

МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ
ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

УТВЕРЖДЕНО:
на заседании кафедры прикладной физики
протокол от «23» марта 2022 г. № 7

Зав. кафедрой  / Л.А.Ковалева

СОГЛАСОВАНО:
Директор физико-технического
института



/И.Ф. Шарафуллин
«25» марта 2022 г.

**УРОВЕНЬ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
ПОДГОТОВКА КАДРОВ ВЫСШЕЙ КВАЛИФИКАЦИИ
ПРОГРАММА ПОДГОТОВКИ НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КАДРОВ
В АСПИРАНТУРЕ**

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

«Теплофизика и теоретическая теплотехника»

Вариативная часть, обязательные дисциплины

Направление подготовки 03.06.01 Физика и астрономия

Направленность подготовки Теплофизика и теоретическая теплотехника

Подготовка кадров высшей квалификации (аспирантура)

Квалификация

Исследователь. Преподаватель-исследователь

Форма обучения

Очная, заочная

Уфа, 2022 г.

Составитель / составители: д.ф.-м.н. проф. Хабибуллин И.Л.



Дополнения и изменения, внесенные в рабочую программу дисциплины (обновлены перечень основной и дополнительной литературы и лицензионное программное обеспечение, необходимое для освоения дисциплин) приняты на заседании кафедры прикладной физики протокол от «23» марта 2022 г. № 7.

Зав. кафедрой __  __ / Л.А. Ковалева

Список документов и материалов

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП
2. Цели и место дисциплины в структуре ОПОП
3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)
4. Фонд оценочных средств по дисциплине
 - 4.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания
 - 4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций
5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины
 - 5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины
 - 5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины
6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине
 - Приложение № 1. Содержание рабочей программы (очная форма)
 - Приложение № 2. Содержание рабочей программы (заочная форма)

**1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине,
соотнесенных с планируемыми результатами освоения основной
профессиональной образовательной программы
(с ориентацией на карты компетенций)**

В результате освоения основной профессиональной образовательной программы обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Результаты обучения		Формируемая компетенция (с указанием кода)	Примечание
Знания	1. Основные физические явления, законы и методы расчета термодинамических процессов, процессов переноса тепла и массы, сложного теплообмена и физико-химических превращений	ПК-1 - способностью самостоятельно формулировать задачи в области теплофизики и теоретической теплотехники и решать их с использованием современных информационных технологий и аппаратных средств. ПК-2 - способностью применять при решении практических задач технико-технологического характера в теплотехнике и в смежных отраслях методологии теории теплопереноса. ПК-3 - способностью использовать при решении задач теплофизики и теплотехники современных теоретических методов информационных технологий программных комплексов и численных методов.	
	2. Современные методы расчета термодинамических и переносных свойств веществ в различном агрегатном состоянии	ПК-1 - способностью самостоятельно формулировать задачи в области теплофизики и теоретической теплотехники и решать их с использованием современных информационных технологий и аппаратных средств. ПК-2 - способностью применять при решении практических задач	

		<p>технико-технологического характера в теплотехнике и в смежных отраслях методологии теории тепломассопереноса.</p> <p>ПК-3 - способностью использовать при решении задач теплофизики и теплотехники современных теоретических методов информационных технологий программных комплексов и численных методов.</p>	
	<p>3. Задачи и проблемы интенсификации тепло- и массообмена и тепловой защиты и методы их расчета</p>	<p>ПК-1 - способностью самостоятельно формулировать задачи в области теплофизики и теоретической теплотехники и решать их с использованием современных информационных технологий и аппаратных средств.</p> <p>ПК-2 - способностью применять при решении практических задач технико-технологического характера в теплотехнике и в смежных отраслях методологии теории тепломассопереноса.</p> <p>ПК-3 - способностью использовать при решении задач теплофизики и теплотехники современных теоретических методов информационных технологий программных комплексов и численных методов.</p>	
Умения	<p>1. Применять алгоритмы расчета термодинамических процессов, процессов переноса тепла и массы, сложного теплообмена и физико-химических превращений</p>	<p>ПК-1 - способностью самостоятельно формулировать задачи в области теплофизики и теоретической теплотехники и решать их с использованием современных информационных технологий и аппаратных</p>	

		<p>средств. ПК-2 - способностью применять при решении практических задач технико-технологического характера в теплотехнике и в смежных отраслях методологии теории теплопереноса. ПК-3 - способностью использовать при решении задач теплофизики и теплотехники современных теоретических методов информационных технологий программных комплексов и численных методов.</p>	
2. Выявлять закономерности в экспериментальных и теоретических исследованиях по теплофизическим свойствам веществ, термодинамическим процессам, процессам переноса тепла и массы в сплошных и разреженных, гомогенных и гетерогенных средах, сложному теплообмену и физико-химическим превращениям		<p>ПК-1 - способностью самостоятельно формулировать задачи в области теплофизики и теоретической теплотехники и решать их с использованием современных информационных технологий и аппаратных средств. ПК-2 - способностью применять при решении практических задач технико-технологического характера в теплотехнике и в смежных отраслях методологии теории теплопереноса. ПК-3 - способностью использовать при решении задач теплофизики и теплотехники современных теоретических методов информационных технологий программных комплексов и численных методов.</p>	
3. Обосновывать методы расчета термодинамических и переносных свойств в различном агрегатном состоянии		<p>ПК-1 - способностью самостоятельно формулировать задачи в области теплофизики и теоретической теплотехники и решать их с</p>	

		<p>использованием современных информационных технологий и аппаратных средств.</p> <p>ПК-2 - способностью применять при решении практических задач технико-технологического характера в теплотехнике и в смежных отраслях методологии теории теплопереноса.</p> <p>ПК-3 - способностью использовать при решении задач теплофизики и теплотехники современных теоретических методов информационных технологий программных комплексов и численных методов.</p>	
	<p>4. Выявлять механизмы переноса массы, импульса и энергии при конвекции, излучении, сложном теплообмене и физико-химических превращениях</p>	<p>ПК-1 - способностью самостоятельно формулировать задачи в области теплофизики и теоретической теплотехники и решать их с использованием современных информационных технологий и аппаратных средств.</p> <p>ПК-2 - способностью применять при решении практических задач технико-технологического характера в теплотехнике и в смежных отраслях методологии теории теплопереноса.</p> <p>ПК-3 - способностью использовать при решении задач теплофизики и теплотехники современных теоретических методов информационных технологий программных комплексов и численных методов.</p>	
	<p>5. Обосновывать методы интенсификации тепло- и</p>	<p>ПК-1 - способностью самостоятельно</p>	

	<p>массообмена и тепловой защиты</p>	<p>формулировать задачи в области теплофизики и теоретической теплотехники и решать их с использованием современных информационных технологий и аппаратных средств. ПК-2 - способностью применять при решении практических задач технико-технологического характера в теплотехнике и в смежных отраслях методологии теории тепломассопереноса. ПК-3 - способностью использовать при решении задач теплофизики и теплотехники современных теоретических методов информационных технологий программных комплексов и численных методов.</p>	
<p>Владения (навыки / опыт деятельности)</p>	<p>1. Владеть изученным аппаратом для самостоятельного описания, теплофизического анализа и решения задач термодинамики и тепло- и массопереноса</p>	<p>ПК-1 - способностью самостоятельно формулировать задачи в области теплофизики и теоретической теплотехники и решать их с использованием современных информационных технологий и аппаратных средств. ПК-2 - способностью применять при решении практических задач технико-технологического характера в теплотехнике и в смежных отраслях методологии теории тепломассопереноса. ПК-3 - способностью использовать при решении задач теплофизики и теплотехники современных теоретических методов информационных технологий программных</p>	

		КОМПЛЕКСОВ И ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ.	
--	--	------------------------------------	--

2. Цели и место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Теплофизика и теоретическая теплотехника» относится к вариативной части.

Дисциплина изучается на 3 курсе в 5 семестре.

Целью изучения дисциплины «Теплофизика и теоретическая теплотехника» является освоение экспериментальных и теоретических исследований по теплофизическим свойствам веществ, термодинамическим процессам, процессам переноса тепла и массы в сплошных и разреженных, гомогенных и гетерогенных средах, сложному теплообмену и физико-химическим превращениям, обоснованию методов интенсификации тепло- и массообмена и тепловой защиты.

