

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Затверджено
Вченою радою фізичного факультету
«__» _____ 200__р.

Протокол №__

Голова вченої ради, декан
Проф. Макарець М.В.

Укладач:
кандидат фіз.-мат. наук,
доцент Григор'єв А.М.

ФІЗИЧНА КІНЕТИКА

РОБОЧА НАВЧАЛЬНА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ

для магістрів 1-го курсу фізичного факультету
групи спеціалізації „Медична фізика” та „Молекулярна фізика”
спеціальності 8.070100

Затверджено
кафедрою молекулярної фізики
«__» _____ 200__р.

Протокол №

Завідувач кафедри
Проф. Булавін Л.А.

Вступ

Дисципліна “Фізична кінетика” для магістрів 1-го курсу фізичного факультету груп спеціалізацій „Медична фізика” та „Молекулярна фізика” є спеціальною дисципліною з циклу дисциплін вибору вищого навчального закладу для спеціальності “Фізика” спеціалізацій „Медична фізика” і „Молекулярна фізика”, що читається в IX семестрі в обсязі 121 години, в тому числі 72 годин аудиторних занять, з них 54 години лекцій і 18 годин практичних занять і 49 годин самостійної роботи. Закінчується іспитом у IX семестрі.

Метою і завданням навчальної дисципліни “Фізична кінетика” є отримання базових знань з таких розділів нерівноважної статистичної фізики: кінетична теорія газів, теорія лінійного відгуку, нерівноважна статистична термодинаміка, теорія броунівського руху.

Предмет навчальної дисципліни “Фізична кінетика” – основні закономірності поведінки нерівноважних статистичних систем, найголовніша з яких є незворотність прямування у стан термодинамічної рівноваги (для ізольованих систем), та пояснення цих закономірностей, виходячи з характеру мікроскопічних взаємодій в тих чи інших системах.

Вимоги до знань та вмінь.

Студент повинен знати:

1. Математичний апарат статистичного опису системи багатьох тіл та необхідність його застосування для таких систем.
2. Імовірнісні гіпотези, які використовуються при виведенні незворотніх у часі рівнянь фізичної кінетики із зворотніх у часі законів механіки.
3. Принцип Боголюбова про ієрархію часових релаксаційних процесів та послідовного скорочення опису нерівноважних систем на різних етапах їх еволюції.
4. Кінетичне рівняння Больцмана, область його застосування та фізичні наслідки, що випливають з цього рівняння, зокрема H-теорему.
5. Основні положення статистичної теорії слабонерівноважних систем. Регресійну гіпотезу Онзагера, теорію лінійного відгуку на зовнішнє механічне збурення, флуктуаційно-дисипативну теорему.
6. Принцип екстремальності інформаційної ентропії.
7. Основні положення нерівноважної статистичної термодинаміки. Нерівноважні ансамблі. Квазірівноважні розподіли. Метод нерівноважної функції розподілу Зубарева. Зв'язок кінетичних коефіцієнтів з автокореляційними функціями потоків.
8. Кінетичне рівняння Фоккера-Планка, область його застосування та приклади використання.

Студент повинен вміти:

1. Логічно і послідовно формулювати основні принципи і закони кінетичної теорії газів, статистичної теорії слабонерівноважних систем, нерівноважної статистичної термодинаміки та теорії випадкових процесів.

2. Виводити перші два рівняння ланцюга ББГКІ з рівняння Ліувілля та аналізувати їх щодо виявлення характерних часових і просторових масштабів.
3. Виводити кінетичне рівняння Больцмана з ланцюга рівнянь ББГКІ на основі принципу Боголюбова про ієрархію часових релаксаційних процесів та послідовного скорочення опису нерівноважних систем на різних етапах їх еволюції.
4. Обґрунтовувати основні положення нерівноважної термодинаміки у випадку газів малої густини, виходячи з рівняння Больцмана на основі принципу Боголюбова про ієрархію часових релаксаційних процесів та послідовного скорочення опису нерівноважних систем на різних етапах їх еволюції.
5. Розв'язувати лінеаризоване кінетичне рівняння Больцмана у випадку квазімаксвелівської моделі та оцінювати відповідні кінетичні коефіцієнти для різних потенціальних моделей.
6. Застосовувати основні положення статистичної теорії слабонерівноважних систем при обчисленні кінетичних коефіцієнтів.
7. Застосовувати принцип максимальності ентропії для отримання рівноважних і квазірівноважних функцій розподілу.
8. Отримувати вирази, що пов'язують кінетичні коефіцієнти (самодифузії, об'ємної і зсувної в'язкості, теплопровідності та сталих швидкостей хімічних реакцій) з відповідними автокореляційними функціями потоків.
9. Застосовувати рівняння Фоккера-Планка при аналізі трансляційного та обертального броунівського руху.

