

Київський національний університет
імені Тараса Шевченка

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

Протокол №___
Голова вченої ради, декан

Проф. Макарець М.В.

Фізичний факультет
Кафедра молекулярної фізики

Доктор фізико-математичних наук,
Професор Булавін Леонід Анатолійович

Викладачі, що ведуть лабораторні заняття:

ФЛУКТУАЦІЇ ТА ДИНАМІКА МОЛЕКУЛ В КОНДЕНСОВАНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

РОБОЧА НАВЧАЛЬНА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ

для студентів 4-го курсу фізичного факультету
групи спеціалізації „Медична фізика” та „Молекулярна фізика”
спеціальності 6.070100

Затверджено
кафедрою молекулярної фізики
«___» _____ 200__р.

Протокол №
Завідувач кафедри

Проф. Булавін Л.А.

КИЇВ-2009

Вступ

Дисципліна «Флуктуації та динаміка молекул в конденсованому середовищі» для студентів фізичного факультету є вибірковою дисципліною за вибором вищого навчального закладу для спеціалізацій «молекулярна фізика» та «медична фізика», що читається у восьмому семестрі в обсязі 2,5 кредитів (90 годин), в тому числі лекцій 48 години і 42 годин самостійної роботи. Закінчується іспитом у восьмому семестрі.

Метою і завданням навчальної дисципліни «Флуктуації та динаміка молекул в конденсованому середовищі» є оволодіння сучасними експериментальними та теоретичними методами досліджень флуктуацій та динаміки молекул в конденсованому середовищі.

Предмет навчальної дисципліни «Флуктуації та динаміка молекул в конденсованому середовищі» включає основні методи термодинаміки та статистичної фізики, теорію розсіяння світла та нейтронів.

Вимоги до знань та вмінь.

Студент повинен знати:

1. Термодинамічну та статистичну теорію флуктуацій.
2. Теорію розсіяння світла на флуктуаціях густини та концентрації.
3. Спектральний склад розсіяного світла.
4. Основні механізми взаємодії нейтронів з речовиною.
5. Узагальнений частотний спектр рідини.

Студент повинен вміти:

1. Логічно і послідовно формулювати основні принципи і закони термодинаміки та статистичної фізики для дослідження флуктуацій в м'якій матерії.
2. Аналізувати експериментальні дані по розсіянню світла та нейтронів з метою отримання інформації про флуктуації та динаміку молекул в м'якій матерії.
3. Порівнювати експериментальні дані по розсіянню світла та нейтронів з відповідними теоретичними розрахунками та результатами комп'ютерного експерименту.

Місце в структурно-логічній схемі спеціальності.

Нормативно-навчальна дисципліна «Флуктуації та динаміка молекул в конденсованому середовищі» є складовою циклу професійної підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр та магістр за спеціалізаціями молекулярна фізика та медична фізика. Вона спирається на знання, отримані студентом, в рамках базових курсів з класичної механіки, молекулярної фізики, статистичної фізики та термодинаміки, оптики, атомної та ядерної фізики, спецкурсу „Фазові переходи”. У свою чергу, цей предмет є підґрунтям для вивчення таких дисциплін як „Сучасні проблеми фізики”, „Міжмолекулярна взаємодія”, „Фізична кінетика”, „Спектроскопія конденсованих середовищ,” а також є основою для виконання магістерських та бакалаврських робіт за тематикою кафедри молекулярної фізики.

Система контролю знань та умови складання іспиту.

Навчальна дисципліна «Флуктуації та динаміка молекул в конденсованому середовищі» оцінюється за модульно-рейтинговою системою. Вона складається з 3 модулів. Результати навчальної діяльності студентів оцінюється за 100-бальною шкалою.

Форми поточного контролю: оцінювання результатів виконання домашніх самостійних завдань. Максимальна кількість балів, яку студент може отримати за виконання домашніх завдань в одному модулі дорівнює $3\frac{1}{3}$ балам. Наприкінці кожного змістовного модулю проводиться контроль знань у вигляді **модульної письмової контрольної роботи**. Максимальна кількість балів, яку студент може отримати за модульну контрольну роботу, дорівнює **10 балам**.

Підсумковий модульний контроль знань студента проводиться у формі іспиту, під час якого може бути отримана максимальна кількість балів – **60 балам**.

Підсумкова семестрова рейтингова оцінка складається з семестрової модульної та екзаменаційної оцінок і дорівнює **100 балам**.

