

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Институт физики

УТВЕРЖДАЮ

Проректор
по научной деятельности КФУ
проф. Д.К. Нургалиев

«29 сентября» 2015 г.



Программа дисциплины

Б1.В.ОД.7 Теплофизика и теоретическая теплотехника

Направление подготовки:	03.06.01 Физика и астрономия
Профиль подготовки:	01.04.14 Теплофизика и теоретическая теплотехника
Квалификация выпускника:	«Исследователь. Преподаватель-исследователь»

Казань 2015

1. КРАТКАЯ АННОТАЦИЯ

В ходе освоения дисциплины "Теплофизика и теоретическая теплотехника" изучаются физические основы, методы, законы и модели теплофизики; приобретаются дополнительные навыки использования знаний различных разделов теплофизики и теоретической теплотехники в профессиональной деятельности и, таким образом, проводится подготовка к сдаче кандидатского экзамена по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника. По курсу предусмотрено 36 часов лекций и 72 часа самостоятельной работы. Освоение дисциплины будет способствовать успешной профессиональной деятельности.

Курс базируется на вузовской подготовке аспирантов, дополняет ее и содержит сведения из следующих разделов теплофизики: Термодинамика и ее метод; теплопроводность; конвективный теплообмен в однокомпонентной среде; теплообмен при течении жидкости в каналах; теплообмен при свободной конвекции; теплообмен излучением; основы расчета теплообменных аппаратов; термодинамика процессов горения; основы теории пульсационного горения.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОПОП

Данная учебная дисциплина включена в раздел «Б1.В.ОД Обязательные дисциплины» основной профессиональной образовательной программы высшего образования – программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре. Осваивается на 3 году обучения, 5 семестр.

Изучение данной дисциплины базируется на вузовской подготовке аспирантов. Освоение дисциплины необходимо для успешной сдачи кандидатского экзамена по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника, что будет способствовать успешной профессиональной деятельности.

Для успешного освоения данной дисциплины нужно освоение в качестве предшествующих следующих дисциплин: «Физика», «Математический анализ», «Теория тепломассообмена», «Физика горения»; в магистратуре: «Тепломассообмен в колеблющихся средах», «Методы расчета пульсационного тепломассообмена», «Устойчивость процессов горения в энергетических установках».

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Обучающийся, завершивший изучение дисциплины, должен

знать:

- теоретические основы процессов тепломассопереноса, горения и взрыва;
- физические основы формирования низкотемпературной плазмы и процессов нанесения многофункциональных покрытий;
- основные подходы и методы теоретического и экспериментального исследования теплофизических процессов;
- методы теоретического и экспериментального исследования плазмохимических процессов.

уметь:

- применять математический аппарат и экспериментальные методы, при решении задач стационарного и нестационарного тепломассопереноса, процессов горения и формирования низкотемпературной плазмы.
- анализировать и обобщать результаты проведенных исследований.

владеть:

- методами теоретического анализа процессов тепломассопереноса, горения и формирования низкотемпературной плазмы;
- методами исследования и техникой измерений теплофизических величин и параметров, описывающих низкотемпературную плазму.

демонстрировать способность и готовность:

- применить эрудицию и осведомленность в понимании основных проблем теории тепломассопереноса, горения и формирования низкотемпературной плазмы;
- к самостоятельному изучению и пониманию специальной, научной, справочной и методической литературы, связанной с проблемами тепломассопереноса, горения и формирования низкотемпературной плазмы;
- способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области тепломассопереноса, горения и формирования низкотемпературной плазмы (в соответствии с профилем аспирантуры) и решать их с помощью современных методов, аппаратуры, оборудования, информационных технологий, с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта;
- способность порождать новые идеи (креативность).

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
УК-1	способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях
УК-3	готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач
УК-5	способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития
ОПК-1	способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий
ОПК-2	готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования
ПК-1	способностью самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области исследования проблем современной теплофизики, теплофизических процессов, в частности процессов горения в промышленных теплотехнических установках и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта
ПК-2	способностью принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научных исследованиях в области исследования проблем современной теплофизики, теплофизических процессов, в частности процессов горения в промышленных теплотехнических установках.
ПК-3	способностью планировать и организовывать физические исследования, научные семинары и конференции

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

4.1. Распределение трудоёмкости дисциплины (в часах) по видам нагрузки обучающегося и по разделам дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 часов.