Місце в структурно-логічній схемі спеціальності. Спеціальна навчальна дисципліна “Фізична кінетика” є складовою циклу професійної підготовки фахівців з медичної та молекулярної фізики освітньо-кваліфікаційного рівня „магістр”. Вона спирається на знання, отримані студентом, в рамках базових курсів з класичної механіки, молекулярної фізики, статистичної фізики та термодинаміки та спеціальних курсів „Фізика газів”, „Фізика рідин” та „Флуктуації та динаміка молекул в конденсованому середовищі”. У свою чергу, вона є підґрунтям для вивчення таких дисциплін як „Сучасні проблеми фізики”, „Комп'ютерне моделювання в молекулярній фізиці” та „Міжмолекулярна взаємодія”.

Система контролю знань та умови складання іспиту. Результати навчальної діяльності студентів при вивченні навчальної дисципліни „Фізична кінетика” оцінюються за **5 - бальною шкалою**.

Форми поточного контролю: оцінювання результатів виконання домашніх завдань та завдань, винесених на практичні заняття. Наприкінці кожного тематичного розділу проводиться контроль знань у вигляді **письмової контрольної роботи**.

Підсумковий контроль знань студента проводиться у формі іспиту.

Студенти, які написали усі контрольні роботи на „5”, отримують відмінну оцінку за цей предмет без складання іспиту. Студенти, які регулярно виконували домашні та самостійні завдання та написали усі контрольні роботи на позитивну оцінку („3” і вище), мають такі преференції на іспиті: по-перше – при невизначеності оцінки за іспит (між „2” і „3”, між „3” і „4”, між „4” і „5”)

результат трактується на користь студента; по-друге – при виконанні екзаменаційних завдань студент має право 5 хвилин переглянути **власний** конспект. Списування на іспиті карається незадовільною оцінкою.

ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙ І ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

№ лекції	Назва лекції	Кількість годин			
		лекції	практичні заняття	самост. робота	інші форми контр.
1	2	3	4	5	6
1	Предмет і задачі фізичної кінетики. Статистичний опис системи багатьох тіл.	2		2	
2	Часова еволюція фізичних величин та повної функції розподілу.	2	2	2	
3	Парадокси статистичної фізики.	2		2	
4	Послідовність функцій розподілу.	2		2	
5	Ланцюг рівнянь БГКІ.	2	2	2	
6	Кінетичне рівняння Больцмана.	2		2	
7	Кінетичне рівняння Больцмана. Продовження.	2	2	2	
8	Основні наслідки, що випливають з рівняння Больцмана.	2		1	
9	Лінеаризоване рівняння Больцмана.	2		1	
10	Рівняння газодинаміки.	2		2	
11	Метод Чепмена-Енскога розв'язку рівняння Больцмана.	2	2	2	
12	Обґрунтування нерівноважної термодинаміки газів малої густини.	2		2	
13	Регресійна гіпотеза Онзагера.	2	2	2	
14	Теорія лінійного відгуку на зовнішнє механічне збурення.	2		2	
15	Флуктуаційно-дисипативна теорема.	2	2	2	
16	Рівняння Ланжевена.	2		2	
17	Принцип максимальності ентропії	2		1	
18	Квазірівноважні статистичні розподіли.	2		2	
19	Метод нерівноважної функції розподілу Зубарева	2		2	
20	Узагальнені рівняння переносу та узагальнені кінетичні коефіцієнти.	2	2	2	

