

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»

СОГЛАСОВАНО  
ДИРЕКЦИЯ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ  
ПРОГРАММ

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе

\_\_\_\_\_ С.Т. Князев  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА МОДУЛЯ  
ЯВЛЕНИЯ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА**

<b>Перечень сведений о рабочей программе модуля</b>	<b>Учетные данные</b>
<b>Модуль</b> Явления тепломассопереноса	<b>Код модуля</b> 1126056
<b>Образовательная программа</b> Физика	<b>Код ОП</b> 03.03.02/01.02
<b>Траектория образовательной программы (ТОП)</b>	<b>ТОП 1. «Физика кинетических явлений»</b>
<b>Направление подготовки</b> Физика	<b>Код направления и уровня подготовки</b> 03.03.02
<b>Уровень подготовки</b> Бакалавриат	
<b>ФГОС ВО</b>	<b>Реквизиты приказа Минобрнауки РФ об утверждении ФГОС ВО: 07.08.2014 № 937</b>

Екатеринбург, 2016

Программа модуля составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Кафедра</b>	<b>Подпись</b>
1	Поликарпов Алексей Филиппович	к.ф.-м.н.	доцент	Общей и молекулярной физики	

**Руководитель модуля**

А.Ф. Поликарпов

**Рекомендовано учебно-методическим советом Института естественных наук**

Председатель учебно-методического совета

Е.С. Буянова

Протокол № 49 от 02.06.2016 г.

**Согласовано:**

Дирекция образовательных программ

## 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЯ Явления тепломассопереноса

1.1. Объем модуля, составляет 9 з.е.

1.2. Аннотация содержания модуля Модуль входит в вариативную часть траектории образовательной программы «Физика кинетических явлений». Модуль включает в себя четыре дисциплины: «Компьютерное моделирование молекулярных процессов», «Теплофизика», «Основы физики конденсированного состояния» и «Электронно-ионный перенос в кристаллических и аморфных твердых телах». Курс строится на знаниях, полученных при изучении дисциплин модулей «Математические основы профессиональной деятельности», «Общая физика», «Общий физический практикум», «Теоретическая физика». В рамках изучения модуля излагаются такие разделы, как теплопроводность твердых тел, методы решения нестационарного уравнения теплопроводности, стационарные задачи теплопроводности, стационарный теплообмен при наличии внутренних источников тепла, конвективный теплообмен, основные модели физики жидкого состояния, соответствующие уравнения, описывающие разнообразные условия реализации моделей жидкого состояния, метод молекулярной динамики, метод Монте-Карло.

## 2. СТРУКТУРА МОДУЛЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УЧЕБНОГО ВРЕМЕНИ ПО ДИСЦИПЛИНАМ

Наименования дисциплин с указанием, к какой части образовательной программы они относятся: базовой (Б), вариативной – по выбору вуза (ВВ), вариативной - по выбору студента (ВС).		Объем времени, отведенный на освоение дисциплин модуля								
		Семестр изучения	Аудиторные занятия, час.				Самостоятельная работа, включая все виды текущей аттестации, час.	Промежуточная аттестация (зачет, экзамен), час.	Всего по дисциплине	
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Всего			Час.	Зач. ед.
1.	(ВС) Компьютерное моделирование молекулярных процессов	8	8	40	0	48	20	Зачет, 4	72	2
2.	(ВС) Основы физики конденсированного состояния	6	9	42	0	51	17	Зачет, 4	72	2
3.	(ВС) Теплофизика	7	9	42	0	51	39	Экзамен, 18	108	3
4.	(ВС) Электронно-ионный перенос в кристаллических и аморфных твердых телах	7	9	42	0	51	17	Зачет, 4	72	2
<b>Всего на освоение модуля</b>			35	166	0	201	93	30	324	9

## 3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИН В МОДУЛЕ

<b>3.1.</b>	<b>Пререквизиты и постреквизиты в модуле</b>	
<b>3.2.</b>	<b>Корреквизиты</b>	<i>Все дисциплины, входящие в модуль, могут изучаться параллельно</i>

#### 4. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ МОДУЛЯ

##### 4.1. Планируемые результаты освоения модуля и составляющие их компетенции

<b>Коды ОП, для которых реализуется модуль</b>	<b>Планируемые в ОХОП результаты обучения -РО, которые формируются при освоении модуля</b>	<b>Компетенции в соответствии с ФГОС ВО, а также дополнительные из ОХОП, формируемые при освоении модуля</b>
03.03.02/ 01.02	РО1-Способность осуществлять научно-исследовательскую деятельность	ОК7 - способность к самоорганизации и самообразованию; ОПК2 - способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей; ПК1 - способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин.
	РО2-Способность осуществлять научно-инновационную деятельность	ОК7 - способность к самоорганизации и самообразованию; ОПК3 - способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач; ПК3 - готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований; ПК5 - способность пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований; ДПК1 - способность оценивать эффективность разработанных технологий.
	РО-О3: Способность осуществлять организационно-управленческую деятельность	ОК7 - способность к самоорганизации и самообразованию; ОПК2 - способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей; ОПК3 - способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач; ОПК4 - способность понимать сущность и значение информации в развитии современного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности; ОПК5 - способность использовать основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации и навыки работы с компьютером как со средством управления информацией; ОПК6 - способность решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности; ДПК1 - способность оценивать эффективность разработанных технологий.

РО-ТОП Способность осуществлять научные исследования процессов переноса и релаксации в материальных средах	1	ДПК2 - способность применять на практике теоретические знания и экспериментальные методы физических исследований в области физики и техники низкотемпературного эксперимента, физики неравновесных процессов в газе, жидкости и твердом теле; ДПК4 - владеть основами экспериментальных методов теплофизических и электромагнитных измерений.
---	---	--

#### 4.2. Распределение формирования компетенций по дисциплинам модуля

Дисциплины модуля		ОК-7	ОПК-2	ОПК-3	ОПК-4	ОПК-5	ОПК-6	ПК-1	ПК-3	ПК-5	ДПК-1	ДПК-2	ДПК-4
1	(ВС) Компьютерное моделирование молекулярных процессов	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
2	(ВС) Основы физики конденсированного состояния	*	*	*				*	*			*	*
3	(ВС) Теплофизика	*		*				*	*			*	*
4	(ВС) Электронно-ионный перенос в кристаллических и аморфных твердых телах	*		*				*	*			*	

#### 5. ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО МОДУЛЮ

Не предусмотрено

#### 6. ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ В РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ МОДУЛЯ

Номер листа изменений	Номер протокола заседания проектной группы модуля	Дата заседания проектной группы модуля	Всего листов в документе	Подпись руководителя проектной группы модуля

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**ТЕПЛОФИЗИКА**

<b>Перечень сведений о рабочей программе дисциплины</b>	<b>Учетные данные</b>
<b>Модуль</b> Явления тепломассопереноса	<b>Код модуля</b> 1126056
<b>Образовательная программа</b> Физика	<b>Код ОП</b> 03.03.02/01.02
<b>Направление подготовки</b> Физика	<b>Код направления и уровня подготовки</b> 03.03.02
<b>Уровень подготовки</b> Бакалавриат	
<b>ФГОС ВО</b>	<b>Реквизиты приказа Минобрнауки РФ об утверждении ФГОС ВО:</b> <b>07.08.2014 № 937</b>

Екатеринбург, 2016

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Кафедра</b>	<b>Подпись</b>
1	Поликарпов Алексей Филиппович	к.ф.-м.н.	доцент	Общей и молекулярной физики	

**Руководитель модуля**

А.Ф. Поликарпов

**Рекомендовано учебно-методическим советом Института естественных наук**

Председатель учебно-методического совета

Е.С. Буянова

Протокол № 49 от 02.06.2016 г.

**Согласовано:**

Дирекция образовательных программ

# 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛИНЫ Теплофизика

## 1.1. Аннотация содержания дисциплины

Дисциплина входит в Модуль по выбору «Явления тепломассопереноса» Траектории образовательной программы «Физика кинетических явлений». Теплофизика изучается в 7 семестре. Курс строится на знаниях, полученных при изучении дисциплин обязательных модулей «Общая физика», «Общий физический практикум», «Теоретическая физика», обязательных модулей Траектории образовательной программы «Физика кинетических явлений» «Кинетические явления в неупорядоченных средах», «Кинетические явления в твердых телах», «Экспериментальные методы в физике». В рамках дисциплины излагаются такие разделы, как теплопроводность твердых тел, методы решения нестационарного уравнения теплопроводности, стационарные задачи теплопроводности, стационарный теплообмен при наличии внутренних источников тепла, конвективный теплообмен.

## 1.2. Язык реализации программы - русский

## 1.3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Результатом обучения в рамках дисциплины является формирование у студента следующих компетенций:

ОК7 - способность к самоорганизации и самообразованию;

ОПК3 - способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач;

ПК1 - способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин;

ПК3 - готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований;

ДПК2 - способность применять на практике теоретические знания и экспериментальные методы физических исследований в области физики и техники низкотемпературного эксперимента, физики неравновесных процессов в газе, жидкости и твердом теле;

ДПК4 - владеть основами экспериментальных методов теплофизических и электромагнитных измерений.

В результате освоения дисциплины студент должен:

Знать: теоретические основы, основные понятия, законы и модели теплофизики

Уметь: использовать математический аппарат для освоения теоретических основ и практического использования физических методов разрабатывать стратегию научных исследований; проводить расчеты основных физических величин, характеризующих равновесные и неравновесные свойства твердых тел, жидкостей и газов на основе существующих моделей.

Владеть (демонстрировать навыки и опыт деятельности): Владеть экспериментальными и теоретическими методами исследования процессов переноса тепла в твердых телах, жидкостях и газах

## 1.4. Объем дисциплины

Очная форма обучения

№ п/п	Виды учебной работы	Объем дисциплины		Распределение объема дисциплины по семестрам (час.)
		Всего часов	В т.ч. контактная работа (час.)*	7



1.	Аудиторные занятия	51	51	51
2.	Лекции	9	9	9
3.	Практические занятия	42	42	42
4.	Лабораторные работы			
5.	Самостоятельная работа студентов, включая все виды текущей аттестации	39	7,65	39
6.	Промежуточная аттестация	18	2,33	Э,18
7.	Общий объем по учебному плану, час.	108	60,98	108
8.	Общий объем по учебному плану, з.е.	3		3

## 2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная форма обучения

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	Введение	<i>Предмет теплофизики.</i> Определение основных понятий курса. Задачи курса.
P2	Теплопроводность твердых тел.	Температурное поле, градиент температуры, закон Фурье, коэффициент теплопроводности. Вывод уравнения теплопроводности. Начальные и граничные условия к уравнению теплопроводности.
P3	Методы решения нестационарного уравнения теплопроводности.	Охлаждение (нагревание) неограниченной пластины. Решение для однородно прогретой пластины. Анализ решения для однородно прогретой пластины, внешняя и внутренняя задачи, оценка времени остывания. Вычисление потока тепла через поверхность. Вычисление количества отданного (полученного) тепла телом. Охлаждение (нагревание) бесконечно длинного цилиндра. Охлаждение (нагревание) шара. Охлаждение (нагревание) тел конечных размеров. Принцип стабильности теплового потока. Обобщение полученных результатов. Регулярный режим, теоремы Кондратьева. Преобразование Лапласа и его свойства. Теоремы разложения. Решение простейших дифференциальных уравнений с помощью преобразования Лапласа. Охлаждение (нагревание) бесконечной пластины. Решение с помощью преобразования Лапласа. Охлаждение (нагревание) бесконечной пластины. Температура среды - линейная функция времени. Решение с помощью преобразования Лапласа. Охлаждение (нагревание) бесконечной пластины. Температура среды – экспоненциальная функция времени. Решение с помощью преобразования Лапласа. Температурные волны. Неограниченная пластина. Температура среды – простая гармоническая функция времени. Расчет распределения температуры в полуограниченном стержне с помощью преобразования Лапласа.
P4	Стационарные задачи теплопроводности.	Теплопередача через плоскую стенку. Многослойная стенка, последовательное и параллельное соединение теплопроводников. Теплопередача через плоскую стенку с учетом зависимости коэффициента теплопроводности от температуры.