Форма промежуточной аттестации по дисциплине: экзамен в 5 семестре.

	Раздел дисциплины	Семестр	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельная работа
1.	Термодинамика и ее метод.	5	4			4
2.	Теплопроводность.	5	4			4
3.	Конвективный теплообмен в однокомпонентной среде.	5	4			4
4.	Теплообмен при течении жидкости в каналах.	5	2			2
5.	Теплообмен при свободной конвекции.	5	2			2
6.	Теплообмен излучением.	5	4			4
7.	Основы расчета теплообменных аппаратов	5	6			6
8.	Термодинамика процессов горения.	5	4			4
9.	Основы теории пульсационного горения.	5	6			6
	Подготовка к кандидатскому экзамену					36
	Всего		36			72

4.2 Содержание дисциплины

Тема 1. Термодинамика и ее метод.

Первый закон термодинамики. Теплота. Опыт Джоуля. Эквивалентность теплоты и работы. Закон сохранения и превращения энергии. Внутренняя энергия и внешняя работа. Энтальпия. Обобщенные силы и обобщенные координаты. Уравнение первого закона термодинамики. Второй закон термодинамики. Циклы. Понятие термического КПД. Источники теплоты. Обратимые и необратимые процессы. Формулировка второго закона термодинамики. Цикл Карно. Теорема Карно. Термодинамическая шкала температур. Энтропия. Изменение энтропии в необратимых процессах. Объединенное уравнение первого и второго законов термодинамики. Энтропия и термодинамическая вероятность.

Тема 2. Теплопроводность.

Уравнение сохранения энергии, закон Фурье, краевые условия задач теплопроводности. Механизм теплопроводности веществ в твердом (кристаллическом и аморфном), жидком и газообразном состояниях. Теплопроводность через плоскую стенку. Число Био. Коэффициент теплопередачи. Теплопроводность через цилиндрическую стенку, критический диаметр изоляции. Нестационарное температурное поле в плоской пластине, регулярный режим охлаждения (нагрева) тел. Метод перемножения решений.

Тема 3. Конвективный теплообмен в однокомпонентной среде.

Уравнения сохранения массы, импульса и энергии в сплошной среде. Эмпирические законы переноса (Ньютона, Фурье, Фика). Приведение уравнений к безразмерному виду,

критерии подобия. Физический смысл чисел подобия конвективного тепло- и массообмена. Тройная аналогия.

Тема 4. Теплообмен при течении жидкости в каналах.

Математическое описание, среднемассовая скорость и температура. Стабилизированный теплообмен при граничных условиях 2-го рода. Профили скорости, температуры, теплового потока при ламинарном и турбулентном течении, интеграл Лайона. Теплообмен при ламинарном течении жидкости в начальном термическом участке круглой трубы. Начальный гидродинамический участок. Стабилизированный теплообмен при ламинарном течении. Стабилизированный теплообмен при турбулентном течении, результаты исследований для неметаллических жидкостей и жидких металлов, расчетные формулы. Влияние переменности свойств жидкости на теплообмен при течении капельных жидкостей и газов в трубах.

Тема 5. Теплообмен при свободной конвекции.

Механизм и математическое описание, приближение Буссинеска. Развитие пограничного слоя на вертикальной плоской поверхности, расчет коэффициента теплоотдачи. Свободная конвекция на поверхности горизонтального цилиндра и сферы. Свободная конвекция в замкнутых объемах; теплопередача через прослойку.

Тема 6. Теплообмен излучением.

Основные понятия и законы излучения. Природа излучения. Интегральная и спектральная плотности потока излучения. Поглощательная, отражательная и пропускательная способности тел. Абсолютно черное тело. Законы теплового излучения (Планка, Вина, Стефана—Больцмана, Кирхгофа, Ламберта). Излучение реальных тел. Радиационные свойства реальных материалов.

Тема 7. Основы расчета теплообменных аппаратов.