21	Основні поняття теорії випадкових процесів.	2		2	
1	2	3	4	5	6
22	Марківські процеси.	2		2	
23	Кінетичне рівняння Фоккера-Планка.	2		2	
24	Броунівський рух.	2	2	1	
25	Елементи хімічної кінетики.	2	2	2	
26	Обертальна дифузія.	2		1	
27	Динамічне обґрунтування кінетичного рівняння Фоккера-Планка.	2		2	
ІСПИТ					
	ВСЬОГО	54	18	49	

Загальний обсяг 121 год., в тому числі:
лекції – 54 год.,
практичних занять – 34 год.,
самостійна робота – 49 год.

ТЕМАТИЧНО – ЗМІСТОВНА ЧАСТИНА КУРСУ

Тема 1. Основні поняття нерівноважної статистичної фізики

Лекція 1. Предмет і задачі фізичної кінетики. Статистичний опис системи багатьох тіл.

Предмет і задачі фізичної кінетики. Зв'язок фізичної кінетики з нерівноважною термодинамікою. Механічний і термодинамічний опис системи. Оборотно́сть у часі законів механіки та необоротно́сть законів термодинаміки. Неможливість точного визначення мікроскопічного стану системи. Необхідність статистичного опису системи багатьох тіл. Функції розподілу у фазовому просторі. Фазові та часові середні функцій динамічних величин.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення.

Література [2, 5, 11, 13]

Лекція 2. Часова еволюція фізичних величин та повної функції розподілу.

Часова еволюція функції розподілу. Теорема Ліувілля. Рівняння Ліувілля. Формальний розв'язок рівняння Ліувілля. Оператор Ліувілля. Оператор еволюції системи. Рівняння часової еволюції динамічних величин. Аналогія з Лагранжем та Ейлеровим описом гідродинаміки. Аналогія з представленням Гейзенберга та Шредінгера в квантовій механіці.

Практичне заняття 1. Методи розв'язку рівняння Ліувілля.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення.

3. Виконання домашнього завдання.

Література [2, 5, 11, 13]

Лекція 3. Парадокси статистичної фізики.

Зворотність у часі рівняння Ліувілля. Парадокс Лосмідта. Парадокс Цермело. Теорема Пуанкаре. Ентропія Гіббса. Гіпотеза Гіббса про перемішування. Крупноструктурна функція розподілу.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції.

2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення.

Література [2, 5, 11, 13]

Лекція 4. Послідовність функцій розподілу.

Послідовність функцій розподілу. Зв'язок гідродинамічних і термодинамічних функцій з одно- і двочастинковими функціями розподілу. Мікроскопічні вирази густин адитивних величин: кількості частинок, імпульсу і енергії. Мікроскопічні аналоги рівнянь нерівноважної термодинаміки. Узагальнені рівняння переносу. Мікроскопічні вирази густин потоків: кількості частинок, імпульсу і енергії. Вектор потоку тепла і тензор напруг.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції.

2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення.

Література [2, 5, 8, 9]

Лекція 5. Ланцюг рівнянь ББГКІ.

Рівняння ББГКІ для послідовності нерівноважних функцій розподілу. Кореляційні функції. Замикання ланцюга рівнянь ББГКІ. Кінетичне рівняння. Модельна система частинок зі слабкою взаємодією. Модельна система газу малої густини. Ідея Боголюбова про ієрархію часів релаксаційних процесів та послідовного скорочення опису нерівноважних систем на різних етапах їх еволюції. Приклади скороченого опису нерівноважних систем.

Практичне заняття 2. Аналіз часових і просторових масштабів фізичних процесів в модельних системах частинок зі слабкою взаємодією та газі малої густини.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції.

2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення.

3. Виконання домашнього завдання.

Література [2, 5, 8]

Тема 2. Кінетична теорія газів

Лекція 6. Кінетичне рівняння Больцмана.