Підсумкова оцінка з дисципліни у балах 100-бальної шкали переводиться у **п'ятибальну** (національну шкалу):

За 100-бальною шкалою	Оцінка за національною шкалою
90 – 100	Відмінно
75 – 89	Добре
60 – 74	Задовільно
35 – 59	Незадовільно
1 – 34	

При цьому, кількість балів відповідає оцінці:

1 – 34 – „незадовільно” з обов’язковим повторним вивченням дисципліни;

35 – 59 – „незадовільно” з можливістю повторного складання;

60 – 74 – „задовільно”;

75 – 89 – „добре”;

90 – 100 – „відмінно”.

ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙ І СЕМІНАРСЬКИХ ЗАНЯТЬ

№ лекції	Назва лекції	Кількість годин			
		лекції	семінари/ лаборант., практичні	самост. робота	інші форми контр.
Змістовий модуль 1					
1	Термодинамічна теорія флуктуацій	2		1	
2	Термодинамічна теорія флуктуацій	2		1	
3	Статистична теорія флуктуацій	2		1	
4	Статистична теорія флуктуацій	2		1	
5	Статистична теорія флуктуацій	2		1	
6	Порівняння статистичної і термодинамічної теорій флуктуацій	2		1	
МОДУЛЬНА КОНТРОЛЬНА РОБОТА					
Оцінка за модульну контрольну роботу					
Оцінка за виконання домашніх завдань					
Змістовий модуль 2					
7	Розсіяння світла в газах	2		2	
8	Закони Релея	2		2	
9	Теорія Ейнштейна-Смолуховського	2		2	
10	Оцінка релеєвського розсіяння в рідинах	2		2	
11	Модельні розрахунки інтегрального розсіяння	2		2	
12	Тонка структура лінії розсіяння	2		2	
13	Ефект Мандельштама-Брілюєна	2		2	
14	Формула Ландау-Плачека	2		2	
15	Дисперсія звуку	2		2	
16	Розсіяння світла поблизу критичних точок	2		2	
МОДУЛЬНА КОНТРОЛЬНА РОБОТА					

Оцінка за модульну контрольну роботу					
Оцінка за виконання домашніх завдань					
Змістовий модуль 3					
17	Взаємодія нейтронів з речовиною	2		2	
18	Техніка нейтронного експерименту	2		2	
19	Нейтронні спектрометри	2		2	
20	Просторово-часові функції Ван-Хова	2		2	
21	Дисперсійна крива рідкого гелію	2		2	
22	Нейтронна спектроскопія критичних явищ	2		2	
23	Квазіпружне розсіяння нейтронів в молекулярних рідинах	2		2	
24	Нанофізика рідин	2		2	
МОДУЛЬНА КОНТРОЛЬНА РОБОТА					
Оцінка за модульну контрольну роботу					
Оцінка за виконання домашніх завдань					
ІСПИТ					
Оцінка за іспит					
ВСЬОГО		48		42	

Загальний обсяг 90 год., в тому числі:
лекції – 48 год.
самостійна робота – 42 год.

ТЕМАТИЧНО – ЗМІСТОВНА ЧАСТИНА КУРСУ

Змістовий модуль 1

Лекція 1. Термодинамічна теорія флуктуацій.

Визначення флуктуацій. Роль флуктуацій у фізиці. Флуктуацій як спосіб фазового переходу. Флуктуації та критичні явища. Розподіл флуктуацій за Гауссом.

Завдання для самостійної роботи (1 год.)

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

Література [1]

Лекція 2. Термодинамічна теорія флуктуацій.

Формули для флуктуацій основних термодинамічних величин. Флуктуації об'єму та температури. Флуктуації тиску та ентропії.

Завдання для самостійної роботи (1 год.)

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

Література [1, 2]

Лекція 3. Статистична теорія флуктуацій.

Флуктуації густини. Флуктуації концентрації в бінарних розчинах.

Завдання для самостійної роботи (1 год.)

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

Література [2]

Лекція 4. Статистична теорія флуктуацій.

Визначення кореляційних функцій. Властивості кореляційних функцій. Зв'язок між кореляційною функцією s -го порядку з функцією розподілу Гіббса.

Завдання для самостійної роботи (1 год.)

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

Література [2]

Лекція 5. Статистична теорія флуктуацій.

Обчислення середніх значень фізичних величин за допомогою кореляційних функцій. Знаходження флуктуацій числа частинок через кореляційну функцію.

