

## ПЛАН ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ ,

Статистическая физика: 11 занятий.

VI семестр, 2019 год,

Номера задач по:  $|N\dots|$  - Гречко Л.Г. и др.;  $[CN\dots]$  - Кубо;  $\{N\dots\}$  - Кронин и др.;  $(\S N\dots)$  - Румер, Рывкин; ФФ§ - Филатова, Филиппова; Д:  $|N\dots|$  - домашнее задание.

1. Распределения вероятностей. Условная вероятность. Распределения Пуассона и Гаусса, как предельные случаи биномиального (Схема Бернулли). Моменты распределений. Характеристическая функция.  $|N 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9|$ . Д:  $|N 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11|$
2. Микроканоническое распределение. Фазовый объем: классический идеальный газ и осцилляторы.  $|N 18, 20| \rightarrow$  для микроканонического. Статистический вес неравновес. сост. системы спинов  $1/2$ , как равновес. во внешнем магнитном поле для ансамбля двухуровневых систем; и ее теплоемкость  $[C I. \text{Пр. 4}]$ . Д:  $|N 15, 16, 17.1, 18, 20, 61|$
3. (1) Каноническое распределение Гиббса. Статсумма. Осцилляторы:  $|N 124, 123|$ .  
(2) Вероятность макросостояния идеального газа с температурой  $T$ . Предел  $N = 1$ .  
(3) Двухуровневая система с вырождением (микро и каноническое):  $|N 122|+(\S 44)$ . Теплоемкость Шоттки. Д:  $|N 124, 19, 20, 22, 23, 122!|$
4. (1)  $|N 61 + 23|$ ; (2)  $|N 22 + 20| + |N 18| \rightarrow$  для канонического. (3)  $\{N 8.8. (N_1 + N_2 = \text{const}) \Rightarrow (\mu_1 = \mu_2)\} +$  равновесная плотность электронов в полости металла при термоэлектронной эмиссии  $+|N 103|$ ; (нет условия на  $N_1 \Rightarrow (\mu = 0)$  из условия равновесия! (4) Системы с переменным числом частиц в каноническом и большом распредел. Гиббса: ид. газ  $|N 102, 101|$  (остальное - в лекциях 6-7). Д:  $|N 101, 102, 107 - \text{ид.г.}|$ .
5. Распределение Максвелла в  $\ell \mapsto d$ -мерии. Ср. число столкновений, усл. ср. длина своб. пробега. Классич. ф-ла Ричардсона.  $|N 28 + 29 + 39, 32 + 33 + 34 + 37|$ . Эффект Доплера  $|38|$ . Д:  $|N 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 37, 38, 39, 46, 47, 48, \{N 7.25, 7.26\}|$ .
6. Распределения Больцмана. Системы во внешнем поле. Теплоемкость столба воздуха в поле тяжести: переход  $C_V \rightarrow C_P$ . Газ в центрифуге: давление, момент, энергия. ФФ§9.N3  $+|N 41, 42|$ , ФФ§9.N4  $= |N 25 + 24|$ . Д:  $|N 20, 103, 24, 25, 41, 42, 43|$
7. Распределения Больцмана. Теоремы о равнораспределении и вириале.  
(1) Найти равновесные концентрации орто и параводорода при  $T \ll \theta_r$  и  $T \gg \theta_r$ . Сравнить теплоемкость газа в этих случаях. Замораживание:  $N_{ort}/N_{par} = 3/1$ .  
(2) Моделируя "ящик"  $\hat{u}$ , длины  $L$ , с  $N$  частицами одномерного ид. газа, как предел, при  $n \rightarrow \infty$  внешнего поля  $u(q) = \alpha (2q/L)^{2n}$  при  $|q| < L/2$ , найти, используя теоремы о равнораспределении энергии и вириале среднюю силу, действующую на стенку со стороны одной частицы, термодинамически сопряженную "объему" "L":  $\langle\langle f \rangle\rangle = \langle\langle -\partial \hat{u} / \partial L \rangle\rangle$ , и полную внутреннюю энергию и давление газа.  
(3) Для газа  $N$  массивных частиц в ящике объемом  $V$  с однородной функцией межмолекулярного взаимодействия степени  $n$ :  $\Pi(\lambda \{\vec{q}\}) = \lambda^n \Pi(\{\vec{q}\})$ , найти общий вид статсуммы, внутренней энергии, давления и энтропии:  $Z_N(T, V)$ ,  $P_N(T, V)$ ,  $U_N(T, V)$ ,  $S_N(T, V)$ . Учесть теорему вириала и асимптотическое поведение статсуммы при  $N \rightarrow \infty$ , заданное аддитивностью свободной энергии  $F_N(T, V)$ :  $Z_N(T, V) \implies [\xi(T, v)]^N$ ,  $v = V/N$ , - удельный объем.  $|N 26, 145, 21|$ , (§46,47). Д:  $|N 21, 26, 123, 145|$