Основні міркування, які призводять до рівняння Больцмана. Феноменологічне виведення рівняння Больцмана. Задача двох тіл. Переріз розсіяння. Прямі та обернені зіткнення частинок. Гіпотеза молекулярного хаосу.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення.

Література [1, 2, 7 – 9, 11, 13]

Лекція 7. Кінетичне рівняння Больцмана. Продовження.

Виведення рівняння Больцмана з ланцюга рівнянь ББГКІ. Фізичні параметри малості, які використовуються при виводі кінетичного рівняння. Неадекватність звичайної теорії збурення при виведенні кінетичного рівняння. Аналогія з проблемами теорії нелінійних коливань. Кінетичний етап еволюції системи. Метод багатьох масштабів. Умова затухання початкових кореляцій.

Практичне заняття 3. Методи теорії нелінійних коливань: метод усереднення, метод багатьох масштабів.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення.
3. Виконання домашнього завдання.

Література [2, 7]

Лекція 8. Основні наслідки, що впливають з рівняння Больцмана.

Лема Больцмана. H-теорема Больцмана. Розв'язок рівняння Больцмана для рівноважного стану. Ентропія Больцмана. Локальна термодинамічна рівновага.

Завдання для самостійної роботи (1 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення.

Література [2, 11]

Лекція 9. Лінеаризоване рівняння Больцмана.

Лінеаризоване рівняння Больцмана. Спектр часів релаксації. Кінетичне рівняння з релаксаційним членом. Оцінка часу встановлення локального максвелівського розподілу. Модель Максвелла. Власні значення і власні функції лінеаризованого рівняння Больцмана для квазімаксвелівської моделі.

Завдання для самостійної роботи (1 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення.

Література [2, 11]

Лекція 10. Рівняння газодинаміки.

Рівняння переносу Енскога. Рівняння газодинаміки. Гідродинамічний етап еволюції системи.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення.

Література [2, 6, 7, 9 –11]

Лекція 11. Метод Чепмена-Енскога розв'язку рівняння Больцмана.

Основні положення метода Чепмена-Енскога розв'язку рівняння Больцмана. Рівняння першого наближення для однокомпонентного газу. Розв'язок інтегрального рівняння для квазімаксвелівської моделі. Коефіцієнти теплопровідності і в'язкості однокомпонентного газу для квазімаксвелівської моделі. Коефіцієнти переносу однокомпонентного газу для різних модельних потенціалів.

Практичне заняття 4. Визначення кінетичних коефіцієнтів в наближенні одного часу релаксації.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення.
3. Виконання домашнього завдання.

Література [2, 10 – 12]

Лекція 12. Обґрунтування нерівноважної термодинаміки газів малої густини.

Рівняння балансу ентропії. Обґрунтування нерівноважної термодинаміки для газів малої густини. Симетрія матриці кінетичних коефіцієнтів.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення.

Література [9, 10]

Тема 3. Теорія лінійного відгуку

Лекція 13. Регресійна гіпотеза Онзагера.

Слабонерівноважні системи. Динаміка флуктуацій та часові кореляційні функції. Регресійна гіпотеза Онзагера. Приклад її застосування.

Практичне заняття 5. Застосування регресійної гіпотези Онзагера у хімічній кінетиці. Обчислення швидкості мономолекулярної хімічної реакції.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення.
3. Виконання домашнього завдання.

Література [3]

Лекція 14. Теорія лінійного відгуку на зовнішнє механічне збурення.

Лінійний відгук на зовнішнє механічне збурення. Функція релаксації. Функція відгуку. Формули Гріна-Кубо. Задача про електропровідність в теорії лінійного відгуку.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення.

Література [3, 6, 9, 13]

Лекція 15. Флуктуаційно-дисипативна теорема.

Швидкість дисипації енергії в системі. Узагальнена сприйнятливість та її спектральний розклад. Загальні вимоги до структури узагальненої сприйнятливості. Дисперсійні співвідношення. Флуктуаційно-дисипативна теорема. Функції Гріна.

Практичне заняття 6. Модельні системи з пам'яттю. Частотні характеристики і часова поведінка систем з однією резонансною частотою. Поглинання.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення.
3. Виконання домашнього завдання.

