

ИНСТИТУТ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРОНИКЕ, СПИНТРОНИКЕ И ФОТОНИКЕ  
КАФЕДРА МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА**

Научная специальность	03.06.01 Физика и астрономия
Профиль направленности	Теплофизика и теоретическая теплотехника
Форма обучения	очная

Семестр	Интерактив	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
6		6	216	34	51	0	95	0	Э
ИТОГ О	0	6	216	34	51	0	95	0	

Группа: А21-413

## АННОТАЦИЯ

Дисциплина является одним из основных специальных теоретических курсов образовательной программы. Знания, полученные в результате освоения данной дисциплины, необходимы для проведения научных исследований в области теплофизики, преподавательской деятельности по основным программам высшего образования, а также для подготовки и сдачи кандидатского экзамена по специальности.

### 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Основными целями освоения дисциплины являются:

- формирование представления о теплофизике и теоретической теплотехнике, современном состоянии этой области науки и областях научных исследований;
- ознакомление аспирантов с методами теоретических и экспериментальных исследований свойств веществ в различных агрегатных состояниях при наличии всех видов тепло- и массообмена в широком диапазоне температур и давлений;

Задачами дисциплины являются:

- определение области научных исследований при подготовке научно-квалификационной работы аспиранта;
- изучение основных законов теплофизики, особенности протекания теплофизических процессов;
- получение практических навыков решения прикладных задач в области теплофизики и теоретической теплотехники;
- подготовка к сдаче кандидатского экзамена по специальности.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

В структуре основной образовательной программы «Теплофизика и теоретическая теплотехника» по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» дисциплина «Теплофизика и теоретическая теплотехника» реализуется в вариативной части и входит в Блок

1 «Дисциплины (модули)». В соответствии с учебным планом по направлению подготовки аспиранты изучают дисциплину на 6 семестре.

Дисциплина «Теплофизика и теоретическая теплотехника» является логическим продолжением формирования опыта теоретической и прикладной профессиональной деятельности, получаемым аспирантом в ходе обучения, и является неотъемлемой части подготовки аспиранта к сдаче кандидатского экзамена по специальности.

### **3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ/ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ И КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ ПО ЗАВЕРШЕНИИ ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

УК-1, УК-5, ОПК-1, ПК-1

УК-1, УК-5, ОПК-1, ПК-1

- УК-1 способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях

- УК-5 способностью планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития

- ОПК-1 способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий

- ПК-1 умение самостоятельно формулировать научные задачи, моделировать физические процессы с разработкой программного обеспечения, разрабатывать новые приборы и методы, проводить экспериментальные и теоретические исследования, обрабатывать и анализировать полученные результаты в современных экспериментах

Знать:

- основы и закономерности в области теплофизики;
- существующие методы исследований( теоретические и экспериментальные) свойств веществ в различных агрегатных состояниях;

Уметь:

- применять теоретические знания при решения практических научно-исследовательских задач в области теплофизики и теоретической теплотехники;
- применять междисциплинарный подход к анализу и решению проблем;

Владеть:

- методами компьютерного моделирования при исследовании свойств веществ в широком диапазоне давлений и температур;
- методами обработки и анализа экспериментальных результатов, полученных при проведении научных исследований.

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции, час.	Практ. занятия / семинары, час.	Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**
	<i>6 Семестр</i>							
1	Первый раздел	1-7	14	21			Кл, 7	25
2	Второй раздел	8-17	20	30			Кл, 17	25
	<i>Итого за 6 Семестр</i>		34	51	0			50
	<b>Контрольные мероприятия за 6 Семестр</b>						Э	50

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
Кл	Коллоквиум
Э	Экзамен

#### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>6 Семестр</i>	34	51	0
1 - 4	<b>Термодинамика и статистическая физика</b> Термодинамика и ее метод. Параметры состояния. Законы термодинамики. Дифференциальные уравнения термодинамики. Основные математические методы термодинамики. Основные термодинамические процессы. Статистическое описание идеального газа. Квантовая статистика идеального газа. Условие химического равновесия. Неидеальные газы. Фазовые переходы первого и второго рода. Теория флуктуаций. Термодинамика поверхности. Основы химической термодинамики.	Всего аудиторных часов		
		8	12	
		Онлайн		
5 - 6	<b>Теория неравновесных процессов</b> Уравнения переноса, основы термодинамики необратимых явлений. Кинетическое уравнение Больцмана. Случайные блуждания и броуновское движение. Релаксационные явления. Распространение звука в газе, дисперсия и затухание звука. Ударные волны.	Всего аудиторных часов		
		4	6	
		Онлайн		
7	<b>Физика газов и плазмы</b> Взаимодействие молекул. Уравнение состояния	Всего аудиторных часов		
		2	3	