Уравнения теплового баланса и теплопередачи. Средний температурный напор. Расчет поверхности теплообмена, конечной температуры теплоносителей. Основы гидравлического расчета теплообменников. Определение мощности, затрачиваемой на прокачку теплоносителей.

Тема 8. Термодинамика процессов горения.

Тепловые эффекты реакций горения. Теплота горения и теплота сгорания веществ. Низшая и высшая теплота сгорания. Закон Гесса и формулы Менделеева. Расчет теплоты сгорания для веществ различного состава и агрегатных состояний. Температура горения и способы ее определения. Теоретическая температура горения. Адиабатическая (калориметрическая) температура горения. Действительная температура горения (температура пожара).

Тема 9. Основы теории пульсационного горения.

Неустойчивость течений газа с источниками теплоты и массы. Физические основы автоколебаний газа в энергетических установках. Продольные колебания газа в типовых установках. Энергетический метод исследования термоакустических колебаний. Автоколебания газа в моделях камер сгорания энергетических установок.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

На лекциях:

Лекции (использование проблемных ситуаций), самостоятельная работа аспиранта (подготовка к устному опросу), консультации.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Вопросы к практическим занятиям

Тема 1. Термодинамика и ее метод.

Первый закон термодинамики. Теплота. Опыт Джоуля. Эквивалентность теплоты и работы. Закон сохранения и превращения энергии. Внутренняя энергия и внешняя работа. Энтальпия. Обобщенные силы и обобщенные координаты. Уравнение первого закона термодинамики. Второй закон термодинамики. Циклы. Понятие термического КПД. Источники теплоты. Обратимые и необратимые процессы. Формулировка второго закона термодинамики. Цикл Карно. Теорема Карно. Термодинамическая шкала температур. Энтропия. Изменение энтропии в необратимых процессах. Объединенное уравнение первого и второго законов термодинамики. Энтропия и термодинамическая вероятность.

Тема 2. Теплопроводность.

Уравнение сохранения энергии, закон Фурье, краевые условия задач теплопроводности. Механизм теплопроводности веществ в твердом (кристаллическом и аморфном), жидком и газообразном состояниях. Теплопроводность через плоскую стенку. Число Био. Коэффициент теплопередачи. Теплопроводность через цилиндрическую стенку, критический диаметр изоляции. Нестационарное температурное поле в плоской пластине, регулярный режим охлаждения (нагрева) тел. Метод перемножения решений.

Тема 3. Конвективный теплообмен в однокомпонентной среде.

Уравнения сохранения массы, импульса и энергии в сплошной среде. Эмпирические законы переноса (Ньютона, Фурье, Фика). Приведение уравнений к безразмерному виду, критерии подобия. Физический смысл чисел подобия конвективного тепло- и массообмена. Тройная аналогия.

Тема 4. Теплообмен при течении жидкости в каналах.

Математическое описание, среднемассовая скорость и температура. Стабилизированный теплообмен при граничных условиях 2-го рода. Профили скорости, температуры, теплового потока при ламинарном и турбулентном течении, интеграл Лайона. Теплообмен при ламинарном течении жидкости в начальном термическом участке круглой трубы. Начальный гидродинамический участок. Стабилизированный теплообмен при ламинарном течении. Стабилизированный теплообмен при турбулентном течении, результаты исследований для неметаллических жидкостей и жидких металлов, расчетные формулы. Влияние переменности свойств жидкости на теплообмен при течении капельных жидкостей и газов в трубах.

Тема 5. Теплообмен при свободной конвекции.

Механизм и математическое описание, приближение Буссинеска. Развитие пограничного слоя на вертикальной плоской поверхности, расчет коэффициента теплоотдачи. Свободная конвекция на поверхности горизонтального цилиндра и сферы. Свободная конвекция в замкнутых объемах; теплопередача через прослойку.

Тема 6. Теплообмен излучением.

Основные понятия и законы излучения. Природа излучения. Интегральная и спектральная плотности потока излучения. Поглощательная, отражательная и пропускательная способности тел. Абсолютно черное тело. Законы теплового излучения (Планка, Вина, Стефана—Больцмана, Кирхгофа, Ламберта). Излучение реальных тел. Радиационные свойства реальных материалов.

Тема 7. Основы расчета теплообменных аппаратов.

