

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель председателя
Приемной комиссии,
проректор по учебной работе



М.В. Румянцев

ПРОГРАММА
вступительного испытания в аспирантуру
по направлению 03.06.01 Физика и астрономия
программа (профиль) 01.04.14 Теплофизика и теоретическая
теплотехника

Красноярск 2017

Перечень вопросов для физико-математического направления:

1. Термодинамика и статистическая физика

1.1. Законы термодинамики. Термодинамические функции. Термодинамические неравенства. Распределение Гиббса. Энтропия. Статистическое обоснование закона возрастания энтропии.

1.2. Статистическое описание идеального газа. Распределение Больцмана. Закон равнораспределения.

1.3. Квантовая статистика идеального газа. Распределение Бозе. Термодинамика черного излучения. Распределение Ферми.

1.4. Условие химического равновесия. Закон действующих масс. Теплота реакции.

1.5. Фазовые переходы первого и второго рода. Термодинамическая теория Ландау фазовых переходов второго рода.

1.6. Теория флуктуации. Распределение Гаусса. Флуктуации основных термодинамических величин. Формула Пуассона.

1.7. Термодинамика поверхности. Поверхностное натяжение и поверхностное давление.

2. Теория неравновесных процессов

2.1. Уравнения переноса, основы термодинамики необратимых явлений. Соотношение симметрии кинетических коэффициентов Онсагера. Применение методов неравновесной термодинамики к явлениям в сплошных средах с одновременным протеканием различных процессов: диффузии, теплопроводности, вязкости, химических реакций.

2.2. Кинетическое уравнение Больцмана, H теорема. Вывод гидродинамических уравнений из уравнений Больцмана. Вычисление кинетических коэффициентов.

2.3. Случайные блуждания и броуновское движение. Уравнение Ланжевена. Уравнение Фоккера-Планка.

2.4. Релаксационные явления. Основное кинетическое уравнение. Колебательная релаксация. Вращательная релаксация. Кинетика диссоциации и ионизации. Газовые лазеры.

2.5. Распространение звука в газе, дисперсия и затухание звука.

2.6. Ударные волны. Законы сохранения на фронте ударной волны. Ударная адиабата. Структура ударной волны в газах. Истечение газа через сопло.

3. Физика газов и плазмы

3.1. Взаимодействие молекул. Источники сведений о межмолекулярных силах. Различные составляющие межмолекулярных сил. Потенциальные функции межмолекулярного взаимодействия. Упругие и

неупругие столкновения.

3.2. Уравнение состояния идеального газа. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Закон соответственных состояний, термодинамическое подобие. Теплоемкость. Сжимаемость. Эффект Джоуля-Томпсона. Методы измерения термодинамических величин.

3.3. Явления переноса в газах. Вязкость. Теплопроводность. Диффузия. Термодиффузия. Пристеночные явления в умеренно разреженном газе. Термомолекулярная разность давлений. Кинетические явления в сильно разреженном газе (газ Кнудсена).

3.4. Низкотемпературная плазма. Дебаевский радиус.

3.5. Ионизационное равновесие. Формула Саха. Кинетика ионизации.

3.6. Явление переноса в плазме. Излучение в плазме.

4. Физика жидкостей

4.1. Строение жидкости. Радиальная функция распределения. Изучение структуры жидкости методом рассеяния рентгеновских лучей.

4.2. Уравнения состояния жидкости и плотных газов. Плотность, сжимаемость, теплоемкость.

4.3. Явление переноса и релаксации в жидкости. Вязкость, теплопроводность, диффузия и самодиффузия.

4.4. Сопротивление и теплопередача в ламинарном потоке.

4.5. Конвективный теплообмен.

4.6. Турбулентное движение и турбулентный теплообмен.

4.7. Кризис сопротивления.

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

4.9. Радиационный теплообмен и радиационная газовая динамика.

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

5. Фазовые переходы

5.1. 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.