8. Распределения Больцмана. Классические и квантовые магнитные моменты в магнитном поле. Функции Ланжевена и Бриллюэна. Классический предел. Восприимчивость и теплоемкость. Спин  $1/2$ . Одномерная модель Изинга. Точное решение (§51)+{N 8.19, 8.13},. |Д : N 49, 50, 51|.
9. Термодинамика идеальных Бозе и Ферми газов в  $d$ - мерии при  $\varepsilon(p) = up^\ell$ : связи между  $J, U, N, S, C_V$ , уравнения адиабаты. Случай  $\mu \equiv 0$ : излучение; и теплоемкость Дебая твердого тела в  $d$ - мерии. Случай  $\ell=d \mapsto (\lambda = 1)$ : бозе-конденсация бозе-газа и химпотенциал ферми-газа; случаи  $\ell=d=2, 1$ : |N 132|.
10. (1) Распределение Ферми из принципа Паули, условия микрообратимости и гипотезы молекулярного хаоса: |N 146|. (2) Ф-ла Планка в среде |N 149|. (3) Излучение “черных тел” Земли и Солнца {N 7.17}; (4) “Отделение света от тьмы” через 380 тыс. лет после ВВ, при  $T \approx 3000$  К. Сегодня  $T_\gamma \approx 3$  К. Во сколько раз расширилась Вселенная?. |Д : N 146, 149|. (5) Квантовая ф-ла Ричардсона {N 8.17} + 127  $\rightarrow$  39|. |Д : N 127, 133, 134, 147, 153 – 162|.
11. (1) Абсолютно вырожденный идеальный ферми-газ в  $d$ -мерии, с любой  $\varepsilon = \varepsilon(p)$ ,  $\mapsto$  (2) Равновесие **нейтронной** звезды,  $R_{Ch}$ , = {N 8.18}; (3) Давление, теплоемкость и **сжимаемость** сильно вырожденного ферми-газа  $\forall \mathcal{D}(\varepsilon)$ ; а также  $\forall T$  для  $\mathcal{D} = \text{const}$ . (Лекц. Зад. (19.8.)) |N 126, 128, 144, 129|. (3) Тепловые флуктуации и  $LC$ - контур как термометр {N 8.9}. |Д : N 126, 128, 129, 144, 150, 151, 152, 138 – 143|, {N 8.9}, |N 153 – 162|.
12. (1) Большая статсумма и Энтропия как функционалы от равновесных и неравновесных чисел заполнения |N 130|.  $\mapsto$  (2) Статвес и энтропия неравновесных квантовых газов частиц, распределенных по  $N_k$  штук в  $k$ -ых группах из  $G_k > N_k \gg 1$  (почти) вырожденных состояний с энергиями  $\varepsilon_k$  и их неравновесные:  $\langle n_k \rangle = N_k/G_k$  и равновесные числа заполнения. (3) Термодинамическая теория Флуктуаций для пар величин  $\Delta T, \Delta P$  и  $\Delta S, \Delta P$ , +|N 153 – 162|. |Д : N 130, 153 – 162|
13. (1) |N 53|: нет объема – негде переставлять! ( $S, C_P, \mu$ ) + в трд. прд. (2) Ионизация и термализация. Почему  $T_1 \ll I_0$ ? (+)? (3) Геометрия Ричардсона = геометрия Кирхгофа. Давление и потоки в  $d$ - мерии.  
**Повторение ??:**
14. (1) Зависимость химпотенциала  $\mu(\mathcal{H})$ , полная намагниченность и функция Ланжевена магнетика в сильном магнитном поле  $\mathcal{H}$  в больцмановском приближении (§59, Eq. (59.13)). (2) К определению восприимчивости:  $\chi_T(\mu) - \chi_T(N)$ ,  $\chi_T(N) \mapsto \chi_T(\bar{n})$ . (3) [Собственные полупроводники |N 136 – 143|.]

Задачи, не решенные на занятии также относятся к домашним.

По курсу предусмтривается выполнение двух семестровых заданий (по ТД и СФ).

Успешная сдача обоих заданий освобождает от решения задач на экзамене.

Выбор задач на усмотрение преподавателя

(План доц. Коренблита С.Э.)