

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Объединенный институт высоких температур
Российской академии наук**

Принято на Ученом совете ОИВТ РАН
Протокол № 5 от 21.06.2022

**«Утверждаю»
Директор ОИВТ РАН**

Петров

академик Петров О.Ф.

« 21 »

2022 год



ПРОГРАММА-МИНИМУМ

кандидатского экзамена по специальности

1.3.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

по физико-математическим наукам

Направление подготовки «Физика и астрономия» 03.06.01

Москва

2022 год

Введение

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: статистика, элементарные процессы, физическая кинетика, магнитная гидродинамика, электродинамика сплошных сред, физика волновых процессов, термодинамика, статистическая физика.

Программа составлена на основе паспорта соответствующей научной специальности номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени, утвержденной приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 24 февраля 2021г. №118.

1. Фундаментальные, теоретические и экспериментальные исследования молекулярных и макросвойств веществ в твердом, жидком и газообразном состоянии для более глубокого понимания явлений, протекающих при тепловых процессах и агрегатных изменениях в физических системах.

Основы статистической физики.

Статистическое распределение и статистическая независимость. Микроканонический ансамбль Гиббса. Энтропия и второе начало термодинамики. Канонический ансамбль Гиббса. Распределение в классической и квантовой статистике. Распределение Максвелла. Связь термодинамики и статистической физики: определение свободной энергии через статистическую сумму. Большой канонический ансамбль для систем с переменным числом частиц. Термодинамический потенциал и его связь со свободной энергией.

Распределения Больцмана, Ферми-Дирака и Бозе. Вывод распределений с использованием большого ансамбля. Ферми- и бозе-газы элементарных частиц. Адиабатический процесс – связь давления, объема и температуры.

Вырожденный электронный газ. Бозе конденсация. Черное излучение – распределение Планка для чисел заполнения. Спектральное распределение энергии. Пределы низких и высоких частот. Термодинамические величины излучения: свободная энергия, энергия, энтропия, теплоемкость. Закон Кирхгофа.

Термодинамика – основные понятия и законы.

Температура, термодинамическая шкала температуры. Первое начало термодинамики. Работа, количество тепла, энтальпия. Термодинамическая трактовка энтропии. Объединенное уравнение первого и второго начал термодинамики. Свободная энергия Гельмгольца и Гиббса. Дифференциальные соотношения для энергии, энтальпии, свободной энергии Гельмгольца и Гиббса. Соотношения Максвелла между производными термодинамических величин. Зависимость энтропии от давления и объема. Третье начало термодинамики.

Основные следствия законов термодинамики.

Цикл Карно. Максимальная работа, извлекаемая из системы во внешней среде. Понятие об эксергии. Равновесие при переменном числе частиц, понятие о химическом потенциале. Энтропия смешения. Условие равновесия фаз, правило фаз Гиббса.

Химическое равновесие. Закон действующих масс. Константа равновесия и степень диссоциации.

2. Исследование и разработка рекомендаций по повышению качества и улучшению теплофизических свойств веществ в жидком, твердом (кристаллическом и аморфном) состояниях для последующего использования в народном хозяйстве

Молекулярная физика и свойства переноса. Распределение Больцмана и барометрическая формула, распределение Максвелла. Теплоемкость идеальных газов (одно-, двух- и многоатомных), теорема о равномерном

распределении по степеням свободы. Средняя длина свободного пробега молекул. Диффузия в газах, вычисление коэффициента диффузии. Теплопроводность газов. Вязкость газов (внутреннее трение). Соотношения между коэффициентами переноса.

Холодильные циклы. Обратные тепловые циклы и процессы. Холодильные установки. Цикл воздушной холодильной установки. Цикл абсорбционной холодильной установки. Тепловой насос.

Жидкие растворы. Слабые растворы. Осмотическое давление. Соприкосновение фаз растворителя. Равновесие относительно растворенного компонента. Тепловые и объемные эффекты растворения.

3. Магнитная гидродинамика электропроводных сред.

Уравнения течения электропроводной жидкости. Течение Гартмана. Волны Альфена. Пинч-эффект. Принципы работы МГД-генераторов и насосов. Физические свойства электро- и магнитополяризуемых текучих сред. Электро- и магнитовязкий эффекты. Объемная магнитная сила.

4. Неоднородные аэродисперсные системы

Размер, форма и прямолинейное равномерное движение аэрозольных частиц. Движение в ограниченном пространстве. Термофорез. Броуновское движение и диффузия аэрозольных частиц. Диффузионное осаждение из неподвижной среды и из ламинарного потока. Коагуляция аэрозолей. Броуновская коагуляция, коагуляция в турбулентном потоке. Эффективность столкновений твердых частиц и капель.

5. Теплофизика низкотемпературной плазмы.

Низкотемпературная плазма. Квазинейтральность, микрополя, дебаевский радиус, параметр вырождения, параметр неидеальности. Условие

термодинамического равновесия, термическая ионизация, ионизационное равновесие, формула Саха, снижение потенциала ионизации, расходимость и ограничение статистической суммы. Неидеальная низкотемпературная плазма.

6. Теория подобия теплофизических процессов.

Теорема Букингема. Критерии подобия. Критерии подобия нестационарных тепловых процессов, число Фурье, число Био. Подобие тепловых процессов с теплопроводностью, теплообменом за счет конвекции и диффузии, критерии Нуссельта и Пекле. Течение под воздействием градиента температуры, число Рэлея. Вязкие течения с переносом примеси или тепла, критерии Прандтля и Шмидта. Теплообмен при конвекции в поле тяжести, число Грасгофа.

7. Теоретическая и техническая термодинамика, теория фазовых переходов при горении в гетерогенных системах.

