

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Московский физико-технический институт
(государственный университет)

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
Ю.А. Самарский
____ декабря 2011 г.

ПРОГРАММА

по курсу: СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА
по направлению: 511600
факультет: ФНБИК
кафедра: физики и физического материаловедения
курс: 3
семестр: 6
лекции: 32 часа
практические (семинарские) занятия: 32 часа
лабораторные занятия: нет
самостоятельная работа: 2 часа в неделю
экзамен: 6 семестр
зачет: нет
ВСЕГО ЧАСОВ: 64

Программу и задание составил:
д.ф.-м.н., проф. Вакс Валентин Григорьевич

Программа утверждена на заседании кафедры физики и
физического материаловедения ____ декабря 2011 года

Заведующий кафедрой

В.Г. Вакс

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

1. ОСНОВЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ТЕРМОДИНАМИКИ

1.1. *Основные понятия статистической физики.* Статистическое распределение, средние и флуктуации, квазинезависимые подсистемы, закон больших чисел. Теорема Лиувилля. Статистическая матрица. Статистическое определение энтропии. Полное и неполное равновесие, энтропия неравновесной системы. Возрастание энтропии при самопроизвольных процессах.

1.2. *Элементы термодинамики.* Статистическое определение температуры. Неизменность энтропии при адиабатических процессах. Статистический вывод первого, второго и третьего законов термодинамики. Давление, теплоемкость и сжимаемость. 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, связь магнитной и электрической поляризации и восприимчивости со свободной энергией.

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

2. ИДЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ

2.1. *Больцмановский идеальный газ.* Распределение Больцмана, условия его применимости. Распределение Максвелла; барометрическая формула. Свободная энергия больцмановского газа, уравнение состояния, выражения для энергии и теплоемкости. Идеальный газ с постоянной теплоемкостью, закон равнораспределения. Термодинамика одноатомного идеального газа. Структура уровней, термодинамика и температурная

зависимость теплоемкости двухатомных и многоатомных молекул.

2.2. *Идеальные Ферми- и Бозе-газы.* Распределения Ферми и Бозе. Термодинамика вырожденного Ферми-газа: энергия, давление, теплоемкость, критерий вырождения. Вырожденный Бозе-газ, Бозе-конденсация, термодинамика Бозе-газа при наличии Бозе-конденсации.

2.3. *Фотонный газ и излучение.* Термодинамика черного излучения: энергия, давление, теплоемкость. Закон Стефана-Больцмана для излучательной способности черного тела.

3. ТЕРМОДИНАМИКА ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Кристаллические и аморфные твердые тела, критерий плавления Линдемана. Колебания кристаллической решетки: уравнения для частот в случае парных взаимодействий, акустические и оптические ветви колебаний, фононы. Свободная энергия и теплоёмкость твердого тела: общие выражения, случаи высоких и низких температур. Интерполяционная формула Дебая. Теплоемкость металлов и диэлектриков.

4. НЕИДЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ

Разложение по степеням плотности. Свободная энергия и уравнение состояния газа Ван-дер-Ваальса.

5. 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.

6. МНОГОКОМПОНЕНТНЫЕ СИСТЕМЫ И ХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Статистическая физика. – М.: Наука, 1995.
2. *А.И. Ансельм* Основы статистической физики и термодинамики. – М.: Наука, 1973.

Дополнительная литература

1. *К. Хуанг* Статистическая механика. М.: Мир, 1966.

ЗАДАЧИ

1. 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 .

2. 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 .

3. ТЕРМОДИНАМИКА ТВЕРДЫХ ТЕЛ

10. 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 .

4 и 5. НЕИДЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ И РАВНОВЕСИЕ ФАЗ

11. 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).

6. МНОГОКОМПОНЕНТНЫЕ СИСТЕМЫ И ХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ

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

Срок сдачи 1-го задания: 26.03– 31.03 2012 года.

Срок сдачи 2-го задания: 14.05– 19.05 2012 года.