

Институт Естественных Наук и Экологии
Физико-Математический Колледж

Программа по курсу
СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА
3 курс, 6 семестр

Программу составил профессор Вакс Валентин Григорьевич

I. Основы статистической термодинамики.

1. Основные понятия статистической физики.

Статистическое распределение, средние и флуктуации, квазинезависимые подсистемы. Теорема Лиувилля. Статистическая матрица. Статистическое определение энтропии. Полное и неполное равновесие, энтропия неравновесной системы. Возрастание энтропии при самопроизвольных процессах.

2. Элементы термодинамики.

Основные термодинамические величины - температура, давление, теплоемкость, сжимаемость. Законы термодинамики. Термодинамические потенциалы, их экстремальность в состоянии равновесия. Соотношения между термодинамическими производными. Зависимость термодинамических потенциалов от числа частиц, термодинамические соотношения при переменном числе частиц. Термодинамика в электрическом и магнитном поле.

3. Распределение Гиббса.

Распределение Гиббса с постоянным и переменным числом частиц. Статистические суммы, их связь с термодинамическими потенциалами.

II. Идеальные газы.

1. Больцмановский идеальный газ.

Распределение Больцмана, условия его применимости. Свободная энергия больцмановского газа, уравнение состояния, выражения для энергии и теплоемкости. Идеальный газ с постоянной теплоемкостью, закон равнораспределения. Термодинамика одноатомного идеального газа. Структура уровней и термодинамика двухатомных и многоатомных молекул.

2. Идеальные Ферми- и Бозе-газы.

Распределения Ферми и Бозе. Термодинамика вырожденного Ферми-газа. Вырожденный Бозе-газ, Бозе-конденсация. Термодинамика черного излучения, закон Стефана-Больцмана.

III. Элементы термодинамики твердых тел.

Термодинамика колебаний кристаллической решетки: общие выражения для свободной энергии и теплоемкости, случаи низких и высоких температур. Интерполяционная формула Дебая. Тепловое расширение: общее выражение и случаи низких и высоких температур. Теплоемкость и тепловое расширение металлов и диэлектриков.

IV. Неидеальные газы.

Разложение по степеням плотности. Свободная энергия и уравнение состояния газа Ван-дер-Ваальса. Термодинамика разреженной плазмы, метод самосогласованного поля Дебая-Хюккеля.

V. Равновесие фаз.

Условия равновесия фаз, правило рычага, теплота перехода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Фазовые диаграммы в переменных (p, T) , (T, V) и (p, V) . Критическая точка, бинадаль и спинодаль, правило площадей Максвелла. Фазовая диаграмма (p, V) и критические параметры для системы, описываемой уравнением Ван дер Ваальса.

VI. Многокомпонентные системы и химические реакции.

Термодинамический потенциал смеси. Термодинамика смеси идеальных газов. Правило фаз Гиббса. Условия химического равновесия. Закон действующих масс. Ионизационное равновесие.

ЛИТЕРАТУРА

Основная литература:

- [1.] Л.Д. Ландау и Е. Лифшиц, "Статистическая физика", "Наука", 1995.
- [2.] А.И. Ансельм, "Основы статистической физики и термодинамики", "Наука", 1973.

Дополнительная литература:

- [1.] К. Хуанг, "Статистическая механика", Мир, 1966.
- [2.] А. Исихара, "Статистическая физика", Мир, 1973.
- [3.] Г. Уленбек, "Фундаментальные проблемы статистической механики", журнал Усп. Физ. Наук, т. 103, вып. 2, с. 275-304, "Наука", 1971.