Література [2, 3, 8, 9]

Лекція 16. Рівняння Ланжевена.

Коефіцієнт тертя броунівської частинки та рівняння Ланжевена. Модель осцилятора в термостаті. Узагальнене рівняння Ланжевена. Марківська апроксимація. Зв'язок коефіцієнта тертя з автокореляційною функцією випадкової сили.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення.

Література [3, 9]

Тема 4. Нерівноважна статистична термодинаміка

Лекція 17. Принцип максимальності ентропії.

Інформаційна ентропія як міра невизначеності інформації щодо статистичного розподілу. Екстремальні властивості канонічного та великого канонічного ансамблю.

Завдання для самостійної роботи (1 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення.

Література [1, 5, 8, 12]

Лекція 18. Квазірівноважні статистичні розподіли.

Узагальнення принципу максимуму ентропії на нерівноважні ансамблі. Квазірівноважні статистичні розподіли. Функціонал Мас'є-Планка. Ентропія та термодинамічні співвідношення в квазірівноважних ансамблях. Приклади квазірівноважних розподілів. Локальна рівновага в класичних рідинах. Квазірівноважний розподіл для газів малої густини.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення.

Література [1, 5, 8, 12]

Лекція 19. Метод нерівноважної функції розподілу Зубарєва.

Евристичні міркування, які приводять до рівняння Ліувілля з нескінченно малим джерелом, що порушує його симетрію відносно зворотності у часі. Запізнюючі розв'язки рівняння Ліувілля. Аналогія з відбором запізнюючих розв'язків хвильового рівняння. Аналогія з введенням часової незворотності у рівнянні Шредінгера при побудові теорії природного уширення спектральних ліній. Нерівноважна функція розподілу.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення.

Література [1, 5, 12]

Лекція 20. Узагальнені рівняння переносу та узагальнені кінетичні коефіцієнти.

Узагальнені рівняння переносу та узагальнені кінетичні коефіцієнти. Марківське та локальне наближення. Виробництво ентропії в нерівноважних системах.

Практичне заняття 7. Процеси переносу в однокомпонентній рідині. Коефіцієнти об'ємної та зсувної в'язкості. Коефіцієнт теплопровідності.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення.
3. Виконання домашнього завдання.

Література [1, 5, 8, 12]

Тема 5. Броунівський рух та елементи теорії нерівноважних процесів

Лекція 21. Основні поняття теорії випадкових процесів.

Основні поняття теорії випадкових процесів. Ієрархія функцій розподілу. Кореляційні функції. Стаціонарні процеси. Спектральні властивості випадкових процесів. Теорема Вінера-Хінчина.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення.

Література [2, 4, 9]

Лекція 22. Марківські процеси.

Марківські процеси. Рівняння Чепмена-Колмогорова. Вінерівський та пуассонівський процеси. Стаціонарний марківський процес. Процес Орнштейна-Уленбека. Теорема Дуба. Концепція „виділення підансамблю” у випадку марківських процесів. Зв'язок з теорією лінійного відгуку та регресійною гіпотезою Онзагера.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення.

Література [2, 4, 9]

Лекція 23. Кінетичне рівняння Фоккера-Планка.

Рівняння кінетичного балансу. Принцип детальної рівноваги. Виведення рівняння Фоккера-Планка виходячи з рівняння Чепмена-Колмогорова. Фізичний зміст зроблених припущень при виведенні цього рівняння. Область застосування рівняння Фоккера-Планка.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення.

Література [2, 4, 9]

Лекція 24. Броунівський рух.

Броунівський рух. Рівняння Фоккера-Планка для броунівської частинки. Рівняння Фоккера-Планка для релеєвської частинки. Стационарний розв'язок. Рівняння Фоккера-Планка у випадку багатьох змінних. Рівняння Крамерса.

Практичне заняття 8. Розв'язок рівняння Фоккера-Планка для нескінченної одномірної системи. Оцінка часу встановлення рівномірного розподілу броунівських частинок.

Завдання для самостійної роботи (1 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення.
3. Виконання домашнього завдання.