Уравнения теплового баланса и теплопередачи. Средний температурный напор. Расчет поверхности теплообмена, конечной температуры теплоносителей. Основы гидравлического расчета теплообменников. Определение мощности, затрачиваемой на прокачку теплоносителей.

Тема 8. Термодинамика процессов горения.

Тепловые эффекты реакций горения. Теплота горения и теплота сгорания веществ. Низшая и высшая теплота сгорания. Закон Гесса и формулы Менделеева. Расчет теплоты сгорания для веществ различного состава и агрегатных состояний. Температура горения и способы ее определения. Теоретическая температура горения. Адиабатическая (калориметрическая) температура горения. Действительная температура горения (температура пожара).

Тема 9. Основы теории пульсационного горения.

Неустойчивость течений газа с источниками теплоты и массы. Физические основы автоколебаний газа в энергетических установках. Продольные колебания газа в типовых установках. Энергетический метод исследования термоакустических колебаний. Автоколебания газа в моделях камер сгорания энергетических установок.

7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

7.1. Регламент дисциплины

Лекционный курс «Теплофизика и теоретическая теплотехника» предназначен для подготовки к сдаче кандидатского экзамена по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника. По курсу предусмотрено 36 часов лекций и 36 часов самостоятельной работы. В ходе семестра проводятся устные и письменные опросы на лекциях, возможно выполнение домашних заданий, часть материала передается на самостоятельное изучение.

7.2. Оценочные средства текущего контроля

Темы рефератов формируются в зависимости от тем научного исследования аспирантов, но в соответствии с содержанием изучаемой дисциплины. Рефераты сдаются преподавателю за 2 недели до окончания курса, после проверки защищается на зачетном занятии.

Темы рефератов

1. Первый закон термодинамики.
2. Второй закон термодинамики.
3. Обратимые и необратимые процессы.
4. Цикл Карно. Теорема Карно.
5. Энтропия. Изменение энтропии в необратимых процессах.
6. Уравнение сохранения энергии, закон Фурье, краевые условия задач теплопроводности. Теплопроводность через плоскую стенку.
7. Число Био. Коэффициент теплопередачи.
8. Теплопроводность через цилиндрическую стенку, критический диаметр изоляции.
9. Нестационарное температурное поле в плоской пластине, регулярный режим охлаждения (нагрева) тел.
10. Уравнения сохранения массы, импульса и энергии в сплошной среде.
11. Эмпирические законы переноса (Ньютона, Фурье, Фика).
12. Приведение уравнений к безразмерному виду, критерии подобия.
13. Физический смысл чисел подобия конвективного тепло- и массообмена.
14. Стабилизированный теплообмен при граничных условиях 2-го рода.
15. Теплообмен при ламинарном течении жидкости в начальном термическом участке круглой трубы.
16. Начальный гидродинамический участок.
17. Стабилизированный теплообмен при ламинарном течении.
18. Стабилизированный теплообмен при турбулентном течении.
19. Механизм и математическое описание, приближение Буссинеска.
20. Развитие пограничного слоя на вертикальной плоской поверхности, расчет коэффициента теплоотдачи.

21. Свободная конвекция на поверхности горизонтального цилиндра и сферы.
22. Основные понятия и законы излучения. Природа излучения.
23. Интегральная и спектральная плотности потока излучения.
24. Поглощательная, отражательная и пропускательная способности тел.
25. Абсолютно черное тело.
26. Законы теплового излучения (Планка, Вина, Стефана—Больцмана, Кирхгофа, Ламберта).
27. Излучение реальных тел.
28. Радиационные свойства реальных материалов

Письменное домашнее задание

1. Закон сохранения и превращения энергии.
2. Внутренняя энергия и внешняя работа.
3. Энтальпия. Уравнения теплового баланса и теплопередачи.
4. Средний температурный напор.
5. Расчет поверхности теплообмена, конечной температуры теплоносителей.
6. Основы гидравлического расчета теплообменников.
7. Определение мощности, затрачиваемой на прокачку теплоносителей.
8. Теплота горения и теплота сгорания веществ.
9. Низшая и высшая теплота сгорания.
10. Температура горения и способы ее определения.
11. Ламинарное пламя предварительно перемешанной смеси.
12. Кинетическое горение.
13. Ламинарное пламя предварительно не перемешанной смеси.
14. Диффузионное горение.
15. Турбулентное пламя предварительно перемешанной и предварительно не перемешанной смеси.
16. Общая характеристика и классификация топлива.
17. Температура и скорость распространения фронта пламени.
18. Концентрационные пределы воспламенения, их определение.
19. Физические основы автоколебаний газа в энергетических установках.
20. Энергетический метод исследования термоакустических колебаний.

