

# Тестові питання до курсу статистичної фізики

Андрій Жугаєвич (zhugayevych@univ.kiev.ua)

7 лютого 2007 р.

## §1. Аксиоматика і обґрунтування термодинаміки

1. (1) Термодинамічна границя.
2. (1) Інтенсивні та екстенсивні величини.
3. (1) Зовнішні параметри та відповідні їм узагальнені сили.
4. (10) Температура і ентропія з точки зору термодинаміки.
5. (2) Нульовий закон термодинаміки (транзитивність теплової рівноваги).
6. (1) Перший закон термодинаміки.
7. (10) Другий закон термодинаміки для рівноважних процесів.
8. (10) Третій закон термодинаміки (про недосяжність нуля температури).
9. (3) Межі застосування термодинаміки. Фізичні приклади.
10. (7) Частинки в гравітуючому газі і плазмі взаємодіють кулонівським потенціалом, але перша система нетермодинамічна, а друга термодинамічна. Пояснити.
11. (2) Оцінити відношення поверхневої енергії зв'язку твердого тіла до об'ємної.
12. (15) Вивід законів рівноважної термодинаміки з мікроканонічного розподілу.
13. (15) Вивід законів рівноважної термодинаміки з канонічного розподілу.
14. (15) Вивід другого закону термодинаміки з основного кінетичного рівняння (Паулі) в мікроканонічному ансамблі.
15. (15) Вивід другого закону термодинаміки з основного кінетичного рівняння в канонічному ансамблі.

## §2. Рівноважна термодинаміка

1. (10) Термодинамічні потенціали: внутрішня енергія, вільна енергія, термодинамічний потенціал Гіббса, великий термодинамічний потенціал. Коли який використовувати?
2. (1) Закон збереження енергії у формі диференціала внутрішньої енергії.
3. (1) Закон збереження енергії у формі диференціала для вільної енергії.
4. (5) Закон збереження енергії у локальній формі.
5. (1) Хімічний потенціал.
6. (1) Теплоємність.
7. (2) Співвідношення Максвелла (умова повного диференціалу).
8. (10) Заміна змінних у термодинаміці.
9. (1) Адіабатичний, ізотермічний, ізохорний, ізобарний процеси.
10. (5) Цикл Карно.
11. (15) Парадокс Гіббса про змішування однакових газів, розглядуваних як різні.
12. (8) Термодинамічні величини ідеального газу.
13. (12) Термодинамічні величини газу ван-дер-Ваальса.
14. (5-15) Мінімальний набір експериментально вимірюваних величин, який повністю визначає термодинамічну систему.
15. (5) Фізичний смисл параметрів  $a$  і  $b$  в рівнянні стану ван-дер-Ваальса.
16. (10) Чому емпіричні рівняння стану реальних газів ніколи не доповнюють емпіричними калоричними рівняннями?
17. (10) Чому найживаніші емпіричні рівняння стану реальних газів двопараметричні?

## §3. Нерівноважна термодинаміка

1. (5) Локальна і повна термодинамічна рівновага.
2. (5) Квазірівноважні і нерівноважні, оборотні і необоротні процеси.
3. (2) Другий закон термодинаміки.
4. (2) Закон зростання ентропії.
5. (2) Другий закон термодинаміки для канонічного ансамблю.
6. (–) Умови рівноваги (екстремум якої функції відповідає рівновазі).
7. (–) Умови стійкості. Термодинамічні нерівності.
8. (20) Процес Джоуля–Томсона. Температура інверсії.
9. (5) Флуктуації термодинамічних величин.

## §4. Обґрунтування статистичної фізики

1. (20) Ергодична теорема.
2. (20) Системи з перемішуванням.
3. (10) Мікроканонічний розподіл.
4. (20) Канонічний розподіл.
5. (5) Де при виводі канонічного розподілу використовується факт взаємодії між термостатом і підсистемою?
6. (5) Ентропія з точки зору статистичної фізики. Інформаційна інтерпретація ентропії.
7. (1) Термостат.
8. (1) Температура з точки зору статистичної фізики.
9. (2) Центральна гранична теорема і її місце у фізиці.

## §5. Принципи статистичної фізики

1. (10) Мікроканонічний розподіл та умови його застосовності. Нормувальний дільник мікроканонічного розподілу та його зв'язок з термодинамічними величинами.
2. (10) Канонічний розподіл та умови його застосовності. Статистична сума та її зв'язок з термодинамічними величинами.
3. (10) Великий канонічний розподіл та умови його застосовності. Велика статистична сума та її зв'язок з термодинамічними величинами.
4. (1) Хімічний потенціал з точки зору статистичної фізики.
5. (3-10) Густина станів.
6. (10) Коли який розподіл Гіббса використовувати?
7. (15) Зв'язок між  $\Gamma(E)$  мікроканонічного розподілу і  $Z(T)$  канонічного в класичному і квантовому випадках.
8. (10) Зв'язок між  $Z(N)$  канонічного розподілу і  $\Xi(\mu)$  канонічного.
9. (10) Коли і як можна ввести температуру і хімічний потенціал для ізольованої системи?
10. (25) Принцип тотожності частинок і парадокс Гіббса.
11. (2) Походження  $(2\pi\hbar)^{3N}$  та  $N!$  в класичній статистичній сумі.
12. (1-10) Два представлення канонічної статистичної суми  $Z = \sum_{\{n\}} \exp(-E_{\{n\}}/T) = \sum_n g_n \exp(-E_n/T)$ . Приклад ансамблю незважених квантових осциляторів.
13. (5) Явні формули для обчислення енергії і теплоємності зі статистичної суми.
14. (5) Явні формули для обчислення числа частинок та його дисперсії з великої статистичної суми.
15. (5) Виходячи з формули для флуктуації енергії в канонічному ансамблі, довести еквівалентність мікроканонічного і канонічного ансамблів у термодинамічній границі за умови, що остання існує.
16. (5) Виходячи з формули для флуктуації числа частинок у великому канонічному ансамблі, довести еквівалентність канонічного і великого канонічного ансамблів у термодинамічній границі за умови, що остання існує.
17. (20) Матриця густини в ансамблях Гіббса.