ЗАДАНИЕ

I. Основы статистической термодинамики.

1. N молекул идеального газа находятся в объеме V . Найти вероятность w_n того, что в объеме $v < V$ находится n молекул. Получить приближенное выражение для w_n в случае $v \ll V$ (распределение Пуассона); найти в этом случае среднее число частиц \bar{n} в объеме v и его среднюю абсолютную и относительную флуктуацию. Найти вид распределения w_n в случае $v \ll V$, $\bar{n} \gg 1$ (распределение Гаусса).
2. Найти энтропию $S(E)$, температуру $T(E)$ и энергию $E(T)$ для системы из N атомов Больцмановского идеального газа.
3. Для системы из N гармонических осцилляторов с различными частотами ω_i ($i = 1, 2 \dots N$) в случае высоких температур $T \gg \hbar\omega_i$ найти энтропию $S(E)$, температуру $T(E)$, а также зависимость $S(T)$ и теплоемкость $C(T) = T\partial S/\partial T$.
4. Найти разность теплоемкостей $C_p - C_v$ и модулей сжатия $B_S - B_T$ (где $B = -V\partial p/\partial V$) для Больцмановского газа и газа Ван-дер-Ваальса.
5. Найти изменение температуры газа Ван-дер-Ваальса при его расширении в пустоту от объема V_1 до объема V_2 .

II. Идеальные газы.

6. Покоящиеся атомы идеального газа излучают свет частоты ω_0 . Найти распределение интенсивности излучаемого света по частотам ω и ширину линии, если температура газа равна T .
7. Классический идеальный газ магнитных диполей μ , имеющий плотность n и температуру T , находится в магнитном поле H . Найти намагниченность $M(T)$ и магнитную восприимчивость $\chi(T) = \partial M/\partial H$. Исследовать $\chi(T)$ в случаях $T \gg \mu H$ и $T \ll \mu H$.
8. Газ атомов с полным моментом J , спином S и орбитальным моментом L помещен в магнитное поле H ; температура T и магнитное расщепление уровней ΔE малы по сравнению с интервалом тонкой структуры. Найти магнитную часть свободной энергии; исследовать восприимчивость $\chi(T)$ в случае (а) слабых полей, $\Delta E \ll T$, и (б) сильных полей, $\Delta E \gg T$. Для случая $\Delta E \ll T$ найти изменение температуры δT при адиабатическом выключении поля от $H = H_0$ до нуля.
9. Найти спиновую магнитную восприимчивость вырожденного электронного газа (парамагнетизм Паули свободных электронов в металле) для случая, когда магнитная энергия электрона $\mu_0 H$ (где μ_0 - магнетон Бора) много меньше температуры T .

10. Исследовать уравнение состояния $P = P(V, T)$ идеального Ферми газа в предельных случаях высоких и низких температур, включая первые поправочные члены к результатам нулевых приближений.
11. Считая He^4 идеальным Бозе-газом, найти для него величину $\exp(\mu/T)$ при нормальных условиях ($T = 273 \text{ К}$, $p = 1 \text{ атм.}$), когда плотность $n = p/T$ равна числу Лошмидта $n_L = 2.69 \times 10^{19} \text{ 1/см}^3$. Для плотности, соответствующей жидкому He^4 : $n = 0.022 \cdot 10^{24} \text{ см}^{-3}$, оценить температуру $T = T_q$, при которой становятся существенными квантовые эффекты.

III. Элементы термодинамики твердых тел.

12. Найти свободную энергию и теплоемкость твердого тела в модели, предполагающей, что все нормальные колебания имеют одну и ту же частоту ω_0 (модель Эйнштейна независимых колебаний атомов в каждой из элементарных ячеек). Сравнить результаты с моделью Дебая при высоких и низких T .

IV. Неидеальные газы и равновесие фаз.

13. В переменных T, v (где $v = V/N$ - объем на один атом) найти уравнения спинодали и бинодали для газа Ван-дер-Ваальса вблизи его критической точки T_c, v_c . Для упрощения выкладок считать кривую бинодали $T(v)$ в данной области четной функцией разности $x = v - v_c$ (для доказательства чего уравнения равновесия нужно было бы разлагать до членов четвертой степени по x).

V. Многокомпонентные системы и химические реакции.

14. Найти равновесную концентрацию электронов в парах натрия при температуре $T = 5000 \text{ К}$ и давлении $P = 10 \text{ мм рт. ст.}$, где P - суммарное давление атомов, ионов и электронов. Потенциал ионизации натрия $I = 5.14 \text{ эВ}$.