. Особенности диффузии в расплавленных металлах и сплавах.

### 6.2. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

#### 6.2.1. Примерный перечень вопросов:

1. Что подразумевается под процессом диффузии?
2. Назовите три основных фактора, определяющих значение коэффициента диффузии?
3. Какой механизм диффузии атомов замещения преобладает при пониженных температурах ( $T < 0,5 T_{пл}$ )?
4. Какие два вида диффузии принято различать?
5. Чем атомная диффузия отличается от реактивной?
6. Напишите решение задачи диффузии в одномерном бесконечном образце для  $D \neq D(x)$  при следующих граничных условиях:  $c(-x,0)=c_0$ ;  $c(x,0)=0$ .
7. Напишите решение задачи диффузии в одномерном бесконечном образце для  $D \neq D(x)$  при следующих граничных условиях:  $c(-x,0)=0$ ;  $c(x,0)=c_0$ .
8. Напишите решение задачи диффузии в одномерном полубесконечном образце для  $D \neq D(x)$  при следующих граничных условиях:  $c(0,t)=c_s$ ;  $c(x,0)=c_0$ .
9. Напишите уравнение, описывающее температурную зависимость коэффициента самодиффузии вакансий.
10. Напишите уравнение связи между путями диффузии атомов и вакансий.
11. Напишите формулу, связывающую коэффициент самодиффузии атомов в кубическом кристалле с равновесной концентрацией вакансий.
12. Напишите формулу, связывающую путь самодиффузии атомов с равновесной концентрацией вакансий.
13. Как коэффициент диффузии зависит от внешнего давления?
14. Оцените, используя эмпирические правила, во сколько раз отличаются среднеквадратичные смещения атомов и вакансий при самодиффузии в меди при  $0,7 T_{пл}$ .
15. Температура плавления первого вещества больше второго в 1,2 раза. Что больше и во сколько раз: равновесная концентрация вакансий в первом веществе или во втором при температуре  $0,7 T_{пл}$  второго вещества?
16. Во сколько раз изменилась температура от  $0,6 T_{пл}$ , если равновесная концентрация вакансий возросла в 100 раз?



17. Энтальпия образования вакансий в первом металле на 30% больше, чем во втором. Что больше и во сколько раз: равновесная концентрация вакансий в первом металле или во втором при температуре плавления второго вещества?

18. С поверхности растёт фаза, ширина области гомогенности которой составляет 10% (по массе) при 1000 К и 5% при 800 К. Ширина прилегающей двухфазной области при изменении температуры от 1000 К до 800 К увеличивается в два раза, а коэффициент диффузии изменяется на два порядка. Во сколько раз изменится толщина слоя растущей фазы при таком изменении температуры?

19. В двух образцах коэффициенты диффузии в твёрдом растворе одинаковы. В первом из них область гомогенности этого раствора составляет 18%, а во втором – 12%; ширина прилегающей двухфазной области – 36% и 54%, соответственно. В каком из образцов и во сколько раз рост фазы проходит быстрее?

20. Образцы сплава железо – пересыщенный твёрдый раствор углерода содержат 0,4% и 1,0% углерода (по массе). Образцы отжигаются в течение одного и того же времени. Во сколько раз будет отличаться средний размер частиц цементита в образцах, если растворимость углерода в  $\alpha$ -Fe при этой температуре составляет 0,1% по массе?

21. Вещество поступает из потока в твёрдый материал. Перечислите характерные черты процесса, контролируемого внешней массопередачей.

22. Вещество поступает из потока в твёрдый материал. Перечислите характерные черты процесса, контролируемого внутренней массопередачей.

23. Вещество поступает из потока в твёрдый материал. Перечислите характерные черты процесса, контролируемого химической реакцией на поверхности раздела фаз.

24. Вещество поступает из потока в твёрдый материал. Перечислите характерные черты процесса, контролируемого адсорбцией на поверхности раздела фаз.

25. Скорость роста фазы контролируется адсорбцией вещества, подводимого к поверхности раздела. Как толщина фазы зависит от времени? Напишите необходимые формулы.

## 6.2.2. Примерные тестовые задания

### Вариант 1

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	Укажите правильную запись уравнения непрерывности (закона сохранения):	1) $\text{div} \vec{j} = 0$ ; 2) $\text{div} \vec{j} + \frac{dc}{dt} = 0$ ; 3) $\vec{j} = 0$ ; 4) $\frac{dc}{dt} = 0$
2	Укажите правильную запись первого закона Фика:	1) $j = -D(\partial c / \partial x)$ ; 2) $j = -D(\partial c / \partial t)$ ; 3) $j = -D \text{grad} T$ ; 4) $j = D(\partial c / \partial x)$
3	Радиоактивный свинец диффундирует в обычном свинце. Укажите правильное название процесса:	1) самодиффузия; 2) гетеродиффузия; 3) взаимная диффузия; 4) ядерная диффузия.
4	Укажите правильное выражения для второго закона Фика, если коэффициент диффузии зависит от концентрации:	1) $\frac{dc}{dt} = D \frac{d^2 c}{dx^2}$ ; 2) $\frac{dc}{dx} = D \frac{d^2 c}{dx^2}$