Задачами дисциплины являются:

– изучение основных физических явлений, законов и методов расчета термодинамических процессов, процессов переноса тепла и массы, сложного теплообмена и физико-химических превращений;

– обучение навыкам обоснованного принятия решений при выборе методов экспериментального и теоретического исследования по теплофизике и теоретической теплотехнике.

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения следующих дисциплин образовательной программы по направлению подготовки 03.03.02 «Физика», 03.04.02 «Физика»: «Молекулярная физика», «Механика», «Физика конденсированного состояния», «Механика сплошных сред», «Термодинамика».

3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)

Содержание рабочей программы по очной форме представлено в Приложении № 1.

Содержание рабочей программы по заочной форме представлено в Приложении № 2.

4. Фонд оценочных средств по дисциплине

4.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения основной профессиональной образовательной программы.

Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Код и формулировка компетенции

ПК-1 - способностью самостоятельно формулировать задачи в области теплофизики и теоретической теплотехники и решать их с использованием современных информационных технологий и аппаратных средств.

Этап (уровень) освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2 («Не удовлетворительно»)	3 («Удовлетворительно»)	4 («Хорошо»)	5 («Отлично»)
Первый этап (Пороговый уровень)	Знать: 1) теоретические основы, основные понятия, законы и модели теплофизики; 2) методы теоретических и экспериментальных исследований в физике 3) границы применимости различных физических понятий, законов, теорий.	Отсутствие знаний	Частично знает об основных понятиях и законах теплофизики, методах теоретических и экспериментальных исследованиях	Знает об основных понятиях и законах теплофизики, методах теоретических и экспериментальных исследованиях, но допускает незначительные ошибки	Знает об основных понятиях и законах теплофизики, методах теоретических и экспериментальных исследованиях в физике
Второй этап (Базовый уровень)	Уметь: 1) оценивать степень достоверности результатов, полученных с помощью экспериментал	Отсутствие умений	Умеет частично оценивать степень достоверности результатов, полученных с помощью экспериментальн	В целом умеет оценивать степень достоверности результатов	Достоверно оценивает результаты, полученные с

	<p>ьных и теоретических методов исследования;</p> <p>2) анализировать и применять физические законы и явления для решения задач</p>		<p>ых и теоретических методов исследования;</p> <p>Не в полной мере применяет физические законы и явления для решения задач</p>	<p>полученных с помощью экспериментальных и теоретических методов исследования;</p> <p>Применяет физические законы и явления для решения задач</p>	<p>помощью экспериментальных и теоретических методов исследования;</p> <p>Анализирует и применяет физические законы и явления для решения задач</p>
<p>Третий этап (Повышенный уровень)</p>	<p>Знать: 1) теоретические основы, основные понятия, законы и модели теплофизики;</p> <p>2) методы теоретических и экспериментальных исследований в физике</p> <p>3) границы применимости различных физических понятий, законов, теорий.</p>	<p>Не владеет знаниями.</p>	<p>Владеет методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической физической информации;</p> <p>- методиками решения задач по теплофизике;</p> <p>- навыками проведения физического эксперимента и методами оценки погрешности измерений. но допускает значительные ошибки</p>	<p>Использует методы обработки и анализа экспериментальной и теоретической физической информации;</p> <p>- методика решения задач по теплофизике;</p> <p>владеет навыками проведения физического эксперимента и методами оценки погрешности измерений. Имеются отдельные</p>	<p>Владеет в полной мере методами и обработки и анализа экспериментальной и теоретической физической информации;</p> <p>- методиками решения задач по теплофизике;</p> <p>- навыкам и проведения физического</p>

				пробелы в знаниях	ого эксперимента и методам и оценки погрешности измерений.
--	--	--	--	-------------------	--

ПК-2 - способностью применять при решении практических задач технико-технологического характера в теплотехнике и в смежных отраслях методологии теории теплопереноса.

Этап (уровень) освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2 («Не удовлетворительно»)	3 («Удовлетворительно»)	4 («Хорошо»)	5 («Отлично»)
Первый этап (Пороговый уровень)	Знать: 1) теоретические основы, основные понятия, законы и модели теплофизики; 2) методы теоретических и экспериментальных исследований в физике 3) границы применимости различных физических понятий, законов, теорий.	Знания отсутствуют	В целом знает об основных понятиях и законах теплофизики, методах теоретических и экспериментальных исследований на уровне неполных общих представлений	Знает об основных понятиях и законах теплофизики, методах теоретических и экспериментальных исследований, но допускает незначительные ошибки	Знает об основных понятиях и законах теплофизики, методах теоретических и экспериментальных исследований в физике
Второй этап (Базовый уровень)	Уметь: 1) оценивать степень достоверности результатов, полученных с	Отсутствие умений	Умеет частично оценивать степень достоверности результатов, полученных с	Оценивает степень достоверности результатов	Достоверно оценивает результаты,

	помощью экспериментальных и теоретических методов исследования; 2) анализировать и применять физические законы и явления для решения задач		помощью экспериментальных и теоретических методов исследования; Не в полной мере применяет физические законы и явления для решения задач	полученных с помощью экспериментальных и теоретических методов исследования; Применяет физические законы и явления для решения задач Имеются пробелы.	полученные с помощью экспериментальных и теоретических методов исследования; Анализирует и применяет физические законы и явления для решения задач
Третий этап (Повышенный уровень)	Знать: 1) теоретические основы, основные понятия, законы и модели теплофизики; 2) методы теоретических и экспериментальных исследований в физике 3) границы применимости различных физических понятий, законов, теорий.	Отсутствие знаний	Владеет методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической физической информации; - методиками решения задач по теплофизике; - навыками проведения физического эксперимента и методами оценки погрешности измерений. но допускает значительные ошибки	Использует методы обработки и анализа экспериментальной и теоретической физической информации; Знает методики решения задач по теплофизике; владеет навыками проведения физического эксперимента и методами оценки погрешности	Владеет в полной мере методами и обработкой и анализа экспериментальной и теоретической физической информации; - методиками решения задач по теплофизике; - навыкам и проведен

				измерений.	ия физическ ого эксперим ента и методам и оценки погрешн ости измерен ий.
--	--	--	--	------------	---

ПК-3 - способностью использовать при решении задач теплофизики и теплотехники современных теоретических методов информационных технологий программных комплексов и численных методов.

Этап (уровень) освоения компетенци и	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2 («Не удовлетворит ельно»)	3 («Удовлетворите льно»)	4 («Хорошо»)	5 («Отлично»)
Первый этап (Пороговый уровень)	Знать: 1) теоретические основы, основные понятия, законы и модели теплофизики; 2) методы теоретических и экспериментал ьных исследований в физике 3) границы применимости различных физических понятий, законов, теорий.	Отсутствие знаний	Частично знает об основных понятиях и законах теплофизики, методы теоретических и экспериментальн ых исследований	Знает об основных понятиях и законах теплофизик и, методах теоретическ их и эксперимен тальных исследован ий, но допускает незначитель ные ошибки	Знает об основны х понятиях и законах теплофиз ики, методах теоретич еских и эксперим ентальн ых исследов аниях в физике
Второй этап (Базовый уровень)	Уметь: 1) оценивать степень достоверности результатов,	Отсутствие умений	Умеет частично оценивать степень достоверности результатов,	Оценивает степень достоверно сти результатов	Достовер но оценивае т результата

	полученных с помощью экспериментальных и теоретических методов исследования; 2) анализировать и применять физические законы и явления для решения задач		полученных с помощью экспериментальных и теоретических методов исследования; Не в полной мере применяет физические законы и явления для решения задач	, полученных с помощью экспериментальных и теоретических методов исследований; Применяет физические законы и явления для решения задач Имеются отдельные пробелы в умениях	ты, полученные с помощью экспериментальных и теоретических методов исследований; Анализирует и применяет физические законы и явления для решения задач
Третий этап (Повышенный уровень)	Знать: 1) теоретические основы, основные понятия, законы и модели теплофизики; 2) методы теоретических и экспериментальных исследований в физике 3) границы применимости различных физических понятий, законов, теорий.	Отсутствие знаний.	Частично владеет основными понятиями и законами теплофизики; Знает методы теоретических и экспериментальных исследований, но допускает значительные ошибки	Использует методы обработки и анализа экспериментальной и теоретической физической информации; - методики решения задач по теплофизике; владеет навыками проведения физического эксперимента и методами оценки погрешности	Владеет в полной мере методами и обработкой и анализа экспериментальной и теоретической физической информации; - методиками решения задач по теплофизике; - навыкам