		<p>Теплопередача через плоскую стенку при граничных условиях второго (слева) и третьего (справа) рода.</p> <p>Теплопередача через цилиндрическую стенку.</p> <p>Многослойная цилиндрическая стенка, критический диаметр тепловой изоляции цилиндрической стенки.</p> <p>Теплопередача через сферическую стенку при граничных условиях первого и третьего рода. Многослойная сферическая стенка, критический радиус теплоизоляции сферической стенки.</p> <p>Теплопередача от стержня постоянного поперечного сечения (аналог оребрения).</p>
<b>Р5</b>	Стационарный теплообмен при наличии внутренних источников тепла.	<p>Однородная бесконечная пластина.</p> <p>Сплошной цилиндр с источниками тепла.</p> <p>Температурное поле сплошного цилиндра с источниками тепла и зависимостью коэффициента теплопроводности от температуры.</p> <p>Теплообмен цилиндрической стенки с источниками тепла и граничными условиями III рода; при известном радиусе максимума распределения температуры.</p>
<b>Р6</b>	Конвективный теплообмен.	<p>Система уравнений конвективного теплообмена, гидродинамический и тепловой пограничный слой.</p> <p>Безразмерная форма уравнений конвективного теплообмена.</p> <p>Критерии подобия.</p> <p>Критериальная форма дифференциальных уравнений конвективного теплообмена.</p> <p>Тепловое и гидродинамическое подобие.</p> <p>Теплопередача при свободном движении жидкости в большом объеме.</p> <p>Теплоотдача при вынужденном ламинарном омывании плоской горизонтальной поверхности. Критериальные формулы для определения коэффициентов теплоотдачи для различных простых случаев теплообмена твердого тела и жидкости (газа).</p>

### 3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УЧЕБНОГО ВРЕМЕНИ

#### 3.1. Распределение аудиторной нагрузки и мероприятий самостоятельной работы по разделам дисциплины

Для очной формы обучения

Раздел дисциплины		Аудиторные занятия (час.)					Самостоятельная работа: виды, количество и объемы мероприятий																									
Код раздела, темы	Наименование раздела, темы	Всего по разделу, теме (час.)	Всего аудиторной работы (час.)	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Всего самостоятельной работы студентов (час.)	Подготовка к аудиторным занятиям (час.)					Выполнение самостоятельных внеаудиторных работ (колич.)								Подготовка к контрольным мероприятиям текущей аттестации (колич.)			Подготовка к промежуточной аттестации по дисциплине (час.)		Подготовка в рамках дисциплины к промежуточной аттестации по модулю (час.)						
								Всего (час.)	Лекция	Практ., семинар. занятие	Лабораторное занятие	Н/и семинар. семинар-конфер., коллоквиум (магистратура)	Всего (час.)	Домашняя работа*	Графическая работа*	Реферат, эссе, творч. работа*	Проектная работа*	Расчетная работа, разработка программного продукта*	Расчетно-графическая работа*	Домашняя работа на иностр. языке*	Перевод инояз. литературы*	Курсовая работа*	Курсовой проект*	Всего (час.)	Контрольная работа*	Коллоквиум*	Зачет	Экзамен	Интегрированный экзамен по модулю	Проект по модулю		
P1	Введение	1,2	1	1	0		0,2	0,2	0,2																							
P2	Теплопроводность твердых тел.	2,4	2	2	0		0,4	0,4	0,4																							
P3	Методы решения нестационарного уравнения теплопроводности.	54,6	32	2	30		22,6	16,6	0,4	16,2											6	1										
P4	Стационарные задачи теплопроводности.	29,4	14	2	12		15,4	9,4	0,4	9											6	1										
P5	Стационарный теплообмен при наличии внутренних источников тепла.	1,2	1	1	0		0,2	0,2	0,2																							
P6	Конвективный теплообмен.	1,2	1	1	0		0,2	0,2	0,2																							
	<b>Всего (час), без учета промежуточной аттестации:</b>	<b>90</b>	<b>51</b>	<b>9</b>	<b>42</b>	<b>0</b>	<b>39</b>	<b>27</b>	<b>1,8</b>	<b>25,2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>0</b>									
	<b>Всего по дисциплине (час.):</b>	<b>108</b>	<b>51</b>				<b>57</b>																									
В т.ч. промежуточная аттестация																						<b>0</b>	<b>18</b>	<b>0</b>	<b>0</b>							

\*Суммарный объем в часах на мероприятие указывается в строке «Всего (час.) без учета промежуточной аттестации»

#### 4. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ, САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

##### 1.1. Лабораторные работы

*Не предусмотрено*

##### 1.2. Практические занятия

Код раздела, темы	Номер занятия	Тема занятия	Время на проведение занятия (час.)
РЗ	1-4	Расчет температурного поля внутри неограниченной пластины методом Фурье	8
РЗ	5-7	Расчет температурного поля внутри сплошного и полого цилиндра методом Фурье	6
РЗ	8-10	Расчет температурного поля внутри шара и неограниченного стержня методом Фурье	6
РЗ	11-15	Расчет температурного поля внутри тел простейших геометрий (пластины, цилиндра, шара) методом Лапласа	10
Р4	16-21	Расчет стационарного температурного поля внутри неограниченно пластины для нестационарных граничных условий	12
<b>Всего:</b>			42

##### 4.3. Примерная тематика самостоятельной работы

###### 4.3.1. Примерный перечень тем домашних работ

*не предусмотрено*

###### 4.3.2. Примерный перечень тем графических работ

*не предусмотрено*

###### 4.3.3. Примерный перечень тем рефератов (эссе, творческих работ)

*не предусмотрено*

###### 4.3.4. Примерная тематика индивидуальных или групповых проектов

*не предусмотрено*

###### 4.3.5. Примерный перечень тем расчетных работ (программных продуктов)

*не предусмотрено*

###### 4.3.6. Примерный перечень тем расчетно-графических работ

*не предусмотрено*

###### 4.3.7. Примерный перечень тем курсовых проектов (курсовых работ)

*не предусмотрено*

###### 4.3.8. Примерная тематика контрольных работ

###### Контрольная работа №1

Расчет температурного поля внутри тел простейших геометрий (пластины, цилиндра, шара) методом Лапласа и Фурье.

###### Контрольная работа №2

Расчет стационарного температурного поля внутри неограниченно пластины для нестационарных граничных условий.

###### 4.3.9. Примерная тематика коллоквиумов

*не предусмотрено*

## 5. СООТНОШЕНИЕ РАЗДЕЛОВ, ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ПРИМЕНЯЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБУЧЕНИЯ

Код раздела, темы дисциплины	Активные методы обучения					Дистанционные образовательные технологии и электронное обучение						
	Проектная работа	Кейс-анализ	Деловые игры	Проблемное обучение	Командная работа	Другие (указать, какие)	Сетевые учебные курсы	Виртуальные практикумы и тренажеры	Вебинары и видеоконференции	Асинхронные web-конференции и семинары	Совместная работа и разработка контента	Другие (указать, какие)
P1-P6				*	*							

## 6. ПРОЦЕДУРЫ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ (Приложение 1)

## 7. ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ В РАМКАХ НЕЗАВИСИМОГО ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ (Приложение 2)

## 8. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (Приложение 3)

## 9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 9.1.Рекомендуемая литература

#### 9.1.1.Основная литература

1. Ермаков Г.В. Термодинамические свойства и кинетика вскипания перегретых жидкостей. Учебное пособие. Екатеринбург: Издательство УрГУ, 1995. 71 экз
2. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Теплообмен. Учебное пособие для вузов. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: Издательство МЭИ, 2005 50 экз.
3. Черняк, В.Г. Механика сплошных сред : учебное пособие / В.Г. Черняк, П.Е. Суетин. - Москва : Физматлит, 2006. - 352 с. - ISBN 5-9221-0714-3 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=69276>
4. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. М.: Энергоиздат, 1981. 64 экз

#### 9.1.2.Дополнительная литература

1. Леонтович М.А. Введение в термодинамику. Статистическая физика. М.: Наука, 1983. 15 экз.
2. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. М.: 1979. 23 экз
3. Варакин, А.Ю. Столкновения в потоках газа с твердыми частицами / А.Ю. Варакин. - Москва : Физматлит, 2008. - 309 с. - ISBN 978-5-9221-0944-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68144>

### 9.2.Методические разработки

*не используются*

### 9.3.Программное обеспечение

*не используются*

### 9.4. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

Зональная научная библиотека УрФУ [lib.urfu.ru](http://lib.urfu.ru)  
Электронная библиотека УрФУ [orac.urfu.ru](http://orac.urfu.ru)

### **9.5. Электронные образовательные ресурсы**

*не используются*

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

#### **Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием**

Имеются аудитории, оснащенные мультимедийной техникой, а также компьютерные классы для проведения практических занятий.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1**  
к рабочей программе дисциплины

**6. ПРОЦЕДУРЫ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ В РАМКАХ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**6.1. Весовой коэффициент значимости дисциплины – 1**

**6.2. Процедуры текущей и промежуточной аттестации по дисциплине**

<b>1. Лекции: коэффициент значимости совокупных результатов лекционных занятий – 0.6</b>		
<b>Текущая аттестация на лекциях</b>	<b>Сроки – семестр, учебная неделя</b>	<b>Максимальная оценка в баллах</b>
Посещение лекций	7, 1-17	80
Активная работа на занятиях	7, 7-17	20
<b>Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по лекциям – 0.4</b>		
<b>Промежуточная аттестация по лекциям – экзамен</b>		
<b>Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по лекциям – 1</b>		
<b>2. Практические/семинарские занятия: коэффициент значимости совокупных результатов практических/семинарских занятий – 0.4</b>		
<b>Текущая аттестация на практических/семинарских занятиях</b>	<b>Сроки – семестр, учебная неделя</b>	<b>Максимальная оценка в баллах</b>
Посещение занятий	7, 1-17	20
Контрольная работа №1	7, 12-13	40
Контрольная работа №2	7, 16-17	40
<b>3. Лабораторные занятия: коэффициент значимости совокупных результатов лабораторных занятий – не предусмотрены</b>		

**6.3. Процедуры текущей и промежуточной аттестации курсовой работы/проекта**  
Не предусмотрены

**6.4. Коэффициент значимости семестровых результатов освоения дисциплины**

<b>Порядковый номер семестра по учебному плану, в котором осваивается дисциплина</b>	<b>Коэффициент значимости результатов освоения дисциплины в семестре</b>
Семестр 7	1

## **7. ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ В РАМКАХ НЕЗАВИСИМОГО ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ**

*Дисциплина и ее аналоги, по которым возможно тестирование, отсутствуют на сайте ФЭПО <http://fepo.i-exam.ru>.*

*Дисциплина и ее аналоги, по которым возможно тестирование, отсутствуют на сайте Интернет-тренажеры <http://training.i-exam.ru>.*

*Дисциплина и ее аналоги, по которым возможно тестирование, отсутствуют на портале СМУДС УрФУ.*

*В связи с отсутствием Дисциплины и ее аналогов, по которым возможно тестирование, на сайтах ФЭПО, Интернет-тренажеры и портале СМУДС УрФУ, тестирование в рамках НТК не проводится.*



## **8. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

### **8.1. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ КОНТРОЛЬНО-ОЦЕНОЧНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ В РАМКАХ БРС**

В рамках БРС применяются утвержденные на кафедре критерии оценивания достижений студентов по каждому контрольно-оценочному мероприятию. Система критериев оценивания, как и при проведении промежуточной аттестации по модулю, опирается на три уровня освоения компонентов компетенций: пороговый, повышенный, высокий.

<b>Компоненты компетенций</b>	<b>Признаки уровня освоения компонентов компетенций</b>		
	<b>пороговый</b>	<b>повышенный</b>	<b>высокий</b>
<b>Знания</b>	Студент демонстрирует знание-знакомство, знание-копию: узнает объекты, явления и понятия, находит в них различия, проявляет знание источников получения информации, может осуществлять самостоятельно репродуктивные действия над знаниями путем самостоятельного воспроизведения и применения информации.	Студент демонстрирует аналитические знания: уверенно воспроизводит и понимает полученные знания, относит их к той или иной классификационной группе, самостоятельно систематизирует их, устанавливает взаимосвязи между ними, продуктивно применяет в знакомых ситуациях.	Студент может самостоятельно извлекать новые знания из окружающего мира, творчески их использовать для принятия решений в новых и нестандартных ситуациях.
<b>Умения</b>	Студент умеет корректно выполнять предписанные действия по инструкции, алгоритму в известной ситуации, самостоятельно выполняет действия по решению типовых задач, требующих выбора из числа известных методов, в предсказуемо изменяющейся ситуации	Студент умеет самостоятельно выполнять действия (приемы, операции) по решению нестандартных задач, требующих выбора на основе комбинации известных методов, в непредсказуемо изменяющейся ситуации	Студент умеет самостоятельно выполнять действия, связанные с решением исследовательских задач, демонстрирует творческое использование умений (технологий)
<b>Личностные качества</b>	Студент имеет низкую мотивацию учебной деятельности, проявляет безразличное, безответственное отношение к учебе, порученному делу	Студент имеет выраженную мотивацию учебной деятельности, демонстрирует позитивное отношение к обучению и будущей трудовой деятельности, проявляет активность.	Студент имеет развитую мотивацию учебной и трудовой деятельности, проявляет настойчивость и увлеченность, трудолюбие, самостоятельность, творческий подход.