Література [4, 9]

Лекція 25. Елементи хімічної кінетики.

Протікання хімічної реакції як випадковий процес у просторі координати хімічної реакції. Опис хімічної реакції за допомогою рівняння Крамерса. Наближення великого і малого коефіцієнтів тертя. Теорії перехідного стану.

Практичне заняття 9. Обчислення швидкостей хімічних реакцій для потенціальних бар'єрів різної форми.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення.
3. Виконання домашнього завдання.

Література [3, 4]

Лекція 26. Обертальна дифузія.

Обертальна дифузія. Рівняння Фоккера-Планка для обертального броунівського руху аксіально-симетричної частинки. Обертальна релаксація. Формула Дебая.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення.

Література [2, 8]

Лекція 27. Динамічне обґрунтування кінетичного рівняння Фоккера-Планка.

Динамічне виведення рівняння Фоккера-Планка. Броунівська частинка як приклад системи, слабко пов'язаної з термостатом. Інші приклади таких систем: хімічна та коливальна підсистеми. Еволюція руху броунівської частинки як приклад послідовного скорочення опису нерівноважних систем.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення.

Література [5]

Матеріал, що винесений на самостійне вивчення

1. Зв'язок принципу максимуму інформаційної ентропії з теорією некоректних задач.
2. Стохастизація руху в динамічних системах. Ергодичність. Перемішування. Показники Ляпунова.
3. Основи методу колективних змінних у теорії багатьох тіл.
4. Кінетичне рівняння Власова. Наближення самоузгодженого поля.
5. Процеси переносу в двокомпонентних газах: дифузія, термодифузія, бародифузія.
6. Кінетичне рівняння у випадку сильно розріджених газів. Ефузія. Задача про розширення газу у пустоту.
7. Метод Греда розв'язку рівняння Больцмана. П'ятимоментне наближення.
8. Дифузія легкої домішки в основному газі. Модель Лоренца. Кінетичне рівняння Больцмана з лоренцевою формою інтеграла зіткнень.
9. Дисперсія звуку в газах.
10. Кільцева модель Каца. Кінетичне рівняння для кульок певного кольору. Аналог Н-теореми. Обговорення парадоксів Лошмідта і Цермело в рамках цієї моделі.
11. Перетворення пекаря. Скорочений опис для перетворення пекаря. Модельне кінетичне рівняння Больцмана. Аналогія з модельною системою газу низької густини. Стохастичність і детермінізм в перетворенні пекаря. Послідовність і зсув Бернуллі.
12. Рухливість іонів у розчинах сильних електролітів. Релаксаційна поправка. Електрофоретична поправка.
13. Кінетика фазових переходів першого роду. Утворення зародків.
14. Мікроскопічний стан квантової системи та його часова еволюція. Чисті та змішані стани. Матриця густини. Квантове рівняння Ліувілля.
15. Кінетичне рівняння Паулі.
16. Часова еволюція матриці густини двошівневої системи. Рівняння Блоха.
17. Квантова декогерентність. Квантовий хаос. Динамічні передумови незворотної поведінки квантових систем.

Контрольні запитання та завдання

1. Знайти загальний розв'язок рівняння Ліувілля для одномірного руху вільної частинки.
2. Знайти загальний розв'язок рівняння Ліувілля для одномірного руху частинки у полі пружної сили.