	идеального газа. Явление переноса в газах. Методы исследования явлений переноса. Низкотемпературная плазма. Ионизационное равновесие. Явление переноса в плазме.	Онлайн		
8 - 9	<b>Физика жидкостей</b> Равновесие термодинамических систем и фазовые переходы. Диаграммы состояния. Кипение. Метастабильные состояния. Плавление, кристаллизация. Теплообмен и сопротивление в многофазных средах.	Всего аудиторных часов		
		4	6	
		Онлайн		
10 - 11	<b>Фазовые переходы</b> Равновесие термодинамических систем и фазовые переходы. Диаграммы состояния. Кипение. Метастабильные состояния. Плавление, кристаллизация. Теплообмен и сопротивление в многофазных средах.	Всего аудиторных часов		
		4	6	
		Онлайн		
12 - 13	<b>Физика твердого тела</b> Физика твердого тела Строение твердых тел: кристаллические и аморфные твердые тела. Колебание решетки, спектральная плотность колебаний решетки. Электронные состояния кристаллов. Термодинамика твердых тел. Теплопроводность и вязкость твердых тел. Взаимодействие молекул с поверхностью твердого тела.	Всего аудиторных часов		
		4	6	
		Онлайн		
14 - 16	<b>Тепло - и массообмен</b> Теплопроводность. Конвективный теплообмен в однокомпонентной среде. Теплообмен при внешнем обтекании тела. Теоретические и экспериментальные аспекты перехода ламинарного течения в турбулентное. Теплообмен при течении жидкости в каналах. Теплообмен при свободной конвекции. Теплообмен при фазовых превращениях. Пленочная и капельная конденсация. Кипение жидкостей. Режимы течения двухфазных потоков в трубах. Совместные процессы тепло- и массопереноса. Аналогия процессов тепло- и массообмена. Тепло- и массообмен при химических превращениях. Сублимация поверхности тела. Термическое разложение тела. Химическое взаимодействие на поверхности тела, обтекаемого высокотемпературным газовым потоком. Разрушение композиционных материалов в высокотемпературном газовом потоке. Теплообмен излучением. Законы теплового излучения. Теплообмен излучением в диатермичной среде. Теплообмен излучением в поглощающих и излучающих средах.	Всего аудиторных часов		
		6	9	
		Онлайн		
17	<b>Основы расчета теплообменных аппаратов и средств тепловой защиты</b> Современные теплообменные системы. Теплообменные аппараты. Уравнения теплового баланса и теплопередачи. Особенности выбора средств и методов тепловой защиты. Проникающее охлаждение	Всего аудиторных часов		
		2	3	
		Онлайн		

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозна	Полное наименование
--------	---------------------

<b>чение</b>	
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

## ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>6 Семестр</i>
1 - 4	<b>Термодинамика и статистическая физика</b> Термодинамика и ее метод. Параметры состояния. Законы термодинамики. Дифференциальные уравнения термодинамики. Основные математические методы термодинамики. Основные термодинамические процессы. Статистическое описание идеального газа. Квантовая статистика идеального газа. Условие химического равновесия. Неидеальные газы. Фазовые переходы первого и второго рода. Теория флуктуаций. Термодинамика поверхности. Основы химической термодинамики.
5 - 6	<b>Теория неравновесных процессов</b> Уравнения переноса, основы термодинамики необратимых явлений. Кинетическое уравнение Больцмана. Случайные блуждания и броуновское движение. Релаксационные явления. Распространение звука в газе, дисперсия и затухание звука. Ударные волны.
7	<b>Физика газов и плазмы</b> Взаимодействие молекул. Уравнение состояния идеального газа. Явление переноса в газах. Методы исследования явлений переноса. Низкотемпературная плазма. Ионизационное равновесие. Явление переноса в плазме.
8 - 9	<b>Физика жидкостей</b> Равновесие термодинамических систем и фазовые переходы. Диаграммы состояния. Кипение. Метастабильные состояния. Плавление, кристаллизация. Теплообмен и сопротивление в многофазных средах.
10 - 11	<b>Фазовые переходы</b> Равновесие термодинамических систем и фазовые переходы. Диаграммы состояния. Кипение. Метастабильные состояния. Плавление, кристаллизация. Теплообмен и сопротивление в многофазных средах.
12 - 13	<b>Физика твердого тела</b> Физика твердого тела Строение твердых тел: кристаллические и аморфные твердые тела. Колебание решетки, спектральная плотность колебаний решетки. Электронные состояния кристаллов.