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
		3) $\frac{dc}{dt} = D \frac{d^2c}{dt^2}$ 4) $\frac{dc}{dt} = \text{div}(D\nabla c)$
5	Укажите правильное соотношение между коэффициентами диффузии растворителя ( $D$ ) и примеси, диффундирующей по междоузельному механизму ( $D_i$ ):	1) $D_i \gg D$ ; 2) $D_i \approx 0,1D$ ; 3) $D_i \approx D$ ; 4) нет правильного ответа.
6	Как равновесная концентрация вакансий зависит от температуры?	1) растёт с ростом температуры; 2) убывает с ростом температуры; 3) линейно растёт с ростом температуры; 4) линейно убывает с ростом температуры;
7	Укажите правильный порядок величины коэффициента самодиффузии в металлах, имеющих кубическую кристаллическую решётку, при $T \approx T_{\text{пл}}$ :	1) $D \approx 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ ; 2) $D \approx 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$ ; 3) $D \approx 10^{-12} \text{ м}^2/\text{с}$ ; 4) нет правильного ответа.
8	Укажите правильный порядок величины коэффициента самодиффузии в жидких металлах:	1) $D \approx 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ ; 2) $D \approx 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$ ; 3) $D \approx 10^{-12} \text{ м}^2/\text{с}$ ; 4) $D \approx 10^{-16} \text{ м}^2/\text{с}$ ;
9	Укажите примерное соотношение между энергией активации самодиффузии и температурой плавления металла:	1) $E = RT_{\text{пл}}$ ; 2) $E = 12RT_{\text{пл}}$ ; 3) $E = 24RT_{\text{пл}}$ ; 4) $E = 18RT_{\text{пл}}$ ;
10	Чему равно число вертикальных ступенек на кривой $c(x)$ при диффузии в двухкомпонентной системе, у которой на фазовой диаграмме имеется несколько двухфазных областей ниже линии солидуса?	1) всегда 1; 2) всегда 2; 3) числу химических соединений; 4) числу двухфазных областей; 5) числу областей гомогенности.
11	Найдите не правильное утверждение:	1) диффузия – необратимый процесс; 2) диффузия – один из источников диссипации энергии в системе; 3) причиной диффузии является разность химических потенциалов в различных точках системы; 4) диффузия – обратимый процесс.
12	Коэффициент диффузии в жидкости	1) увеличивается с увеличением температуры; 2) уменьшается с увеличением температуры; 3) не изменяется с увеличением температуры; 4) не изменяется с уменьшением температуры;
13	Для коэффициента, диффузии в твёрдых телах характерна,,,,,	1) линейная зависимость от температуры;

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
		2) убывающая линейная зависимость от температуры; 3) резкая (экспоненциальная) зависимость от температуры; 4) независимость от температуры во всём диапазоне температур.
14	При самодиффузии	1) внутренняя энергия системы не подвергается существенным изменениям во время процесса диффузии; 2) диффузия определяется только энтропийной долей 3) диффундируют собственные частицы вещества 4) атомы, участвующие в диффузионном движении, всегда обладают одинаковыми химическими и физическими свойствами
15	Если пути диффузии малы по сравнению с размером образца, то отношение $c/c_0$ ..... где $c$ концентрация, $c_0$ начальная концентрация.	1) не зависит от $x$ ; 2) зависит только от $x/\sqrt{Dt}$ ; 3) не зависит от $t$ ; 4) зависит только от $x/t$ .
16	Найдите не правильное утверждение: энергия активации для большого числа элементов определяется: где $L_{пл}$ – теплота плавления	1) $E = 18RT$ 2) $E = 35T_{пл}$ 3) $E = 15,2L$ 4) нет правильного ответа
17	Среди всех методов измерения коэффициента диффузии наиболее высокой чувствительностью обладают:	1) металлографические методы; 2) релаксационные методы; 3) электродные методы; 4) автордиографические методы.
18	Точность определения коэффициента диффузии с помощью электронного зонда (метод Матано) составляет:	1) 1-5%. 2) 30-50%. 3) 1-10%. 4) 10-30%.
19	Найдите не правильное утверждение:  Плоскость Матано ....	1) – это плоскость, через которую проходят потоки вещества в противоположных направлениях 2) расположена так, что площади под кривой $c(x)$ слева и справа от этой плоскости равны. 3) плоскость Матано в общем случае всегда совпадает с первоначальной границей раздела сред. 4) позволяет рассчитать зависимость коэффициента взаимной диффузии.
20	Решить краевую задачу – значит:	1) найти одну функцию, удовлетворяющую данному дифференци-

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
		<p>альному уравнению;</p> <p>2) найти все функции, удовлетворяющие данному дифференциальному уравнению и данным краевым условиям.</p> <p>3) найти все функции, удовлетворяющие данным краевым условиям.</p> <p>4) нет правильного ответа.</p>

### Вариант 2

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	Укажите правильную запись уравнения непрерывности (закона сохранения):	<p>1) <math>\text{div} \vec{j} = 0</math>;</p> <p>2) <math>\vec{j} = 0</math>;</p> <p>3) <math>\text{div} \vec{j} + \frac{dc}{dt} = 0</math>;</p> <p>4) <math>\frac{dc}{dt} = 0</math></p>
2	Укажите правильную запись первого закона Фика:	<p>1) <math>j = D(\partial c / \partial x)</math>;</p> <p>2) <math>j = -D(\partial c / \partial t)</math>;</p> <p>3) <math>j = -D \text{grad} T</math>;</p> <p>4) <math>j = -D(\partial c / \partial x)</math></p>
3	Радиоактивный свинец диффундирует в обычном свинце. Укажите правильное название процесса:	<p>1) ядерная диффузия.</p> <p>2) гетеродиффузия;</p> <p>3) взаимная диффузия;</p> <p>4) самодиффузия;</p>
4	Укажите правильное выражения для второго закона Фика, если коэффициент диффузии зависит от концентрации:	<p>1) <math>\frac{dc}{dt} = D \frac{d^2c}{dx^2}</math>;</p> <p>2) <math>\frac{dc}{dx} = D \frac{d^2c}{dx^2}</math></p> <p>3) <math>\frac{dc}{dt} = \text{div}(D \nabla c)</math>      4) <math>\frac{dc}{dt} = D \frac{d^2c}{dt^2}</math></p>
5	Укажите правильное соотношение между коэффициентами диффузии растворителя ( $D$ ) и примеси, диффундирующей по междоузельному механизму ( $D_i$ ):	<p>1) <math>D_i \gg D</math>;</p> <p>2) <math>D_i \approx 0,1D</math>;</p> <p>3) <math>D_i \approx D</math>;</p> <p>4) нет правильного ответа.</p>
6	Как равновесная концентрация вакансий зависит от температуры?	<p>1) растёт с ростом температуры;</p> <p>2) убывает с ростом температуры;</p> <p>3) линейно растёт с ростом температуры;</p> <p>4) линейно убывает с ростом температуры;</p>
7	Укажите правильный порядок величины коэффициента самодиффузии в металлах,	<p>1) <math>D \approx 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}</math>;</p> <p>2) <math>D \approx 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}</math>;</p>