				измерений.	проведения физического эксперимента и методам и оценки погрешности измерений.
--	--	--	--	------------	---

4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения основной профессиональной образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Этапы освоения	Результаты обучения	Компетенция	Оценочные средства
1-й этап Знания	Знать: 1) теоретические основы, основные понятия, законы и модели теплофизики; 2) методы теоретических и экспериментальных исследований в физике 3) границы применимости различных физических понятий, законов, теорий.	ПК-1	изучение основной и дополнительной литературы, составление кратких конспектов
	Знать: 1) теоретические основы, основные понятия, законы и модели теплофизики; 2) методы теоретических и экспериментальных исследований в физике 3) границы применимости различных физических понятий, законов, теорий.	ПК-2	
	Знать: 1) теоретические основы, основные понятия, законы и модели теплофизики; 2) методы теоретических	ПК-3	

	и экспериментальных исследований в физике 3) границы применимости различных физических понятий, законов, теорий.		
2-й этап Умения	Уметь: 1) оценивать степень достоверности результатов, полученных с помощью экспериментальных и теоретических методов исследования; 2) анализировать и применять физические законы и явления для решения задач	ПК-1	изучение основной и дополнительной литературы, составление кратких конспектов, решение задач
	Уметь: 1) оценивать степень достоверности результатов, полученных с помощью экспериментальных и теоретических методов исследования; 2) анализировать и применять физические законы и явления для решения задач	ПК-2	
	Уметь: 1) оценивать степень достоверности результатов, полученных с помощью экспериментальных и теоретических методов исследования; 2) анализировать и применять физические законы и явления для решения задач	ПК-3	
3-й этап Владеть навыками	Владеть: 1) методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической физической информации; 2) методиками решения задач по теплофизике;	ПК-1	изучение основной и дополнительной литературы, составление кратких конспектов, решение задач

	3) навыками проведения физического эксперимента и методами оценки погрешности измерений.		
	Владеть: 1) методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической физической информации; 2) методиками решения задач по теплофизике; 3) навыками проведения физического эксперимента и методами оценки погрешности измерений.	ПК-2	
	Владеть: 1) методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической физической информации; 2) методиками решения задач по теплофизике; 3) навыками проведения физического эксперимента и методами оценки погрешности измерений.	ПК-3	

В качестве основного оценочного средства текущего контроля используются индивидуальная проверка заданий по самостоятельной работе, дискуссии на лекционном и практических занятиях по прочитанной литературе. Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины – письменная работа. Аттестация по итогам освоения дисциплины – кандидатский экзамен.

Программа кандидатского экзамена для специальности – 03.06.01 Физика и астрономия (Направленность подготовки «Теплофизика и теоретическая теплотехника»)

I. Термодинамика и статистическая физика

1. Законы термодинамики. Термодинамические функции. Термодинамические неравенства. Распределение Гиббса. Энтропия. Статистическое обоснование закона возрастания энтропии. Распределение Гиббса для систем с переменным числом частиц.
2. Статистическое описание идеального газа. Распределение Больцмана. Термодинамические свойства двухатомного газа с молекулами одинаковых и разных атомов. Закон равнораспределения.
3. Квантовая статистика идеального газа. Распределение Бозе. Термодинамика черного излучения. Распределение Ферми.
4. Условие химического равновесия. Закон действующих масс. Теплота реакции. Термическая диссоциация, ионизация, возбуждение.

5. Неидеальные газы. Разложения по степеням плотности. Виральные коэффициенты.
6. Фазовые переходы первого и второго рода. Термодинамическая теория Ландау фазовых переходов второго рода.
7. Теория флуктуаций. Распределение Гаусса. Флуктуации основных термодинамических величин. Формула Пуассона. Корреляция флуктуаций. Флуктуации в критической точке.
Корреляция флуктуаций во времени.
8. Термодинамика поверхности. Поверхностное натяжение и поверхностное давление. Равновесие между поверхностной фазой и газом. Теория образования зародышей при фазовых переходах первого рода.

II. Теория неравновесных процессов.

1. Уравнения переноса, основы термодинамики необратимых явлений. Соотношение симметрии кинетических коэффициентов Онсагера. Применения методов неравновесной термодинамики к явлениям в сплошных средах с одновременным протеканием различных процессов: диффузии, теплопроводности, вязкости, химических реакций.
2. Кинетическое уравнение Больцмана. H - теорема. Вывод уравнения Больцмана на основе баланса числа частиц. Идеи метода Чепмена-Энскога и Грэда. Вывод коэффициентов. Влияние химических реакций и внутренних степеней свободы на явления переноса.
3. Случайные блуждания и броуновское движение. Уравнение Ланжевена. Уравнение Фоккера-Планка.
4. Релаксационные явления. Основное кинетическое уравнение. Колебательная релаксация. Вращательная релаксация. Кинетика диссоциации и ионизации. Газовые лазеры. Столкновительные механизмы создания инверсной населенности.
5. Распространение звука в газе, дисперсия и затухание звука. Вторая вязкость.
6. Ударные волны. Законы сохранения на фронте ударной волны. Ударная адиабата. Структура ударной волны в газах. Истечение газа через сопло.

III. Физика газов и плазмы.

1. Взаимодействие молекул. Источники сведений о межмолекулярных силах. Различные составляющие межмолекулярных сил. Потенциальные функции межмолекулярного взаимодействия. Упругие и неупругие столкновения.
2. Уравнение состояния идеального газа. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Закон соответственных состояний, термодинамическое подобие. Теплоемкость. Сжимаемость. Эффект Джоуля-Томпсона. Методы измерения термодинамических величин.
3. Явление переноса в газах. Вязкость. Теплопроводность. Диффузия. Термодиффузия. Пристеночные явления в умеренно разреженном газе. Термомолекулярная разность давлений. Кинетические явления в сильно разреженном газе (газ Кнудсена).
4. Методы исследования явлений переноса. Методы получения сверхнизких и высоких давлений. Диффузионные методы разделения изотопов.
5. Низкотемпературная плазма. Дебаевский радиус.
6. Ионизационное равновесие. Формула Саха. Кинетика ионизации.
7. Явление переноса в плазме. Излучение плазмы.

IV. Физика жидкостей.

1. Строение жидкости. Радиальная функция распределения. Изучение структуры жидкости методом рассеяния рентгеновских лучей.
2. Уравнения состояния жидкости и плотных газов. Плотность, сжимаемость, теплоемкость.
3. Статистическая теория жидкостей. Частичные функции распределения, методы интегральных уравнений. Модельные теории. Компьютерное моделирование.
4. Явление переноса и релаксации в жидкости. Вязкость, теплопроводность, диффузия и

самодиффузия.

5. Сопротивление и теплопередача в ламинарном потоке.

6. Конвективный теплообмен.

7. Турбулентное движение и турбулентный теплообмен.

8. Кризис сопротивления.

9. Модели турбулентности. Методы расчета турбулентных явлений в газе, жидкости и плазме.

10. Радиационный теплообмен и радиационная газовая динамика.

11. Изучение теплового движения в жидкостях по рассеянию света и медленных нейтронов. Пространственно-временная корреляционная функция.

12. Поверхностные явления. Поверхностное натяжение, смачивание. Осмотическое давление.

13. Экзотические жидкости, жидкие кристаллы, жидкие металлы. Квантовые жидкости. Сверхтекучесть гелия.

V. Фазовые переходы.

1. Диаграммы состояния. Условия равновесия фаз. Закон Клапейрона-Клаузиуса. Критическая точка и физические свойства системы в окрестности критической точки. Соотношения между критическими показателями. Экспериментальные методы исследования критических состояний. Методы термостатирования и получения низких температур.

