

Программа вступительного экзамена в аспирантуру

по специальности 01.04.14

«Теплофизика и теоретическая теплотехника»

Национальная академия наук Беларуси

Институт тепло - и массообмена имени А.В.Лыкова НАН
Беларуси

УТВЕРЖДЕНА

на заседании Ученого совета
Института тепло-и массообмена
имени А.В. Лыкова НАН Беларуси
« 20 » декабря 2013 г.
протокол № 12

ПРОГРАММА

вступительного экзамена в аспирантуру
по специальности 01.04.14 -
«Теплофизика и теоретическая теплотехника»

Разработал:

чл.-корр.НАН Беларуси

д.ф.-м.н. Н.В.Павлюкевич

Минск

2013

. П – теорема.

Конвективный теплообмен. Уравнение Ньютона-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи. Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена: уравнение энергии, уравнение движения, уравнение неразрывности (сплошности). Условия однозначности. Понятие о пограничном слое. Система уравнений гидродинамического, теплового и диффузионного пограничных слоев. Аналогия Рейнольдса. Сопряженные задачи теплообмена. Теплообмен при движении жидкости в трубах (ламинарном и турбулентном). Задача Грэтца-Нуссельта. Теплоотдача при поперечном омывании одиночной круглой трубы.

Свободно – конвективный теплообмен. Теплоотдача в неограниченном объеме у вертикальной пластины, решение Польгаузена. Ламинарная и турбулентная конвекция. Теплообмен при свободной конвекции в замкнутых объемах.

Теплоотдача при изменении агрегатного состояния вещества и горении. Теплообмен при кипении в большом объеме. Пузырьковый и пленочный режимы кипения. Кризисы кипения. Расчетные уравнения для определения коэффициента теплоотдачи при кипении в большом объеме.

Теплообмен при конденсации. Пленочная и капельная конденсация чистых паров. Расчетные уравнения коэффициента теплоотдачи для вертикальных и горизонтальных труб, плоских поверхностей.

Основы теории горения. Стехиометрические расчеты реакций горения и состава продуктов сгорания. Теоретически необходимое количество воздуха для сжигания топлива. Адиабатная температура горения.

Понятие о медленном и детонационном горении.

Капиллярно – пористые тела. Структурные характеристики пористых тел. Поведение жидкости в элементарных капиллярах, капиллярное давление. Закон фильтрации Дарси. Система уравнений взаимосвязанного тепла и массообмена. Многофазная фильтрация.

Теплообмен излучением. Основные понятия и определения. Законы теплового излучения. Теплообмен излучением между телами. Коэффициенты облученности (угловые коэффициенты) для систем тел. Назначение экранов. Степень черноты. Физические механизмы поглощения и рассеяния, оптические свойства газовых сред. Приближения оптически тонкого и оптически толстого слоя. Интегро-дифференциальное уравнение переноса излучения.

Сложный теплообмен. Лучисто-кондуктивный и лучисто-конвективный теплообмен.

4. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА И ЭЛЕМЕНТЫ ФИЗИЧЕСКОЙ КИНЕТИКИ.

Статистические закономерности. Наиболее вероятное распределение. Понятие фазового пространства. Распределения Бозе-Эйнштейна,

Ферми-Дирака, Максвелла-Больцмана. Условия вырождения идеального газа. Равновесное излучение (фотонны

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа включает вопросы, которые в процессе вступительного экзамена позволяют выявить подготовленность будущего аспиранта к проведению научных исследований по специальности, выбранной для учебы в аспирантуре. Аспирант должен обладать разносторонними и глубокими знаниями в области базовых наук термодинамики, теплообмена, газодинамики, статистической физики, а также быть знаком с прикладными вопросами моделирования тепломассообменных процессов.

1. ТЕРМОДИНАМИКА

Основные понятия и определения. Параметры состояния. Термодинамическая система, рабочее тело. Основные параметры состояния. Теплота и работа как формы передачи энергии. Уравнение состояния идеального газа. Термодинамические процессы: равновесный и неравновесный, обратимый и необратимый.

Первый закон термодинамики Внутренняя энергия. Работа и теплота. Сущность и формулировка первого закона термодинамики. Энтальпия. Аналитическое выражение первого закона термодинамики. Рабочая диаграмма p - v . Термодинамические потенциалы. Системы с переменным количеством вещества. Химический потенциал. Измерение количества теплоты и теплоемкости. Калориметры.

Второй закон термодинамики. Тепловая и холодильная машины. Сущность второго закона термодинамики и его основные формулировки. Термодинамические циклы тепловых машин. Прямые и обратные циклы. Цикл Карно и анализ его свойств. Термический КПД цикла и холодильный коэффициент.

