

Программа по курсу "Статистическая физика и термодинамика".

1. Введение в термодинамику.

Макроскопическое описание систем с большим числом степеней свободы. Изолированные и замкнутые системы. Подсистемы макроскопической системы. Термодинамическое равновесие и нулевое начало термодинамики. Понятие температуры.

2. Формализм термодинамики.

Квазистационарные процессы, элементарная работа над замкнутой системой и канонически сопряженные макропараметры. Обмен теплом между подсистемами и первое начало термодинамики.

Второе начало термодинамики. Адиабатический процесс. Определение энтропии и температуры. Аддитивность энтропии. Принцип максимума энтропии.

Термодинамические потенциалы и их свойства (энтропия, свободная энергия, энтальпия, термодинамический потенциал Гиббса, большой термодинамический потенциал). Экстенсивные и интенсивные параметры в простых подсистемах. Принцип ле-Шателье и термодинамические неравенства.

Тепловые машины. Максимальная работа, извлекаемая из замкнутой неравновесной системы. Работа в циклических процессах, КПД цикла, цикл Карно. Максимальная работа тела во внешней среде. Модели двигателя внутреннего сгорания.

3. Формализм статистической физики

Микро-описание динамики макроскопической системы на основе канонических уравнений Гамильтона. Основная задача статистической физики. Парадокс обратимости и основные постулаты статистической физики. Макроскопические параметры как результат усреднения своих микроаналогов.

Эргодическая гипотеза и статистический ансамбль систем. Фазовое пространство, функция распределения и кинетическое уравнение Лиувилля. Расчет различных распределений вероятности по заданной функции распределения. Стационарные функции распределения в замкнутой системе. Адиабатический процесс и его интеграл.

4. Микроканоническое распределение.

Микроканоническое распределение как предел функции распределения, пригодной к расчету макроскопических параметров методом усреднения адиабатического процесса. Равновероятность микросостояний и неравновероятность микросостояний. Расчет распределений вероятностей по различным параметрам.

Статистическое определение энтропии замкнутой системы (принцип максимума и аддитивность энтропии, введение термодинамики).

Статистический расчет уравнения состояния идеального газа. Идеальный газ во внешнем потенциальном поле. Распределение Максвелла - Больцмана в идеальном газе.

Парадокс Гиббса и его разрешение в рамках классической статистической физики. Определение энтропии системы одинаковых частиц.

5. Распределение Гиббса

Статистическое описание равновесной подсистемы в термостате. Каноническое распределение в классической статистической физике. Статистический интеграл и свободная энергия системы.

Постулирование канонического распределения. Эквивалентность макроскопической термодинамики, построенной на базе канонического и микроканонического ансамблей.

Канонические распределения в термостатах различного типа и термодинамические потенциалы. Эквивалентность соответствующих формулировок термодинамических соотношений.

Анализ идеального газа в рамках распределения Гиббса. Уравнение состояния и теплоемкость одноатомного идеального газа. Идеальный газ во внешнем потенциальном поле. Закон равнораспределения кинетической энергии по степеням свободы. Теплоемкость многоатомных газов. Поражение классической статистической физики.

6. Квантовое распределение Гиббса

Квантовое обобщение канонического распределения Гиббса. Статистическая сумма и ее квазиклассическое представление. Формула Планка для средней энергии осциллятора. «Вымораживание» степеней свободы при низких температурах. Теорема Нернста.

Квантование поступательных степеней свободы. Понятие тождественных частиц, происхождение фактора $N!$ и условия классического описания невырожденного идеального газа.

7. Тождественные частицы

Статистический расчет простейших систем тождественных частиц (ротор, осциллятор).

Системы с большим числом невзаимодействующих тождественных частиц Ансамбль тождественных осцилляторов с нулевым спином. Представление чисел заполнения и большое каноническое распределение в квантовой статистической физике.