Завдання для самостійної роботи (1 год.)

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

Література [1, 2]

Лекція 6. Порівняння статистичної і термодинамічної теорій флуктуацій.

Кореляція флуктуацій числа частинок. Порівняння термодинамічної та статистичної теорій флуктуацій.

Завдання для самостійної роботи (1 год.)

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

Література [1, 2]

Матеріал, що винесений на самостійне вивчення

1. Флуктуації та фрактали.
2. Фрактальні розмірності.
3. Методи визначення фрактальної розмірності.

Контрольні запитання та завдання

1. Визначення флуктуації, середньоквадратичні флуктуації.
2. Розподіл Гаусса. Інші розподіли флуктуації.
3. Загальна формула для флуктуації основних термодинамічних величин.
4. Флуктуація об'єму та температури.
5. Флуктуація тиску та ентропії.
6. Флуктуація густини.
7. Флуктуація концентрації в бінарних розчинах.
8. Просторові кореляційні функції, їх властивості.
9. Зв'язок між кореляційною функцією s -того порядку та функцією розподілу Гіббса.
10. Обчислення значення фізичних величин адитивного типу.
11. Знаходження флуктуації числа частинок за допомогою кореляційної функції.
12. Кореляція флуктуації числа частинок в сусідніх об'ємах.
13. Порівняння результатів термодинамічної та статистичної теорій флуктуацій.
14. Обчислення флуктуації густини в аргоні за допомогою термодинамічної та статистичної теорій флуктуацій.

Змістовий модуль 2

Лекція 7. Розсіяння світла в газах.

Розсіяння світла як метод вивчення флуктуації та динаміки молекул. Теорія Релея.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

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

Література [1, 2]

Лекція 8. Закони Релея.

Флуктуації густини та розсіяння світла в газах. Розсіяння поляризованого та неполяризованого світла. Закони Релея.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

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

Література [1, 2]

Лекція 9. Теорія Ейнштейна-Смолуховського.

Коефіцієнт екстинкції та коефіцієнт розсіяння, зв'язок між ними. Розсіяння світла в рідинах. Теорія Ейнштейна-Смолуховського.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

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

Література [1, 3]

Лекція 10. Оцінка релєєвського розсіяння в рідинах.

Наближені вирази для $\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial \rho}\right)$. Підхід Ейнштейна. Підхід Рохара. Підхід

Вальдхайма.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

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

Література [1, 3]

Лекція 11. Модельні розрахунки інтегрального розсіяння.

Знаходження похідної $\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial \rho}\right)$ в моделі Вальдхайма. Порівняння з експериментом.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

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

Література [1, 3]

Лекція 12. Тонка структура лінії розсіяння.

Тонка структура лінії розсіяння. Розсіяння світла в газах на флуктуаціях густини.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

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

Література [3]

Лекція 13. Ефект Мандельштама-Брілюена.

Розсіяння світла в кристалах. Ефект Мандельштама-Брілюена. Експеримент по спостереженню ефекту Мандельштама-Брілюена.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

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

Література [1, 3]

Лекція 14. Формула Ландау-Плачека.

Два типи флуктуацій густини. Формули Ландау-Плачека. Уточнення формули Ландау-Плачека.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

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

Література [1, 3]

Лекція 15. Дисперсія звуку.

Застосування ефекту Мандельштама-Брілюена. Дисперсія звуку. Феноменологічна теорія Леонтовича. Ультразвукова спектроскопія.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

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

Література [1, 4]

Лекція 16. Розсіяння світла поблизу критичних точок.

Розсіяння світла на флуктуаціях концентрації. Розсіяння світла поблизу критичних точок випаровування та розшарування.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

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

Література [1, 4]

Матеріал, що винесений на самостійне вивчення

1. Розрахунок зв'язку між коефіцієнтами екстинкції та коефіцієнтом розсіяння для поляризованого та неполяризованого світла.
2. Отримання уточненої формули Ландау-Плачека з урахуванням флуктуацій температури.

Контрольні запитання та завдання

1. Розсіяння світла в газах . Теорія Релея.
2. Розсіяння неполяризованого світла на флуктуаціях густини в газах. Закони Релея.
3. Коефіцієнт розсіяння та коефіцієнт екстинкції.
4. Розсіяння світла в рідинах. Теорія Ейнштейна-Смолуховського.
5. Розрахунок інтенсивності розсіяного світла в рідинах.
6. Модельні уявлення, які визначають $\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial \rho}\right)$.
7. Тонка структура ліній розсіяння в газах.
8. Ефект Мандельштама-Брілюена. Експериментальні його спостереження.
9. Два типи флуктуацій. Формула Ландау-Плачека.
10. Уточнення формули Ландау-Плачека.