Энтропия Аналитическое выражение второго закона термодинамики. Тепловая диаграмма T - s . Изменение энтропии в необратимых процессах. Философское толкование второго закона термодинамики.

Теплоемкость газов Массовая, объемная и молярная теплоемкости. Теплоемкость при постоянном объеме и давлении. Зависимость теплоемкости от температуры и давления. Формулы для теплоемкостей газовых смесей.

Термодинамические процессы идеальных газов. Метод анализа термодинамических процессов. Основные термодинамические процессы: изохорный, изобарный, изотермный, адиабатный. Обобщающий смысл политропного процесса. Изображение процессов в координатах p - v и T - s .

Фазовые переходы Условия равновесия. Правило фаз. Тройная и критическая точки. Теплота фазовых переходов. Уравнение Ван-дер-Ваальса и его анализ.

Водяной пар Процесс парообразования в $p-v$ и $T-s$ диаграммах. Определение параметров водяного пара. Расчет термодинамических процессов водяного пара с помощью таблиц и диаграмм.

Газовые смеси Закон Дальтона. Определение парциальных давлений компонентов. Способы задания состава газовой смеси. Соотношения между массовыми и объемными долями. Вычисление параметров состояния смеси.

Определение понятия «влажный воздух» Основные параметры, характеризующие состояние влажного воздуха. Абсолютная и относительная влажность. Диаграмма состояния влажного воздуха.

Равновесие при химических превращениях. Закон действующих масс.

Дросселирование газов и паров Изменение параметров в процессе дросселирования идеального газа. Понятие об эффекте Джоуля-Томсона и температуре инверсии. Особенности дросселирования реального газа (водяного пара). Практическое использование процесса.

2. ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ.

Рекуперативные и регенеративные теплообменники, их тепловой расчет. Устройство и принцип работы тепловых труб. Холодильные машины, тепловые насосы. Холодильный коэффициент и холодопроизводительность. Коэффициент преобразования. Принципиальная схема паросиловой установки. Цикл Ренкина и его исследование. Изображение цикла в $p-v$, $T-s$ координатах. Термический КПД цикла Ренкина и пути его повышения.

3. ТЕОРИЯ ТЕПЛООБМЕНА

Тепловой поток, плотность теплового потока. Физические процессы переноса теплоты: теплопроводность, конвекция, излучение. Сложный теплообмен. Понятие о массообмене.

Теплопроводность Температурное поле. Градиент температуры. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности. Механизм переноса теплоты в металлах, жидкостях и газах. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Условия однозначности. Коэффициент температуропроводности.

Теплопроводность однослойной и многослойной плоской, цилиндрической и сферической стенок при граничных условиях первого рода. Нестационарный процесс теплопроводности. Приближенные методы решения при охлаждении (нагревании) тел неограниченных размеров: пластины (стенки) и цилиндра при различных граничных условиях. Регулярный режим.

Основы теории подобия. Условия подобия физических явлений. Критерии и числа подобия. Основные критерии подобия. Основные положения теории подобия и анализа размерностей (газ), формула Планка. Тепловое движение

в кристаллах, фотонный газ. Закон Дюлонга и Пти, температура Дебая. Закон равнораспределения энергии по степеням свободы.

Квантование гармонического осциллятора. Зависимость теплоемкости двухатомных газов от температуры. Системы взаимодействующих частиц. Понятие фазового Г - пространства. Метод Гиббса. Теорема Лиувилля. Микроканоническое и каноническое распределения Гиббса.

Броуновское движение, соотношение Эйнштейна. Кинетическое уравнение Больцмана. H – теорема. Вывод макроскопических уравнений переноса из уравнения Больцмана. Определение коэффициентов переноса в газе (коэффициента вязкости, диффузии, теплопроводности). Измерение коэффициентов диффузии и теплопроводности газов. Термодиффузия, разделительная колонка. Кнудсеновский коэффициент диффузии, разделение газовых смесей.

Физические процессы в плазме. Квазинейтральность и разделение зарядов. Электростатическое экранирование. Дебаевский радиус и плазменная частота. Приближение магнитной гидродинамики. Плазма как идеальный газ. Вывод формулы Саха из квазиклассической статистики.

5. ГАЗОДИНАМИКА.

Кинематика сплошной среды. Поступательная, вращательная и деформационная составляющие движения. Тензор скоростей деформаций. Уравнения движения идеальной жидкости (уравнения: неразрывности, Эйлера, энергии). Уравнение Бернулли.