2. Кипение. Кризис кипения. Методы расчета.

3. Метастабильные состояния. Перегрев, переохлаждение. Давление насыщенных паров над раствором.

4. Плавление, кристаллизация. Возгонка и сублимация.

5. Теплообмен и сопротивление в многофазных средах.

VI. Физика твердого тела.

1. Строение твердых тел: кристаллические и аморфные твердые тела. Пространственная решетка кристалла. Трансляционная симметрия. Дефекты в кристаллах: точечные дефекты и дислокации.

2. Колебание решетки, спектральная плотность колебаний решетки. Ангармонизм и тепловое расширение. Теплоемкость кристаллов. Модели Энштейна и Дебая.

3. Электронные состояния кристаллов. Модели свободных электронов. Зонная структура энергетического спектра кристаллов. Проводники, полупроводники и диэлектрики. Электронная теплоемкость.

4. Термодинамика твердых тел. Уравнение состояния твердых тел. Термодинамическое описание термоупругих свойств.

5. Теплопроводность и вязкость твердых тел. Уравнение теплопроводности в твердых телах., теплопроводность кристаллов. Механизмы теплопроводности в диэлектриках и металлах. Вязкость и её проявление при поглощении звука в твердых телах.

6. Взаимодействие молекул с поверхностью твердого тела. Адсорбция и хемосорбция. Мономолекулярная и полимолекулярная адсорбция.

Экзаменационные билеты

Кандидатский экзамен является оценочным средством для всех этапов освоения компетенций.

Кандидатский экзамен оценивается по пятибалльной шкале.

Вопросы кандидатского экзамена

1. Законы термодинамики. Термодинамические функции. Термодинамические неравенства.

2. Распределение Гиббса. Энтропия. Статистическое обоснование закона возрастания энтропии. Распределение Гиббса для систем с переменным числом частиц.

3. Статистическое описание идеального газа. Распределение Больцмана.
4. Квантовая статистика идеального газа. Распределение Бозе.
5. Термодинамика черного излучения. Распределение Ферми.
6. Условие химического равновесия. Закон действующих масс. Теплота реакции. Термическая диссоциация, ионизация, возбуждение.
7. Неидеальные газы. Разложения по степеням плотности. Вириальные коэффициенты.
8. Фазовые переходы первого и второго рода. Термодинамическая теория Ландау фазовых переходов второго рода.
9. Уравнения переноса, основы термодинамики необратимых явлений. Соотношение симметрии кинетических коэффициентов Онсагера.
10. Применения методов неравновесной термодинамики к явлениям в сплошных средах с одновременным протеканием различных процессов: диффузии, теплопроводности, вязкости, химических реакций.
11. Случайные блуждания и броуновское движение. Уравнение Ланжевена. Уравнение Фоккера-Планка.
12. Релаксационные явления. Основное кинетическое уравнение. Колебательная релаксация. Вращательная релаксация. Кинетика диссоциации и ионизации. Газовые лазеры. Столкновительные механизмы создания инверсной населенности.
13. Взаимодействие молекул. Источники сведений о межмолекулярных силах. Различные составляющие межмолекулярных сил. Потенциальные функции межмолекулярного взаимодействия.
14. Уравнение состояния идеального газа. Уравнение Ван-дер-Ваальса.
15. Закон соответственных состояний, термодинамическое подобие.
16. Теплоемкость. Сжимаемость. Эффект Джоуля-Томпсона.
17. Явление переноса в газах. Вязкость. Теплопроводность. Диффузия. Термодиффузия.
18. Пристеночные явления в умеренно разреженном газе. Термомолекулярная разность давлений. Кинетические явления в сильно разреженном газе (газ Кнудсена).
19. Методы исследования явлений переноса. Методы получения сверхнизких и высоких давлений. Диффузионные методы разделения изотопов.
20. Низкотемпературная плазма. Дебаевский радиус. Ионизационное равновесие. Формула Саха. Кинетика ионизации.
21. Явление переноса в плазме. Излучение плазмы.
22. Строение жидкости. Радиальная функция распределения. Изучение структуры жидкости методом рассеяния рентгеновских лучей.
23. Уравнения состояния жидкости и плотных газов. Плотность, сжимаемость, теплоемкость.
24. Статистическая теория жидкостей. Частичные функции распределения, методы интегральных уравнений. Модельные теории. Компьютерное моделирование. Явление переноса и релаксации в жидкости. Вязкость, теплопроводность, диффузия и самодиффузия.
25. Поверхностные явления. Поверхностное натяжение, смачивание. Осмотическое давление.
26. Экзотические жидкости, жидкие кристаллы, жидкие металлы. Квантовые жидкости. Сверхтекучесть гелия.
27. Диаграммы состояния. Условия равновесия фаз. Закон Клапейрона-Клаузиуса. Критическая точка и физические свойства системы в окрестности критической точки. Соотношения между критическими показателями. Методы термостатирования и получения низких температур.
28. Кипение. Кризис кипения. Методы расчета.

29. Метастабильные состояния. Перегрев, переохлаждение. Давление насыщенных паров над раствором.
30. Плавление, кристаллизация. Возгонка и сублимация.
31. Правило фаз Гиббса. Равновесие в гомогенных многокомпонентных системах. Закон действующих масс.
32. Перенос массы – уравнение непрерывности с источниками и стоками. Идеальная жидкость. Уравнение Эйлера. Вихревое движение.
33. Потенциальное движение. Уравнение Бернулли. Вязкая жидкость. Тензор вязких напряжений. Уравнение Навье-Стокса. Диссипация кинетической энергии в вязкой жидкости.
34. Уравнение Рейнольдса для турбулентного движения. Теория турбулентности Прандтля.
35. Движение жидкости в пограничном слое. Уравнение Прандтля. Интегральное уравнение Кармана. Отрыв и турбулизация пограничного слоя. Кризис сопротивления.
36. Тепловой поток. Уравнение теплопроводности, краевые задачи.
37. Стационарная теплопроводность, решение задачи для простейших тел. Объемные и поверхностные источники тепла.
38. Нестационарная теплопроводность. Простейшие задачи для бесконечных и конечных областей. Нелинейная теплопроводность. Автомодельные решения. Тепловые волны.
39. Основные аналитические методы решения уравнения теплопроводности: метод Фурье, метод интегральных преобразований Лапласа, метод функций Грина.
40. Общие уравнения переноса тепла.
41. Критерии подобия, критериальные уравнения теплообмена.
42. Теплоотдача при свободной и вынужденной конвекции.
43. Теплообмен в ламинарном пограничном слое.
44. Теплообмен при испарении, конденсации и кипении, пленочная и капельная конденсация. Теплообмен при конденсации пара из парогазовой смеси.
45. Теплообмен при кипении однокомпонентных жидкостей. Режимы кипения. Механизм процесса теплообмена при пузырьковом кипении. Кризис кипения. Механизмы теплообмена при пленочном кипении.
46. Теплопередача при ламинарном и турбулентном движении паровой пленки
47. Основные законы теплового излучения. Формула Планка.
48. Закон Стефана Больцмана. Закон Кирхгофа.
49. Лучистый теплообмен между телами. Угловые коэффициенты излучения.
50. Теплообмен в поглощающих и излучающих средах. Особенности излучения газов и паров. Критерий радиационного подобия.

Экзаменационный билет кандидатского экзамена включает 4 вопроса: 3 вопроса по программе кандидатского минимума, 1 вопрос по теме диссертации.

Образец экзаменационного билета:

Направление подготовки 03.06.01 Физика и астрономия,
Направленность «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

БИЛЕТ № 1

1. Законы Термодинамики, Термодинамические функции.
2. Дросселирование, эффект Джоуля Томпсона. .
3. Процессы истечения газов и жидкостей. Сопло, диффузор. Число Маха.
4. Вопрос по теме диссертации.

Примерные критерии оценивания ответа на экзамене:

5 баллов (отлично) выставляется аспиранту, если он дал полные, развернутые ответы на все теоретические вопросы билета, продемонстрировал знание функциональных возможностей, терминологии, основных элементов, умение применять теоретические знания при выполнении практических заданий. Аспирант без затруднений ответил на все дополнительные вопросы. Практическая часть работы выполнена полностью без неточностей и ошибок.