3. Записати рівняння Ліувілля для двохкомпонентної системи.
4. Довести, що для будь-якої динамічної змінної $A(p(t), q(t), t)$ операції диференціювання по часу та усереднення по ансамблю є перестановочними, тобто
$$\frac{d\langle A \rangle}{dt} = \left\langle \frac{dA}{dt} \right\rangle.$$
5. На прикладі перших двох рівнянь ланцюга ББГКІ показати, що ці рівняння при підстановці $F_s(t, \vec{r}_s, \vec{p}_1, \dots, \vec{r}_s, \vec{p}_s) = f_{M_s}(\vec{p}_1) \dots f_{M_s}(\vec{p}_s) \tilde{F}_s(\vec{r}_1, \dots, \vec{r}_s)$, тобто припустивши, що розподіл по імпульсам частинок є максвелівським, а функція \tilde{F}_s не залежить від часу, переходять у ланцюг рівнянь ББГКІ для рівноважних функцій розподілу.
6. Записати рівняння ланцюга ББГКІ для двохкомпонентної системи.
7. Розрахувати за допомогою розв'язку стаціонарного кінетичного рівняння з релаксаційним членом коефіцієнти переносу, що характеризують густину потоку числа частинок, у наближенні сталого часу вільного пробігу.
8. Розрахувати за допомогою розв'язку стаціонарного кінетичного рівняння з релаксаційним членом коефіцієнти переносу, що характеризують густину потоку енергії, у наближенні сталого часу вільного пробігу.
9. Визначити коефіцієнт внутрішнього тертя однорідного класичного газу у наближенні сталого часу вільного пробігу.
10. Визначити коефіцієнт зсувної в'язкості газу, розглядаючи його атоми як тверді пружні кульки. На основі виведеного виразу оцінити коефіцієнт зсувної в'язкості аргону при нормальних умовах ($d = 3.5 \text{ \AA}$).
11. Визначити коефіцієнт теплопровідності, розглядаючи його атоми як тверді пружні кульки. На основі виведеного виразу оцінити коефіцієнт теплопровідності аргону при нормальних умовах ($d = 3.5 \text{ \AA}$).
12. Система може знаходитися у будь-якому з N станів. Імовірність того, що система знаходиться в i -ому стані, дорівнює p_i . Екстенсивні змінні x і y в i -ому стані приймають значення x_i та y_i . Нехай середні значення x і y для системи фіксовані і дорівнюють відповідно x_c і y_c . Показати, що максимуму інформаційної ентропії відповідає функція розподілу
$$p_i = \frac{1}{Z} \exp(-\beta x_i - \gamma y_i),$$
 де $Z = \sum_i \exp(-\beta x_i - \gamma y_i)$ і β та γ – невизначені множники. Показати також, що
$$x_c = - \left(\frac{\partial Z}{\partial \beta} \right)_{x_i, \dots, y_i, \gamma} \quad \text{і} \quad y_c = - \left(\frac{\partial Z}{\partial \gamma} \right)_{x_i, \dots, y_i, \beta} \quad \text{і} \quad S = k\beta x_c + k\gamma y_c + k \ln Z.$$
13. Показати, що для заданого значення $\sigma^2 = \int x^2 p(x) dx$ нормований розподіл імовірності, який має найбільшу інформаційну ентропію, є одномірним нормальним розподілом.
14. Нехай система збуджується зовнішнім імпульсом, який має таку часову залежність: $f(t) = 0, t < t_1$; $f(t) = 1, t_1 < t < t_2$; $f(t) = 0, t > t_2$. Нехай також, $\langle \delta A(0) \delta A(t) \rangle = \langle \delta A^2 \rangle \exp(-t/\tau)$. Визначте часову залежність відгуку системи на

це збурення $\Delta A(t)$. Розгляньте граничні випадки, коли $\tau \ll t_2 - t_1$ і $\tau \gg t_2 - t_1$. Розрахуйте, також, кількість поглинутої енергії.

15. Знайти уявну частину динамічної сприйнятливості $\chi''(\omega)$, якщо дійсна частина дорівнює $\chi'(\omega) = (1 + \omega^2 \tau^2)^{-1}$.
16. Імпульси однакової форми $a_i F(t - t_i)$ незалежно діють на систему із середньою частотою n раз за секунду, так що час виникнення кожного з них t_i є випадковою величиною. Визначити часову кореляційну функцію цього однорідного за часом процесу $\xi(t) = \sum a_i F(t - t_i)$ і його спектральну

густину для випадку
$$\sqrt{a^2} F(t) = \begin{cases} f_0, & |t| < \tau \\ 0, & |t| > \tau \end{cases}$$

