

# Конспект лекцій зі статистичної фізики

Андрій Жугаєвич (zhugayevych@iop.kiev.ua)

6 березня 2011 р.

<b>Передмова</b>	<b>2</b>
<b>I Термодинаміка</b>	<b>3</b>
1 Аксіоматика і обґрунтування термодинаміки . . . . .	3
1.1 Аксіоматична побудова термодинаміки . . . . .	3
1.2 Вивід законів термодинаміки зі статистичної фізики . . . . .	4
2 Рівноважна термодинаміка . . . . .	6
2.1 Основні термодинамічні величини . . . . .	6
2.2 Реальні термодинамічні системи . . . . .	7
2.3 Інші питання рівноважної термодинаміки . . . . .	8
3 Нерівноважна термодинаміка . . . . .	9
3.1 Закон зростання ентропії . . . . .	9
3.2 Нерівноважні процеси . . . . .	10
3.3 Термодинамічна теорія флуктуацій . . . . .	10
<b>II Принципи статистичної фізики</b>	<b>12</b>
4 Обґрунтування статистичної фізики . . . . .	12
4.1 Ергодичність . . . . .	12
4.2 Вивід мікроканонічного розподілу . . . . .	13
4.3 Перемішування . . . . .	13
4.4 Вивід канонічного розподілу . . . . .	14
5 Принципи статистичної фізики . . . . .	15
5.1 Рівноважні розподіли . . . . .	15
5.2 Принцип тотожності частинок. Парадокс Гіббса . . . . .	17
<b>III Моделі без взаємодії</b>	<b>18</b>
6 Ансамбль конфігураційно ізольованих систем . . . . .	18
7 Ідеальний класичний газ . . . . .	20
8 Ідеальний квантовий газ . . . . .	21
<b>IV Ефекти взаємодії</b>	<b>26</b>
9 Граткові моделі . . . . .	26
10 Віріальний розклад . . . . .	26
11 Фазові переходи . . . . .	26
<b>V Нерівноважна статистична фізика</b>	<b>27</b>
12 Кінетичні явища . . . . .	27
12.1 Кінетичне рівняння Паулі . . . . .	27
12.2 Дифузія і процеси переносу . . . . .	27
12.3 Кінетичне рівняння Больцмана . . . . .	27
13 Теорія лінійного відгуку . . . . .	27
13.1 Лінійний відгук термодинамічної системи . . . . .	27
13.2 Властивості причинних функцій впливу . . . . .	27
13.3 Флуктуаційно-дисипативна теорема . . . . .	28
Література . . . . .	29
<b>Література</b>	<b>29</b>

# Задачі до курсу статистичної фізики

Андрій Жугаєвич (zhugayevych@univ.kiev.ua)

6 березня 2011 р.

1	Аксіоматика і обґрунтування термодинаміки . . . . .	1
2	Рівноважна термодинаміка . . . . .	1
3	Нерівноважна термодинаміка . . . . .	2
4	Обґрунтування статистичної фізики . . . . .	2
5	Принципи статистичної фізики . . . . .	3
6	Ансамбль конфігураційно ізольованих систем . . . . .	3
7	Ідеальний класичний газ . . . . .	4
8	Ідеальний квантовий газ . . . . .	5
12	Кінетичні явища . . . . .	6
	Література . . . . .	6
	Розв'язки . . . . .	8

## §1. Аксіоматика і обґрунтування термодинаміки

- (20) Показати, що з оборотності адіабатичних процесів в термічно однорідній системі випливає, що  $\delta Q = T dS$ .
- (10) Показати, що для термічно неоднорідної системи адіабатичні процеси загалом необоротні, розглянувши приклад ідеального газу, розділеного на дві частини адіабатичною жорсткою перегородкою. Зафіксувавши об'єм  $V_2$ , розглянути круговий адіабатичний процес, при якому по чергові фіксується  $T_1$  і  $V_1$ .
- (5) Показати, що для термічно неоднорідної системи не існує функції стану  $\sigma$  такої, що  $\delta Q = \lambda d\sigma$ , розглянувши приклад газу, розділеного на дві частини адіабатичною жорсткою перегородкою, у змінних  $T_1, S_1, T_2, S_2$ .
- (5) Показати, що адіабатична недосяжність нуля температури еквівалентна тому, що  $S(T=0)$  не залежить ні від яких термодинамічних величин за умови, що вона скінченна.
- (5) Показати, що з рівності  $S(T=0)=0$  випливає, що всі теплоємності  $C_x$  і термічні коефіцієнти  $(\partial x/\partial T)_X$ , де  $x, X$  – пара спряжених термодинамічних величин, прямують до нуля при  $T \rightarrow 0$ .

## §2. Рівноважна термодинаміка

*\*Тотожності*

- (3) Довести формули: а)  $\left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z \left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_z = 1$ ; б)  $\left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z \left(\frac{\partial y}{\partial z}\right)_x \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_y = -1$ .
- (3) Записати  $C_p - C_V$  у змінних: а)  $(T, V)$ ; б)  $(T, p)$ ; в)  $(T, V, \mu)$ .
- (3) Записати  $(\partial T/\partial p)_H$  у змінних  $(T, V)$ .
- (3-5) Довести тотожності: а)  $n = (\partial p/\partial \mu)_T$ ; б)  $E = -T^2(\partial[F/T]/\partial T)_V$ ; в)  $C_V = (\partial E/\partial T)_V$ ; г)  $C_p = (\partial H/\partial T)_p$ ; д)  $C_p/C_V = (\partial V/\partial p)_T/(\partial V/\partial p)_S$ ; е)  $C_p - C_V = (\partial p/\partial T)_V[V - (\partial H/\partial p)_T]$ ; є)  $(\partial N/\partial \mu)_{T,V} = -N^2/V^2(\partial V/\partial p)_T$ .
- (5) Відомо, що вода в інтервалі температур від 0 до 4 °C стискається при нагріванні. Показати, що в цьому ж температурному інтервалі вода охолоджується при адіабатичному стисненні. (Г93)

*\*Диференціювання*

- (10) Довести, що рівняння політропи  $C_V = C$  є розв'язком рівняння  $dT/dV = T(\partial p/\partial T)_V/(C - C_V)$ . Знайти таким чином рівняння політропи газу ван-дер-Ваальса.
- (5-8) Знайти  $p, S, E, C_V$  і  $C_p - C_V$  для системи, вільна енергія якої  $F(T, V)$  дорівнює: а)  $NT \ln \frac{n}{T}$ ; б)  $N \left( T \ln \frac{n}{T(1-bn)} - an \right)$ ; в)  $NT \ln \frac{An}{T^{3/2}}$ .
- (5) Знайти  $T, p, C_V$  і  $C_p - C_V$ , якщо  $S(E, V) = N \ln(E/V)$ .