4 балла (хорошо) выставляется, если аспиранту, если он раскрыл в основном теоретические вопросы, однако допущены неточности в определении основных понятий. При ответе на дополнительные вопросы допущены небольшие неточности. При выполнении практической части работы допущены несущественные ошибки.

3 (удовлетворительно) выставляется аспиранту, если при ответе на теоретические вопросы им допущено несколько существенных ошибок в толковании основных понятий. Логика и полнота ответа страдают заметными изъянами. Заметны пробелы в знании основных методов. Теоретические вопросы в целом изложены достаточно, но с пропусками материала. Имеются принципиальные ошибки в логике построения ответа на вопрос. Аспирант не решил задачу или при решении допущены грубые ошибки.

2 (неудовлетворительно) выставляется аспиранту, если ответы на теоретические вопросы свидетельствуют о непонимании и крайне неполном знании основных понятий и методов. Обнаруживается отсутствие навыков применения теоретических знаний при выполнении практических заданий. Аспирант не смог ответить ни на один дополнительный вопрос.

Регламентация самостоятельной работы аспирантов (СРА).

Темы для самостоятельного изучения предполагают знакомство с теплофизикой и теоретической теплотехникой и направлена на углубление и закрепление знаний, и развитие практических умений аспиранта. Для усвоения содержания разделов программы дисциплины рекомендуется конспектирование материалов монографий, учебной литературы и самостоятельная работа с интернет-ресурсами.

Порядок самостоятельной работы определен тематическим планом. Для усвоения курса следует:

- а) внимательно изучать теоретические разделы указанных источников;
- б) прорабатывать упражнения и придумывать свои примеры;
- в) по возможности выдвигать свои гипотезы и проводить научные исследования, связанные с этими гипотезами.

Методы работы с литературой. При чтении научной литературы используются различные его виды:

- просмотровое чтение (оно используется для составления общего впечатления и предполагает просмотр текста; при просмотровом чтении обычно читается титульный лист, аннотация, оглавление, отдельные абзацы и предложения);

- ознакомительное (выборочное) чтение (оно используется для выяснения определенных вопросов, которые находятся в разных источниках, а также с целью сравнения, сопоставления извлеченной информации, выработки собственной позиции по данному вопросу);

- изучающее чтение (это активный вид чтения, который предполагает внимательное изучение материала; нацелен на усвоение главной мысли текста, его цели, на понимание логики изложения и т.д.; этот вид чтения требует последовательности в изучении).

Полезно составлять схемы, устанавливающие иерархию понятий, вести словарь понятий и терминов, обращаться к перечню ключевых слов, к оглавлению изучаемых источников литературы.

Форма отчетности о результатах самостоятельной работы по дисциплине. Отчет о самостоятельной работе обучающиеся представляют в виде презентаций или рефератов.

Примерные задания для самостоятельной работы

1. Согласно закону Рауля, понижение температуры замерзания раствора ΔT в зависимости от концентрации c растворенного вещества определяется выражением $\Delta T = R \frac{c T_\phi}{L}$, где R – газовая постоянная, T_ϕ и L – температура и теплота кристаллизации чистого растворителя. Этот закон используется при моделировании различных термодинамических процессов в многокомпонентных системах (растворах), например, он определяет изменение температуры замерзания минерализованных водных систем. Закон Рауля можно использовать в экспериментальных исследованиях, например, для определения молекулярных весов растворяемых веществ.

При растворении парафина массой m в бензоле массой M обнаружено уменьшение температуры замерзания раствора ΔT по сравнению с температурой замерзания чистого бензола. Зная молекулярный вес, теплоту и температуру кристаллизации бензола $\bar{\mu}$, Q , T_ϕ , найти величину n в формуле парафина $C_n H_{2n+2}$ и установить молекулярный вес парафина.

2. Пузырек газа начального радиуса r_0 растворяется в жидкости. Считая, что растворение происходит по механизму диффузии газа из границы раздела газ-жидкость вглубь жидкости, найти распределение концентрации газа в жидкости и оценить массу газа, растворенного в жидкости за время t . Коэффициент диффузии газа в жидкости D .

3. Найти время испарения сферической капли воды с начальным радиусом $a_0 = 1 \text{ мм}$ в воздухе с относительной влажностью $f = 40\%$ при температуре $t = 20^\circ \text{C}$. Плотность насыщенного водяного пара при этой температуре $\rho_n = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ г/см}^3$, коэффициент диффузии пара $D = 0,22 \text{ см}^2/\text{с}$. Процесс испарения можно считать стационарным, зависимостью ρ_n от кривизны поверхности капли можно пренебречь. Как изменится результат, если капля имеет начальный радиус $a = 0,1 \text{ мм}$, воздух насыщен водяными парами. При этом, вследствие малости радиуса капли, следует использовать формулу В. Томсона, определяющую зависимость давления насыщенного пара от кривизны поверхности жидкости.

4. При увеличении температуры от 10°C до 20°C растворимость (концентрация насыщенного раствора) метана в воде при атмосферном давлении уменьшается от $41,8 \text{ см}^3/\text{дм}^3$ до $33,1 \text{ см}^3/\text{дм}^3$. Здесь объем растворенного газа в см^3 определен при нормальных условиях. Какое количество тепла выделяется при растворении метана в воде в

указанном интервале температур, например, при 15 °С? Считая процесс растворения происходящим без теплообмена с окружающей средой, оценить, насколько повышается температура воды при растворении в ней метана. Определить эти же величины при растворении углекислого газа в воде, если его растворимость в указанном интервале температур уменьшается от значения 1194 см³/дм³ до 878 см³/дм³. Показать, что полученные растворы получатся слабыми. Как влияет давление на теплоту растворения и на концентрацию газа?

5. Рассмотреть задачу, аналогичную предыдущей, для случая растворения углекислого газа в нефти, если при давлении $P=20$ атм, растворимость углекислого газа в нефти при изменении температуры от 60 °С до 80 °С уменьшается от 21 м³/м³ до 17,8 м³/м³.

6. Капля воды начального радиуса r_0 испаряется в воздухе с начальной влажностью f . Известны коэффициент диффузии пара в воздухе D и плотность насыщенного водяного пара ρ . Считая процесс испарения стационарным, найти время испарения капли. Плотность воды ρ_w .

7. В замкнутом объеме при температуре T производится разложение гидрата метана $\text{CH}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ на газ и воду, n – отношение числа молекул воды к числу молекул газа в 1 моле гидрата. Считая воду несжимаемой, газ идеальным, оценить давление газа P после разложения гидрата, если плотность воды $\rho_w = 1000$ кг/м³, плотность гидрата $\rho_c = 900$ кг/м³, $n=6$, $T=320$ К.

8. Исследовать предыдущую задачу с учетом растворения газа в воде.

9. В пористой среде некоторые фазы находятся в твердом (неподвижном), а некоторые в жидком или газообразном, т.е. в подвижном состоянии. Допустим, что вследствие внешних воздействий нарушилось первоначальное термодинамическое равновесие и стало возможным изменение агрегатного состояния некоторых фаз. Такая ситуация может быть при разложении газогидратов или их образования в пластах, при выпадении из нефти парафина или его расплавлении (растворении), при выпадении конденсата из газа, при конденсации пара, испарении воды, при подземном выщелачивании полезных ископаемых и т.д. При этом происходит перераспределение массы между твердыми и фильтрующимися (жидкими и газообразными) фазами. Во многих случаях можно считать, что изменение агрегатного состояния фаз происходит в некоторой локализованной области, которую можно рассматривать как поверхность фазового перехода. Эта поверхность $l(t)$ при наличии фильтрации является подвижной, и на ней выполняются некоторые универсальные соотношения, связывающие давление и температуру (уравнения фазового равновесия типа Клапейрона-Клаузиуса) или

уравнения, связывающие температуру и концентрацию какого-либо компонента (соотношения типа закона Рауля или уравнения ликвидуса), давление и концентрацию какого-либо компонента (соотношения типа Генри). В принципе, возможна формулировка для поверхности фазового перехода или химической реакции многомерных уравнений фазового равновесия, связывающих давление, температуру фаз и химические потенциалы компонент. Наряду с такими выражениями фазового равновесия на поверхности должны выполняться условия, являющиеся следствием универсальных законов сохранения массы, импульса и энергии.