### **8.2. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НЕЗАВИСИМОГО ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ**

НТК не используется

### **8.3. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ**

**8.3.1. Примерные задания для проведения мини-контрольных в рамках учебных занятий** *не предусмотрено*

**8.3.2. Примерные контрольные задачи в рамках учебных занятий** *не предусмотрено*

**8.3.3. Примерные контрольные кейсы** *не предусмотрено*

**8.3.4. Перечень примерных вопросов для зачета** *не предусмотрено*

**8.3.5. Перечень примерных вопросов для экзамена**

1. Температурное поле, градиент температуры, закон Фурье, коэффициент теплопроводности. Вывод уравнения теплопроводности. Начальные и граничные условия к уравнению теплопроводности.
2. Метод Фурье решения нестационарного уравнения теплопроводности. Охлаждение (нагревание) неорганической пластины. Решение для однородно прогретой пластины.
3. Решение нестационарного уравнения теплопроводности для однородно прогретой бесконечной пластины. Анализ решения, внешняя и внутренняя задачи, оценка времени остывания.
4. Преобразование Лапласа и его свойства. Теоремы разложения. Охлаждение (нагревание) бесконечной пластины. Решение с помощью преобразования Лапласа.
5. Вычисление потока тепла через поверхность. Вычисление количества отданного (полученного) тепла телом.
6. Температурные волны. Неограниченная пластина. Температура среды – простая гармоническая функция времени. Решение методом преобразования Лапласа.
- 7 Теплопередача через цилиндрическую стенку. Многослойная цилиндрическая стенка, критический диаметр цилиндрической стенки.
- 8 Теплообмен цилиндрической стенки с источниками тепла и граничными условиями III рода. Решение для случая, когда известен максимум распределения.
- 8 Система уравнений конвективного теплообмена, гидродинамический и тепловой пограничный слой. Безразмерная форма уравнений конвективного теплообмена. Критерии подобия.
9. Обобщение результатов, полученных методом Фурье. Регулярный режим, теоремы Кондратьева.
- 10 Безразмерная форма уравнений конвективного теплообмена. Критерии подобия. Критериальная форма дифференциальных уравнений конвективного теплообмена. Тепловое и гидродинамическое подобие.
- 11 Охлаждение (нагревание) тел конечных размеров. Принцип стабильности теплового потока.

**8.3.6. Ресурсы АПИМ УрФУ, СКУД УрФУ для проведения тестового контроля в рамках текущей и промежуточной аттестации** *не используются*

**8.3.7. Ресурсы ФЭПО для проведения независимого тестового контроля** *не используются*

**8.3.8. Интернет-тренажеры** *не используются*

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ПРОЦЕССОВ**

<b>Перечень сведений о рабочей программе дисциплины</b>	<b>Учетные данные</b>
<b>Модуль</b> Явления тепломассопереноса	<b>Код модуля</b> 1126056
<b>Образовательная программа</b> Физика	<b>Код ОП</b> 03.03.02/01.02
<b>Направление подготовки</b> Физика	<b>Код направления и уровня подготовки</b> 03.03.02
<b>Уровень подготовки</b> Бакалавриат	
<b>ФГОС ВО</b>	<b>Реквизиты приказа Минобрнауки РФ об утверждении ФГОС ВО:</b> <b>07.08.2014 № 937</b>

Екатеринбург, 2016

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Кафедра</b>	<b>Подпись</b>
1	Проценко Сергей Павлович	Кандидат физ.- мат. наук, ст.н.с.	Доцент	общей и молекулярной физики	

**Руководитель модуля**

А.Ф. Поликарпов

**Рекомендовано учебно-методическим советом Института естественных наук**

Председатель учебно-методического совета

Е.С. Буянова

Протокол № 49 от 02.06.2016 г.

**Согласовано:**

Дирекция образовательных программ

## **1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛИНЫ** Компьютерное моделирование молекулярных процессов

### **1.2. Аннотация содержания дисциплины**

Дисциплина «Компьютерное моделирование молекулярных процессов» предполагает:

дать информацию о принципах построения стохастических и динамических моделей молекулярных систем и их реализацией в форме методов Монте-Карло и молекулярной динамики;

продемонстрировать достоинства компьютерных моделей, связанные с одновременным получением данных о термодинамических свойствах, структуре и динамике движения молекул;

рассмотреть результаты применения методов компьютерных экспериментов для исследования в областях состояний, недоступных натурному эксперименту; теоретически и практически освоить методы построения моделей систем взаимодействующих частиц, базирующиеся на первых принципах молекулярно-кинетической теории вещества, и проведение моделирования молекулярных процессов.

### **1.2. Язык реализации программы - русский**

### **1.3. Планируемые результаты обучения по дисциплине**

Результатом обучения в рамках дисциплины является формирование у студента следующих компетенций:

ОК7 - способность к самоорганизации и самообразованию;

ОПК2 - способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей;

ОПК3 - способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач;

ОПК4 - способность понимать сущность и значение информации в развитии современного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности;

ОПК5 - способность использовать основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации и навыки работы с компьютером как со средством управления информацией;

ОПК6 - способность решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности;

ПК1 - способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин.

ПК3 - готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований;

ПК5 - способность пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований;

ДПК1 - способность оценивать эффективность разработанных технологий.

ДПК2 - способность применять на практике теоретические знания и экспериментальные методы физических исследований в области физики и техники низкотемпературного эксперимента, физики неравновесных процессов в газе, жидкости и твердом теле.

В результате освоения дисциплины студент должен:

Знать:

теоретические основы, основные понятия, законы и модели физики твердого тела, структурного анализа, кинетики фазовых переходов, теплофизики, термодинамики необратимых процессов, кинетических явлений в полупроводниках, физики диэлектриков,

кинетической теории газа, компьютерного моделирования молекулярных процессов, резонансных методов в физике.

Уметь:

- пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и моделями физики твердого тела, структурного анализа, кинетики фазовых переходов, теплофизики, термодинамики необратимых процессов, кинетических явлений в полупроводниках, физики диэлектриков, кинетической теории газа, компьютерного моделирования молекулярных процессов, резонансных методов в физике;
- проводить расчеты основных физических величин, характеризующих равновесные и неравновесные свойства твердых тел, жидкостей и газов на основе молекулярных моделей;
- самостоятельно и в составе научно-производственного коллектива решать конкретные задачи профессиональной деятельности при выполнении физических исследований (в соответствии с профилями).

Владеть (демонстрировать навыки и опыт деятельности):

- экспериментальными и теоретическими методами исследования процессов переноса и релаксации в твердых телах, жидкостях и газах;
- способностью разрабатывать физико-математические модели и проводить расчет свойств молекулярных систем и происходящих в них процессов.

#### 1.4. Объем дисциплины

Очная форма обучения

№ п/п	Виды учебной работы	Объем дисциплины		Распределение объема дисциплины по семестрам (час.)
		Всего часов	В т.ч. контактная работа (час.)*	8
1.	Аудиторные занятия	48	48	48
2.	Лекции	8	8	8
3.	Практические занятия	40	40	40
4.	Лабораторные работы			
5.	Самостоятельная работа студентов, включая все виды текущей аттестации	20	7.20	20
6.	Промежуточная аттестация	4	0.25	3,4
7.	Общий объем по учебному плану, час.	72	55.45	72
8.	Общий объем по учебному плану, з.е.	2		2

## 2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная форма обучения

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
I	Введение	Предмет и задачи методов компьютерного моделирования. Место компьютерных экспериментов (методов компьютерного моделирования) в молекулярной физике.
II	Описание	Наблюдаемые значения. Усреднение функций

	молекулярных систем на базе первых принципов молекулярно-кинетической теории вещества.	динамических переменных по ансамблю и по времени. Эргодичность. Базовые методы моделирования. Детерминистические и стохастические методы моделирования. Описание модельных систем. Размерный эффект. Граничные условия. Периодические граничные условия. Потенциалы межмолекулярного взаимодействия в компьютерных моделях. Определение потенциальной энергии системы взаимодействующих частиц. Правило ближайшего образа. Обрезание короткодействующего потенциала взаимодействия. Учет бесконечного однородного окружения поправкой к потенциальной энергии. Потенциал Леннард-Джонса, его модификация в компьютерной модели. Параметры потенциала Леннард-Джонса. Приведенные единицы.
III	Стохастические модели вещества.	Метод Монте-Карло для канонического ансамбля. Метод Монте-Карло. Марковский процесс. Среднее по цепи Маркова. Переходная вероятность в случае NVT-ансамбля. Задание начальной конфигурации. Способ изменения состояния. Условия принятия состояния. Алгоритм МК моделирования в NVT-ансамбле. Метод Монте-Карло для NpT- ансамбля. Интеграл движения в NpT- ансамбле. Способ изменения состояния в NpT-ансамбле. Переходная вероятность в случае NpT-ансамбля. Алгоритм МК моделирования в случае NpT-ансамбля. Метод Монте-Карло для большого канонического ансамбля. Независимые переменные в БКА. Способы изменения состояния в МК модели БКА-ансамбля. Переходные вероятности для случаев рождения и уничтожения частицы. Модели Изинга. Гамильтониан модели Изинга. Алгоритм метода МК для модели Изинга.
IV	Динамические модели вещества.	Метод молекулярной динамики, общие положения. Первая гипотеза классической молекулярной теории и усреднение функций динамических переменных по времени. Уравнения движения системы взаимодействующих частиц. Введение в численные методы решения дифференциальных уравнений. Разложение функции в ряд Тейлора. Одношаговая схема численного интегрирования дифференциального уравнения. Двухшаговая схема численного интегрирования дифференциального уравнения. Метод молекулярной динамики для микроканонического ансамбля Численные схемы интегрирования уравнений движения. Алгоритм Верле для NVE-ансамбля. Алгоритм Бимона для NVE-ансамбля. Задание начальных условий (координат, скоростей). Выбор временного шага интегрирования. Ускорение частиц под действием межмолекулярных взаимодействий. Оптимизация МД эксперимента. Список взаимодействующих соседей. Молекулярно-динамическое моделирование в изотермических условиях. Дифференциальные уравнения движения с диссипативной силой. Условие постоянства мгновенного значения температуры. Молекулярно-динамическое моделирование в изобарических условиях (в изобарически-изоэнтальпическом ансамбле).

		Гамильтониан системы с масштабируемым объемом, обобщенная масса. Хаотизация нелинейных систем. Хаотическое движение динамических систем. Логистическое уравнение, одномерное отображение, устойчивая неподвижная точка, бифуркация, аттрактор. Хаотизация и необратимость в механической системе взаимодействующих частиц.
V	Термодинамические, кинетические и структурные свойства в молекулярных моделях.	Термодинамические параметры. Потенциальная, внутренняя, кинетическая энергии, вириал, температура, давление. Флуктуации термодинамических величин. Теплоемкость $C_v$ , термический коэффициент давления, изотермическая и адиабатическая сжимаемости. Простые свойства переноса. Среднеквадратичное смещение. Автокорреляционная функция скорости. Определение коэффициента самодиффузии. Частотный спектр. Структурные свойства. Функция радиального распределения. Координационное число. Структурный фактор. Метод статистической геометрии. Визуализация траекторий движения.
VI	Программная реализация молекулярно-динамической модели.	Пакет LAMMPS для параллельного молекулярно-динамического моделирования систем на многопроцессорных вычислительных системах.
VII	Применение молекулярно-динамического моделирования для исследования однородных и микрогетерогенных систем.	Термодинамические и структурные свойства конденсированных фаз. Частота зародышеобразования и ее связь с характеристиками микрофазы. Зародышевая микрокапля как объект молекулярного моделирования. Зародышевая микрокапля в равновесии с паром. Профиль плотности микрогетерогенной системы. Зависимости плотности жидкости и пара от радиуса межфазной поверхности. Температурная зависимость поверхностного натяжения на искривленной и плоской границе раздела фаз. Зависимость поверхностного натяжения от радиуса межфазной поверхности и ее асимптотика.