5.2. Кипение. Кризис кипения. Методы расчета.

5.3. Плавление, кристаллизация. Возгонка и сублимация.

6. Физика твердого тела

6.1. Строение твердых тел: кристаллические и аморфные твердые тела. Пространственная решетка кристалла. Трансляционная симметрия. Дефекты в

кристаллах: точечные дефекты и дислокации.

6.2. Колебание решетки, спектральная плотность колебаний решетки. Ангармонизм и тепловое расширение. Теплоемкость кристаллов. Модели Эйнштейна и Дебая.

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

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

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

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

Список основных рекомендованных источников.

1. Квасников И. А. Теория равновесных систем. Т.1: Термодинамика; Т.2: Статистическая физика / И. А. Квасников. - М.: Изд-во УРСС, 2002.

2. Румер Ю. Б. Термодинамика, статистическая физика и кинетика / Ю. Б. Румер, М. Ш. Рыбкин. - Новосибирск: Изд-во НГУ, 2002.

Список дополнительных рекомендованных источников.

1. Ландау Л. Д. Статистическая физика / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц - М.: Наука, 2001.

2. Исихара А. Статистическая физика / А. Исихара. - М.: Мир, 1973.

3. Силин В. П. Введение в кинетическую теорию газов. - М.: Изд-во ФИАН, 1998.

4. Гиршфельдер Дж. Молекулярная теория газов и жидкостей / Дж. Гиршфельдер, Ч. Кертисс, Р. Берд. Л.: - М., 1961.

5. Ступоченко Е. Релаксационные процессы в ударных волнах / Е. Ступоченко, С. А. Лосев, А. И. Осипов. - М.: 1965.

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

7. Физика простых жидкостей: Сб. - М.: Мир, 1971.

8. Стенли Г. Фазовые переходы и кинетические явления. - М.: Мир, 1973.

9. Райзер, Ю. П. Физика газового разряда / Ю. П. Райзер. - М.: Наука, 1992.

10. Ландау Л. Д. Гидродинамика / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. - М.: Наука, 1986.

11. Лойцянский, Л. Г. Механика жидкости и газа / Л. Г. Лойцянский. -

М.: Наука, 1973.

Перечень вопросов для технического направления:

1. Термодинамика.

1.2. Параметры состояния. Понятие о термодинамическом процессе. Идеальный газ. Законы идеального газа. Смеси идеальных газов.

1.3. Первый закон термодинамики. Теплота. Эквивалентность теплоты и работы. Закон сохранения и превращения энергии. Внутренняя энергия и внешняя работа. Энтальпия. Уравнение первого закона термодинамики.

1.4. Второй закон термодинамики. Циклы, Понятие термического КПД. Обратимые и необратимые процессы. Формулировка второго закона термодинамики. Цикл Карно. Термодинамическая шкала температур. Энтропия. Изменение энтропии в необратимых процессах.

1.5. Фазовые переходы. Уравнение Клапейрона - Клаузиуса. Фазовые переходы при искривленных поверхностях раздела.

1.6. Уравнение состояния реальных газов. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Термические и калорические свойства реальных газов и влажного воздуха. Термодинамические свойства веществ на линии фазовых переходов и в критической точке.

1.7. Основные термодинамические процессы. Изохорный процесс. Изобарный процесс. Изотермический процесс. Политропные процессы. Дросселирование, эффект Джоуля - Томпсона. Адиабатическое расширение реального газа в вакуум (процесс Джоуля).

1.8. Термодинамические циклы. Термический КПД. Эксергия. Циклы Карно, Отто, Дизеля, Брайтона, Ренкина. Регенерация теплоты в цикле.

1.9. Холодильные циклы. Обратные тепловые циклы и процессы. Холодильные установки. Цикл воздушной холодильной установки. Цикл пароконденсационной холодильной установки. Понятие о цикле абсорбционной холодильной установки.