10. Сформулировать эти условия, полагая, что происходит изменение агрегатного состояния фазы, занимаемой часть объема пористой среды m_3 . При этом очевидно $m_1 = m_2 \pm m_3$, индексы 1 и 2 соответственно относятся к областям слева и справа от $l(t)$. Считается известными плотности ρ , энтальпии H , температуры T , давления P и скорости фильтрации ϑ фаз.

11. Показать, что когда на поверхности $l(t)$ фазовый переход отсутствует, условия, полученные в предыдущей задаче, имеют вид:

$$\vartheta_1 = \vartheta_2 = m_i, \quad P_1 = P_2, \quad \lambda_I \frac{\partial T_1}{\partial x} = \lambda_{II} \frac{\partial T_2}{\partial x}.$$

12. Показать, что условие баланса энергии, полученное в задаче 159, можно свести к условию типа Стефана: $-\lambda_I \frac{\partial T_1}{\partial x} + \lambda_{II} \frac{\partial T_2}{\partial x} = m_3 \rho_3 L_l l$ (L_l – теплота фазового перехода).

Критерии оценки (в баллах)

Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ и исчерпывающие верные рассуждения с прямым указанием наблюдаемых явлений и законов	1 балл
Дан правильный ответ, и приведено объяснение, но в решении имеются один или несколько недостатков	0,5 баллов
Нет правильного ответа	0 баллов

Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Основная литература:

1. [Ландау Л. Д.](#), [Лифшиц Е. М.](#) Теоретическая физика: учебное пособие. В 10 т. Т. 5. Статистическая физика, Ч. 1 <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=83401>
2. Ландау, Л.Д., [Лифшиц Е. М.](#) Гидродинамика. Т.6. / Л.Д. Ландау, Е.М.

Лифшиц. –М.: Наука.

<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=83193&razdel=10555>

3. Лойцянский, Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский. - М. ; Л. : Гос. изд-во техн.-теорет. лит., 678 с. : ил. - ISBN 978-5-4475-1896-7 ;[Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=256639> .

Дополнительная литература:

4. Квасников, И.А. Теория равновесных систем. Термодинамика. Т.1., Статистическая физика, Т. 2. / И.А. Квасников.–М.: Изд-во УРСС, 2002. Математическая теория горения и взрыва. / Я.Б. Зельдович [и др.]. –М.: Наука, 1980 –478 с.

5. Румер, Ю.Б. Термодинамика, статистическая физика и кинетика. / Ю.Б. Румер, М.Ш. Рывкин. –Новосибирск, Изд-во Новосибирского ун-та, 2000.

6. Исихара, А.. Статистическая физика. / А. Исихара. –М.:Мир, 1973.

7. Силин, В.П.. Введение в кинетическую теорию газов. / В.П. Силин –М.:Изд-во ФИ им. Лебедева, 1998.

8. Гиршвельдер, Дж. Молекулярная теория газов и жидкостей. / Дж. Гиршвельдер,

9. Ч. Кертисс, Р. Берд, Л. –М.:Мир, 1961.

10. Ступоченко, Е. Релаксационные процессы в ударных волнах. / С.А. Лосев, А.И. Осипов.

–М.: Наука, 1965.

11. Б.Ф. Гордиев, А.И. Осипов, Л.А. Шелепин. Кинетические процессы в газах и молекулярные лазеры. М.: Наука, 1980.

12. Физика простых жидкостей. Сборник, Мир, М., 1971

13. Стенли, Г..Фазовые переходы и кинетические явления. / Г. Стенли. –М.: Мир, 1973.

14. Райзер, Ю.П. Физика газового разряда. / Ю.П. Райзер. –М.: Наука, 1992

15. Семенов, Н.Н. Избранные труды:В 4 т. / Н.Н.Семенов; отв. ред. А.Е.Шилов; Ин-т хим.физики им. Н.Н. Семенова. –М.: Наука, 2004, Т. 1. Кн.1: Цепные реакции. –2004. -392 с.

5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины, включая современные профессиональные базы данных (в том числе международные реферативные базы данных научных изданий) и информационные справочные системы

Доступ к тексту электронного издания возможен через Научную-электронную библиотеку eLibrary.ru. — ISBN: 0044-4669— http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7791.

Реферативные базы данных научного цитирования SCOPUS (<http://www.scopus.com>), WEB OF SCIENCE (<http://webofknowledge.com>),

1. www.gpntb.ru/— Государственная публичная научно-техническая библиотека.
2. www.nlr.ru/ — Российская национальная библиотека.
3. www.nns.ru/ — Национальная электронная библиотека.
4. www.rsl.ru/— Российская государственная библиотека.
5. www.microinform.ru/ — Учебный центр компьютерных технологий

6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Для успешного осуществления рабочей программы необходимы программа курса «Теплофизика и теоретическая теплотехника», литература и методические указания; принтер и ксерокс для копирования учебных материалов и материалов тестов, мультимедийный класс. Физико-технический институт располагает аудиториями, оснащенными современным оборудованием для проведения занятий лекционного типа и практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также для самостоятельной работы.

На факультете есть компьютерные классы с доступом к глобальной сети Интернет (WWW), в соответствии с объемом изучаемых дисциплин, каждый аспирант может быть обеспечен рабочим местом. Данные компьютерный классы обеспечивают доступ в электронно-библиотечную систему (электронную библиотеку) университета.

<i>Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий</i>	<i>Вид занятий</i>	<i>Наименование оборудования, программного обеспечения</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
<i>Аудитория 218</i>	<i>Лекции, семинары</i>	Учебная мебель, доска аудиторная, кондиционер(сплит-система) Haier HSU-24HEK203/R2- HSU-24HUN03/R2, экран настенный с электроприводом ClassicLyra 203x203 (E195x195/1 MW-L8/W), ноутбук HPMini 110-3609er Atom N455/2/250/WiFi/BT/Win7St/10.1"/1.29кг, проектор BenQ MX520 (9H.J6V77.13E/9H.J6V77.13F)
<i>Аудитория 425</i>	Компьютерный класс	Учебная мебель, доска маркерная, компьютер в составе: SOC -1150 AsusIntelCore i3-4150.4096 mb.1024 mb.64bit DDR3.монитор 23, клавиатура,мышь, кондиционер (сплит-система)Haier HSU-18HEK203/R2-HSU-18HUN03/R2, копировальный аппарат Canon FC-230, персональный компьютер в комплекте №1 KlamaSoffice, монитор DELL 21,5 – 8 шт., принтер HP LaserJet 1220 лазерный А4 (принт+копир+сканер), принтер Samsung ML-1750 лазерный (А4, 16 стр/мин, 1200*600dpi, LPT/USB 2.0), проектор

		BenQProjectorPB7.210 (DIP,1024*768, D-sub, RCA, S-Video,Component, USB,), системный блок компьютера Celeron 315-2.26/s478 EliteGroupP4M800-M/256Mb/80Gb/3.5"/CD-ROM/ATX
--	--	--

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

дисциплины «Теплофизика и теоретическая теплотехника» на 5 семестре
(наименование дисциплины)

Очная форма обучения

форма обучения

Вид работы	Объем дисциплины
Общая трудоемкость дисциплины (ЗЕТ / часов)	3/108
Учебных часов на контактную работу с преподавателем:	8
лекций	2
практических	4
Контроль самостоятельной работы (КСР)	2
Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СРС)	64
Учебных часов на подготовку к экзамену/зачету/ дифференцированному зачету (контроль)	36