7.3. Примерные вопросы к экзамену

(полный список вопросов к кандидатскому экзамену по дисциплине приведен в Приложении 1, каждый аспирант также должен утвердить на Ученом совете Института Физики дополнительную программу со списком вопросов по теме своего диссертационного исследования (образец дополнительной программы в Приложении 2))

1. Развитие представлений о природе теплоты. Термодинамика – наука о формах обмена энергией. Феноменологический характер термодинамики.
2. Термодинамические параметры, функции состояния.
3. Внутренняя энергия системы.
4. Теплота и работа как формы обмена энергией – функции процессов. Первый закон термодинамики, его формулировки.
5. Уравнения Клапейрона-Менделеева и Ван-дер-Ваальса.
6. Обратимые и необратимые процессы. Формулировки второго закона термодинамики.
7. Энтропия и термодинамическая температура.
8. Цикл и теоремы Карно.
9. Теплоемкости одно- и многоатомных газов.
10. Плотность потоков массы, импульса и энергии и соответствующие уравнения сохранения.

11. Перенос массы – уравнение непрерывности с источниками и стоками. Идеальная жидкость. Уравнение Эйлера.
12. Вязкая жидкость. Тензор вязких напряжений. Уравнение Навье-Стокса. Диссипация кинетической энергии в вязкой жидкости. Законы подобия.
13. Устойчивость стационарного движения жидкости. Уравнение Рейнольдса для турбулентного движения. Теория турбулентности Прандтля.
14. Движение жидкости в пограничном слое. Уравнение Прандтля.
15. Тепловой поток. Уравнение теплопроводности, краевые условия.
16. Стационарная теплопроводность, решение задачи для простейших тел. Объемные и поверхностные источники тепла.
17. Нестационарная теплопроводность. Простейшие задачи для бесконечных и конечных областей.
18. Теплоотдача при свободной и вынужденной конвекции.
19. Теплообмен в ламинарном пограничном слое, трение и теплообмен при обтекании пластины несжимаемой жидкостью.
20. Основные законы теплового излучения. Формула Планка. Закон Стефана-Больцмана. Закон Кирхгофа.
21. Теплота горения и теплота сгорания веществ. Низшая и высшая теплота сгорания.
22. Температура горения и способы ее определения.
23. Типы пламени и скорость горения.
24. Общие положения и особенности горения газообразных, жидких и твердых веществ.
25. Физические основы автоколебаний газа в энергетических установках.
26. Энергетический метод исследования термоакустических колебаний.

7.4. Таблица соответствия компетенций, критериев оценки их освоения и оценочных средств

Индекс компетенции	Расшифровка компетенции	Показатель формирования компетенции для данной дисциплины	Оценочное средство
УК-1	способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	Умение решать задачи теплофизики и использовать навыки решений при решении новых задач.	Экзаменационные вопросы. Ответы на дополнительные вопросы членов комиссии.
УК-3	готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач	Умение четко сформулировать задачи, возникающие при решении поставленной проблемы.	Устный опрос на лекциях

