

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения
Российской академии наук**

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора по научной работе
к.ф.-м.н. Д. Ф. Сиковский

«06» февраля 2026 г.



ПРОГРАММА

**вступительных испытаний поступающих на обучение по программам подготовки
научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре**

Группа научных специальностей: 2.4. Энергетика и электротехника

Научная специальность: 2.4.6 Теоретическая и прикладная теплотехника

Теоретическая термодинамика

1. Основные понятия и определения термодинамики. Термодинамическая система. Параметры состояния (удельный объем, давление, температура). Равновесные и неравновесные состояния и процессы. Обратимые и необратимые процессы.
2. Теплота и работа как формы передачи энергии. Понятие теплоемкости. Массовая, объемная и мольная удельные теплоемкости. Теплоемкость идеального газа.
3. Первый закон термодинамики. Работа, внутренняя энергия, теплота. Термическое уравнение состояния. Изохорический, изобарический и изотермический процессы. Теплоемкость.
4. Второй закон термодинамики. Формулировки второго закона термодинамики. Энтропия. Объединенная форма первого и второго законом термодинамики. Абсолютная шкала температур.
5. Термодинамические потенциалы. Дифференциальные соотношения для термодинамических потенциалов, соотношения Максвелла.
6. Равновесные термодинамические процессы в идеальном газе и их изображение на диаграммах. Цикл Карно, термодинамическая шкала температур.
7. Переход к равновесию и возрастание энтропии. Принцип максимальной работы. Понятие эксергии. Термодинамические неравенства, принцип Нернста.
8. Элементы термодинамики необратимых процессов. Основные положения термодинамики

необратимых процессов. Соотношения взаимности. Термоэлектрические явления.

9. Термодинамические свойства вещества. Термодинамические и calorические свойства твердых тел, жидкостей, идеальных и реальных газов. Термодинамические диаграммы состояния веществ.

10. Химический потенциал. Фазовые превращения и условия равновесия. Правило фаз, диаграммы состояния. Уравнения Клапейрона Клаузиуса и Ван-дер-Ваальса, критическая точка. Переход жидкость-пар в реальных газах. Свойства вещества вблизи критической точки (термодинамическое подобие). Закон соответственных состояний.

11. Дросселирование газов и паров. Сущность дросселирования и его уравнение. Изменение параметров в процессе дросселирования. Понятие об эффекте Джоуля-Томсона. Особенности дросселирования идеального и реального газов, температура инверсии.

12. Смеси, растворы. Свойства газовых смесей. Химический потенциал. Летучесть. Фазовое равновесие в растворах. Правило фаз. Идеальные растворы. Неидеальные растворы. Азеотропные растворы. Осмотическое давление. Критические явления в растворах. Примеры диаграмм состояния. Работа разделения.

13. Основы химической термодинамики. Термохимия. Закон Гесса. Уравнение Кирхгофа. Химическое равновесие и второй закон термодинамики. Константа равновесия. Равновесие в гетерогенных химически реагирующих системах. Термодинамические свойства химически реагирующих систем. Третий закон термодинамики. Расчет фазового равновесия с помощью 3-го закона термодинамики.

14. Термодинамика потока. Изэнтропическое одномерное стационарное движение газа. Истечение газа из сопел. Скачок уплотнения. Скорости распространения ударной волны и спутного потока за ней. Сужающийся сверхзвуковой поток. Расширяющийся сверхзвуковой поток.

15. Термодинамика теплового излучения. Закон Кирхгофа. Закон Вина. Закон Стефана-Больцмана.

Статистическая термодинамика

16. Основные принципы статистики. Статистическое распределение. Теорема Лиувилля. Статистическое распределение в квантовой статистике. Энтропия и вероятность.

17. Распределение Гиббса. Распределение Максвелла. Свободная энергия в распределении Гиббса. Распределение Гиббса с переменным числом частиц. Вывод термодинамических отношений из распределения Гиббса.

18. Распределение Больцмана. Распределение Больцмана в классической статистике. Закон равномерного распределения.

19. Распределение Ферми и Бозе. Распределение Ферми. Распределение Бозе. Неравновесные Ферми и Бозе-газы. Вырожденный электронный газ. Черное излучение.