Формы контроля: кандидатский экзамен 5 семестр

№ п/п	Тема и содержание	Форма изучения материалов: лекции, практические занятия, семинарские занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа и трудоемкость (в часах)			Основная и дополнительная литература, рекомендуемая аспирантам (номера из списка)	Задания по самостоятельной работе аспирантов	Форма текущего контроля успеваемости (коллоквиумы, контрольные работы, компьютерные тесты и т.п.)
		ЛК	ПР/СЕМ	СРС			
1	2	3	5	6	7	8	9
1.	<p>Термодинамика и статистическая физика Законы термодинамики. Термодинамические функции. Термодинамические неравенства. Распределение Гиббса. Энтропия. Статистическое обоснование закона возрастания энтропии. Распределение Гиббса для систем с переменным числом частиц. Статистическое описание идеального газа. Распределение Больцмана. Квантовая статистика идеального газа. Распределение Бозе</p> <p>·</p> <p>Термодинамика черного излучения. Распределение Ферми. Условие химического</p>	1		8	О-1 Д-2	изучение основной и дополнительной литературы, составление кратких конспектов	Индивид. проверка заданий по самостоятельной работе,

	<p>равновесия. Закон действующих масс. Теплота реакции. Термическая диссоциация, ионизация, возбуждение.</p> <p>Неидеальные газы. Разложения по степеням плотности. Вириальные коэффициенты.</p> <p>Фазовые переходы первого и второго рода.</p> <p>Термодинамическая теория Ландау фазовых переходов второго рода.</p>						
2.	<p>Теория неравновесных процессов.</p> <p>Уравнения переноса, основы термодинамики необратимых явлений. Соотношение симметрии кинетических коэффициентов Онсагера.</p> <p>Применения методов неравновесной термодинамики к явлениям в сплошных средах с одновременным протеканием различных процессов: диффузии, теплопроводности, вязкости, химических реакций.</p> <p>Случайные блуждания и броуновское движение.</p> <p>Уравнение Ланжевена.</p> <p>Уравнение Фоккера-Планка.</p> <p>Релаксационные явления.</p> <p>Основное кинетическое</p>	1		8	О-1, О-2 Д-1, Д_2	изучение основной и дополнительной литературы, составление кратких конспектов	Индивид. проверка заданий по самостоятельной работе,

	уравнение. Колебательная релаксация. Вращательная релаксация. Кинетика диссоциации и ионизации. Газовые лазеры. Столкновительные механизмы создания инверсной населенности.						
3.	Физика газов и плазмы. Взаимодействие молекул. Источники сведений о межмолекулярных силах. Различные составляющие межмолекулярных сил. Потенциальные функции межмолекулярного взаимодействия. Уравнение состояния идеального газа. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Закон соответственных состояний, термодинамическое подобие. Теплоемкость. Сжимаемость. Эффект Джоуля-Томпсона. . Явление переноса в газах. Вязкость. Теплопроводность. Диффузия. Термодиффузия. Пристеночные явления в умеренно разреженном газе.. Кинетические явления в сильноразреженном газе (газ Кнудсена).			8	О-1 Д-3, Д-4, Д-5	изучение основной и дополнительной литературы, составление кратких конспектов	Индивид.проверка заданий по самостоятельной работе

	<p>Методы исследования явлений переноса. Методы получения сверхнизких и высоких давлений. Диффузионные методы разделения изотопов. Низкотемпературная плазма. Дебаевский радиус. Ионизационное равновесие. Формула Саха. Кинетика ионизации. Явление переноса в плазме. Излучение плазмы.</p>						
4.	<p>Физика жидкостей. Строение жидкости. Радиальная функция распределения. Изучение структуры жидкости методом рассеяния рентгеновских лучей. Уравнения состояния жидкости и плотных газов. Плотность, сжимаемость, теплоемкость. Статистическая теория жидкостей. Частичные функции распределения, методы интегральных уравнений. Модельные теории. Компьютерное моделирование. Явление переноса и релаксации в жидкости. Вязкость, теплопроводность, диффузия и</p>			8	О-2, О-3 Д-6, Д-7	изучение основной и дополнительной литературы, составление кратких конспектов	Индивид. проверка заданий по самостоятельной работе

	самодиффузия. Поверхностные явления. Поверхностное натяжение, смачивание. Осмотическое давление. Экзотические жидкости, жидкие кристаллы, жидкие металлы. Квантовые жидкости. Сверхтекучесть гелия.						
5.	Фазовые переходы. Диаграммы состояния. Условия равновесия фаз. Закон Клапейрона-Клаузиуса. Критическая точка и физические свойства системы в окрестности критической точки. Соотношения между критическими показателями. Экспериментальные методы исследования критических состояний. Методы термостатирования и получения низких температур. Кипение. Кризис кипения. Метастабильные состояния. Перегрев, переохлаждение. Давление насыщенных паров над раствором. Плавление, кристаллизация. Возгонка и сублимация. Правило фаз Гиббса. Равновесие в гомогенных многокомпонентных системах. Закон действующих масс.			8	О-3 Д-1, Д-5	изучение основной и дополнительной литературы, составление кратких конспектов	Индивид. проверка заданий по самостоятельной работе,

6.	<p>Явления переноса массы и импульса в сплошных средах Перенос массы – уравнение непрерывности с источниками и стоками. Идеальная жидкость. Уравнение Эйлера. Вихревое движение. . Потенциальное движение. Уравнение Бернулли. Вязкая жидкость. Тензор вязких напряжений. Уравнение Навье-Стокса. Диссипация кинетической энергии в вязкой жидкости. Устойчивость стационарного движения жидкости. Уравнение Рейнольдса для турбулентного движения. Теория турбулентности Прандтля. Движение жидкости в пограничном слое. Уравнение Прандтля.. Отрыв и турбулизация пограничного слоя. Кризис сопротивления.</p>			8	О-1, О-3 Д-8, Д-9	изучение основной и дополнительной литературы, составление кратких конспектов	Индивид.проверка заданий по самостоятельной работе,
7.	<p>Теплопроводность Тепловой поток. Уравнение теплопроводности, краевые задачи. Стационарная теплопроводность, решение задачи для простейших тел. Объемные и поверхностные источники тепла. Нестационарная</p>	2		8	О-2 Д-4, Д-5	изучение основной и дополнительной литературы, составление кратких конспектов, решение задач	Индивид.проверка заданий по самостоятельной работе, дискуссия на практическом занятии

	<p>теплопроводность. Простейшие задачи для бесконечных и конечных областей. Нелинейная теплопроводность. Автомодельные решения. Тепловые волны. Основные аналитические методы решения уравнения теплопроводности. Метод Фурье, метод интегральных преобразований Лапласа, метод функций Грина.</p>						
8.	<p>Конвективный теплообмен Общие уравнения переноса тепла., Критериальные уравнения теплообмена. Теплоотдача при свободной и вынужденной конвекции. Теплообмен в ламинарном пограничном слое. Теплообмен при испарении, конденсации и кипении, пленочная и капельная конденсация. Теплообмен при конденсации пара из парогазовой смеси. Теплообмен при кипении однокомпонентных жидкостей. Режимы кипения. Механизм процесса теплообмена при пузырьковом кипении. Кризис кипения. Механизмы</p>		2	4	О2, О-3 Д-7, Д-8	изучение основной и дополнительной литературы, составление кратких конспектов, решение задач	.Проверка решений задач , дискуссия на практическом занятии

	теплообмена при пленочном кипении. Теплопередача при ламинарном и турбулентном движении паровой пленки.						
9.	Теплообмен излучением Основные законы теплового излучения. Формула Планка. Закон Стефана Больцмана. Закон Кирхгофа. Лучистый теплообмен между телами. Теплообмен в поглощающих и излучающих средах. Особенности излучения газов и паров. Критерий радиационного подобия.			4	О-2, О-3 Д-2, Д-3	изучение основной и дополнительной литературы, составление кратких конспектов	Кандидатский экзамен
	Всего часов:	2	4	64			

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

дисциплины «Теплофизика и теоретическая теплотехника» на 4 и 5 семестрах
(наименование дисциплины)

Заочная форма обучения

форма обучения

Вид работы	Объем дисциплины
Общая трудоемкость дисциплины (ЗЕТ / часов)	3/108
Учебных часов на контактную работу с преподавателем:	10
лекций	2
практических	4
Контроль самостоятельной работы (КСР)	4
Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СРС)	89
Учебных часов на подготовку к экзамену/зачету/ дифференцированному зачету (контроль)	9