УК-5	способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития	Умение находить правильный и доступный инструментарий для решения задачи	Экзаменационные вопросы. Домашняя письменная работа.
ОПК-1	способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	Умение решать задачи и проблемы в своей деятельности, находить полезную информацию (современные обзоры, работы по данной тематике, решения аналогичных задач в других областях и т.д.) в сети Интернет. Самостоятельная работа по подготовке к экзамену.	Ответы на вопросы членов экзаменационной комиссии по основной и дополнительной программам.
ОПК-2	готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования	Умение вести преподавательскую деятельность по основным образовательным программам высшего образования	Экзаменационные вопросы.
ПК-1	способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области теплофизики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта	Умение самостоятельно ставить задачи конкретные задачи в своей области научных исследований	Ответы на вопросы, входящие в дополнительную программу кандидатского минимума по теплофизике.
ПК-2	способность принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научных исследованиях в области теплофизики	Умение принимать участие в разработке новых подходов в научных исследованиях в своей области	Ответы на вопросы, входящие в дополнительную программу кандидатского минимума по теплофизике.
ПК-3	способность планировать и организовывать физические исследования, научные семинары и	Умение проводить анализ чужих результатов и работ в области теплофизики. Обладать широким кругозором.	Подготовка к кандидатскому экзамену по теплофизике. Беседа с комиссией.

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПРИ ОСВОЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Можно выделить несколько видов самостоятельной работы аспирантов при изучении данной дисциплины.

Разбор и усвоение лекционного материала. После каждой лекции аспиранту следует внимательно прочитать и разобрать конспект, при этом:

- Понять и запомнить все новые определения.
- Понять все математические выкладки и лежащие в их основе физические положения и допущения; воспроизвести все выкладки самостоятельно, не глядя в конспект.
- Выполнить или доделать выкладки, которые лектор предписал сделать самостоятельно (если таковые имеются).
- Если лектор предписал разобрать часть материала более подробно самостоятельно по доступным письменным или электронным источникам, то необходимо своевременно это сделать.
- При возникновении каких-либо трудностей с пониманием материала рекомендуется попросить помощи у своих одногруппников или сокурсников. Также можно обратиться за помощью к лектору. Для этого можно лично подойти к преподавателю, либо написать ему электронное письмо, сформулировав в нём возникающие вопросы. К письму можно прикрепить какие-либо электронные материалы, связанные с возникшими вопросами, например, отсканированные или сфотографированные листочки с рукописными комментариями, пометками, выкладками и т.п.

Самостоятельное изучение части материала. Если часть учебного материала отведена на самостоятельное изучение, то необходимо приступить к этому незамедлительно после указания преподавателя и освоить материал в отведенные им сроки. Материал следует изучить по доступным письменным и электронным источникам, о которых сообщит преподаватель.

Подготовка к устному опросу. Устный опрос проводится с целью проверить, как на данном этапе обучения усвоен лекционный материал и/или материал, отведённый на самостоятельное изучение. Рекомендации по изучению соответствующих материалов приведены выше. При подготовке следует иметь в виду, что во время устного опроса:

- нужно уметь сформулировать определения изученных величин, понятий и т.д.;
- нужно уметь сформулировать изученные законы, теоремы, утверждения, постулаты и т.д.,
- по каждой теме или подтеме нужно уметь вкратце словами раскрыть суть того, что в ней излагается;
- нужно уметь сформулировать словами, на чем основаны доказательства изученных утверждений и формул, указать сделанные при этом приближения и принятые допущения.

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

9.1. Основная литература

1. А. П. Бельский, В. Ю. Лакомкин. Специальные вопросы тепломассообмена в энергетических и теплотехнологических процессах и установках. Уч. пособие. – Санкт-Петербург. 2011.
2. Теплопередача. [В 2 ч.]. Ч. 2 : [учебное пособие для вузов] ; под общ. ред. В.С. Черденченко и А.И. Алифорова; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2010. - 378 с.
3. Теплотехника//А.А. Александров, А.М. Архаров и др. – под ред. А.М. Архарова и В.Н. Афанасьева/Учебник для ВУЗов. 3-ое изд. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана 2011. – 742 с.
4. Леденев А.Н. Физика: Учебное пособие для вузов. Молекулярная физика и термодинамика. ФИЗМАТЛИТ. 2014. - 207 с.