Идеальный газ тождественных частиц. Распределения Бозе-Эйнштейна и Ферми-Дирака. Эффекты вырождения в газе тождественных частиц, конденсация бозе-газа, энергия Ферми и полностью вырожденный ферми-газ. Теплоемкость и термодинамика вырожденного ферми-газа. Вырожденный идеальный газ во внешних полях. Идеальный газ электронов в твердом теле (введение в зонную теорию).

8. Равновесное излучение

Равновесное излучение в замкнутом объеме (модель фотонного газа и модель осцилляторов поля). Распределение Планка. Энергия, давление и термодинамика фотонного газа.

Спектральные характеристики случайного поля (плотность энергии и интенсивность теплового излучения). Перенос теплового излучения в прозрачной неоднородной среде. Излучение "черного" и "серых" тел.

9. Неидеальные газы

Статистическое описание разреженного реального газа со слабым взаимодействием между молекулами. Термодинамика неидеального газа в рамках модели Ван-дер-Ваальса. Процесс Джоуля-Томпсона. Термодинамика классической плазмы.

10. Равновесие фаз

Условия равновесия фаз, правило Максвелла. Критическая точка. Фазовые переходы 1-го и 2-го рода. Теплота фазового перехода. Уравнение Клайперона - Клаузиуса. Соотношения Эренфеста. Влияние поверхностных эффектов на границе раздела фаз на условия фазового равновесия. Критический зародыш.

11. Многокомпонентные системы

Смесь идеальных газов. Растворы. Правило фаз Гиббса. Осмотическое давление. Равновесие фаз. Условия химического равновесия.

Ионизационное и химическое равновесие в идеальном газе.

12. Термодинамика диэлектриков и магнетиков

Элементарная работа источников электрического поля в диэлектрической среде. Свободная энергия системы при заданных зарядах на проводниках. Объемная плотность свободной энергии в диэлектрике. Термодинамические потенциалы в переменных D , E , P . Внутренняя энергия, энтропия и теплоемкость диэлектрика в электрическом поле. Понятие собственной свободной энергии диэлектрического тела во внешнем электрическом поле.

Условия термодинамического равновесия и уравнения электростатики. Пиро- и сегнетоэлектрический фазовые переходы. Тензор напряжений в жидкой диэлектрической среде.

Элементарная работа источников магнитного поля в среде. Свободная энергия системы при заданных токах. Объемная плотность свободной энергии в магнетике. Термодинамические потенциалы в переменных B , H , M . Внутренняя энергия, энтропия и теплоемкость магнетика в магнитном поле. Собственная свободная энергия магнитного тела во внешнем магнитном поле. Ферро- и антиферромагнетики.

Статистический подход к описанию диэлектрических и магнитных свойств материалов. Модели невзаимодействующих между собой жестких и мягких диполей (классический и квантовый подходы). Диамагнетизм плазмы и магнетизм электронного газа. Сегнетоэлектрики в рамках модели самосогласованного поля. Описание ферро- и антиферромагнитных свойств в рамках модели Изинга и ее приближенных аналогов (самосогласованное поле Вейса).

13. Теория флуктуаций

Флуктуации "натуральных" параметров в равновесной системе (энергия, число частиц, объем). Формализм теории флуктуаций термодинамических параметров в равновесной макроскопической системе. Гауссовское распределение вероятностей для флуктуаций макроскопических параметров в простых системах. Независимо флуктуирующие параметры в и расчет произвольных флуктуаций в простых системах.

Независимо флуктуирующие параметры и методика расчета произвольных флуктуаций.

Корреляционная теория флуктуаций в рамках «укороченных моделей» динамических систем. Теорема Найквиства. Флуктуационно-диссипативная теорема.

14. Твердое тело.

Статистическая физика твердого тела. Упругие колебания и фононы. Акустические и оптические фононы. Приближение Дебая. Теплоемкость твердого тела и тепловое расширение.