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
	имеющих кубическую кристаллическую решётку, при $T \approx T_{пл}$ :	3) $D \approx 10^{-12} \text{ м}^2/\text{с}$ ; 4) нет правильного ответа.
8	Укажите правильный порядок величины коэффициента самодиффузии в жидких металлах:	1) $D \approx 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ ; 2) $D \approx 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$ ; 3) $D \approx 10^{-12} \text{ м}^2/\text{с}$ ; 4) нет правильного ответа.
9	Укажите примерное соотношение между энергией активации самодиффузии и температурой плавления металла:	1) $E = RT_{пл}$ ; 2) $E = 12RT_{пл}$ ; 3) $E = 24RT_{пл}$ ;                      4) $E = 18RT_{пл}$ ;
10	Чему равно число вертикальных ступенек на кривой $c(x)$ при диффузии в двухкомпонентной системе, у которой на фазовой диаграмме имеется несколько двухфазных областей ниже линии солидуса?	1) всегда 1; 2) всегда 2; 3) числу химических соединений; 4) нет правильного ответа.
11	Найдите не правильное утверждение:	1) диффузия – обратимый процесс. 2) диффузия – один из источников диссипации энергии в системе; 3) причиной диффузии является разность химических потенциалов в различных точках системы; 4) диффузия – необратимый процесс;
12	Коэффициент диффузии в жидкости	1) увеличивается с увеличением температуры; 2) уменьшается с увеличением температуры; 3) не изменяется с увеличением температуры; 4) нет правильного ответа.
13	Для коэффициента, диффузии в твёрдых телах характерна,,,,,	1) резкая (экспоненциальная) зависимость от температуры; 2) убывающая линейная зависимость от температуры; 3) линейная зависимость от температуры; 4) независимость от температуры во всём диапазоне температур.
14	При самодиффузии	1) атомы, участвующие в диффузионном движении, всегда обладают одинаковыми химическими и физическим свойствам 2) диффузия определяется только энтропийной долей 3) диффундируют собственные частицы вещества 4) внутренняя энергия системы не подвергается существенным изменениям во время процесса диффузии;

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
15	Если пути диффузии малы по сравнению с размером образца, то отношение $c/c_0$ ..... где $c$ концентрация, $c_0$ начальная концентрация.	1) зависит только от $x/\sqrt{Dt}$ ; 2) не зависит от $x$ ; 3) не зависит от $t$ ; 4) зависит только от $x/t$ .
16	Найдите не правильное утверждение: энергия активации для большого числа элементов определяется: где $L_{пл}$ – теплота плавления	1) $E = 15,2L$ 2) $E = 35T_{пл}$ 3) $E = 18RT$ 4) нет правильного ответа
17	Среди всех методов измерения коэффициента диффузии наиболее высокой чувствительностью обладают:	1) металлографические методы; 2) автордиографические методы. 3) электродные методы; 4) релаксационные методы;
18	Точность определения коэффициента диффузии с помощью электронного зонда (метод Матано) составляет:	1) 1-5%. 2) 10-30%. 3) 1-10%.                      4) 30-50%.
19	Найдите не правильное утверждение:  Плоскость Матано ....	1) – это плоскость, через которую проходят потоки вещества в противоположных направлениях 2) расположена так, что площади под кривой $n(x)$ слева и справа от этой плоскости равны. 3) позволяет рассчитать зависимость коэффициента взаимной диффузии. 4) плоскость Матано в общем случае всегда совпадает с первоначальной границей раздела сред.
20	Решить краевую задачу – значит:	1) найти все функции, удовлетворяющие данному дифференциальному уравнению и данным краевым условиям. 2) найти одну функцию, удовлетворяющую данному дифференциальному уравнению; 3) найти все функции, удовлетворяющие данным краевым условиям. 4) нет правильного ответа.

### Вариант 3

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	Укажите правильную запись уравнения непрерывности (закона сохранения):	1) $\frac{dc}{dt} = 0$ 2) $\text{div} \vec{j} + \frac{dc}{dt} = 0$ ; 3) $\vec{j} = 0$ ;

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
		4) $\text{div} \vec{j} = 0$ ;
2	Укажите правильную запись первого закона Фика:	1) $j = -D(\partial c / \partial x)$ ; 2); $j = D(\partial c / \partial x)$ 3) $j = -D \text{grad} T$ ; 4) $j = -D(\partial c / \partial t)$
3	Радиоактивный свинец диффундирует в обычном свинце. Укажите правильное название процесса:	1) самодиффузия; 2) взаимная диффузия; 3) гетеродиффузия; 4) ядерная диффузия.
4	Укажите правильное выражения для второго закона Фика, если коэффициент диффузии зависит от концентрации:	1) $\frac{dc}{dt} = D \frac{d^2c}{dx^2}$ ; 2) $\frac{dc}{dx} = D \frac{d^2c}{dx^2}$ 3) $\frac{dc}{dt} = \text{div}(D \nabla c)$ 4) $\frac{dc}{dt} = D \frac{d^2c}{dt^2}$
5	Укажите правильное соотношение между коэффициентами диффузии растворителя ( $D$ ) и примеси, диффундирующей по междоузельному механизму ( $D_i$ ):	1) $D_i \approx 0,1D$ ; 2) $D_i \gg D$ ; 3) $D_i \approx D$ ; 4) нет правильного ответа
6	Как равновесная концентрация вакансий зависит от температуры?	1) растёт с ростом температуры; 2) убывает с ростом температуры; 3) линейно растёт с ростом температуры; 4) линейно убывает с ростом температуры;
7	Укажите правильный порядок величины коэффициента самодиффузии в металлах, имеющих кубическую кристаллическую решётку, при $T \approx T_{\text{пл}}$ :	1) $D \approx 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ ; 2) $D \approx 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$ ; 3) $D \approx 10^{-12} \text{ м}^2/\text{с}$ ; 4) нет правильного ответа
8	Укажите правильный порядок величины коэффициента самодиффузии в жидких металлах:	1) $D \approx 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ ; 2) $D \approx 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$ ; 3) $D \approx 10^{-12} \text{ м}^2/\text{с}$ ; 4) $D \approx 10^{-16} \text{ м}^2/\text{с}$ ;
9	Укажите примерное соотношение между энергией активации самодиффузии и температурой плавления металла:	1) $E = RT_{\text{пл}}$ ; 2) $E = 12RT_{\text{пл}}$ ; 3) $E = 24RT_{\text{пл}}$ ; 4) $E = 18RT_{\text{пл}}$ ;