### 3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УЧЕБНОГО ВРЕМЕНИ

#### 3.2. Распределение аудиторной нагрузки и мероприятий самостоятельной работы по разделам дисциплины

Очная форма обучения



Раздел дисциплины		Аудиторные занятия (час.)				Самостоятельная работа: виды, количество и объемы мероприятий																																	
Код раздела, темы	Наименование раздела, темы	Всего по разделу, теме (час.)	Всего аудиторной работы (час.)				Всего самостоятельной работы студентов (час.)	Подготовка к аудиторным занятиям (час.)					Выполнение самостоятельных внеаудиторных работ (колич.)							Подготовка к контрольным мероприятиям текущей аттестации (колич.)			Подготовка к промежуточной аттестации по дисциплине (час.)	Подготовка в рамках дисциплины к промежуточной аттестации по модулю (час.)															
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Всего (час.)		Лекция	Практ., семинар, занятие	Лабораторное занятие	Н/и семинар, семинар-конференция, коллоквиум (магистратура)	Всего (час.)	Домашняя работа*	Графическая работа*	Реферат, эссе, творч. работа*	Проектная работа*	Расчетная работа, разработка программного продукта*	Расчетно-графическая работа*	Домашняя работа на иностр. языке*	Перевод иностр. литературы*	Курсовая работа*	Курсовой проект*			Всего (час.)	Контрольная работа*	Коллоквиум*												
																												Зачет	Экзамен	Интегрированный экзамен по модулю	Проект по модулю								
I	Введение.	1,3	1	1		0,3	0,3	0,3	0																														
II	Описание молекулярных систем на базе первых принципов молекулярно-кинетической теории вещества.	5,2	4	1	3	1,2	1,2	0,3	0,9																														
III	Стохастические модели вещества.	5,2	4	1	3	1,2	1,2	0,3	0,9																														
IV	Динамические модели вещества.	15,6	12	2	10	3,6	3,6	0,6	3																														
V	Термодинамические, кинетические и структурные свойства в молекулярных моделях.	11,1	7	1	6	4,1	2,1	0,3	1,8																														
VI	Программная реализация молекулярно-динамической модели.	14,8	10	1	9	4,8	2,8	0,3	2,5																														
VII	Применение молекулярно-динамического моделирования для исследования однородных и микрогетерогенных систем.	14,8	10	1	9	4,8	2,8	0,3	2,5																														
	<b>Всего (час), без учета промежуточной аттестации:</b>	<b>68</b>	<b>48</b>	<b>8</b>	<b>40</b>	<b>0</b>	<b>20</b>	<b>14</b>	<b>2,4</b>	<b>11,6</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	<b>Всего по дисциплине (час.):</b>	<b>72</b>	<b>48</b>			<b>24</b>	В т.ч. промежуточная аттестация																<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>													

#### 4. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ, САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

##### 1.3. Лабораторные работы

не предусмотрено

##### 1.4. Практические занятия

Код раздела, темы	Номер занятия	Тема занятия	Время на проведение занятия (час.)
II	1-2	Определение потенциальной энергии системы взаимодействующих частиц. Правило ближайшего образа. Обрезание короткодействующего потенциала взаимодействия. Учет бесконечного однородного окружения поправкой к потенциальной энергии. Потенциал Леннарда-Джонса, его модификация в компьютерной модели. Параметры потенциала Леннарда-Джонса. Приведенные единицы.	3
III	2-3	Метод Монте-Карло для $NpT$ - ансамбля.	3
IV	4-8	Ускорение частиц под действием межмолекулярных взаимодействий. Оптимизация МД эксперимента. Список взаимодействующих соседей. Молекулярно-динамическое моделирование в изотермических условиях.	10
V	9-10	Флуктуации термодинамических величин. Теплоемкость $C_v$ , термический коэффициент давления, изотермическая и адиабатическая сжимаемости.	3
V	10-11	Структурный фактор. Метод статистической геометрии.	3
VI	12-13	Управление пакетом параллельного молекулярно-динамического моделирования LAMMPS. Принципы распараллеливания.	4
VI	14-16	Команды пакета LAMMPS для расчета потенциальной и кинетической энергии, давления, функции радиального распределения. Разработка скрипта для моделирования леннарда-джонсовской системы.	5
VII	16-20	Фазовая диаграмма простой однокомпонентной системы. Области существования фаз в однородных стабильных и метастабильных состояниях.	9
<b>Всего:</b>			40

##### 4.3. Примерная тематика самостоятельной работы

##### 4.3.1. Примерный перечень тем домашних работ

##### Домашняя работа №1

##### Задание 1.

Наблюдение и исследование ближнего порядка в модели жидкой фазы. Определение поправки на однородное окружение за пределами действия модельного потенциала.

##### Задание 2.

Оптимизация молекулярно-динамической модели с использованием списка взаимодействующих соседей в случаях исследования конденсированной и газовой фаз.

**Задание 3.**

Исследование установления равновесного распределения по скоростям и измерение его характеристик.

**Задание 4.**

Исследование зависимости свойств от размера модельной системы.

**Домашняя работа №2****Задание 5.**

Хаотизация нелинейных систем. Разработка программы и исследование логистического уравнения.

**Задание 6.**

Разработка простой программы для реализации алгоритма метода Монте-Карло в NVT-ансамбле.

**Задание 7.**

Исследование процесса релаксации пространственной микронеоднородности.

**Домашняя работа №3****Задание 8.**

Расчет термодинамических, структурных и кинетических свойств газовой фазы с использованием молекулярно-динамической модели.

**Задание 9.**

Расчет термодинамических, структурных и кинетических свойств жидкой фазы с использованием молекулярно-динамической модели.

**Задание 10.**

Расчет термодинамических, структурных и кинетических свойств кристаллической фазы с использованием молекулярно-динамической модели.

**Задание 11.**

Сравнение молекулярной структуры и динамики молекул в жидком и кристаллическом состояниях с одинаковой плотностью.

**4.3.2. Примерный перечень тем графических работ**

не предусмотрено

**4.3.3. Примерный перечень тем рефератов (эссе, творческих работ)**

не предусмотрено

**4.3.4. Примерная тематика индивидуальных или групповых проектов**

не предусмотрено

**4.3.5. Примерный перечень тем расчетных работ (программных продуктов)**

не предусмотрено

**4.3.6. Примерный перечень тем расчетно-графических работ**

не предусмотрено

**4.3.7. Примерный перечень тем курсовых проектов (курсовых работ)**

не предусмотрено

**4.3.8. Примерная тематика контрольных работ**

не предусмотрено

**4.3.9. Примерная тематика коллоквиумов**

не предусмотрено

**5. СООТНОШЕНИЕ РАЗДЕЛОВ, ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ПРИМЕНЯЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБУЧЕНИЯ**

Код раздела, темы дисциплины	Активные методы обучения	Дистанционные образовательные технологии и электронное обучение
------------------------------	--------------------------	---

	Проектная работа	Кейс-анализ	Деловые игры	Проблемное обучение	Командная работа	Другие (указать, какие)	Сетевые учебные курсы	Виртуальные практикумы и тренажеры	Вебинары и видеоконференции	Асинхронные web-конференции и семинары	Совместная работа и разработка контента	Другие (поиск информации в интернете)
I - VII	*				*		*					*

## 6. ПРОЦЕДУРЫ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

(Приложение 1)

## 7. ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ В РАМКАХ НЕЗАВИСИМОГО ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ (Приложение 2)

## 8. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (Приложение 3)

## 9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 9.1.Рекомендуемая литература

#### 9.1.1.Основная литература

1. Проценко С. П. Компьютерное моделирование молекулярных систем. – Екатеринбург: УрГУ им. А. М. Горького, 1995, 90 с., <http://itp.uran.ru/cs.pdf>.
2. Прудников, В.В. Фазовые переходы и методы их компьютерного моделирования / В.В. Прудников, А.Н. Вакилов, П.В. Прудников. - Москва : Физматлит, 2009. - 224 с. - ISBN 978-5-9221-0961-1 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68374>
3. Frenkel D., Smit B. Understanding Molecular Simulation. From Algorithms to Applications. Sun Diego: Academic Press, 2002, 658 p.

#### 9.1.2.Дополнительная литература

1. Хеерман Д.В. Методы компьютерного эксперимента в теоретической физике. - М.: Наука, 1990, 176 с. 11 экз.
2. Алексеев, Д.В. Компьютерное моделирование физических задач в Microsoft Visual Basic / Д.В. Алексеев. - Москва : СОЛОН-ПРЕСС, 2009. - 518 с. - (Библиотека студента). - ISBN 5-98003-092-1 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=117674>

### 9.2.Методические разработки

1. Проценко С. П. Компьютерное моделирование молекулярных систем. – Екатеринбург: УрГУ им. А. М. Горького, 1995, 90 с., <http://itp.uran.ru/cs.pdf>.

### 9.3.Программное обеспечение

Microsoft Office

Пакет параллельного молекулярно-динамического моделирования LAMMPS.

### 9.4. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

Электронные ресурсы образовательного портала edu.ru.

Зональная научная библиотека УрФУ lib.urfu.ru

### **9.5.Электронные образовательные ресурсы**

Портал информационно-образовательных ресурсов УрФУ [study.urfu.ru](http://study.urfu.ru)

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

#### **Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием**

Имеются аудитории, оснащенные мультимедийной техникой, а также компьютерные классы для проведения практических занятий.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1**  
**к рабочей программе дисциплины**

**6. ПРОЦЕДУРЫ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ В РАМКАХ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**6.1. Весовой коэффициент значимости дисциплины – 1**

**6.2. Процедуры текущей и промежуточной аттестации по дисциплине**

<b>1. Лекции: коэффициент значимости совокупных результатов лекционных занятий – 0,5</b>		
<b>Текущая аттестация на лекциях</b>	<b>Сроки – семестр, учебная неделя</b>	<b>Максимальная оценка в баллах</b>
Посещение лекций	8, 1-8 нед	80
Дополнительные баллы (активность)	8, 1-8 нед	20
<b>Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по лекциям – 1</b>		
<b>Промежуточная аттестация по лекциям – не предусмотрена*</b>		
<b>Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по лекциям – 0</b>		
<b>2. Практические/семинарские занятия: коэффициент значимости совокупных результатов практических/семинарских занятий – 0,5</b>		
<b>Текущая аттестация на практических/семинарских занятиях</b>	<b>Сроки – семестр, учебная неделя</b>	<b>Максимальная оценка в баллах</b>
Посещение занятий	8, 1-8 нед.	10
Активная работа на занятиях	8, 1-8 нед.	10
Домашняя работа №1	8, 3 нед.	25
Домашняя работа №2	8, 5 нед.	25
Домашняя работа №3	8, 7 нед.	30
<b>Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по практическим/семинарским занятиям – 0,4</b>		
<b>Промежуточная аттестация по практическим/семинарским занятиям – зачет</b>		
<b>Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по практическим/семинарским занятиям – 0,6</b>		
<b>3. Лабораторные занятия: коэффициент значимости совокупных результатов лабораторных занятий – не предусмотрены</b>		

**6.3. Процедуры текущей и промежуточной аттестации курсовой работы/проекта**  
**Не предусмотрены**

**6.4. Коэффициент значимости семестровых результатов освоения дисциплины**

<b>Порядковый номер семестра по учебному плану, в котором осваивается дисциплина</b>	<b>Коэффициент значимости результатов освоения дисциплины в семестре</b>
Семестр 8	1

## **7. ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ В РАМКАХ НЕЗАВИСИМОГО ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ**

*Дисциплина и ее аналоги, по которым возможно тестирование, отсутствуют на сайте ФЭПО <http://fepo.i-exam.ru>.*

*Дисциплина и ее аналоги, по которым возможно тестирование, отсутствуют на сайте Интернет-тренажеры <http://training.i-exam.ru>.*

*Дисциплина и ее аналоги, по которым возможно тестирование, отсутствуют на портале СМУДС УрФУ.*

*В связи с отсутствием Дисциплины и ее аналогов, по которым возможно тестирование, на сайтах ФЭПО, Интернет-тренажеры и портале СМУДС УрФУ, тестирование в рамках НТК не проводится.*

## **8. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

### **8.1. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ КОНТРОЛЬНО-ОЦЕНОЧНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ В РАМКАХ БРС**

В рамках БРС применяются утвержденные на кафедре критерии оценивания достижений студентов по каждому контрольно-оценочному мероприятию. Система критериев оценивания, как и при проведении промежуточной аттестации по модулю, опирается на три уровня освоения компонентов компетенций: пороговый, повышенный, высокий.