Скорость распространения малых возмущений в идеальном газе. Скорость звука. Отражение и преломление звуковых волн. До – и сверхзвуковое течения газа. Предельная скорость стационарного истечения газа в пустоту. Поверхности разрыва. Тангенциальные разрывы и ударные волны. Ударная адиабата. Изменение скорости и термодинамических параметров газа при прохождении его через ударную волну.

Стационарное течение газа в канале переменного сечения. Расчетные и нерасчетные режимы течения. Сопло Лаваля.

Неравновесные режимы течения. Резонансное взаимодействие излучения со средой. Эффекты усиления резонансного излучения. Газодинамический лазер.

Динамика вязкой жидкости. Вихревой характер вязких течений. Тензор вязких напряжений и уравнения Навье-Стокса. Течение по трубе (формула Пуазейля). Точные решения уравнений движения вязкой жидкости. Экспериментальное определение коэффициента вязкости, вискозиметрия.

Движения вязкой жидкости при больших числах Рейнольдса. Вывод уравнений Прандтля для ламинарного пограничного слоя. Толщина вытеснения. Продольное обтекание бесконечно тонкой пластины, автомодельные решения, задача Блазиуса.

Основные сведения о турбулентных течениях. Тензор напряжения турбулентного трения. Основные гипотезы для расчета турбулентных течений.

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Байков В.И., Павлюкевич Н.В. Теплофизика, т.1. – Мн., 2013
2. Кикоин И.К., Кикоин А.К. Молекулярная физика. – М., ГИФМЛ, 1963.
3. Л.Г. Лойцянский «Механика жидкости и газа» – М. Наука, 1970
4. Лыков А.В. тепломассообмен. Справочник. – М: Энергия, 1978
5. Павлюкевич Н.В. Введение в теорию тепло и массопереноса в пористых средах. Мн., 2002.
6. Фраас С., Оцисик М. Расчет и конструирование теплообменников. М: Атомиздат, 1971
7. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика – Энергоатомиздат, 1983
8. Исаченко В.П.Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. М: Энергия, 1981
9. Спэрроу Э.М., Сесс Р.Д. Теплообмен излучением. – М., Энергия, 1971.
10. Франс-Каменецкий Д.А. Лекции по физике плазмы. – М. : Атомиздат, 1964

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Базаров И.П. «Термодинамика» – М. Наука, 1961
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. «Гидродинамика» – М. Наука, 1986
3. Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П. «Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений» – М. Физматиздат, 1963
4. Шлихтинг Г. «Теория пограничного слоя» – М. Наука, 1969
5. Тихонов А.Н., Самарский А.А. «Уравнения математической физики» – М. Наука, 1966.
6. Зигель Р., Хауэлл Д. «Теплообмен излучением» – М. Мир, 1975
7. Андрианов В.Н. «Основы радиационного и сложного теплообмена» – М. Энергия, 1972.
8. Вукалович М.П., Новиков Н.И. Техническая термодинамика. М: Машиностроение, 1972.
9. Кудинов В.А., Карташов Э.М. техническая термодинамика. М: Высшая школа, 2000.
10. Юдаев Б.Н. Теплопередача. – М: Высшая школа, 1981
11. Кутателадзе С.С. основы теории теплообмена. – М: Атомиздат, 1979
12. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М: Высшая школа, 1967

13. Ивановский М.Н., Сорокин В.П., Ягодкин И.В. Физические основы тепловых труб. М: Атомиздат, 1978
14. Васильев Л.Л. Теплообменники на тепловых трубах. Мн.: Наука и техника, 1987.
15. Хаузен Х. Теплопередача при противотоке, прямотоке и перекрестном токе. М: Энергоиздат, 1981
16. Я де Бур. Введение в молекулярную физику и термодинамику. М: Ил., 1962.
17. Хейфец Л.И., Неймарк А.В. Многофазные процессы в пористых средах. М: Энергия, 1982.
18. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. М: наука, 1965
19. Румер Ю.Б., Рывкин М.Ш. Термодинамика, статистическая физика и кинетика – М: Наука, 1972.
20. Цянь Сюэ-Сень. Физическая механика – М: Мир, 1965
21. Солоухин Р.И. Ударные волны и детонация в газах. – М.: Физматиздат, 1963.
22. Лосев С.А. Газодинамические лазеры. – М.: Наука, 1977
23. Коган М.Н. Динамика разреженного газа. М.: Наука, 1967
24. Адзерихо К.С. Лекции по теории переноса лучистой энергии. Мн.: БГУ, 1975.
25. Оцисик М.Н. Сложный теплообмен. – Мир, 1970
26. Алифанов О.М. Обратные задачи теплообмена. М: Машиностроение
27. Сергеев О.А., Шашков А.Г. Теплофизика оптических сред. – Мн.: Наука и техника, 1983.