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
10	Чему равно число вертикальных ступенек на кривой $c(x)$ при диффузии в двухкомпонентной системе, у которой на фазовой диаграмме имеется несколько двухфазных областей ниже линии солидуса?	1) всегда 1; 2) всегда 2; 3) числу химических соединений; 4) числу двухфазных областей;
11	Найдите не правильное утверждение:	1) диффузия – необратимый процесс; 2) диффузия – обратимый процесс. 3) причиной диффузии является разность химических потенциалов в различных точках системы; 4) диффузия – один из источников диссипации энергии в системе;
12	Коэффициент диффузии в жидкости	1) уменьшается с увеличением температуры; 2) увеличивается с увеличением температуры; 3) не изменяется с увеличением температуры; 4) не изменяется с уменьшением температуры;
13	Для коэффициента, диффузии в твёрдых телах характерна,	1) линейная зависимость от температуры; 2) резкая (экспоненциальная) зависимость от температуры; 3) убывающая линейная зависимость от температуры; 4) независимость от температуры во всём диапазоне температур.
14	При самодиффузии	1) внутренняя энергия системы не подвергается существенным изменениям во время процесса диффузии; 2) атомы, участвующие в диффузионном движении, всегда обладают одинаковыми химическими и физическим свойствам 3) диффундируют собственные частицы вещества 4) диффузия определяется только энтропийной долей
15	Если пути диффузии малы по сравнению с размером образца, то отношение $c/c_0$ ..... где $c$ концентрация, $c_0$ начальная концентрация.	1) зависит только от $x/\sqrt{Dt}$ ; 2) не зависит от $x$ ; 3) не зависит от $t$ ; 4) зависит только от $x/t$ .
16	Найдите не правильное утверждение: энергия активации для большого числа элементов определяется: где $L_{пл}$ – теплота плавления	1) $E = 18RT$ 2) $E = 15,2L$ 3) $E = 35T_{пл}$ 4) нет правильного ответа



№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
17	Среди всех методов измерения коэффициента диффузии наиболее высокой чувствительностью обладают:	1) релаксационные методы; 2) металлографические методы; 3) электродные методы; 4) автордиографические методы.
18	Точность определения коэффициента диффузии с помощью электронного зонда (метод Матано) составляет:	1) 10-30%. 2) 30-50%. 3) 1-10%. 4) 1-5%.
19	Найдите не правильное утверждение:  Плоскость Матано ....	1) – это плоскость, через которую проходят потоки вещества в противоположных направлениях 2) позволяет рассчитать зависимость коэффициента взаимной диффузии. 3) плоскость Матано в общем случае всегда совпадает с первоначальной границей раздела сред. 4) расположена так, что площади под кривой $c(x)$ слева и справа от этой плоскости равны.
20	Решить краевую задачу – значит:	1) найти одну функцию, удовлетворяющую данному дифференциальному уравнению; 2) найти все функции, удовлетворяющие данным краевым условиям. 3) найти все функции, удовлетворяющие данному дифференциальному уравнению и данным краевым условиям. 4) нет правильного ответа.

### 6.2.3 Примеры расчетно-графических заданий

#### Задание 1

1. С поверхности растёт фаза, ширина области гомогенности которой составляет 10% (по массе) при 1000 К и 5% при 800 К. Ширина прилегающей двухфазной области при изменении температуры от 1000 К до 800 К увеличивается в два раза, а коэффициент диффузии изменяется на два порядка. Во сколько раз изменится толщина слоя растущей фазы при таком изменении температуры?

2. В двух образцах коэффициенты диффузии в твёрдом растворе одинаковы. В первом из них область гомогенности этого раствора составляет 18%, а во втором – 12%; ширина прилегающей двухфазной области – 36% и 54%, соответственно. В каком из образцов и во сколько раз рост фазы проходит быстрее?

3. Образцы сплава железо – пересыщенный твёрдый раствор углерода содержат 0,4% и 1,0% углерода (по массе). Образцы отжигаются в течение одного и того же времени. Во

сколько раз будет отличаться средний размер частиц цементита в образцах, если растворимость углерода в  $\alpha$ -Fe при этой температуре составляет 0,1% по массе?

4. Нарисуйте концентрационный профиль  $c(x, t_1)$  для диффузии  $Me_1$  в системе  $Me_2$ - $Me_1$  в течение некоторого времени  $t_1$  при  $T^\circ C$ , если концентрация  $Me_1$  на поверхности полубесконечного образца  $c(0, t)$  равна  $A\%$ , а внутри в начальный момент времени  $c(x, 0) B\%$  (концентрации даны в атомных процентах). Металлом  $Me_2$  является железо, а в качестве диффундирующего компонента  $Me_1$  предлагаются Be, Mo, Ru, Ta, Ti, Zr.

5. Вещество поступает из потока в твёрдый материал. Перечислите характерные черты процесса, контролируемого внешней массопередачей.

## Задание 2

1. Вещество поступает из потока в твёрдый материал. Перечислите характерные черты процесса, контролируемого внутренней массопередачей.

2. Вещество поступает из потока в твёрдый материал. Перечислите характерные черты процесса, контролируемого химической реакцией на поверхности раздела фаз.

3. Скорость роста фазы контролируется адсорбцией вещества, подводимого к поверхности раздела. Как толщина фазы зависит от времени? Напишите необходимые формулы.

4. Поток подводит вещество к поверхности твердого тела, на которой происходит химическая реакция с энергией активации 100 кДж/моль. Температура увеличилась с 20 до 300С. Во сколько раз изменится эффективная константа скорости химической реакции, если истинная константа скорости химической реакции равна  $5 \text{ с}^{-1}$  при 200С, а коэффициент переноса равен  $3 \text{ с}^{-1}$ ?

5. В пересыщенном твердом растворе возникают и растут частицы химического соединения. Нарисуйте схематически зависимости числа частиц, их среднего размера и массы от времени.