20. Идеальный и неидеальные газы. Разложение по степеням плотности. Уравнение состояния газов и жидкостей. Взаимодействие молекул. Зависимость межмолекулярной силы и потенциальной энергии от расстояния между молекулами. Вириальные коэффициенты. Разложение по степеням давления. Закон соответственных состояний. Уравнение ван дер Ваальса для жидкой фазы.

21. Кинетическая теория явлений переноса в разреженных газах. Кинетическое уравнение Больцмана и методы его решения. Метод Чепмена-Энскога. Сечения столкновения и интегралы столкновений для разных процессов переноса. Вязкость, теплопроводность и коэффициент диффузии газов.

Техническая термодинамика

22. Методы термодинамического анализа эффективности энергетических систем. Метод коэффициента полезного действия. Энтропийный и эксергетический методы расчета потерь работоспособности.

23. Классификация компрессоров и принцип их действия. Индикаторная диаграмма; изобарическое, адиабатическое и политропическое сжатие. Полная работа, затрачиваемая на привод компрессора. Многоступенчатое сжатие. Изображение в P-V и T-S диаграммах термодинамических процессов в компрессорах. Относительный внутренний КПД компрессора.

24. Циклы двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Цикл с изохорным, изобарным и смешанным подводом теплоты. Изображения циклов в P-V и T-S диаграммах. Термодинамический КПД циклов ДВС.

25. Циклы газотурбинных установок (ГТУ). Принцип действия ГТУ, циклы с изобарным подводом теплоты, регенеративные циклы. Изображения циклов в P-V и T-S диаграммах. Термодинамический КПД циклов ГТУ.

26. Циклы паротурбинных установок. Принципиальная схема паротурбинной установки. Цикл Ренкина и цикл Ренкина с промежуточным перегревом пара. Влияние начальных и конечных параметров на термический КПД цикла паротурбинной установки. Регенеративный цикл паротурбинной установки и его КПД. Теплофикационный цикл.

27. Циклы холодильных установок. Холодильные агенты, холодильный коэффициент и холодопроизводительность. Цикл воздушной холодильной установки. Цикл парокомпрессионной холодильной установки. Понятие об абсорбционной и парожеторной холодильных установках.

28. Установки трансформации теплоты. Абсорбционные и парокомпрессионные тепловые насосы.

Теория теплообмена

29. Предмет теории теплообмена. Области практических приложений. Процессы переноса энергии, количества движения и вещества. Основные виды переноса тепла и их механизм.

Проблемы теории теплообмена, выдвигаемые современной техникой, пути их решения.

30. Теория теплопроводности. Гипотеза Фурье. Коэффициент теплопроводности. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Начальные и граничные условия. Основные методы решения задач теплопроводности. Теплопроводность при стационарном и нестационарном режиме. Теорема Дюамеля. Применение метода аналогий к расчету температурных полей.

31. Основные уравнения динамики вязкой жидкости и конвективного теплообмена. Уравнения неразрывности, движения и энергии для сжимаемой вязкой жидкости. Начальные и граничные условия в задачах о движении жидкости и конвективном теплообмене. Гидродинамический, тепловой и диффузионный пограничные слои.

32. Теория подобия и метод анализа размерностей в теплопередаче. Условия подобия физических процессов. Метод анализа размерностей. Приведение математического описания процесса к безразмерному виду. Числа и критерии подобия.

33. Теплообмен при свободной конвекции. Теплопередача при свободном ламинарном движении вдоль вертикальной пластины. Теплопередача при свободном конвективном турбулентном движении.

34. Теплообмен при ламинарном течении жидкости в трубах. Теплообмен в круглой трубе при граничных условиях первого и второго рода.

35. Теплообмен и сопротивление при ламинарном пограничном слое в несжимаемой жидкости и потоке газа высокой скорости. Теплоотдача плоской пластины при постоянной температуре поверхности. Приближенные методы расчета теплообмена для произвольных законов изменения скорости и температуры стенки. Интегральное соотношение импульсов и энергии. Адиабатическая температура, теплоотдача и сопротивление трения пластинки в потоке газа высокой скорости.