9.2. Дополнительная литература

1. Пригожин И., Кондепуди Д. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур. 2002 год. 460 стр.
 2. Ларионов В.М. Автоколебания газа в энергетических установках. – Казань, изд-во КГУ, 2006.
 3. Варнатц, Ю. Горение. Физические и химические аспекты, моделирование, эксперименты, образование загрязняющих веществ. / Ю. Варнатц, У. Маас, Р. Диббл; пер. с англ. Г.Л. Агафонова; под ред. П.А. Власова. – М.: ФИЗ-МАТЛИТ, 2003 – 352 с.
 4. Ландау, Л.Д. Курс теоретической физики. Т.5. Статистическая физика. / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука, 2005.
 5. Луканин В.Н., Шатров М.Г. и др. Теплотехника. – М.: Высшая школа, - 2000.
 6. Кислицын А.А., Шабаров А.Б. Тепломассообмен. – Тюмень, изд-во ТюмГУ, 2008.
- Теория тепломассообмена / Под ред. А.Н.Леонтьева. - М.: Изд-во МГТУ, 1997.

9.3. Интернет-ресурсы:

1. Библиотека Администрации Президента РФ [Электронный ресурс]. Режим доступа: [URL:http://194.226.30/32/book.htm](http://194.226.30/32/book.htm)
2. Виртуальные библиотеки [Электронный ресурс]. Режим доступа: [URL:http://imin.urfu.ac.ru](http://imin.urfu.ac.ru)
3. Государственная публичная научно-техническая библиотека России [Электронный ресурс]. Режим доступа: [URL:http://gpntb.ru](http://gpntb.ru)
4. Информационный портал «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://window.edu.ru/>
5. Каталог общественных ресурсов Интернет [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ngo.ru>.
6. Российская библиотечная ассоциация [Электронный ресурс]. Режим доступа: [URL:http://rba.ru](http://rba.ru)
7. Интернет университет - <http://www.intuit.ru>
8. Математическое моделирование - <http://www.mathnet.ru/>
9. Образовательный математический сайт Exponenta.ru - www.exponenta.ru/
10. Объединенный институт высоких температур РАН - <http://www.jiht.ru/>

10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Освоение дисциплины "Теплофизика и теоретическая теплотехника" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек.

Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая

комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Для лучшего освоения лекционного материала по курсу "Теплофизика и теоретическая теплотехника" аспиранты готовят презентации по каждой из рассматриваемых тем и докладывают их на практических занятиях. Понимание аспирантами излагаемого материала проверяется путем общей дискуссии по теме презентации.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и с учетом рекомендаций по направлению подготовки.

Автор(ы): зав. кафедрой, д.т.н., Кашапов Н.Ф., доцент, д.т.н., Ларионов В.М.
Рецензент(ы): Чл.-корр. РАН Губайдуллин Д.А., проф. Ваньков Ю.В.

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий кафедрой :

Кашапов Н.Ф.

Протокол заседания кафедры № 9 от "7" мая 2015 г

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии Института физики КФУ №11 от "20" мая 2015 г.

Приложения:

Приложение 1. Программа кандидатского экзамена по теплофизике и теоретической теплотехнике (01.04.14)

Приложение 2. Образец дополнительной программы на кандидатский экзамен по специальности.

ПРОГРАММА-МИНИМУМ кандидатского экзамена по специальности

01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

по физико-математическим наукам

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. Бозе-конденсация. Термодинамика черного излучения. Распределение Ферми. Теплоемкость вырожденного Ферми-газа.
4. Условие химического равновесия. Закон действующих масс. Теплота реакции. Термическая диссоциация, ионизация, возбуждение.
5. Неидеальные газы. Разложения по степеням плотности. Вириальные 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 гидродинамических уравнений из уравнений Больцмана. Вычисление кинетических 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. Анггармонизм и тепловое расширение. Теплоемкость кристаллов. Модели Эйнштейна 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.

Приложение 2.
О Б Р А З Е Ц

УТВЕРЖДАЮ
Председатель Ученого Совета
Института физики
Никитин С.И.
ФИО

(подпись)
Протокол № ____ от «__» _____ 20__ г.

Дополнительная программа
Для сдачи кандидатского экзамена по специальности _____

(шифр и наименование специальности)
аспиранта (соискателя) кафедры _____

(ФИО аспиранта, соискателя)

Тема диссертации: « _____ »

Вопросы:

1. _____

2. _____

....

15. _____

Литература

1. _____

2. _____

....

10. _____

Научный руководитель
(уч. степень, уч. звание, должность)

Ф.И.О

Соискатель

Ф.И.О

Рассмотрено на заседании кафедры

Протокол № ____ от _____ 201__ г.