### 6.2.4. Рекомендации к выполнению расчётно-графической работы

Выполнение расчётно-графической работы предполагает достаточно большой объём самостоятельной работы студента.

Перед выполнением расчётно-графической работы рекомендуется изучить лекционный курс на тему «элементы квантовой механики» и познакомиться с соответствующим разделом учебника общего курса физики. Если при самостоятельном изучении теоретического материала возникли вопросы, желательно обсудить их на практических занятиях, но если и после этого остались не ясные моменты, то можно получить индивидуальную консультацию преподавателя, ведущего расчётно-графическую работу или лектора.

При изучении физического явления, прежде всего, необходимо выяснить сущность явления, условия при которых оно возможно, определить с помощью каких физических величин, оно характеризуется. Желательно понять, как оно связано с другими явлениями и возможности его применения на практике. При определении физической величины важно обратить внимание на то, какая это величина – скалярная или векторная, какие свойства она характеризует, выяснить её размерность и формулу, определяющую связь с другими физическими величинами. При прочтении закона обратите внимание на границы его применения, определите, между какими явлениями он выражает связь, уточните формулировку и математическое выражение закона.

Расчётно-графическая работа оформляется на компьютере.

Прежде чем приступить к выполнению практической части расчётно-графической работы необходимо ознакомиться с требованиями, размещенными на сайте Горного университета. На титульном листе указать: название института, наименование дисциплины, название работы, фамилию и инициалы студента и ведущего расчётно-графического задания преподавателя, год выполнения работы.

Необходимо полностью переписать задачу своего варианта, а заданные физические величины выписать отдельно, при этом все числовые значения должны быть переведены в одну систему единиц. При получении расчётной формулы приведите её полный подробный вывод.

Математическое решение должно сопровождаться пояснениями, а в случае необходимости его можно продемонстрировать рисунком. Задачу рекомендуется решить сначала в общем виде (в буквенных обозначениях), поясняя применяемые при написании формул буквенные обозначения, и только после проверки размерности искомой физической величины, подставить в выведенную формулу числовые значения. Все необходимые числовые значения величин должны быть выражены в системе «СИ». После получения окончательного результата, для удобства построения графических зависимостей можно перейти к внесистемным единицам. Например, выразить энергию в электрон-вольтах.

Перед построением графиков необходимо получить аналитическое выражение функциональной зависимости. Выбрать удобный масштаб и указать его на осях координат, а также физические величины и единицы измерения.

На координатной плоскости обязательно должны быть нанесены экспериментальные точки. Кривая, аппроксимирующая функциональную теоретическую зависимость строится в соответствии с методом наименьших квадратов.

Содержание отчёта:

1. Титульный лист.

2. Теоретическая часть:

2.1. Определения всех физических явлений, законов и величин, встречающихся в данной работе.

2.2. Основные расчётные формулы с пояснениями.

3. Расчётная часть:

3.1. Задание с исходными данными своего варианта.

3.2. Расчёт с пояснениями.

3.3. Графики.

3.4. Анализ результатов. Заключение.

Требования к оформлению расчетно-графической работы:

– Изложение текста и оформление расчетно-графической работы выполняют в соответствии с требованиями ГОСТ 7.32 – 2001, ГОСТ 2.105 – 95 и ГОСТ 6.38 – 90. Страницы текстовой части и включенные в нее иллюстрации и таблицы должны соответствовать формату А4 по ГОСТ 9327-60.

– Расчетно-графическая работа должна быть выполнена печатным способом на одной стороне бумаги формата А4 через полтора интервала. Цвет шрифта должен быть черным, высота букв, цифр и других знаков не менее 1.8 (шрифт Times New Roman, 14 пт.).

– Текст следует печатать, соблюдая следующие размеры полей: верхнее и нижнее – 20 мм, левое – 30 мм, правое – 10 мм. Абзацный отступ должен составлять 1,25 см.

– Выравнивание текста по ширине.

– Разрешается использовать компьютерные возможности акцентирования внимания на определенных терминах, формулах, применяя выделение жирным шрифтом, курсив, подчеркивание.

– Перенос слов недопустим!

– Точку в конце заголовка не ставят. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой.

– Подчеркивать заголовки не допускается.

– Расстояние между заголовками раздела, подраздела и последующим текстом так же, как и расстояние между заголовками и предыдущим текстом, должно быть равно 15 мм (2 пробела).

– Название каждой главы и параграфа в тексте работы можно писать более крупным шрифтом, жирным шрифтом, чем весь остальной текст. Каждая глава начинается с новой страницы, параграфы (подразделы) располагаются друг за другом.

– В тексте расчетно-графической работы рекомендуется чаще применять красную строку, выделяя законченную мысль в самостоятельный абзац.

– Перечисления, встречающиеся в тексте работы, должны быть оформлены в виде маркированного или нумерованного списка.

Критерии оценки:

- Актуальность темы.
- Соответствие содержания теме.
- Глубина проработки материала.
- Правильность и полнота использования источников.
- Соответствие оформления расчетно-графической работы стандартам.

### 6.2.5. Темы рефератов

1. Методы математического описания процесса диффузии в твёрдых телах для различных граничных условий.

2. Механизмы диффузии в твёрдых телах

3. Роль диффузии в технологических процессах производства.

4. Методы определения диффузионных характеристик системы.