11. Застосування ефекту Мандельштама-Брілюєна для дослідження чи визначення розповсюдження гіперзвуку.
12. Дисперсія звуку. Феноменологічна теорія Леонтовича. Ультразвукова спектроскопія.
13. Розсіяння світла на флуктуаціях концентрації.
14. Розсіяння світла на аномально розвинених флуктуаціях поблизу критичних точок.

Змістовий модуль 3

Лекція 17. Взаємодія нейтронів з речовиною.

Розсіяння нейтронів як метод дослідження динаміки молекул та флуктуацій в конденсованому середовищі. Властивості нейтронів. Природа взаємодії нейтронів з речовиною.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

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

Література [1, 4]

Лекція 18. Техніка нейтронного експерименту.

Амплітуда та переріз розсіяння нейтронів. Розсіяння нейтронів на вільному атомі. Порівняння методу розсіяння нейтронів та методу розсіяння рентгенівського випромінювання.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

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

Література [1, 4]

Лекція 19. Нейтронні спектрометри.

Джерела нейтронів. Монохроматори нейтронів, що базуються на хвильових та корпускулярних властивостях нейтронів. Детектори нейтронів. Переріз розсіяння. Диференціальний та двічі диференціальний переріз розсіяння.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

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

Література [1, 4]

Лекція 20. Просторово-часові функції Ван-Хова.

Розсіяння нейтронів на сукупності атомів. Просторово-часові кореляційні функції Ван-Хова. Моделювання автокореляційної функції в гаусовому наближенні.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

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

Література [1, 4]

Лекція 21. Дисперсійна крива рідкого гелію.

Нейтронні дослідження іонно-електронних та квантових рідин. Дисперсійна крива рідкого гелію.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

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

Література [1, 4]

Лекція 22. Нейтронна спектроскопія критичних явищ.

Нейтронні дослідження критичних явищ. Методика пропускання повільних нейтронів. Гравітаційний ефект. Рівноважні властивості речовини поблизу критичних точок випаровування, розшарування та поблизу подвійних критичних точок. Дифузія поблизу критичної точки.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

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

Література [1, 4]

Лекція 23. Квазіпружне розсіяння нейтронів в молекулярних рідинах.

Дослідження води та водних розчинів електролітів за допомогою квазіпружного та когерентного розсіяння нейтронів. Моделі дифузії. Одночастинковий та колективний внески у коефіцієнт самодифузії. Узагальнений частотний спектр.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

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

Література [1, 4]

Лекція 24. .

Нейтронні дослідження рідин в обмежених об'ємах. Рідини в порах та гелях. Нейтронні дослідження рідинних систем з фулеренами та фулеритами. Магнітні рідинні системи. Нанофізика рідин.

Завдання для самостійної роботи (2 год.)

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

Література [1, 4]

Матеріал, що винесений на самостійне вивчення

1. Теоретичні моделі розчинів полімерів. Скейлінговий підхід.
2. Аналогія полімер-магнетик.
3. Діаграма станів в системі полімер-розчинник.
4. Особливості дослідження критичних явищ в розчинах полімерів за допомогою пропускання нейтронів.
5. Дослідження гравітаційного ефекту в системі полімер-розчинник методом пропускання нейтронів.
6. Масштабна залежність розчинів полімерів.
7. Дослідження явищ кросоверу в розчинах полімерів методом малокутового розсіяння нейтронів.
8. Критичні явища в розчинах полімерів поблизу точки золь-гель переходу.
9. Вплив нейонних поверхнево-активних речовин на самодифузію молекул води.
10. Дослідження впливу катіонних поверхнево-активних речовин на самодифузію води.
11. Вплив довжини алкільного радикала молекули ПАР на механізм самодифузії молекул води.
12. Залежність механізму самодифузії молекул води від числа оксигетильних груп в молекулах органічних сполук.
13. Дослідження масопереносу молекул рідини в пористих середовищах за допомогою пропускання нейтронів.
14. Дослідження проникливості пористих систем методом пропускання повільних нейтронів.

15. Дослідження самодифузії молекул рідини в полімерних гелях за допомогою квазіпружного розсіяння нейтронів.