1.10. Основы химической термодинамики. Термохимия. Закон Гесса. Уравнения Кирхгофа. Химическое равновесие и второй закон термодинамики. Константы равновесия и степень диссоциации. Тепловой закон Нернста.

2. Тепло- и массообмен.

2.1. 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, цилиндрическую стенку. Нестационарное температурное поле в плоской пластине, регулярный режим охлаждения (нагрева) тел.

2.2. 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.

2.3. Теплообмен при внешнем обтекании тела. Система уравнений теплового пограничного слоя. Анализ теплообмена при ламинарном течении в пограничном слое методами размерностей. Соотношения для расчета теплообмена при различных значениях числе Прандтля. Условные толщины пограничного слоя. Интегральные уравнения импульса и энергии.

2.4. Переход ламинарного течения в турбулентное, влияние на турбулентный переход параметров набегающего потока, массовых сил, характеристик обтекаемой поверхности. Теоретические и экспериментальные аспекты перехода ламинарного течения в турбулентное. Осредненные уравнения движения и энергии для турбулентного течения. Кажущиеся напряжения турбулентного трения, турбулентный тепловой поток.

2.5. Структура пристенной турбулентной области. Аналогия Рейнольдса для теплообмена при турбулентном течении в пограничном слое, ее модернизированный вариант (двухслойная схема), расчетные соотношения для теплоотдачи. Конвективный теплообмен при высоких скоростях течения. Адиабатическая температура стенки, коэффициент восстановления, методы расчета теплоотдачи. Теплообмен при поперечном обтекании одиночного цилиндра и пучков труб.

2.6. Теплообмен при течении жидкости в каналах. Математическое описание, среднемассовая скорость и температура. Стабилизированный теплообмен при граничных условиях второго рода. Профили скорости, температуры, теплового потока при ламинарном и турбулентном течении, интеграл Лайона. 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.

2.7. 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.

2.8. Теплообмен при фазовых превращениях. Математическое описание и модели двухфазных сред. Универсальные условия совместности на межфазных границах. Специальные условия совместности для процессов тепло- и массообмена. Неравновесность на межфазных границах, квазиравновесное приближение.

2.9. Пленочная и капельная конденсация. Теплообмен при пленочной конденсации на вертикальной поверхности: решение Нуссельта, анализ основных допущений. Конденсация на поверхности горизонтального цилиндра. Конденсация движущегося пара. Качественные закономерности капельной конденсации.

2.10. Кипение жидкостей. Условия зарождения парового зародыша в объеме перегретой жидкости и на твердой поверхности нагрева. Основные закономерности роста и отрыва паровых пузырьков. «Кривая кипения». Теплообмен при пузырьковом кипении в большом объеме, теплообмен при пленочном кипении. Кризисы кипения в большом объеме.

2.11. Режимы течения двухфазных потоков в трубах. Характер изменения среднемаассовой температуры жидкости, температуры стенки, расходного массового паросодержания по длине обогреваемого канала. Кипение жидкости, недогретой до температуры насыщения. Кризис теплоотдачи при кипении в трубах.

2.12. Аналогия процессов тепло- и массообмена. Расчет интенсивности переноса энергии и массы компонента при умеренных и высоких скоростях массообмена.

2.13. Тепло- и массообмен при химических превращениях. Диффузия, сопровождаемая гомогенной или гетерогенной химической реакцией. Процессы на поверхности тела, обтекаемого гиперзвуковым потоком газа.

2.14. Теплообмен излучением в диатермичной среде. Геометрия излучения (локальные и средние угловые коэффициенты). Зональный метод расчета теплообмена в системе тел, разделенных прозрачной средой.

2.15. Теплообмен излучением в поглощающих и излучающих средах. Излучение и поглощение в газах. Основной закон переноса энергии излучения в излучающе-поглощающей среде. Собственное излучение газа. Методы расчета теплообмена.

3. Основы расчета теплообменных аппаратов и средств тепловой защиты.