5. Особенности диффузионных процессов

## 6.3. Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания

### 6.3.1. Критерии оценок промежуточной аттестации.

*Примерная шкала оценивания знаний по вопросам/выполнению заданий:*

Оценка			
«2» (неудовлетворительно)	Пороговый уровень освоения	Углубленный уровень освоения	Продвинутый уровень освоения
	«3» (удовлетворительно)	«4» (хорошо)	«5» (отлично)
Посещение менее 50 % лекционных и практических занятий	Посещение не менее 60 % лекционных и практических занятий	Посещение не менее 70 % лекционных и практических занятий	Посещение не менее 85 % лекционных и практических занятий
Не умеет находить решения большинства предусмотренных программой обучения заданий	Иногда находит решения предусмотренных программой обучения заданий	Уверенно находит решения предусмотренных программой обучения заданий	Безошибочно находит решения предусмотренных программой обучения заданий
Большинство предусмотренных программой обучения заданий не выполнено	Предусмотренные программой обучения задания выполнены удовлетворительно	Предусмотренные программой обучения задания успешно выполнены	Предусмотренные программой обучения задания успешно выполнены

*Примерная шкала оценивания знаний в тестовой форме:*

Количество правильных ответов, %	Оценка
0-49	Неудовлетворительно
50-65	Удовлетворительно
66-85	Хорошо
86-100	Отлично

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

### **7.1. Рекомендуемая литература**

#### **7.1.1. Основная литература**

1. Диффузия: учебно-методическое пособие по курсу Общая физика / П.В. Попов. – М.: МФТИ, 2016. – 94 с. [https://mipt.ru/education/chair/physics/S\\_II/method/diff\\_full.pdf](https://mipt.ru/education/chair/physics/S_II/method/diff_full.pdf)
2. Мерер, Х. Диффузия в твердых телах: учебно-справочное руководство / Пер. с англ. под ред. Е.Б. Якимова и В.В. Аристова/ Х. Мерер. – Долгопрудный: Интеллект, 2011. – 536 с.  
<https://znanium.com/catalog/document?id=359549>
3. Бокштейн, Б. С. Диффузия атомов и ионов в твердых телах / Б.С. Бокштейн, А.Б. Ярославцев. – М.: МИСИС, 2005. - 362 с.  
<http://www.twirpx.com/file/796541/>

#### **7.1.2. Дополнительная литература**

1. Диффузия в металлах Б.С. Бокштейн, М., Металлуия, 1978, 249 с.  
[www.studmed.ru/bokshteyn-bs-diffuziya-v-metallah\\_14660081766.html](http://www.studmed.ru/bokshteyn-bs-diffuziya-v-metallah_14660081766.html)
2. Большой энциклопедический словарь / гл. ред. А.М. Прохоров. – М.: Изд-во «Большая Российская энциклопедия», – СПб.: «Норинт», 1997.  
[alcala.ru/entsiklopedicheskij-slovar/slovar-D/25997.shtml](http://alcala.ru/entsiklopedicheskij-slovar/slovar-D/25997.shtml)
3. Имаев, Р.М. Диффузия в металлах : учеб. пособие / Р.М. Имаев. – Уфа: УГАТУ, 2000. – 103 с.
4. Математика диффузии. Учебное пособие / И.Н.Бекман— М. :Издательство «Он-тоПринт» 2016г. 400с.  
[http://profbeckman.narod.ru/MatDif/matematikadiffuzii\\_origmaketstranic.pdf](http://profbeckman.narod.ru/MatDif/matematikadiffuzii_origmaketstranic.pdf)
5. Диффузия в твердых телах: учеб.-метод. комплекс дисцип. [Электронный ресурс]/ сост. Б.С. Бокштейн, В.А. Есин, А.О. Родин. – М.: Изд. Дом МИСИС, 2010. – 125 с.  
[edu.znate.ru/tw\\_files/29805/d-29804116/7z-docs/1.pdf](http://edu.znate.ru/tw_files/29805/d-29804116/7z-docs/1.pdf)
6. Взаимная диффузия в двойных системах: учебно-методическое пособие по выполнению лабораторной работы по дисциплине «Физическое материаловедение» / А.А. Попов, С.В. Гриб. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2006. 23 с.
6. Материаловедение: Учебник для высших технических учебных заведений. Б. Н. Арзамасов, И. И. Сидорин, Г. Ф. Косолапов и др.; Под общ. ред. Б. Н. Арзамасова. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 384 с.  
[http://stu.scask.ru/book\\_amat.php](http://stu.scask.ru/book_amat.php)

#### **7.1.3. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента**

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы студентов размещены на портале <http://ior.spmi.ru>

### **7.2. Базы данных, электронно-библиотечные системы, информационно-справочные и поисковые системы**

1. Европейская цифровая библиотека Europeana: <http://www.europeana.eu/portal>
2. Консультант Плюс: справочно-поисковая система [Электронный ресурс]. - [www.consultant.ru/](http://www.consultant.ru/)
3. Мировая цифровая библиотека: <http://wdl.org/ru>
4. Научная электронная библиотека «Scopus» <https://www.scopus.com>
5. Научная электронная библиотека Science Direct: <http://www.sciencedirect.com>
6. Научная электронная библиотека «eLIBRARY»: <https://elibrary.ru/>
7. Термические константы веществ. Электронная база данных, <http://www.chem.msu.su/cgibin/tkv.pl>

8. Портал Росаккредагенства <http://www.fepo.ru/>. Интернет-тестирование базовых знаний по физике.
9. Портал «Гуманитарное образование» <http://www.humanities.edu.ru/>
10. Федеральный портал «Российское образование» <http://www.edu.ru/>
11. Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов» <http://school-collection.edu.ru/>
12. Поисковые системы Yandex, Rambler, Yahoo и др.
13. Электронно-библиотечная система издательского центра «Лань»: <https://e.lanbook.com/books>.
14. Электронная библиотека Российской Государственной Библиотеки (РГБ): <http://elibrary.rsl.ru>
15. Электронная библиотека учебников: <http://studentam.net>
16. Электронно-библиотечная система «ЭБС ЮРАЙТ» [www.biblio-online.ru](http://www.biblio-online.ru).
17. Электронная библиотечная система «Национальный цифровой ресурс «Ру-конт»». <http://rucont.ru/>
18. Электронно-библиотечная система <http://www.sciteclibrary.ru/>

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

### **8.1. Материально-техническое оснащение аудиторий**

Специализированные аудитории, используемые при проведении занятий лекционного типа, оснащены мультимедийными проекторами и комплектом аппаратуры, позволяющей демонстрировать текстовые и графические материалы.

Для проведения лабораторных занятий используются компьютерные классы, оборудованные техникой из расчета один компьютер на одного обучающегося, с обустроенным рабочим местом преподавателя. В учебном процессе используется комплект демонстрационных стендовых материалов по темам курса.