<b>Компоненты компетенций</b>	<b>Признаки уровня освоения компонентов компетенций</b>		
	<b>пороговый</b>	<b>повышенный</b>	<b>высокий</b>
<b>Знания</b>	Студент демонстрирует знание-знакомство, знание-копию: узнает объекты, явления и понятия, находит в них различия, проявляет знание источников получения информации, может осуществлять самостоятельно репродуктивные действия над знаниями путем самостоятельного воспроизведения и применения информации.	Студент демонстрирует аналитические знания: уверенно воспроизводит и понимает полученные знания, относит их к той или иной классификационной группе, самостоятельно систематизирует их, устанавливает взаимосвязи между ними, продуктивно применяет в знакомых ситуациях.	Студент может самостоятельно извлекать новые знания из окружающего мира, творчески их использовать для принятия решений в новых и нестандартных ситуациях.
<b>Умения</b>	Студент умеет корректно выполнять предписанные действия по инструкции, алгоритму в известной ситуации, самостоятельно выполняет действия по решению типовых задач, требующих выбора из числа известных методов, в предсказуемо изменяющейся ситуации	Студент умеет самостоятельно выполнять действия (приемы, операции) по решению нестандартных задач, требующих выбора на основе комбинации известных методов, в непредсказуемо изменяющейся ситуации	Студент умеет самостоятельно выполнять действия, связанные с решением исследовательских задач, демонстрирует творческое использование умений (технологий)
<b>Личностные качества</b>	Студент имеет низкую мотивацию учебной деятельности, проявляет безразличное, безответственное отношение к учебе, порученному делу	Студент имеет выраженную мотивацию учебной деятельности, демонстрирует позитивное отношение к обучению и будущей трудовой деятельности, проявляет активность.	Студент имеет развитую мотивацию учебной и трудовой деятельности, проявляет настойчивость и увлеченность, трудолюбие, самостоятельность,



## **8.2. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НЕЗАВИСИМОГО ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ**

НТК не проводится

## **8.3. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ**

**8.3.1. Примерные задания для проведения мини-контрольных в рамках учебных занятий** не предусмотрено

**8.3.2. Примерные контрольные задачи в рамках учебных занятий** не предусмотрено

**8.3.3. Примерные контрольные кейсы** не предусмотрено

**8.3.4. Перечень примерных вопросов для зачета**

1. Детерминистические и стохастические методы моделирования. Усреднение функций динамических переменных по ансамблю и по времени. Эргодичность.
2. Размерный эффект. Граничные условия. Периодические граничные условия.
3. Определение потенциальной энергии системы взаимодействующих частиц. Правило ближайшего образа.
4. Потенциал Леннард-Джонса, его модификация в компьютерной модели. Параметры потенциала Леннард-Джонса. Приведенные единицы.
5. Обрезание короткодействующего потенциала взаимодействия. Учет бесконечного однородного окружения.
6. Метод Монте-Карло. Марковский процесс. Вероятности перехода между состояниями в Марковском процессе. Средние значения свойств.
7. Алгоритм моделирования методом Монте-Карло в  $NVT$ -ансамбле.
8. Алгоритм моделирования методом Монте-Карло в  $NpT$ -ансамбле.
9. Модель Изинга. Алгоритм метода Монте-Карло для модели Изинга.
10. Первая гипотеза классической молекулярной теории и усреднение функций динамических переменных по времени. Уравнения движения системы взаимодействующих частиц.
11. Метод молекулярной динамики для микроканонического ансамбля. Алгоритм Верле интегрирования уравнений движения.
12. Задание начальных условий (координат, скоростей) в молекулярных моделях. Выбор временного шага интегрирования.
13. Ускорение частиц под действием межмолекулярных взаимодействий.
14. Уравновешивание систем взаимодействующих частиц, определение средних значений и погрешностей расчета свойств в молекулярных моделях.
15. Построение схем численного интегрирования дифференциальных уравнений.
16. Оптимизация молекулярно-динамического эксперимента. Список взаимодействующих соседей.
17. Хаотическое поведение динамических систем. Логистическое уравнение и его анализ. Хаотизация и необратимость в механической системе взаимодействующих частиц.
18. Расчет термодинамических свойств в молекулярной модели: потенциальная и внутренняя энергия.
19. Расчет термодинамических свойств в молекулярной модели: кинетическая энергия и температура.
20. Расчет термодинамических свойств в молекулярной модели: вириал и давление.

21. Флуктуации термодинамических величин. Расчет изохорной теплоемкости.
22. Флуктуации термодинамических величин. Расчет термического коэффициента давления.
23. Модель Изинга. Алгоритм метода Монте-Карло для модели Изинга.
24. Среднеквадратичное смещение.
25. Автокорреляционная функция скорости.
26. Структурные свойства: расчет функции радиального распределения.
27. Структурные свойства: расчет структурного фактора.
28. Структурные свойства: метод статистической геометрии.
29. Определение частотного спектра.
30. Транспортные коэффициенты: формула Эйнштейна для расчета коэффициента самодиффузии.
31. Транспортные коэффициенты: формула Грина-Кубо для расчета коэффициента самодиффузии.
32. Определение фазового состояния модельной системы на основе функции радиального распределения.
33. Определение фазового состояния модельной системы на основе временных зависимостей среднеквадратичного смещения частиц.
34. Определение фазового состояния модельной системы на основе автокорреляционных функций скорости.

#### **8.3.5. Перечень примерных вопросов для экзамена**

не предусмотрено

#### **8.3.6. Ресурсы АПИМ УрФУ, СКУД УрФУ для проведения тестового контроля в рамках текущей и промежуточной аттестации**

не используются □

#### **8.3.7. Ресурсы ФЭПО для проведения независимого тестового контроля**

не используются

#### **8.3.8. Интернет-тренажеры**

не используются

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России  
Б.Н.Ельцина»

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**ОСНОВЫ ФИЗИКИ КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ**

<b>Перечень сведений о рабочей программе дисциплины</b>	<b>Учетные данные</b>
<b>Модуль</b> Явления тепломассопереноса	<b>Код модуля</b> 1126056
<b>Образовательная программа</b> Физика	<b>Код ОП</b> 03.03.02/01.02
<b>Направление подготовки</b> Физика	<b>Код направления и уровня подготовки</b> 03.03.02
<b>Уровень подготовки</b> Бакалавриат	
<b>ФГОС ВО</b>	<b>Реквизиты приказа Минобрнауки РФ об утверждении ФГОС ВО:</b> <b>07.08.2014 № 937</b>

Екатеринбург, 2016

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Кафедра</b>	<b>Подпись</b>
1	Никифоров Анатолий Елеферьевич	Доктор физ.-мат. наук, профессор	профессор	Компьютерной физики	

**Руководитель модуля**

А.Ф. Поликарпов

**Рекомендовано учебно-методическим советом Института естественных наук**

Председатель учебно-методического совета

Е.С. Буянова

Протокол № 49 от 02.06.2016 г.

**Согласовано:**

Дирекция образовательных программ

# 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛИНЫ Основы физики конденсированного состояния

## 1.1. Аннотация содержания дисциплины

Дисциплина «Основы физики конденсированного состояния» включает в себя начальные сведения о структуре и динамике решетки кристалла, тепловых и электрических свойствах твердых тел. *Цель дисциплины* – сформировать у студентов начальное представление о моделях и методах описания различных свойств твердых тел.

## 1.2. Язык реализации программы - русский

## 1.3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Результатом обучения в рамках дисциплины является формирование у студента следующих компетенций:

ОК7 - способность к самоорганизации и самообразованию;

ОПК2 - способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей;

ОПК3 - способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач;

ПК1 - способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин;

ПК3 - готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований;

ДПК2 - способность применять на практике теоретические знания и экспериментальные методы физических исследований в области физики и техники низкотемпературного эксперимента, физики неравновесных процессов в газе, жидкости и твердом теле;

ДПК4 - владеть основами экспериментальных методов теплофизических и электромагнитных измерений.

В результате освоения дисциплины студент должен:

Знать: фундаментальные концепции и модели физики конденсированного состояния.

Уметь: ставить и решать типовые задачи физики конденсированного состояния.

Владеть (демонстрировать навыки и опыт деятельности): демонстрировать навыки постановки и решения типовых задач исследования структуры и динамики твердого тела.

## 1.4. Объем дисциплины

Для очной формы обучения

№ п/п	Виды учебной работы	Объем дисциплины		Распределение объема дисциплины по семестрам (час.)
		Всего часов	В т.ч. контактная работа (час.)*	6
1.	<b>Аудиторные занятия</b>	<b>51</b>	<b>51</b>	<b>51</b>
2.	Лекции	9	9	9
3.	Практические занятия	42	42	42
4.	Лабораторные работы			
5.	<b>Самостоятельная работа студентов, включая все виды текущей аттестации</b>	<b>17</b>	<b>7.65</b>	<b>17</b>
6.	<b>Промежуточная аттестация</b>	4	<b>0.25</b>	3,4
7.	<b>Общий объем по учебному плану, час.</b>	72	<b>58.90</b>	72

8.	Общий объем по учебному плану, з.е.	2		2
----	-------------------------------------	---	--	---

## 2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для очной формы обучения

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
1	Азбука кристаллографии (основные идеи, исходные понятия и определения).	Кристаллическая структура и ее описание. Ближний и дальний порядок.
2	Симметрия кристаллов.	Точечные группы, группы трансляций. Пространственная симметрия кристаллов. Представления групп. Прямая и обратная решетки, решетки Браве. Зоны Бриллюэна. Использование представлений групп для классификации электронных и колебательных состояний кристалла. Правила отбора для переходов. Дифракция электронов, нейтронов и фотонов на кристаллической решетке
3	Типы связей твердых тел.	Межатомные потенциалы. Молекулярные кристаллы. Ионные кристаллы. Постоянная Маделунга. Ковалентные кристаллы. Металлы.
4	Динамика решетки.	Колебания одномерных решеток. Акустические и оптические ветви колебаний кристалла, дисперсионные зависимости, плотность состояний. Континуальное приближение в теории колебаний. Распространение упругих волн в кристаллах. Квантование колебаний кристаллической решетки. Фононы. Концепция элементарных возбуждений. Экситоны, магноны, дефектоны и т.д. Квантовые статистики. Теплоемкость кристалла, модели Эйнштейна и Дебая
5	Электроны в идеальном кристалле.	Электрон в периодическом поле. Диэлектрики, полупроводники, металлы. Примеры зонных структур конкретных веществ. Электронный ферми-газ, температура вырождения. Ферми-поверхности металлов. Проводимость и теплопроводность металла. Теплоемкость металла.
6	Дефекты структуры твердых тел.	Типы дефектов. Влияние дефектов на физические свойства твердых тел.

## 3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УЧЕБНОГО ВРЕМЕНИ

### 3.1. Распределение аудиторной нагрузки и мероприятий самостоятельной работы по разделам дисциплины

Для очной формы обучения

Объем модуля (зач.ед.): 9  
Объем дисциплины (зач.ед.): 2

Раздел дисциплины		Аудиторные занятия (час.)					Самостоятельная работа: виды, количество и объемы мероприятий																						
Код раздела, темы	Наименование раздела, темы	Всего по разделу, теме (час.)	Всего аудиторной работы (час.)	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Всего самостоятельной работы студентов (час.)	Подготовка к аудиторным занятиям (час.)						Выполнение самостоятельных внеаудиторных работ (колич.)									Подготовка к контрольным мероприятиям текущей аттестации (колич.)			Подготовка к промежуточной аттестации и по дисциплине (час.)	Подготовка в рамках дисциплины к промежуточной аттестации по модулю (час.)		
								Всего (час.)	Лекция	Практ., семинар. занятие	Лабораторное занятие	И/и семинар, семинар-конференция, коллоквиум (магистратура)	Всего (час.)	Домашняя работа*	Графическая работа*	Реферат, эссе, творч. работа*	Проектная работа*	Расчетная работа, разработка программного продукта*	Расчетно-графическая работа*	Домашняя работа на иностр. языке*	Перевод инояз. литературы*	Курсовая работа*	Курсовой проект*	Всего (час.)	Контрольная работа*			Коллоквиум*	
1	Азбука кристаллографии.	12,6	8	2	6		4,6	1,6	0,4	1,2			2	1								1	1						
2	Симметрия кристаллов.	16,6	14	2	12		2,6	1,6	0,4	1,2												1	1						
3	Типы связи твердых тел.	7,2	6	0	6		1,2	1,2	0	1,2																			
4	Динамика решетки.	10,4	7	1	6		3,4	1,4	0,2	1,2			2	1															
5	Электроны в идеальном кристалле.	10,6	8	2	6		2,6	1,6	0,4	1,2												1	1						
6	Дефекты структуры твердых тел.	10,6	8	2	6		2,6	1,6	0,4	1,2												1	1						
	<b>Всего (час), без учета промежуточной аттестации:</b>	<b>68</b>	<b>51</b>	<b>9</b>	<b>42</b>	<b>0</b>	<b>17</b>	<b>9</b>	<b>1,8</b>	<b>7,2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>0</b>					
	<b>Всего по дисциплине (час.):</b>	<b>72</b>	<b>51</b>				<b>21</b>															В т.ч. промежуточная аттестация			<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	

\*

#### 4. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ, САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

##### 4.1. Лабораторные работы

не предусмотрено

##### 4.2. Практические занятия

Код раздела, темы	Номер занятия	Тема занятия	Время на проведение занятия (час.)
1	1-3	Кристаллическая структура	6
2	4-6	Представления точечных групп	6
2	7-9	Трансляционная симметрия, обратная решетка	6
3	10-12	Метод парных потенциалов, энергия кристалла	6
4	13-15	Динамика решетки	6
5	16-18	Электронный спектр кристалла	6
6	19-21	Термодинамика кристалла	6

**Всего:** 42

##### 4.3. Примерная тематика самостоятельной работы

##### 4.3.1. Примерный перечень тем домашних работ

1. Построение представлений точечных групп. Расщепление уровней под действием возмущений.
2. Правила отбора для оптических переходов. Спектр колебаний цепочек.