36. Теплоотдача при вынужденном турбулентном течении жидкости. Полуэмпирические теории турбулентности. Коэффициенты турбулентного переноса импульса и тепла, турбулентное число Прандтля. Переход ламинарного течения в турбулентное течение в трубах и пограничном слое. Влияние переменных физических свойств жидкости на законы теплообмена. Теплообмен при внешнем обтекании тел. Гидродинамическая аналогия Рейнольдса.

37. Теплоотдача в разреженном газе. Число Кнудсена. Взаимодействие молекул с твердыми поверхностями. Коэффициенты аккомодации. Критерии подобия. Режимы течения, их зависимость от K_n и M . Течение при малых числах Кнудсена. Скольжение и температурный скачок. Пограничный слой с учетом скольжения и скачка температур. Течение при больших числах Кнудсена. Свободномолекулярные течения в трубах. Истечение в вакуум.

38. Теплообмен при кипении однокомпонентной жидкости. Режимы кипения жидкости. Механизм процесса теплообмена при пузырьковом кипении. Размер критического зародыша и отрывной диаметр пузыря. Теплоотдача при пузырьковом кипении в условиях свободной

конвекции. Критическая тепловая нагрузка. Теплообмен при пленочном кипении. Режимы течения и структура двухфазного потока при кипении в трубах. Теплоотдача при кипении жидкости в трубах, влияние скорости движения жидкости. Кризисы теплоотдачи при кипении в трубах.

39. Теплообмен при конденсации пара. Пленочная и капельная конденсация. Теплообмен при капельной конденсации неподвижного пара на вертикальной стенке. Теплообмен при пленочной конденсации движущегося пара на горизонтальной одиночной трубе. Теплообмен при конденсации пара из парогазовой смеси.

40. Тепло- и массообмен в двухкомпонентных средах. Основные сведения о диффузии: перенос вещества и энергии в газовых смесях. Уравнение сохранения массы отдельных компонентов и уравнение энергии для двухкомпонентных сред. Тепло- и массоотдача. Диффузионные числа подобия и тройная аналогия. Понятие о диффузионном пограничном слое. Учет химических превращений в уравнениях сохранения.

41. Основные понятия и законы теплового излучения. Тепловое излучение и его свойства. Основные характеристики теплового излучения. Излучение реальных тел. Закон Кирхгофа. Закон Ламберта.

42. Теплообмен излучением между плоскими поверхностями неограниченных тел, разделенных прозрачной средой. Понятие углового коэффициента излучения. Закон Бугера. Уравнение переноса энергии излучения. Селективное и интегральное по спектру излучение. Особенности излучения газов и паров.

Литература

1. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. – М.: Атомиздат, 1979.
2. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. – М.: Энергия, 1974.
3. Техническая термодинамика. Под ред. В.И. Крутова. М.: "Высшая школа", 1981 г.
4. Вукалович М.П., Новиков И.И. Техническая термодинамика. М. Энергия, 1968.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Б.М. Теоретическая физика. Т 5. М.: Наука, 1976.
6. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – М.: Энергоиздат, 1981.
7. Исаев С.И., Курс химической термодинамики. М., Машиностроение, 1975.
8. Базаров И.П. Термодинамика. – М., Высшая школа, 1983.
9. Юдаев Б.Н. Теплопередача. М. Высшая школа, 1973.
10. Авдеевский В.С. и др. Основы теплопередачи в авиационной и ракетно-космической технике. Под ред. В.К. Кошкина. М. Машиностроение, 1975.
11. Кэйс В.М. Конвективный тепло- и массообмен. М., Энергия, 1972.

12. Дыгнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. Ч. 2. Массообменные процессы и аппараты. М. Химия, 1975.
13. Кириллин В.А., Шейндлин А.Е., Шпильрайн Э.Э. Термодинамика растворов. – М.: Энергия, 1980.
14. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967.
15. Петухов Б.С., Генин Л.Г., Ковалев С.А. Теплообмен в ядерных энергетических установках. – М.: Атомиздат, 1974.
16. Шпильрайн Э.Э., Кессельман П.М. Основы теории теплофизических свойств веществ. – М.: Энергия, 1977.
17. Коган М.Н. Динамика разреженного газа. – М.: Наука, 1967.

*Утверждена на УС от 06.02.2025,
протокол № 01-2025*