#### **8.1.1. Аудитории для проведения лекционных занятий**

128 посадочных мест

Оснащенность: Мультимедийная установка с акустической системой – 1 шт. (в т.ч. мультимедийный проектор – 1 шт., проекционная аппаратура: источник бесперебойного питания – 1 шт., экран – 1 шт., монитор – 1 шт., компьютер – 1 шт.), возможность доступа к сети «Интернет», стул для студентов – 128 шт., кресло преподавателя – 1 шт., стол – 65 шт., переносная настольная трибуна – 1 шт., доска настенная магнитно-маркерная – 2 шт., плакат в рамке настенный – 9 шт.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional, Microsoft Office 2007 Professional Plus, антивирусное программное обеспечение: Kaspersky Endpoint Security, 7-zip (свободно распространяемое ПО), Foxit Reader (свободно распространяемое ПО), SeaMonkey (свободно распространяемое ПО), Chromium (свободно распространяемое ПО), Java Runtime Environment (свободно распространяемое ПО), doPDF (свободно распространяемое ПО), GNU Image Manipulation Program (свободно распространяемое ПО), Inkscape (свободно распространяемое ПО), XnView (свободно распространяемое ПО), K-Lite Codec Pack (свободно распространяемое ПО), FAR Manager (свободно распространяемое ПО).

64 посадочных места

Оснащенность: Мультимедийный проектор – 1 шт., проекционная аппаратура: источник бесперебойного питания – 1 шт., экран – 1 шт., ноутбук – 1 шт., (возможность доступа к сети «Интернет»), стойка мобильная – 1 шт., стул для студентов – 64 шт., кресло преподавателя – 1 шт., стол – 33 шт., переносная настольная трибуна – 1 шт., доска белая настенная магнитно-маркерная – 1 шт., плакат в рамке настенный – 4 шт.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 8 Professional, Microsoft Office 2007 Professional Plus (Microsoft Open License 46431107 от 22.01.2010), CorelDRAW Graphics Suite X5, Autodesk product: Building Design Suite Ultimate 2016, product Key: 766H1, антивирусное программное обеспечение: Kaspersky Endpoint Security, 7-zip (свободно распространяемое ПО), Foxit Reader (свободно распространяемое ПО), SeaMonkey (свободно распространяемое ПО), Chromium (свободно распространяемое ПО), Java Runtime Environment (свободно распространяемое ПО), doPDF (свободно распространяемое ПО), GNU Image Manipulation Program (свободно распространяемое ПО), Inkscape (свободно распространяемое ПО), XnView (свободно распространяемое ПО), K-Lite Codec Pack (свободно распространяемое ПО), FAR Manager (свободно распространяемое ПО).

60 посадочных мест

Оснащенность: мультимедийный проектор – 1 шт., проекционная аппаратура: источник бесперебойного питания – 1 шт., экран – 1 шт., ноутбук – 1 шт., (возможность доступа к сети «Интернет»), стойка мобильная – 1 шт., стул для студентов – 60 шт., кресло преподавателя – 1 шт., стол – 31 шт., переносная настольная трибуна – 1 шт., доска белая настенная магнитно-маркерная – 1 шт., доска под мел – 1 шт., плакат в рамке настенный – 3 шт.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 8 Professional, Microsoft Office 2007 Professional Plus, CorelDRAW Graphics Suite X5, Autodesk product: Building Design Suite Ultimate 2016, product Key: 766H1, антивирусное программное обеспечение: Kaspersky Endpoint Security, 7-zip (свободно распространяемое ПО), Foxit Reader (свободно распространяемое ПО), SeaMonkey (свободно распространяемое ПО), Chromium (свободно распространяемое ПО), Java Runtime Environment (свободно распространяемое ПО), doPDF (свободно распространяемое ПО), GNU Image Manipulation Program (свободно распространяемое ПО), Inkscape (свободно распространяемое ПО), XnView (свободно распространяемое ПО), K-Lite Codec Pack (свободно распространяемое ПО), FAR Manager (свободно распространяемое ПО).

56 посадочных мест

Оснащенность: Мультимедийный проектор – 1 шт., проекционная аппаратура: источник бесперебойного питания – 1 шт., экран – 1 шт., ноутбук – 1 шт., (возможность доступа к сети «Интернет»), стойка мобильная – 1 шт., стул для студентов – 56 шт., кресло преподавателя – 1 шт., стол – 29 шт., переносная настольная трибуна – 1 шт., доска настенная магнитно-маркерная – 1 шт., плакат в рамке настенный – 5 шт.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 8 Professional, Microsoft Office 2007 Professional Plus, CorelDRAW Graphics Suite X5 (Договор №559-06/10 от 15.06.2010 На поставку программного обеспечения), Autodesk product: Building Design Suite Ultimate 2016, product Key: 766H1, антивирусное программное обеспечение: Kaspersky Endpoint Security, 7-zip (свободно распространяемое ПО), Foxit Reader (свободно распространяемое ПО), SeaMonkey (свободно распространяемое ПО), Chromium (свободно распространяемое ПО), Java Runtime Environment (свободно распространяемое ПО), doPDF (свободно распространяемое ПО), GNU Image Manipulation Program (свободно распространяемое ПО), Inkscape (свободно распространяемое ПО),

XnView (свободно распространяемое ПО), K-Lite Codec Pack (свободно распространяемое ПО), FAR Manager (свободно распространяемое ПО).

52 посадочных места

Оснащенность: мультимедийный проектор – 1 шт., проекционная аппаратура: источник бесперебойного питания – 1 шт., экран – 1 шт., ноутбук – 1 шт., (возможность доступа к сети «Интернет»), стойка мобильная – 1 шт., стул для студентов – 52 шт., кресло преподавателя – 1 шт., стол – 26 шт., переносная настольная трибуна – 1 шт., доска настенная магнитно-маркерная – 1 шт., плакат в рамке настенный – 5 шт.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 8 Professional, Microsoft Office 2007 Professional Plus, CorelDRAW Graphics Suite X5, Autodesk product: Building Design Suite Ultimate 2016, product Key: 766H1, антивирусное программное обеспечение: Kaspersky Endpoint Security, 7-zip (свободно распространяемое ПО), Foxit Reader (свободно распространяемое ПО), SeaMonkey (свободно распространяемое ПО), Chromium (свободно распространяемое ПО), Java Runtime Environment (свободно распространяемое ПО), doPDF (свободно распространяемое ПО), GNU Image Manipulation Program (свободно распространяемое ПО), Inkscape (свободно распространяемое ПО), XnView (свободно распространяемое ПО), K-Lite Codec Pack (свободно распространяемое ПО), FAR Manager (свободно распространяемое ПО).

