

ИНСТИТУТ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРОНИКЕ, СПИНТРОНИКЕ И ФОТОНИКЕ  
КАФЕДРА МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ

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

Научная специальность	1.3.14 Теплофизика и теоретическая теплотехника
Профиль направленности	Теплофизика и теоретическая теплотехника (в области физики кинетических явлений)
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		3	108	17	17	0	38	0	Э
ИТОГ О	0	3	108	17	17	0	38	0	

Группа: А22-413

## АННОТАЦИЯ

Дисциплина является одним из основных специальных теоретических курсов программы аспирантуры. 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 минимума по специальности.

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

В соответствии с учебным планом по программе подготовки аспиранты изучают дисциплину на 6 семестре в соответствии с графиком учебного процесса.

Дисциплина «Теплофизика и теоретическая теплотехника» является логическим продолжением формирования опыта теоретической и прикладной профессиональной

деятельности, получаемым аспирантом в ходе обучения, и является неотъемлемой частью 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, ОПК-1, ОПК-2, ПК-1, ПК-2, ПК-3

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

ОПК-1 Способен идентифицировать новые области исследований, новые проблемы с использованием анализа данных мировых информационных ресурсов, формулировать цели и задачи научных исследований, объективно оценивать результаты исследований и разработок, выполненных другими специалистами и в других научных учреждениях

ОПК-2 Владеет культурой научного исследования, научно-предметной областью знаний и научно обоснованной методологией теоретических и экспериментальных исследований

ПК-1 Способен 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

ПК-2 Способен творчески использовать полученные знания, применять, анализировать и развивать методы математической и теоретической физики, математического моделирования и теоретического исследования

ПК-3 Способен собирать, обрабатывать, анализировать и интерпретировать экспериментальные данные, необходимые для научной, проектной и производственно-технологической деятельности

Знать:

основные концепции развития научного знания, методы критического анализа и оценки современных научных достижений, методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях

основные информационные ресурсы предметной области; основные возможности цитатных баз данных: Web of Science, Scopus, РИНЦ

современные проблемы и методологию теоретических и экспериментальных работ в области научных исследований аспиранта; методику постановки, организации и выполнения научных исследований, методов планирования и организации научных экспериментов, методов и технологий обработки экспериментальных данных

принципы формулирования научных задач, моделирования процессов с разработкой программного обеспечения, разработки новых приборов и методов

современные методы математической и теоретической физики, математического моделирования и теоретического исследования

современные методы обработки, анализа и интерпретации экспериментальных данных

#### Уметь:

производить самостоятельную и непредвзятую оценку современным проблемам естествознания и социально-экономического развития; критически анализировать и оценивать современные научные достижения в области научных исследований аспиранта; генерировать новые идеи при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях

критически мыслить, оценивать и анализировать результаты других исследователей, проводить экспертизу научных проектов и разработок, систематизировать и обобщать информацию

определять цель и задачи исследования, формулировать название диссертации, а также выполнять информационный поиск по теме диссертации; обрабатывать, анализировать и интерпретировать экспериментальные данные, на основе полученных данных проверять научные гипотезы; творчески мыслить и творчески использовать, полученные за время обучения знания, получать новые научно–практические результаты

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

творчески использовать полученные знания, анализировать и развивать методы математической и теоретической физики, математического моделирования и теоретического исследования

сбирать, обрабатывать, анализировать и интерпретировать экспериментальные данные, необходимые для научной, проектной и производственно-технологической деятельности

#### Владеть:

навыками анализа основных мировоззренческих и методологических проблем, в том числе междисциплинарного характера возникающих в науке на современном этапе ее развития.

навыками работы с технической литературой, научно-техническими отчетами, справочниками и другими информационными источниками (в том числе на иностранном языке); основами современных методов научного исследования, информационной и библиографической культурой

навыками применения базовых и углубленных знаний в области научных исследований аспиранта

навыками моделирования физических процессов, разработки программного обеспечения, новых приборов и методов, проведения экспериментальных и теоретических исследований, обработки и анализа полученных результатов

навыками анализа и развития методы математической и теоретической физики, математического моделирования и теоретического исследования

навыками сбора, обработки, анализа и интерпретации экспериментальных данных

#### 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	7	7			Кл, 7	25
2	Второй раздел	8-17	10	10			Кл, 17	25
	<i>Итого за 6 Семестр</i>		17	17	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>	17	17	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		
		4	4	
		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		
		2	2	
		Онлайн		
7	<b>Физика газов и плазмы</b> Взаимодействие молекул. Уравнение состояния	Всего аудиторных часов		
		1	1	

	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	2	2
		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	2	2
		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	2	2
		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	3	3
		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	1	1
		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)