##### 4.3.2. Примерный перечень тем графических работ

не предусмотрено

##### 4.3.3. Примерный перечень тем рефератов (эссе, творческих работ)

не предусмотрено

##### 4.3.4. Примерная тематика индивидуальных или групповых проектов

не предусмотрено

##### 4.3.5. Примерный перечень тем расчетных работ (программных продуктов)

не предусмотрено

##### 4.3.6. Примерный перечень тем расчетно-графических работ

не предусмотрено

##### 4.3.7. Примерный перечень тем курсовых проектов (курсовых работ)

не предусмотрено

##### 4.3.8. Примерная тематика контрольных работ

1. Построить обратную решетку для простой кубической решетки, выделить зону Бриллю. Найти возможные типы колебаний молекулы AX<sub>6</sub>. Определить колебания, активные в ИК поглощении и комбинационном рассеянии.
2. Оценить энергию связи, постоянную решетки и сжимаемость кристалла Хе, если задан парный потенциал взаимодействия.
3. Рассчитать постоянную Маделунга для квадратной решетки.
4. Найти скорость распространения упругой волны в кубическом кристалле с известными упругими модулями. Распределение Ферми-Дирака. Уровень Ферми. Вырожденный и невырожденный электронный газ.

##### 4.3.9. Примерная тематика коллоквиумов

не предусмотрено



## 5. СООТНОШЕНИЕ РАЗДЕЛОВ, ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ПРИМЕНЯЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБУЧЕНИЯ

Код раздела, темы дисциплины	Активные методы обучения						Дистанционные образовательные технологии и электронное обучение					
	Проектная работа	Кейс-анализ	Деловые игры	Проблемное обучение	Командная работа	Другие (указать, какие)	Сетевые учебные курсы	Виртуальные практикумы и тренажеры	Вебинары и видеоконференции	Асинхронные web-конференции и семинары	Совместная работа и разработка контента	Другие (указать, какие)
1-6				*								

## 6. ПРОЦЕДУРЫ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ (Приложение 1)

## 7. ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ В РАМКАХ НЕЗАВИСИМОГО ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ (Приложение 2)

## 8. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (Приложение 3)

## 9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 9.1.Рекомендуемая литература

#### 9.1.1.Основная литература

Ансельм, А.И. Введение в теорию полупроводников / А.И. Ансельм. - Москва ; Ленинград : Государственное издательство физико-математической литературы, 1962. - 422 с. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=479539>

Ч.Киттель. Введение в физику твердого тела.М.: Наука ,1978

В.Г.Вакс.Межатомное взаимодействие и связь в твердых телах.

Эллиот Дж.,Доббер П. Симметрия в физике.т.1,2.М.:Мир,1983

#### 9.1.2.Дополнительная литература

Дж. Блекмор. Статистика электронов в полупроводниках. М.: Мир, 1964.

Дж.Займан, Принципы теории твердого тела, М.: Мир, 1966

Каганов М.И. Электроны,фононы,магноны. М.: Наука,1971.

#### 9.2.Методические разработки

не используются

#### 9.3.Программное обеспечение

Пакет MathCAD

#### 9.4. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

Электронные ресурсы образовательного портала edu.ru.

Портал информационно-образовательных ресурсов УрФУ study.urfu.ru

Зональная научная библиотека УрФУ lib.urfu.ru

#### 9.5.Электронные образовательные ресурсы

не используются

## 10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием

Имеются аудитории, оснащенные мультимедийной техникой.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1**  
**к рабочей программе дисциплины**

**6. ПРОЦЕДУРЫ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ В РАМКАХ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**6.1. Весовой коэффициент значимости дисциплины – 1**

**6.2. Процедуры текущей и промежуточной аттестации по дисциплине**

<b>1. Лекции: коэффициент значимости совокупных результатов лекционных занятий – 0.6</b>		
<b>Текущая аттестация на лекциях</b>	<b>Сроки – семестр, учебная неделя</b>	<b>Максимальная оценка в баллах</b>
<i>Посещаемость лекций</i>	<i>6, 1-17</i>	<i>60</i>
<i>Выполнение контрольных работ</i>	<i>6, 8</i>	<i>40</i>
<b>Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по лекциям – 0.5</b>		
<b>Промежуточная аттестация по лекциям – зачет</b>		
<b>Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по лекциям – 0.5</b>		
<b>2. Практические/семинарские занятия: коэффициент значимости совокупных результатов практических/семинарских занятий – 0.4</b>		
<b>Текущая аттестация на практических/семинарских занятиях</b>	<b>Сроки – семестр, учебная неделя</b>	<b>Максимальная оценка в баллах</b>
<i>Посещение занятий</i>	<i>6, 1-17</i>	<i>60</i>
<i>Выполнение домашних работ</i>	<i>6, 1-17</i>	<i>40</i>
<b>Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по практическим/семинарским занятиям – 1</b>		
<b>Промежуточная аттестация по практическим/семинарским занятиям – зачет</b>		
<b>3. Лабораторные занятия: коэффициент значимости совокупных результатов лабораторных занятий – не предусмотрены</b>		

**6.3. Процедуры текущей и промежуточной аттестации курсовой работы/проекта – не предусмотрены**

**6.4. Коэффициент значимости семестровых результатов освоения дисциплины**

<b>Порядковый номер семестра по учебному плану, в котором осваивается дисциплина</b>	<b>Коэффициент значимости результатов освоения дисциплины в семестре</b>
<b>6</b>	<b>1</b>

\*

## **7. ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ В РАМКАХ НЕЗАВИСИМОГО ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ**

Дисциплина и ее аналоги, по которым возможно тестирование, отсутствуют на сайте ФЭПО <http://fepo.i-exam.ru>.

Дисциплина и ее аналоги, по которым возможно тестирование, отсутствуют на сайте Интернет-тренажеры <http://training.i-exam.ru>.

Дисциплина и ее аналоги, по которым возможно тестирование, отсутствуют на портале СМУДС УрФУ.

В связи с отсутствием Дисциплины и ее аналогов, по которым возможно тестирование, на сайтах ФЭПО, Интернет-тренажеры и портале СМУДС УрФУ, тестирование в рамках НТК не проводится.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 3**  
**к рабочей программе дисциплины**

**8. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**8.1. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ КОНТРОЛЬНО-ОЦЕНОЧНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ В РАМКАХ БРС**

В рамках БРС применяются утвержденные на кафедре критерии оценивания достижений студентов по каждому контрольно-оценочному мероприятию. Система критериев оценивания, как и при проведении промежуточной аттестации по модулю, опирается на три уровня освоения компонентов компетенций: пороговый, повышенный, высокий.

<b>Компоненты компетенций</b>	<b>Признаки уровня освоения компонентов компетенций</b>		
	<b>пороговый</b>	<b>повышенный</b>	<b>высокий</b>
<b>Знания</b>	Студент демонстрирует знание-знакомство, знание-копию: узнает объекты, явления и понятия, находит в них различия, проявляет знание источников получения информации, может осуществлять самостоятельно репродуктивные действия над знаниями путем самостоятельного воспроизведения и применения информации.	Студент демонстрирует аналитические знания: уверенно воспроизводит и понимает полученные знания, относит их к той или иной классификационной группе, самостоятельно систематизирует их, устанавливает взаимосвязи между ними, продуктивно применяет в знакомых ситуациях.	Студент может самостоятельно извлекать новые знания из окружающего мира, творчески их использовать для принятия решений в новых и нестандартных ситуациях.
<b>Умения</b>	Студент умеет корректно выполнять предписанные действия по инструкции, алгоритму в известной ситуации, самостоятельно выполняет действия по решению типовых задач, требующих выбора из числа известных методов, в предсказуемо изменяющейся ситуации	Студент умеет самостоятельно выполнять действия (приемы, операции) по решению нестандартных задач, требующих выбора на основе комбинации известных методов, в непредсказуемо изменяющейся ситуации	Студент умеет самостоятельно выполнять действия, связанные с решением исследовательских задач, демонстрирует творческое использование умений (технологий)
<b>Личностные качества</b>	Студент имеет низкую мотивацию учебной деятельности, проявляет безразличное, безответственное отношение к учебе, порученному делу	Студент имеет выраженную мотивацию учебной деятельности, демонстрирует позитивное отношение к обучению и будущей трудовой деятельности, проявляет активность.	Студент имеет развитую мотивацию учебной и трудовой деятельности, проявляет настойчивость и увлеченность, трудолюбие,

			самостоятельность, творческий подход.
--	--	--	--

## **8.2. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НЕЗАВИСИМОГО ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ**

- НТК не применяется.

## **8.3. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ**

### **8.3.1. Примерные задания для проведения мини-контрольных в рамках учебных занятий**

- Письменный опрос по разделу 1
- Письменный опрос по разделу 2
- Письменный опрос по разделам 3-5
- Письменный опрос по разделам 6-7

### **8.3.2. Примерные контрольные задачи в рамках учебных занятий**

не предусмотрено

### **8.3.3. Примерные контрольные кейсы**

не предусмотрено

### **8.3.4. Перечень примерных вопросов для зачета**

1. Кристаллическая структура и ее описание. Ближний и дальний порядок.
2. Точечные группы, группы трансляций. Пространственная симметрия кристаллов. Представления групп.
3. Прямая и обратная решетки, решетки Браве. Зоны Бриллюэна. Использование представлений групп для классификации электронных и колебательных состояний кристалла.
4. Правила отбора для переходов. Дифракция электронов, нейтронов и фотонов на кристаллической решетке
5. Межатомные потенциалы. Молекулярные кристаллы.
6. Ионные кристаллы. Постоянная Маделунга. Ковалентные кристаллы. Металлы.
7. Колебания одномерных решеток. Акустические и оптические ветви колебаний кристалла, дисперсионные зависимости, плотность состояний.
8. Континуальное приближение в теории колебаний. Распространение упругих волн в кристаллах. Квантование колебаний кристаллической решетки.
9. Фононы. Концепция элементарных возбуждений. Экситоны, магноны, дефектоны и т.д. Квантовые статистики. Теплоемкость кристалла, модели Эйнштейна и Дебая
10. Электрон в периодическом поле. Диэлектрики, полупроводники, металлы. Примеры зонных структур конкретных веществ.
11. Электронный ферми-газ, температура вырождения. Ферми-поверхности металлов. Проводимость и теплопроводность металла. Теплоемкость металла.
12. Типы дефектов. Влияние дефектов на физические свойства твердых тел.

### **8.3.5. Перечень примерных вопросов для экзамена**

Не предусмотрено

### **8.3.6. Ресурсы АПИМ УрФУ, СКУД УрФУ для проведения тестового контроля в рамках текущей и промежуточной аттестации**

не используются

### **8.3.7. Ресурсы ФЭПО для проведения независимого тестового контроля**

не используются

### **8.3.8. Интернет-тренажеры**

не используются

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России  
Б.Н.Ельцина»

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**ЭЛЕКТРОННО-ИОННЫЙ ПЕРЕНОС В КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ И АМОРФНЫХ ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ**

<b>Перечень сведений о рабочей программе дисциплины</b>	<b>Учетные данные</b>
<b>Модуль</b> Явления тепломассопереноса	<b>Код модуля</b> 1126056
<b>Образовательная программа</b> Физика	<b>Код ОП</b> 03.03.02/01.02
<b>Направление подготовки</b> Физика	<b>Код направления и уровня подготовки</b> 03.03.02
<b>Уровень подготовки</b> Бакалавриат	
<b>ФГОС ВО</b>	<b>Реквизиты приказа Минобрнауки РФ об утверждении ФГОС ВО:</b> 07.08.2014 № 937

Екатеринбург, 2016

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Кафедра</b>	<b>Подпись</b>
1	Мельникова Нина Владимировна	Кандидат физико- математических наук, доцент	доцент	физики низких температур	

**Руководитель модуля**

А.Ф. Поликарпов

**Рекомендовано учебно-методическим советом Института естественных наук**

Председатель учебно-методического совета

Е.С. Буянова

Протокол № 49 от 02.06.2016 г.