17. Виразити кореляцію $\overline{\eta^-(t)\eta^-(t + \Delta t)}$ зміщень у часі випадкової стаціонарної величини $\xi(t)$ через спектральну густину цього процесу $J(\omega)$.
18. Знайти розв'язок рівняння Фоккера-Планка для випадку трансляційної дифузії за умови відсутності потоків на нескінченності і початковій умові, яка відповідає знаходженню частинки в початковий момент часу в початку координат ($\rho(\pm\infty, t) = 0$, $\rho_x(\pm\infty, t) = 0$, $\rho(x, 0) = \delta(x)$).
19. Оцінити час заповнення броунівськими частинками судини скінченного розміру $-L < x < L$. У початковий момент часу $\rho(x, 0) = \delta(x)$.
20. Розв'язати рівняння Фоккера-Планка для броунівської частинки, яка рухається в полі $U(x) = \alpha x^2$ і має початкове положення в початку координат.
21. Визначити стаціонарний потік броунівських частинок у зовнішньому полі $U(x)$, якщо при $x=0$ підтримується концентрація ρ_0 , а при $x=L - \rho_L$. Розглянути випадок, коли це поле має вигляд прямокутного бар'єру $U(x) = U_0$ для інтервалу $a < x < a + \Delta a$.
22. Оцінити час встановлення нового рівноважного стану системи броунівських частинок зі сталим дипольним моментом, якщо слабе електричне поле $E = E_0 = \text{const}$ спричинює малі відхилення функції розподілу по орієнтаціям $\rho(\theta, t)$ від її рівноважного значення ρ_0 .
23. Визначити поляризацію системи броунівських частинок зі сталим дипольним моментом, якщо слабе електричне поле $E = E_0 e^{i\Omega t}$ спричинює малі відхилення функції розподілу по орієнтаціям $\rho(\theta, t)$ від її рівноважного значення ρ_0 .

Питання до іспиту і структура білету

Екзаменаційний білет складається з 2 двох теоретичних питань і 1 практичного завдання (задачі). За відповідь на кожне теоретичне питання і за виконання практичного завдання студент отримує окрему оцінку. Підсумкова оцінка є зваженим середнім оцінок за кожне завдання. Ваги теоретичного і практичного завдань відносяться у пропорції 1:2.

Теоретичні питання до іспиту збігаються з назвою лекцій. Практичні – з контрольними питаннями і завданнями.

Рекомендована література

Основна

1. Адаменко І.І., Булавін Л.А. Фізика рідин та рідинних систем. – К.: АСМІ, 2006. – 660 с.
2. Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Т. 3 Теория неравновесных систем. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 448 с.
3. Chandler D. Introduction to modern statistical mechanics. – New York, Oxford: Oxford University Press, 1987. – 274 p.

Додаткова

4. Ван Кампен Н.Г. Стохастические процессы в физике и химии. – М.: Высшая школа, 1990. – 376 с.
5. Зубарев Д.Н., Морозов В.Г., Репке Г. Статистическая механика неравновесных процессов. – Т. 1. – М.: Физматлит, 2002. – 432 с.
6. Левич В.Г., Вдовин Ю.А., Мямлин В.А. Курс теоретической физики. Т. 2: Квантовая механика. Квантовая статистика и физическая кинетика. – М.: Наука, 1971. – 936 с.
7. Коган М.Н. Динамика разряженного газа. – М.: Наука, 1967. – 440 с.
8. Куни Ф.М. Статистическая физика и термодинамика. – М.: Наука, 1981. – 352 с.
9. Резибуа П., де Ленер М. Классическая кинетическая теория жидкостей и газов. – М.: Мир, 1980. – 430 с.
10. Силин В.П. Введение в кинетическую теорию газов. – М.: Наука, 1971. – 331 с.
11. Уленбек Дж., Форд Дж. Лекции по статистической механике. – М.: Мир, 1965. – 307 с.
12. Чалый А.В. Неравновесные процессы в физике и биологии. – К.: Наукова думка, 1997. – 183 с.
13. Dorfman J.R. Introduction to chaos in nonequilibrium statistical mechanics. – Cambridge, New York, Melbourne, Madride: Cambridge University Press, 1999. – 287 p.