3.1. Современные теплообменные системы: парогенераторы тепловых электрических станций, ядерные энергетические реакторы, камеры сгорания ракетных двигателей, бланкет термоядерного реактора. Теплообменные аппараты: рекуперативные, регенеративные, смешительные.

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

3.3. Особенности выбора средств и методов тепловой защиты. Способы тепловой защиты от конвективного и совместного (конвективно-лучевого) нагрева.

3.4. Проникающее охлаждение. Эффект вдува. Теплообмен между пористой матрицей и фильтрующимся охладителем.

Список основных рекомендованных источников.

1. Кириллин, В. А. Техническая термодинамика: учебник для вузов / В. А. Кириллин, В. В. Сычев, А. Е. Шейндлин. - 5-е изд., перераб. и доп. - М.:

Издательский дом МЭИ, 2008. 496 с.

2. Кудинов В. А. Техническая термодинамика / В. А. Кудинов, Э. М. Карташов. - М.: Высшая школа, 2003. 261 с.

3. Мазур, Л. С. Техническая термодинамика и теплотехника / Л. С. Мазур. - М. ГЭОТАР - Медиа. 2003. 300 с.

4. Электро-, магнето- барокалорический эффекты. Метод, указания по выполнению практических работ / Флёров И. Н., Горев М. В. - Красноярск: ИПЦ КГТУ - 2005. 42 с.

5. Цветков Ф. Ф. Тепломассообмен. уч. пособие для вузов / Ф. Ф. Цветков, Б. А. Григорьев. - М., Издательский дом МЭИ. 2006. 550 с.

6. Чередниченко В. С. Электрические печи сопротивления. Теплопередача и расчет электропечей сопротивления. / В. С. Чередниченко, А. С. Бородачев, В. Д. Артемьев. - Новосибирск, изд-во НГУ. 2006. 624 с.

7. Теплотехника: Учеб. для вузов / В. Н. Луканин, М. Г. Шатров. Г. М. Камфер и др.; Под ред. В. Н. Луканина. - М.: Высш. Шк., 2006. 671 с.

8. Ляшков В. И. Теоретические основы теплотехники. Учебное пособие. - М. ВШ. 2007. 300 с.

9. Алексеенко С. В. Теория процессов переноса в сплошных средах: Учебное пособие/ С. В. Алексеенко, С. И. Лежнин. - Новосибирский государственный университет, Новосибирск, 2005. 106 с.

10. Видин Ю. В. Теоретические основы теплотехники. Тепломассообмен: Учебное пособие. - Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2005. 327 с.

11. Теплопередача: Учебное пособие / Под ред. В. С. Чередниченко. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. 200 с.

12. Теплообмен в ядерных энергетических установках - 2-е изд. перер. и доп. / Б. С. Петухов, Л. Г. Генин, С. А. Ковалев, С. Л. Соловьев. - М.: Изд-во МЭИ, 2003.

13. Захарова А. А. Техническая термодинамика и теплотехника / А. А. Захарова. - М.: Academia, 2008.

14. Лойцянский, Л. Г. Механика жидкости и газа / Л. Г. Лойцянский. - М.: Дрофа, 2006.

Список дополнительных рекомендованных источников.

15. Лабунцов Д. А. Механика двухфазных сред / Д. А. Лабунцов, В. В. Ягов. - М.: Изд-во МЭИ, 2000.

16. Ладыгин В. М. Теплообменные аппараты ТЭС / В. М. Ладыгин, Ю. Г. Назмеев. - М.: Изд-во МЭИ, 2000.

17. Базаров. И. П. Термодинамика. Изд-е 2-е. - М.: Высшая школа. 1976.

18. Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена / С. С. Кутателадзе. - М.: Атомиздат, 1979.

Составитель программы:

М. С. Лобасова, канд. физ.-мат. наук, доцент.

Программа соответствует паспорту номенклатуры специальностей научных работников.