**Согласовано:**

Дирекция образовательных программ

### 3. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛИНЫ Электронно-ионный перенос в кристаллических и аморфных твердых телах

#### 1.2. Аннотация содержания дисциплины

Дисциплина является частью модуля «Явления тепломассопереноса». Изучение дисциплины направлено на формирование знаний в области теоретических представлений о транспортных явлениях в кристаллических и аморфных смешанных (электронно-ионных) и ионных проводниках и методах исследования электронно-ионного переноса. Данная дисциплина опирается на такие дисциплины, изученные студентами ранее, как «Молекулярная физика», «Химия», «Дифференциальные уравнения», «Методы математической физики», «Физика твердого тела», «Кинетические явления в полупроводниках». Все лекционные и практические занятия проводятся с обязательным использованием электронных презентаций в специализированных аудиториях и лабораториях.

#### 1.2. Язык реализации программы - русский

#### 1.3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Результатом обучения в рамках дисциплины является формирование у студента следующих компетенций:

ОК7 - способность к самоорганизации и самообразованию;

ОПК3 - способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач;

ПК1 - способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин;

ПК3 - готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований;

ДПК2 - способность применять на практике теоретические знания и экспериментальные методы физических исследований в области физики и техники низкотемпературного эксперимента, физики неравновесных процессов в газе, жидкости и твердом теле.

В результате освоения дисциплины студент должен:

Знать: методы получения, области применения, транспортные свойства и кинетические характеристики проводников второго рода, смешанных электронно-ионных твердотельных проводников; основы теории процессов переноса заряда в смешанных (электронно-ионных) проводниках.

Уметь: использовать специализированные знания в области исследования транспортных свойств новых материалов при выборе методик, при проведении экспериментов и анализе полученных результатов.

Владеть (демонстрировать навыки и опыт деятельности): способностью применять знания при решении практических задач, связанных с исследованием новых материалов, обладающих ионным и смешанным (электронно-ионным) переносом, способностью эксплуатировать современную физическую аппаратуру и оборудование.

#### 1.5. Объем дисциплины

Для очной формы обучения

№ п/п	Виды учебной работы	Объем дисциплины		Распределение объема дисциплины по семестрам (час.)
		Всего часов	В т.ч. контактная работа (час.)*	6
1.	Аудиторные занятия	51	51	51
2.	Лекции	9	9	9
3.	Практические занятия	42	42	42



4.	Лабораторные работы			
5.	<b>Самостоятельная работа студентов, включая все виды текущей аттестации</b>	<b>17</b>	<b>7.65</b>	<b>17</b>
6.	<b>Промежуточная аттестация</b>	4	<b>0.25</b>	3,4
7.	<b>Общий объем по учебному плану, час.</b>	72	<b>58.90</b>	72
8.	<b>Общий объем по учебному плану, з.е.</b>	2		2

## 6. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для очной формы обучения

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
1	<i>Твердые электролиты. Электронные свойства твердых электролитов. Основы теории ионной проводимости. Смешанные электронно-ионные проводники.</i>	<p>Твердые электролиты и современные технологии. Применение твердых электролитов. Твердые электролиты с собственной разупорядоченностью. Твердые электролиты с примесной разупорядоченностью. Твердые электролиты со структурной разупорядоченностью. Общий вид уравнений переноса. Диффузия в присутствии электрического поля. Коэффициент диффузии заряда. Соотношение Нернста – Эйнштейна для ионных проводников. Отношение Хавена.</p> <p>Электронная структура твердых электролитов. Делокализованные электроны в суперионных проводниках. Механизмы образования делокализованных электронов в суперионных материалах: межзонные переходы под влиянием температуры или облучения; ионизация дефектов и примесей в объеме материала с образованием электронных носителей в зонах; инжекция электронных носителей в ионный проводник через границу электрод – суперионный материал.</p> <p>Амбиполярная (сопряженная) диффузия в электронно-ионных проводниках. Определение концентрации электронных носителей методом кулонометрического титрования. Методы определения характеристик электронной проводимости в смешанных электронно-ионных проводниках. Методы определения подвижности электронных носителей с помощью изучения релаксационных процессов.</p> <p>Ионно-электронное кооперативное разупорядочение. Металлизация электронной проводимости в смешанных электронно-ионных проводниках. Взаимовлияние движений ионных и электронных носителей.</p>
2	<i>Структура материалов с электронно-ионным переносом. Связь структуры со свойствами.</i>	<p>Кристаллические и аморфные ионные проводники. Кристаллические и аморфные электронно-ионные проводники. Модели структуры стекла и ионного переноса в стеклах. Модель ионных перемещений Шарля. Кластерная модель и модель модифицированной случайной сетки. Модель сетки проводящих путей и теория перколяции. Композитные материалы. Теория ионной проводимости в композитных материалах. Модель пространственного заряда. Перколяционная модель. Низкотемпературные твердые электролиты. Свойства твердых электролитов в широкой области температур. Связь поверхностных свойств материалов с</p>

		электрическими свойствами.
3	<i>Экспериментальные методы исследования диффузии в ионных проводниках</i>	Прямые методы изучения диффузии. Эксперименты по диффузии меченых атомов. Механическая спектроскопия. Ядерные методы. Ядерный магнитный резонанс. Мессбауэровская спектроскопия. Квазиупругое рассеяние нейтронов. Электрические методы. Импедансная спектроскопия.
4	<i>Халькогенидные материалы со смешанной электронно-ионной проводимостью</i>	Кристаллические и стеклообразные материалы на основе многокомпонентных халькогенидов металлов первой группы с проводимостью по ионам серебра и меди. Физические характеристики. Оценка области температур начала заметного ионного переноса. Соотношение компонент электронной и ионной составляющих проводимости. Характеристики электронной подсистемы. Применение многокомпонентных халькогенидов серебра и меди.
5	<i>Применение импедансной спектроскопии при изучении динамики ионов в аморфных и композитных материалах с ионным и смешанным (электронно-ионным) переносом.</i>	Применение метода импедансной спектроскопии для исследования электрофизических свойств, оценки микропараметров транспортных процессов и характеристик динамики ионов в аморфных ионных полупроводниках, в смешанных (электронно-ионных) полупроводниках, композитных материалах с ионным компонентом электропереноса. Использование метода ИС при изучении высокочастотных переходов ионный проводник – электронный проводник.
6	<i>Оксиды со смешанной электронно-ионной проводимостью</i>	Оксиды с электронно-ионной проводимостью. Материалы на основе оксида висмута. Механизмы ионной проводимости. Взаимодействие подсистем носителей зарядов. Гетеропереходы «смешанный проводник» - «ионный проводник» и «смешанный проводник» - «электронный проводник».

## 7. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УЧЕБНОГО ВРЕМЕНИ

### 3.2. Распределение аудиторной нагрузки и мероприятий самостоятельной работы по разделам дисциплины

Для очной формы обучения

Объем модуля (зач.ед.): 9  
 Объем дисциплины (зач.ед.): 2

Раздел дисциплины		Аудиторные занятия (час.)				Самостоятельная работа: виды, количество и объемы мероприятий																								
		Всего по разделу, теме (час.)	Всего аудиторной работы (час.)	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Всего самостоятельной работы студентов (час.)	Подготовка к аудиторным занятиям (час.)					Выполнение самостоятельных внеаудиторных работ (колич.)							Подготовка к контрольным мероприятиям текущей аттестации (колич.)			Подготовка к промежуточной аттестации по дисциплине (час.)	Подготовка в рамках дисциплины к промежуточной аттестации по модулю (час.)						
Всего (час.)	Лекция							Практ., семинар. занятие	Лабораторное занятие	Или семинар, семинар-конференция, коллоквиум (магистратура)	Всего (час.)	Домашняя работа*	Графическая работа*	Реферат, эссе, творч. работа*	Проектная работа*	Расчетная работа, разработка программного продукта*	Расчетно-графическая работа*	Домашняя работа на иностр. языке*	Перевод инояз. литературы*	Курсовая работа*	Курсовой проект*	Всего (час.)			Контрольная работа*	Коллоквиум*				
Код раздела, темы	Наименование раздела, темы																													
1	Твердые электролиты. Электронные свойства твердых электролитов. Основы теории ионной проводимости. Смешанные электронно-ионные проводники..	13	10	2	8	3	3	1	2																					
2	Структура материалов с электронно-ионным переносом. Связь структуры со свойствами..	14	11	1	10	3	3	1	2																					
3	Экспериментальные методы исследования диффузии в ионных проводниках	9	7	1	6	2	2	1	1																					
4	Халькогенидные материалы со смешанной электронно-ионной проводимостью	8	6	2	4	2	2	1	1																					
5	Применение импедансной спектроскопии при изучении динамики ионов в аморфных и композитных материалах с ионным и смешанным (электронно-ионным) переносом.	19	14	2	12	5	2	1	1		3	1																		
6	Оксиды со смешанной электронно-ионной проводимостью	5	3	1	2	2	2	1	1																					
	<b>Всего (час), без учета промежуточной аттестации:</b>	68 51	51	9	42	0	17	14	6	8	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	<b>Всего по дисциплине (час.):</b>	<b>72</b>	<b>51</b>			<b>21</b>																		В т.ч. промежуточная аттестация			<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Проект по модулю

Интегрированный экзамен по модулю

Экзамен

Зачет

\*

## 8. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ, САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### 4.2. Лабораторные работы

не предусмотрено

### 4.3. Практические занятия

Код раздела, темы	Номер занятия	Тема занятия	Время на проведение занятия (час.)
1	1	Твердые электролиты. Уравнение переноса.	2
1	2	Электронные свойства твердых электролитов.	2
1	3	Основы теории ионной проводимости. Решение уравнения диффузии в присутствии электрического поля	2
1	4	Смешанные электронно-ионные проводники.	2
2	5	Структура кристаллических материалов с электронно-ионным переносом.	2
2	6	Атомная структура аморфных материалов с ионным электропереносом.	2
2	7	Структура халькогенидных материалов с электронно-ионным переносом.	2
2	8	Связь структуры твердых электролитов со свойствами.	2
2	9	Атомная структура аморфных материалов с электронно-ионным переносом.	2
3	10	Диффузия ионов в присутствии внешних полей различной природы. Ионная термоэдс, бароэдс и др.	2
3	11	Экспериментальные методы исследования диффузии в ионных проводниках.	2
3	12	Экспериментальные установки и аппаратура для исследования диффузии в ионных проводниках.	2
4	13	Халькогенидные материалы со смешанной электронно-ионной проводимостью.	2
4	14	Динамика ионов в стеклообразных ионных проводниках.	2
5	15	Теоретические основы метода импедансной спектроскопии.	2
5	16	Применение метода импедансной спектроскопии к изучению динамики ионов в аморфных и композитных материалах с ионным и смешанным электропереносом.	2
5	17	Выполнение практической работы «Оценка динамики ионов в стеклообразных ионных проводниках». Часть 1 (Освоение работы на установке Solartron).	2
5	18	Выполнение практической работы «Оценка динамики ионов в стеклообразных ионных проводниках». Часть 2 (Проведение измерений).	2
5	19	Выполнение практической работы «Оценка динамики ионов в стеклообразных ионных проводниках». Часть 3 (Обработка результатов измерений, проведение расчетов с использованием разработанной математической модели и анализ полученных результатов).	2
5	20	Выполнение практической работы «Оценка динамики ионов в стеклообразных ионных проводниках». Часть 4 (подготовка презентации и защита полученных результатов работы).	2
6	21	Оксиды со смешанной электронно-ионной проводимостью	2

Всего: 42

### 4.4. Примерная тематика самостоятельной работы

#### 4.3.2. Примерный перечень тем домашних работ

Домашняя работа. Вопросы:

2. Решение уравнения диффузии ионов в постоянном электрическом поле в аморфных электролитах (изотропная среда).
  4. Решение уравнения диффузии ионов в стеклообразных электролитах системы Ag-Ge-As-Se в переменном электрическом поле с учетом и без учета поля объемных зарядов, возникающего в приэлектродном слое.
- 4.3.3. Примерный перечень тем графических работ**  
не предусмотрено
- 4.3.4. Примерный перечень тем рефератов (эссе, творческих работ)**  
не предусмотрено
- 4.3.4. Примерная тематика индивидуальных или групповых проектов**  
не предусмотрено
- 4.3.8. Примерный перечень тем расчетных работ (программных продуктов)**  
не предусмотрено
- 4.3.9. Примерный перечень тем расчетно-графических работ**  
не предусмотрено
- 4.3.10. Примерный перечень тем курсовых проектов (курсовых работ)**  
не предусмотрено
- 4.3.8. Примерная тематика контрольных работ**  
не предусмотрено
- 4.3.9. Примерная тематика коллоквиумов**  
не предусмотрено

## 9. СООТНОШЕНИЕ РАЗДЕЛОВ, ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ПРИМЕНЯЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБУЧЕНИЯ

Код раздела, темы дисциплины	Активные методы обучения					Дистанционные образовательные технологии и электронное обучение						
	Проектная работа	Кейс-анализ	Деловые игры	Проблемное обучение	Командная работа	Другие (указать, какие)	Сетевые учебные курсы	Виртуальные практикумы и тренажеры	Вебинары и видеоконференции	Асинхронные web-конференции и семинары	Совместная работа и разработка контента	Другие (указать, какие)
1-6				*								

### 6. ПРОЦЕДУРЫ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ (Приложение 1)

### 7. ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ В РАМКАХ НЕЗАВИСИМОГО ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ (Приложение 2)

### 8. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (Приложение 3)

### 9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 9.1.Рекомендуемая литература

##### 9.1.1.Основная литература

1. Андриевский Р.А. Наноструктурные материалы : учеб. пособие для вузов / Р. А. Андриевский, А. В. Рагуля.— М. : Academia, 2005.— 192 с. 23 экз
2. Уорден К. Новые интеллектуальные материалы и конструкции. М.: Техносфера, 2006. 224с. 9 экз
3. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Т. 8. Электродинамика сплошных сред / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц.— 2005.— 656 с.  
<URL: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=2234](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2234)>

### **9.1.2.Дополнительная литература**

1. Ашкрофт, Н. Физика твердого тела: В 2 т. Т. 1 / Н. Ашкрофт, Н. Мермин ; Пер. с англ. А. С. Михайлова; Под ред. М. И. Каганова .— М. : Мир, 1979 .— 399 с. 34 экз
2. Мерер Х. Диффузия в твердых телах // Долгопрудный: Изд Дом «Интеллект», 2011, 536 с. 3 экз
3. Ашкрофт, Н. Физика твердого тела: В 2 т. Т. 2 / Н. Ашкрофт, Н. Мермин ; Пер. с англ. К. И. Кугеля, А. С. Михайлова; Под ред. М. И. Каганова .— М. : Мир, 1979.— 422 с. 34 экз
4. Укше Е.А., Букун Н.Г. Твердые электролиты. М.:Наука, 1977, 176 с. 4 экз
5. Мотт Н., Дэвис Э. Электронные процессы в некристаллических веществах. М.: Мир, 1974, 472 с. 4 экз
6. Иванов-Шиц А. К., Мурин И. В. Ионика твердого тела: В 2 т. Т. 1. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та. 2000. 616 с. 3 экз
7. Иванов-Шиц А. К., Мурин И. В. Ионика твердого тела. В 2 т. Т. 2. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та. 2010. 1000 с. 5 экз.

### **9.2.Методические разработки**

1. Мельников Ю.Б., Мельникова Н.В., Голикова Е.А. Справочник: интегралы, дифференциальные уравнения, специальные функции. Методические указания по курсу «Высшая математика». Изд-е 2-е испр. и доп. Екатеринбург. Изд-во УГТУ, 2004, 44 с.
2. Мельников Ю.Б., Мельникова Н.В. Уравнения математической физики. Учебное пособие (интерактивный электронный учебник) / сетевой ресурс УМК-Д № 11717. УрФУ. 21.06.2013 10:36:04 URL: <http://study.urfu.ru/Aid/ViewMeta/11717>

### **9.3.Программное обеспечение**

1. Windows XP, Microsoft Office, пакет MathCAD.

### **9.4. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

Электронные ресурсы образовательного портала edu.ru.

Портал информационно-образовательных ресурсов УрФУ study.urfu.ru

Зональная научная библиотека УрФУ lib.urfu.ru

### **9.5.Электронные образовательные ресурсы**

Мельников Ю.Б., Мельникова Н.В. Уравнения математической физики. Учебное пособие (интерактивный электронный учебник) / сетевой ресурс УМК-Д № 11717. УрФУ. 21.06.2013 10:36:04 URL: <http://study.urfu.ru/Aid/ViewMeta/11717>

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

### **Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием**

Имеются аудитории, оснащенные мультимедийной техникой, приборная база, лабораторное оборудование, материалы - оборудование для научных исследований кафедры физики низких температур.

**6. ПРОЦЕДУРЫ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ В РАМКАХ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**6.1. Весовой коэффициент значимости дисциплины – 1**

**6.2. Процедуры текущей и промежуточной аттестации по дисциплине**

<b>1. Лекции: коэффициент значимости совокупных результатов лекционных занятий – 0.4</b>		
<b>Текущая аттестация на лекциях</b>	<b>Сроки – семестр, учебная неделя</b>	<b>Максимальная оценка в баллах</b>
Посещение лекций	7, 1-5	9
Мини-контроль по темам лекций	7, 1-5	18
Тест по темам лекций	7, 5	73
<b>Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по лекциям – 0.5</b>		
<b>Промежуточная аттестация по лекциям – зачет</b>		
<b>Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по лекциям – 0.5</b>		
<b>2. Практические/семинарские занятия: коэффициент значимости совокупных результатов практических/семинарских занятий – 0.6</b>		
<b>Текущая аттестация на практических/семинарских занятиях</b>	<b>Сроки – семестр, учебная неделя</b>	<b>Максимальная оценка в баллах</b>
Посещение практических занятий	7, 1-17	40
Выполнение домашней работы	7, 9	60
<b>Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по практическим/семинарским занятиям – 1</b>		
<b>Промежуточная аттестация по практическим/семинарским занятиям – зачет</b>		
<b>3. Лабораторные занятия: коэффициент значимости совокупных результатов лабораторных занятий – не предусмотрены</b>		

**6.3. Процедуры текущей и промежуточной аттестации курсовой работы/проекта – не предусмотрены**

**6.4. Коэффициент значимости семестровых результатов освоения дисциплины**

<b>Порядковый номер семестра по учебному плану, в котором осваивается дисциплина</b>	<b>Коэффициент значимости результатов освоения дисциплины в семестре</b>
7	1

\*

## **7. ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ В РАМКАХ НЕЗАВИСИМОГО ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ**

Дисциплина и ее аналоги, по которым возможно тестирование, отсутствуют на сайте ФЭПО <http://fepo.i-exam.ru>.

Дисциплина и ее аналоги, по которым возможно тестирование, отсутствуют на сайте Интернет-тренажеры <http://training.i-exam.ru>.

Дисциплина и ее аналоги, по которым возможно тестирование, отсутствуют на портале СМУДС УрФУ.

В связи с отсутствием Дисциплины и ее аналогов, по которым возможно тестирование, на сайтах ФЭПО, Интернет-тренажеры и портале СМУДС УрФУ, тестирование в рамках НТК не проводится.

## **8. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

### **8.1. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ КОНТРОЛЬНО-ОЦЕНОЧНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ В РАМКАХ БРС**

В рамках БРС применяются утвержденные на кафедре критерии оценивания достижений студентов по каждому контрольно-оценочному мероприятию. Система критериев оценивания, как и при проведении промежуточной аттестации по модулю, опирается на три уровня освоения компонентов компетенций: пороговый, повышенный, высокий.

<b>Компоненты компетенций</b>	<b>Признаки уровня освоения компонентов компетенций</b>		
	<b>пороговый</b>	<b>повышенный</b>	<b>высокий</b>
<b>Знания</b>	Студент демонстрирует знание-знакомство, знание-копию: узнает объекты, явления и понятия, находит в них различия, проявляет знание источников получения информации, может осуществлять самостоятельно репродуктивные действия над знаниями путем самостоятельного воспроизведения и применения информации.	Студент демонстрирует аналитические знания: уверенно воспроизводит и понимает полученные знания, относит их к той или иной классификационной группе, самостоятельно систематизирует их, устанавливает взаимосвязи между ними, продуктивно применяет в знакомых ситуациях.	Студент может самостоятельно извлекать новые знания из окружающего мира, творчески их использовать для принятия решений в новых и нестандартных ситуациях.
<b>Умения</b>	Студент умеет корректно выполнять предписанные действия по инструкции, алгоритму в известной ситуации, самостоятельно	Студент умеет самостоятельно выполнять действия (приемы, операции) по решению нестандартных	Студент умеет самостоятельно выполнять действия, связанные с решением исследовательских



	выполняет действия по решению типовых задач, требующих выбора из числа известных методов, в предсказуемо изменяющейся ситуации	задач, требующих выбора на основе комбинации известных методов, в непредсказуемо изменяющейся ситуации	задач, демонстрирует творческое использование умений (технологий)
<b>Личностные качества</b>	Студент имеет низкую мотивацию учебной деятельности, проявляет безразличное, безответственное отношение к учебе, порученному делу	Студент имеет выраженную мотивацию учебной деятельности, демонстрирует позитивное отношение к обучению и будущей трудовой деятельности, проявляет активность.	Студент имеет развитую мотивацию учебной и трудовой деятельности, проявляет настойчивость и увлеченность, трудолюбие, самостоятельность, творческий подход.

## 8.2. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НЕЗАВИСИМОГО ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ

- НТК не применяется.

## 8.3. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

### 8.3.1. Примерные задания для проведения мини-контрольных в рамках учебных занятий

Проведите сравнение механизмов ионного переноса в твердых электролитах с собственной разупорядоченностью и в твердых электролитах с примесной разупорядоченностью.

Приведите примеры и основные особенности транспортных характеристик твердых электролитов со структурной разупорядоченностью.

Запишите общий вид уравнения переноса заряда в присутствии внешнего поля.

Вывод соотношения Нернста – Эйнштейна для ионных проводников.

Дайте определение отношения Хавена.

### 8.3.2. Примерные контрольные задачи в рамках учебных занятий

не предусмотрено

### 8.3.3. Примерные контрольные кейсы

не предусмотрено

### 8.3.4. Перечень примерных вопросов для зачета

1. Представление о твердых электролитах
2. Ионные и смешанные электронно-ионные проводники.
3. Основы теории ионной проводимости. Диффузия в присутствии электрического поля. Соотношение Нернста – Эйнштейна для ионных проводников. Отношение Хавена.
4. Электронная структура твердых электролитов.
5. Делокализованные электроны в суперионных проводниках.
6. Механизмы образования делокализованных электронов в суперионных материалах:
7. Амбиполярная (сопряженная) диффузия в электронно-ионных проводниках.
8. Определение концентрации электронных носителей методом кулонометрического титрования.
9. Методы определения характеристик электронной проводимости в смешанных электронно-ионных проводниках.

10. Методы определения подвижности электронных носителей с помощью изучения релаксационных процессов.
11. Ионно-электронное кооперативное разупорядочение. Металлизация электронной проводимости в смешанных электронно-ионных проводниках. Взаимовлияние движений ионных и электронных носителей.
12. Кристаллические и аморфные ионные проводники. Кристаллические и аморфные электронно-ионные проводники.
13. Модели структуры стекла и ионного переноса в стеклах.
14. Модель ионных перемещений Шарля.
15. Кластерная модель и модель модифицированной случайной сетки.
16. Модель сетки проводящих путей и теория перколяции.
17. Композитные материалы. Теория ионной проводимости в композитных материалах. Модель пространственного заряда. Перколяционная модель.
18. Низкотемпературные твердые электролиты. Свойства твердых электролитов в широкой области температур. Связь поверхностных свойств материалов с электрическими свойствами.
19. Прямые методы изучения диффузии. Эксперименты по диффузии меченых атомов.
20. Методы изучения диффузии. Механическая спектроскопия.
21. Ядерные методы изучения диффузии. Ядерный магнитный резонанс.
22. Методы изучения диффузии. Мессбауэровская спектроскопия.
23. Методы изучения диффузии. Квазиупругое рассеяние нейтронов.
24. Электрические методы изучения диффузии. Импедансная спектроскопия.
25. Низкотемпературные твердые электролиты. Свойства. Методы получения. Практическое использование.
26. Оксиды с электронно-ионной проводимостью. Материалы на основе оксида висмута. Механизмы ионной проводимости. Взаимодействие подсистем носителей зарядов. Гетеропереходы «смешанный проводник» - «ионный проводник» и «смешанный проводник» - «электронный проводник».
27. Кристаллические и стеклообразные материалы на основе многокомпонентных халькогенидов металлов первой группы с проводимостью по ионам серебра и меди. Физические характеристики. Оценка области температур начала заметного ионного переноса.
28. Соотношение компонент электронной и ионной составляющих проводимости в ионпроводящих халькогенидах серебра и меди. Характеристики электронной подсистемы.

#### **8.3.5. Перечень примерных вопросов для экзамена**

Не предусмотрено

#### **8.3.6. Ресурсы АПИМ УрФУ, СКУД УрФУ для проведения тестового контроля в рамках текущей и промежуточной аттестации**

не используются

#### **8.3.7. Ресурсы ФЭПО для проведения независимого тестового контроля**

не используются

#### **8.3.8. Интернет-тренажеры**

не используются