

## 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, Рыбкин;  $\Phi\Phi\S 9$  - 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 осциллятор.  $|N 18, 20 \rightarrow$  для микроканонического|. Статистический вес неравновесного состояния системы спинов  $1/2$ , как равновесного во внешнем магнитном поле для ансамбля двухуровневых систем,  $[C I. \text{Пр.} 4]$ .  $|Д : N 15, 16, 17.1, 18, 20, 61|$
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)  $22 + 20 + 18| \rightarrow$  для канонического. (3)  $\{N 8.8. (N_1 + N_2 = const) \Rightarrow (\mu_1 = \mu_2)\} +$  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 распределении Гиббса: ид. газ  $|N 102, 101|$  (остальное - в лекциях 6-7).  $|Д : N 101, 102, 107|$ .
5. Распределение Максвелла в  $\ell$ -мерии. Среднее число столкновений, длина свободного пробега. Классическая формула 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.  $\Phi\Phi\S 9. N3 +|N 41, 42|$ ,  $\Phi\Phi\S 9. N4 = |N 25 + 24|$ .  $|Д : N 20, 103, 24, 25, 41, 42, 43|$
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 общее асимптотическое поведение статсуммы при  $N \rightarrow \infty$ , обусловленное аддитивностью свободной энергии  $F_N(T, V)$ :  $Z_N(T, V) \implies [\xi(T, v)]^N$ ,  $v = V/N$ , - удельный объем.  $|N 26, 145, 21|$ ,  $(\S 46, 47)$ .  
 $|Д : N 21, 26, 123, 145|$

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. (§51)+{N 8.19, 8.13},. |Д : N 49, 50, 51| (+)?
9. (1) |N 53|: нет объема – негде переставлять!  $(S, C_P, \mu) +$  в трд.прл. (2) Распределение Ферми из принципа Паули, условия микрообратимости и гипотезы молекулярного хаоса: |N 146|. (3) Излучение “черных тел” Земли и Солнца {N 7.17}; “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? Ф-ла Планка в среде |N 149|. |Д : N 130, 132, 146, 149|
10. Термодинамика идеальных Бозе и Ферми газов в  $\mathbf{d}$  – 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  $\mathbf{d}$  – мерии. Случай  $\ell=\mathbf{d}$ : бозе-конденсация в  $\mathbf{d}=\ell$  |N 132|; химпотенциал  $\mathbf{d}=\ell$ - ферми газа. (Случай  $\ell=\mathbf{d}=2, 1$ .) Квантовая ф-ла Ричардсона {N 8.17} + 127  $\rightarrow$  39|. (Быстрее) |Д : N 127, 133, 134, 147, 153 – 162|.
11. (1) Абсолютно вырожденный идеальный ферми-газ в  $\mathbf{d}$ -мерии, с любой  $\varepsilon = \varepsilon(p)$ , + (2) Равновесие **нейтронной** звезды +{N 8.18}; (3) Давление, теплоемкость и **сжимаемость** сильно вырожденного ферми-газа: |N 126, 128, 144, 129|,  $\forall \mathcal{D}(\varepsilon), T, +\mathcal{D} = \text{const}$  (Зад. 19.8.). Флуктуации термодинамических величин и  $LC$  – термометр {N 8.9}. [Собственные полупроводники |N 136 – 143|.] |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 чисел заполнения |N 130|.  $\mapsto$  (2) Статвес и энтропия частиц неравновесных квантовых газов, 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|. (4) К определению восприимчивости:  $\chi_T(\mu) - \chi_T(N)$ ,  $\chi_T(N) \mapsto \chi_T(\bar{n})$ . |Д : N 153 – 162|
13. **Повторение ??**: (0) Кратность вырождения уровней Ландау  $G^\perp(\mathcal{H})$ . (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) Ионизация и термализация. Почему  $T_1 \ll I_0$ ?

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.)