	Термодинамика твердых тел. Теплопроводность и вязкость твердых тел. Взаимодействие молекул с поверхностью твердого тела.
14 - 16	<b>Тепло - и массообмен</b> Теплопроводность. Конвективный теплообмен в однокомпонентной среде. Теплообмен при внешнем обтекании тела. Теоретические и экспериментальные аспекты перехода ламинарного течения в турбулентное. Теплообмен при течении жидкости в каналах. Теплообмен при свободной конвекции. Теплообмен при фазовых превращениях. Пленочная и капельная конденсация. Кипение жидкостей. Режимы течения двухфазных потоков в трубах. Совместные процессы тепло- и массопереноса. Аналогия процессов тепло- и массообмена. Тепло- и массообмен при химических превращениях. Сублимация поверхности тела. Термическое разложение тела. Химическое взаимодействие на поверхности тела, обтекаемого высокотемпературным газовым потоком. Разрушение композиционных материалов в высокотемпературном газовом потоке. Теплообмен излучением. Законы теплового излучения. Теплообмен излучением в диатермичной среде. Теплообмен излучением в поглощающих и излучающих средах.
17	<b>Основы расчета теплообменных аппаратов и средств тепловой защиты</b> Современные теплообменные системы. Теплообменные аппараты. Уравнения теплового баланса и теплопередачи. Особенности выбора средств и методов тепловой защиты. Проникающее охлаждение

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

По направлению подготовки в рамках образовательной программы в учебном процессе предусматривается широкое использование активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков, а также технологий освоения методов экспериментальных и теоретических исследований свойств веществ в жидком, твердом и газообразном состоянии при наличии всех видов тепло- и массообмена во всем диапазоне температур и давлений.

Стандартные методы обучения: лекции и практических занятия; самостоятельная работа аспиранта, в которую входит освоение теоретического материала, подготовка к практическим работам и экспериментам, работа с учебной и научной литературой.

При выполнении заданий аспиранты широко используют современные компьютерные технологии, направленные на решение практических задач теплофизики и теоретической теплотехники. При обсуждении тем лекционных занятий проводится анализ последних научных работ, посвященных теоретическим и экспериментальным исследованиям молекулярных и макросвойств веществ в различных агрегатных состояниях для более глубокого понимания явлений, протекающих при тепловых процессах и агрегатных изменениях в физических системах.

## **6. ТРЕБОВАНИЯ К ФОНДУ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ В РАМКАХ РЕАЛИЗУЕМОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

По итогам освоения дисциплины проводится аттестация аспиранта. По результатам аттестации аспирант сдает экзамен на 6 семестре. Для определения глубины профессиональных знаний аспиранта, претендующего на звание кандидата наук, выяснение уровня его готовности к самостоятельной работе в сфере исследований и науки аспирант сдает кандидатский экзамен по специальности «Теплофизика и теоретическая теплотехника». Кандидатский экзамен по специальной дисциплине «Теплофизика и теоретическая теплотехника» осуществляется по билетам. Экзаменационные билеты по специальной дисциплине включают 4 вопроса.

Для обеспечения единообразного подхода и объективности в оценке знаний аспирантов по дисциплине «Теплофизика и теоретическая теплотехника» разработан Фонд оценочных средств (ФОС), где отражены критерии оценки всех видов текущего контроля, рубежного контроля и промежуточной аттестации. ФОС доступен преподавателям и аспирантам для ознакомления с методикой формирования результирующей оценки по дисциплине «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

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

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ К 20 Межмолекулярные взаимодействия. Физическая интерпретация, компьютерные расчеты и модельные потенциалы : учебное пособие, Москва: Лаборатория знаний, 2017
2. ЭИ Б 90 Химическая термодинамика : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2021

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

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

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

Автор(ы):

Тронин Иван Владимирович, к.ф.-м.н.

\_\_\_\_\_  
(подпись)



Белогорлов Антон Анатольевич, к.ф.-м.н., доцент

---

(подпись)

Рецензент(ы):

---

(подпись)