### **8.1.2. Аудитории для проведения практических занятий**

16 посадочных мест

Оснащенность: Стол компьютерный для студентов (тип 4) – 3 шт., стол компьютерный для студентов (тип 6) – 2 шт., стол компьютерный для студентов (тип 7) – 1 шт., кресло преподавателя (сетка, цвет черный) – 17 шт., доска напольная мобильная белая магнитно-маркерная «Magnetoplan» 1800мм×1200мм – 1 шт., моноблок Lenovo M93Z Intel Q87 – 17 шт., (возможность доступа к сети «Интернет»), плакат – 5 шт.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional, Microsoft Office 2007 Professional Plus; CorelDRAW Graphics Suite X5, Autodesk product: Building Design Suite Ultimate 2016, product Key: 766H1, антивирусное программное обеспечение: Kaspersky Endpoint Security, 7-zip (свободно распространяемое ПО), Foxit Reader (свободно распространяемое ПО), SeaMonkey (свободно распространяемое ПО), Chromium (свободно распространяемое ПО), Java Runtime Environment (свободно распространяемое ПО), doPDF (свободно распространяемое ПО), GNU Image Manipulation Program (свободно распространяемое ПО), Inkscape (свободно распространяемое ПО), XnView (свободно распространяемое ПО), K-Lite Codec Pack (свободно распространяемое ПО), FAR Manager (свободно распространяемое ПО), Cisco Packet Tracer 7.1 (свободно распространяемое ПО), Quantum GIS (свободно распространяемое ПО), Python (свободно распространяемое ПО), R (свободно распространяемое ПО), Rstudio (свободно распространяемое ПО), SMath Studio (свободно распространяемое ПО), GNU Octave (свободно распространяемое ПО), Scilab (свободно распространяемое ПО).

### **8.2. Помещение для самостоятельной работы**

1. Оснащенность помещения для самостоятельной работы: 13 посадочных мест. Стул – 25 шт., стол – 2 шт., стол компьютерный – 13 шт., шкаф – 2 шт., доска аудиторная маркерная – 1 шт., АРМ учебное ПК (монитор + системный блок) – 14 шт. Доступ к сети «Интернет», в электронную информационно-образовательную среду Университета.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional, Microsoft Open; Microsoft Office 2007 Professional Plus, антивирусное программное обеспечение: Kaspersky Endpoint Security, 7-zip (свободно распространяемое



ПО), Foxit Reader (свободно распространяемое ПО), SeaMonkey (свободно распространяемое ПО), Chromium (свободно распространяемое ПО), Java Runtime Environment (свободно распространяемое ПО), doPDF (свободно распространяемое ПО), GNU Image Manipulation Program (свободно распространяемое ПО), Inkscape (свободно распространяемое ПО), XnView (свободно распространяемое ПО), K-Lite Codec Pack (свободно распространяемое ПО), FAR Manager (свободно распространяемое ПО).

2. Оснащенность помещения для самостоятельной работы: 17 посадочных мест. Доска для письма маркером – 1 шт., рабочие места студентов, оборудованные ПК с доступом в сеть Университета – 17 шт., мультимедийный проектор – 1 шт., АРМ преподавателя для работы с мультимедиа – 1 шт. (системный блок, мониторы – 2 шт.), стол – 18 шт., стул – 18 шт. Доступ к сети «Интернет», в электронную информационно-образовательную среду Университета.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional; Microsoft Windows XP Professional; Microsoft Office 2007 Professional Plus, антивирусное программное обеспечение: Kaspersky Endpoint Security, 7-zip (свободно распространяемое ПО), Foxit Reader (свободно распространяемое ПО), SeaMonkey (свободно распространяемое ПО), Chromium (свободно распространяемое ПО), Java Runtime Environment (свободно распространяемое ПО), doPDF (свободно распространяемое ПО), GNU Image Manipulation Program (свободно распространяемое ПО), Inkscape (свободно распространяемое ПО), XnView (свободно распространяемое ПО), K-Lite Codec Pack (свободно распространяемое ПО), FAR Manager (свободно распространяемое ПО).

### **8.3. Помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования**

Оснащенность: персональный компьютер – 2 шт. (доступ к сети «Интернет»), монитор – 4 шт., сетевой накопитель – 1 шт., источник бесперебойного питания – 2 шт., телевизор плазменный Panasonic – 1 шт., точка Wi-Fi – 1 шт., паяльная станция – 2 шт., дрель – 5 шт., перфоратор – 3 шт., набор инструмента – 4 шт., тестер компьютерной сети – 3 шт., баллон со сжатым газом – 1 шт., паста теплопроводная – 1 шт., пылесос – 1 шт., радиостанция – 2 шт., стол – 4 шт., тумба на колесиках – 1 шт., подставка на колесиках – 1 шт., шкаф – 5 шт., кресло – 2 шт., лестница Alve – 1 шт.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional, Microsoft Office 2010 Professional Plus, антивирусное программное обеспечение: Kaspersky Endpoint Security, 7-zip (свободно распространяемое ПО), Foxit Reader (свободно распространяемое ПО), SeaMonkey (свободно распространяемое ПО), Chromium (свободно распространяемое ПО), Java Runtime Environment (свободно распространяемое ПО), doPDF (свободно распространяемое ПО), GNU Image Manipulation Program (свободно распространяемое ПО), Inkscape (свободно распространяемое ПО), XnView (свободно распространяемое ПО), K-Lite Codec Pack (свободно распространяемое ПО), FAR Manager (свободно распространяемое ПО).

### **8.4. Лицензионное программное обеспечение**

1. Microsoft Windows 7 Professional.
2. Microsoft Windows 8 Professional.
3. Microsoft Office 2007 Professional Plus.