Фазовая диаграмма чистого вещества. Линия насыщения, кривые плавления и сублимации. Тройная и критическая точки. Уравнение Клаузиуса-Клапейрона. Различные случаи фазового равновесия (жидкость-пар, твердое тело-пар, твердое тело – жидкость). Физические свойства вещества в окрестности критической точки: Ван-дер-ваальсова и флуктуационная теории критической точки. Фазовые переходы 2 рода.

Термодинамические свойства идеального газа. Статистическая сумма и свободная энергия идеального газа. Уравнение состояния Менделеева-Клапейрона. Одноатомный газ с учетом электронного возбуждения. Колебательная и вращательная статсуммы. Термодинамические функции двухатомного и многоатомного газов.

Уравнения состояния реального газа и жидкости.

Общие требования, предъявляемые к уравнениям состояния. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Изотермы и критическая точка по Ван-дер-Ваальсу.

Уравнение состояния в вириальной форме. Вычисление второго вириального коэффициента через потенциал взаимодействия. Старшие вириальные коэффициенты.

Типовые формы уравнений состояния газа и жидкости.

Термические и калорические свойства газов и жидкостей. Зависимость калорических свойств от температуры и давления (или плотности). Расчет энергии, энтальпии и энтропии через уравнение состояния.

Метод термодинамического подобия. Понятия о термодинамическом подобии и соответственных состояниях. Закон соответственных состояний. Вириальное уравнение состояния и уравнение Ван-дер-Ваальса в приведенной форме. Корреляции, использующие термодинамическое подобие.

Термодинамика твердого тела. Приближение низких температур. Оценка числа нормальных колебаний. Низкотемпературные асимптотики термодинамических функций: внутренней энергии, свободной энергии, энтропии и теплоемкости. Приближение высоких температур, закон Дюлонга-Пти. Приближение Дебая. Определение температуры Дебая. Термодинамические функции в приближении Дебая.

Термодинамические свойства твердых тел при высоких параметрах. Сжатие холодного вещества. Тепловое движение атомов. Уравнение состояния в гармоническом приближении. Электронный вклад. Трехчленное уравнение состояния.

8. Численное и натурное моделирование теплофизических процессов в природе, технике и эксперименте, расчет и проектирование нового теплотехнического оборудования.

Термодинамика потока. Первое начало термодинамики для потока.

Уравнение адиабатного течения. Истечение из суживающегося сопла. Сопло Лавалья. Дросселирование, эффект Джоуля-Томсона.

Работоспособность термодинамических систем. Производство работы в условиях неравновесности. Понятие об эксергии как максимальной полезной работе. Эксергия теплоты. Потери эксергии за счет неравновесных процессов.

Методы расчета тепломассообмена.

Теплопроводность. Варианты граничных условий. Зависимость температуры поверхности от характера изменения теплового потока. Регулярный и квазистационарный режим прогрева.

Ламинарный режим теплообмена при внешнем обтекании. Уравнения для пограничного слоя в окрестности передней критической точки затупленного тела. Критериальный закон ламинарного теплообмена в окрестности критической точки затупленного тела, на пластине и клине. Зависимость толщин пограничных слоев от чисел Рейнольдса, Прандтля и Льюиса. Температура восстановления.

Переход ламинарного течения в турбулентное. Влияние на переход степени и масштаба турбулентности внешнего потока и шероховатости стенки. Турбулентный режим теплообмена при внешнем обтекании. Логарифмический профиль скорости в пограничном слое. Кажущаяся (турбулентная) вязкость.

Теплообмен при кипении жидкости. Пузырьковый и пленочный режимы кипения. Зависимость теплового потока от температурного напора (кривая кипения). Кризисы кипения в большом объеме.

Теплообмен излучением. Законы теплового излучения черного тела. Радиационный теплообмен между твердыми телами, разделенными диатермичной средой. Солнечное излучение. Радиационный теплообмен в полупрозрачных средах.

Основная литература

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика, Т. 5, М.: Наука, 2001.
2. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. Москва «Энергоатомиздат» 1983.
3. Шпильрайн Э.Э., Кессельман П.М. Основы теории теплофизических свойств веществ. М. Энергия, 1977.
4. Кикоин А.К., Кикоин И.К. Молекулярная физика. Изд-во «Наука». Москва, 1976.
5. Куликовский А.Г., Любимов Г.А. Магнитная гидродинамика. М. Логос, 2005
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. Т. 8, М.: Наука, 2001.
7. Фукс Н.А. Успехи механики аэрозолей. Изд-во АН СССР, Москва-1961
8. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. Т.6. М.: Наука, 2001
9. Ерофеев В.Л., Пряхин А.С., Семенов П.Д. Теплотехника. Том 1. Термодинамика и теория теплообмена. Учебник для бакалавриата и магистратуры. Москва, Юрайт, 2017.
10. Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. Изд-во «Наука», М. 1966.
11. Теория тепломассообмена: учебник для вузов/Исаев С.И. и др./; под ред. А.И. Леонтьева. Москва, изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018.
12. Энциклопедия низкотемпературной плазмы. Вводный том 1. Раздел 3. 2000 г.; Серия Б, т. 3, книга 1. 2004 г. под. ред. В.Е. Фортова. Изд-во «Наука», М.

Дополнительная литература

- Базаров И.П. Термодинамика. М.: Высшая школа, 1991, 376 стр
- Китель Ч. Элементарная статистическая физика. Изд-во иностранной

литературы. Москва, 1960

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

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

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

СОГЛАСОВАНО:

Ученый секретарь ОИВТ РАН,

д.ф.-м.н.



Амиров Р.Х.

Заведующая аспирантурой, к.ф.-м.н.



Мартынова И.А.