Контрольні запитання та завдання

1. Особливості взаємодії повільних нейтронів з речовиною. Когерентне та некогерентне розсіяння.
2. Розсіяння повільних нейтронів на вільному ядрі.
3. Розсіяння повільних нейтронів на зв'язаному ядрі. Псевдопотенціал Фермі.
4. Розсіяння нейтронів і кореляційні функції.
5. Дослідницький ядерний реактор ВВР-М.
6. Багато детекторний нейтронний спектрометр за часом прольоту.
7. Трьохвісний нейтронний кристалічний спектрометр.
8. Методика пропускання повільних нейтронів.
9. Установка малокутового розсіяння нейтронів.
10. Ізотермічна стисливість уздовж критичної ізохори. Масштабна функція гравітаційного ефекту.
11. Температурна залежність положення границі поділу рідина-пара
12. Форма критичної ізотерми індивідуальних рідин.
13. Крива співіснування рідина-пара.
14. Розсіяння нейтронів поблизу критичної точки пароутворення.
15. Методика вивчення рівноважних властивостей розчинів за допомогою пропускання повільних нейтронів.
16. Розподіл густини за висотою в бінарних розчинах поблизу критичної точки пароутворення.
17. Концентрація компонентів розчину на критичній ізотермі.
18. Густина і парціальна густина компонентів суміші на кривій співіснування.
19. Концентрація компонентів бінарного розчину на кривій співіснування рідина-пара.
20. Рівноважні властивості систем з азеотропізмом поблизу критичної точки пароутворення.
21. Масштабні властивості розчинів і вибір параметра порядку.
22. Криві співіснування бінарних розчинів у термінах різних параметрів порядку.
23. Вплив вибору параметра порядку на форму критичних ізотерм.
24. Крива співіснування у системі рідина-рідина поблизу КТР
25. Поведінка розчину поблизу подвійної критичної точки.
26. Малокутове розсіяння нейтронів поблизу критичної точки рідина-рідина.
27. Метод малокутового розсіяння нейтронів.
28. Дослідження міцелярних розчинів неіоногенних ПАР у воді та водно-сольових розчинах.
29. Вплив неорганічних солей на будову міцел неіоногенних ПАР.
30. Модельовання автокореляційної функції в гауссовому наближенні.
31. Закон розсіяння. Динамічні моделі рідин.
32. Інтерпретація даних по розсіянню нейтронів рідинами.
33. Особливості розсіяння нейтронів рідинами, до складу яких входить водень.
34. Структура водних розчинів електролітів і гідратація іонів
35. Дослідження динаміки молекул води у воді та водних розчинах електролітів методом квазіпружного розсіяння повільних нейтронів.
36. Самодифузія іонів у водних розчинах електролітів.
37. Колективний та одностинковий внески коефіцієнт самодифузії.
38. Розділення коефіцієнта самодифузії молекул води у воді та водних розчинах електролітів на колективний та одностинковий внески.
39. Самодифузія етану поблизу критичної точки рідина-пара.

40. Самодифузія молекул води у порах.
41. Опис динаміки рідин за допомогою узагальненого частотного спектру.
42. Отримання узагальненого частотного спектру з даних по непружному розсіянню нейтронів.
43. Узагальнений частотний спектр води і водних розчинів електролітів.
44. Автокореляційна функція швидкості протонів молекул води.
45. Розрахунок автокореляційної функції швидкості і узагальненого частотного спектра методом молекулярної динаміки.

Питання на іспит і структура білету

Білет складається з 3 теоретичних завдань. За кожне з теоретичних питань максимальна кількість балів, яку може отримати студент, дорівнює 17 балам. Додаткові питання – 9 балів.

Теоретичні питання до іспиту збігаються з контрольними питаннями до I-го, II-го і III-го модулів.

Рекомендована література

1. Булавін Л.А. та інш. Нейтронна спектроскопія конденсованого середовища. – К.: Академперіодика, 2005
2. Булавін Л.А. Критичні явища у рідинах – К.: РВЦ КУ, 1997.
3. Антонченко В.Я., Давыдов А.С., Ильин В.В. Основы физики воды. – К.: Наукова думка, 1991.
4. Динамические свойства вещества. Исследования методом рассеяния нейтронов. / Под. ред. С. Леви. – М.: Мир, 1980.
5. Булавін Л.А., Гаврюшенко Д.А., Сисоєв В.М. Критичні явища у просторово-неодгорідних системах. –К.: РВЦ КУ, 1999..