## §6. Ансамбль ізольованих систем

1. (3) Особливості статистичної суми ансамблю ізольованих систем.
2. (15) Дворівнева система. Статистична сума і основні термодинамічні величини. Фізичні приклади.
3. (20-30) Квантовий і класичний осцилятори. Статистична сума і основні термодинамічні величини. Фізичні приклади.
4. (20-30) Квантовий і класичний ротатори. Статистична сума і основні термодинамічні величини. Залежність теплоємності від температури. Фізичні приклади.
5. (20) Особливості статистичної суми квантових систем зі спадаючим на нескінченності потенціалом. Приклад атому водню.
6. (20) Двоатомна молекула. Теплоємність. Багатоатомні молекули.

## §7. Ідеальний класичний газ

1. (5) Що найістотніше вкладають в поняття газ?
2. (5-10) Коли газ можна вважати класичним газом? Зробити оцінку для повітря.
3. (5-15) Коли газ можна вважати ідеальним газом? Зробити оцінку для повітря.
4. (3) Редукція статистичного інтегралу ідеального класичного газу.
5. (20) Які ступені вільності має ідеальний класичний двоатомний газ, при яких умовах вони розділяються, в якому порядку і при яких температурах вони виморожуються?
6. (5) Чому говорять про внески різних ступенів вільності в теплоємність ідеального класичного газу, але не кажуть про внески різних ступенів вільності в тиск газу? Як вимороження ступенів вільності впливає на теплоємність?

7. (10) Гамільтоніан реального класичного одноатомного газу у зовнішньому потенціальному полі (враховуючи сили інерції).
8. (10-20) Гамільтоніан ідеального двоатомного газу.
9. (10) Мікроканонічний розподіл для ідеального класичного газу.
10. (5) Канонічний розподіл для ідеального класичного газу.
11. (3) Як виглядає статистичний інтеграл ідеального класичного газу, якщо маси всіх частинок різні?
12. (5) Розподіл Максвелла. Умови застосовності.
13. (10) Використовуючи лише розподіл Максвелла, вивести рівняння стану ідеального газу.
14. (5) Довжина вільного пробігу.
15. (5) Розподіл Больцмана. Умови застосовності.
16. (5) Суміш газів.
17. (5) Великий канонічний розподіл для ідеального класичного газу.
18. (5) Хімічний потенціал класичного ідеального газу. Фізична інтерпретація.
19. (–) Хімічні реакції. Закон діючих мас.

## §8. Ідеальний квантовий газ

1. (3) Представлення чисел заповнення квантової системи.
2. (1) Ферміони та бозони.
3. (3) В чому різниця між ансамблем  $N$  однакових квантових систем і  $N$  бозонами в одній такій квантовій системі?
4. (5) Редукція великої статистичної суми ідеального квантового газу.
5. (1) Функція розподілу Фермі–Дірака.
6. (1) Функція розподілу Бозе–Ейнштейна.
7. (10-20) Основні термодинамічні величини ідеального квантового газу.
8. (2) Як знайти хімічний потенціал (два випадки).
9. (2-10) Граничний перехід до класичного газу.
10. (2-15) Вироджений фермі-газ, температура виродження, фермі-енергія.
11. (2-20) Вироджений бозе-газ, температура виродження, бозе-конденсація.
12. (10-20) Вільний газ ферміонів. Фізичні приклади.
13. (15-30) Релятивістський та ультрарелятивістський газу ферміонів. Фізичні приклади.
14. (10) Спектр зі щільною, море електронів Дірака, як знайти хімічний потенціал. Фізичні приклади.
15. (10) Електрони в твердому тілі. Метали, напівметали, напівпровідники, леговані напівпровідники, діелектрики.
16. (10-20) Випромінювання абсолютно чорного тіла, формула Планка, закон Стефана–Больцмана.
17. (10-30) Фонони. Модель Дебая. Приклад одновимірного кристалу. Теплоємність твердого тіла.
18. (5) Флуктуації у квантовому ідеальному газі.

## §9. Граткові моделі

1. (10-20) Гратковий газ.
2. (10-40) Модель Ізінга.

## §10. Віріальний розклад

1. (20) Віріальний розклад для класичного газу.
2. (20) Віріальний розклад для граткового газу.

## §11. Фазові переходи

1. (10) Фазові переходи першого та другого роду. Критична точка.
2. (20) Фазові переходи в моделі ван-дер-Ваальса.
3. (30) Теорія Ландау фазових переходів. Фізичний приклад.

## §12. Кінетичні явища

1. (10) Марківські процеси і їх місце у фізиці.
2. (10) Рівняння Фокера–Планка.
3. (20) Кінетичне рівняння Паулі.
4. (20) Кінетичне рівняння Больцмана.

5. (15) Явища переносу. Дифузія. Дифузійний фронт.
6. (–) Броунівський рух. Рівняння Ланжевена.
7. (–) Флуктуаційна ЕРС. Формула Найквіста.