Формы контроля: кандидатский экзамен 5 семестр

№ п/п	Тема и содержание	Форма изучения материалов: лекции, практические занятия, семинарские занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа и трудоемкость (в часах)			Основная и дополнительная литература, рекомендуемая аспирантам (номера из списка)	Задания по самостоятельной работе аспирантов	Форма текущего контроля успеваемости (коллоквиумы, контрольные работы, компьютерные тесты и т.п.)
		ЛК	ПР/СЕМ	СРС			
1	2	3	5	6	7	8	9
1.	Термодинамика и статистическая физика Законы термодинамики. Термодинамические функции. Термодинамические неравенства. Распределение Гиббса. Энтропия. Статистическое обоснование закона возрастания энтропии. Распределение Гиббса для систем с переменным числом частиц. Статистическое описание идеального газа. Распределение Больцмана. Квантовая статистика идеального газа. Распределение Бозе. Термодинамика черного излучения. Распределение Ферми. Условие химического равновесия. Закон действующих масс. Теплота	1		11	О-1 Д-2	изучение основной и дополнительной литературы, составление кратких конспектов	Индивид. проверка заданий по самостоятельной работе,

	<p>реакции. Термическая диссоциация, ионизация, возбуждение.</p> <p>Неидеальные газы. Разложения по степеням плотности. Вириальные коэффициенты.</p> <p>Фазовые переходы первого и второго рода.</p> <p>Термодинамическая теория Ландау фазовых переходов второго рода.</p>						
2.	<p>Теория неравновесных процессов.</p> <p>Уравнения переноса, основы термодинамики необратимых явлений. Соотношение симметрии кинетических коэффициентов Онсагера.</p> <p>Применения методов неравновесной термодинамики к явлениям в сплошных средах с одновременным протеканием различных процессов: диффузии, теплопроводности, вязкости, химических реакций.</p> <p>Случайные блуждания и броуновское движение.</p> <p>Уравнение Ланжевена.</p> <p>Уравнение Фоккера-Планка.</p> <p>Релаксационные явления.</p> <p>Основное кинетическое уравнение. Колебательная релаксация. Вращательная</p>	1		11	О-1, О-2 Д-1, Д_2	изучение основной и дополнительной литературы, составление кратких конспектов	Индивид. проверка заданий по самостоятельной работе,

	релаксация. Кинетика диссоциации и ионизации. Газовые лазеры. Столкновительные механизмы создания инверсной населенности.						
3.	Физика газов и плазмы. Взаимодействие молекул. Источники сведений о межмолекулярных силах. Различные составляющие межмолекулярных сил. Потенциальные функции межмолекулярного взаимодействия. Уравнение состояния идеального газа. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Закон соответственных состояний, термодинамическое подобие. Теплоемкость. Сжимаемость. Эффект Джоуля-Томпсона. Методы измерения термодинамических величин. Явление переноса в газах. Вязкость. Теплопроводность. Диффузия. Термодиффузия. Пристеночные явления в умеренно разреженном газе. Термомолекулярная разность давлений. Кинетические явления в сильно разреженном			10	О-1 Д-3, Д-4, Д-5	изучение основной и дополнительной литературы, составление кратких конспектов	Индивид. проверка заданий по самостоятельной работе

	<p>газе (газ Кнудсена). Методы исследования явлений переноса. Методы получения сверхнизких и высоких давлений. Диффузионные методы разделения изотопов. Низкотемпературная плазма. Дебаевский радиус. Ионизационное равновесие. Формула Саха. Кинетика ионизации. Явление переноса в плазме. Излучение плазмы.</p>						
4.	<p>Физика жидкостей. Строение жидкости. Радиальная функция распределения. Изучение структуры жидкости методом рассеяния рентгеновских лучей. Уравнения состояния жидкости и плотных газов. Плотность, сжимаемость, теплоемкость. Статистическая теория жидкостей. Частичные функции распределения, методы интегральных уравнений. Модельные теории. Компьютерное моделирование. Явление переноса и релаксации в жидкости. Вязкость, теплопроводность,</p>			10	О-2, О-3 Д-6, Д-7	изучение основной и дополнительной литературы, составление кратких конспектов	Индивид. проверка заданий по самостоятельной работе

	<p>диффузия и самодиффузия. Поверхностные явления. Поверхностное натяжение, смачивание. Осмотическое давление. Экзотические жидкости, жидкие кристаллы, жидкие металлы. Квантовые жидкости. Сверхтекучесть гелия.</p>						
5.	<p>Фазовые переходы. Диаграммы состояния. Условия равновесия фаз. Закон Клапейрона-Клаузиуса. Критическая точка и физические свойства системы в окрестности критической точки. Соотношения между критическими показателями. Экспериментальные методы исследования критических состояний. Методы термостатирования и получения низких температур. Кипение. Кризис кипения. Методы расчета. Метастабильные состояния. Перегрев, переохлаждение. Давление насыщенных паров над раствором. Плавление, кристаллизация. Возгонка и сублимация. Правило фаз Гиббса. Равновесие в гомогенных</p>			11	О-3 Д-1, Д-5	изучение основной и дополнительной литературы, составление кратких конспектов	Индивид. проверка заданий по самостоятельной работе,

	многокомпонентных системах. Закон действующих масс.						
6.	Явления переноса массы и импульса в сплошных средах Перенос массы – уравнение непрерывности с источниками и стоками. Идеальная жидкость. Уравнение Эйлера. Вихревое движение. Теоремы Гельмгольца и Томсона. Потенциальное движение. Уравнение Бернулли. Вязкая жидкость. Тензор вязких напряжений. Уравнение Навье-Стокса. Диссипация кинетической энергии в вязкой жидкости. Устойчивость стационарного движения жидкости. Уравнение Рейнольдса для турбулентного движения. Теория турбулентности Прандтля. Движение жидкости в пограничном слое. Уравнение Прандтля. Интегральное уравнение Кармана. Отрыв и турбулизация пограничного слоя. Кризис сопротивления.			11	О-1, О-3 Д-8, Д-9	изучение основной и дополнительной литературы, составление кратких конспектов	Индивид. проверка заданий по самостоятельной работе,
7.	Теплопроводность Тепловой поток. Уравнение теплопроводности, краевые задачи. Стационарная теплопроводность, решение		4	11	О-2 Д-4, Д-5	изучение основной и дополнительной литературы, составление кратких	Индивид. проверка заданий по самостоятельной работе, дискуссия на практическом

	<p>задачи для простейших тел. Объемные и поверхностные источники тепла. Нестационарная теплопроводность. Простейшие задачи для бесконечных и конечных областей. Нелинейная теплопроводность. Автомодельные решения. Тепловые волны. Основные аналитические методы решения уравнения теплопроводности. Метод Фурье, метод интегральных преобразований Лапласа, метод функций Грина.</p>					конспектов, решение задач	занятия
8.	<p>Конвективный теплообмен Общие уравнения переноса тепла. Методы подобия и размерности в теории теплообмена. Критерии подобия, критериальные уравнения теплообмена. Теплоотдача при свободной и вынужденной конвекции. Теплообмен в ламинарном пограничном слое. Теплообмен при испарении, конденсации и кипении, пленочная и капельная конденсация. Теплообмен при конденсации пара из</p>			8	О2, О-3 Д-7, Д-8	изучение основной и дополнительной литературы, составление кратких конспектов, решение задач	.Проверка решений задач , дискуссия на практическом занятии

	<p>парогазовой смеси. Теплообмен при кипении однокомпонентных жидкостей. Режимы кипения. Механизм процесса теплообмена при пузырьковом кипении. Кризис кипения. Механизмы теплообмена при пленочном кипении. Теплопередача при ламинарном и турбулентном движении паровой пленки.</p>						
9.	<p>Теплообмен излучением Основные законы теплового излучения. Формула Планка. Закон СтефанаБольцмана. Закон Кирхгофа. Лучистый теплообмен между телами. Угловые коэффициенты излучения. Теплообмен в поглощающих и излучающих средах. Особенности излучения газов и паров. Критерий радиационного подобия.</p>			6	О-2, О-3 Д-2, Д-3	изучение основной и дополнительной литературы, составление кратких конспектов	Кандидатский экзамен
	Всего часов:	2	4	89			

