

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 Забашта Юрій Феодосійович

Викладачі, що ведуть лабораторні заняття:

## **ФІЗИКА МАКРОМОЛЕКУЛ**

### **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.

## Вступ

Дисципліна «Фізика макромолекул» для студентів фізичного факультету є вибірковою дисципліною за вибором вищого навчального закладу для спеціалізацій «молекулярна фізика» та «медична фізика», що читається у 7 семестрі в обсязі 3 кредитів (108 годин), в тому числі лекцій 54 години і 54 годин самостійної роботи. Закінчується іспитом у 7 семестрі.

**Метою і завданням навчальної дисципліни «Фізика макромолекул»** є оволодіння сучасними математичними методами фізики макромолекул, теоретичними положеннями та основними застосуваннями цих методів при постановці та інтерпретації експериментів.

**Предмет навчальної дисципліни «Фізика макромолекул»** включає основи сучасної теорії полімерних ланцюгів, застосування цієї теорії для опису поведінки полімерних систем при дії різних зовнішніх факторів: температури, механічного поля та ін.

### **Вимоги до знань та вмінь.**

#### ***Студент повинен знати:***

1. Будову конфігурацій макромолекул.
2. Статистичну теорію ідеальних та неідеальних ланцюгів.
3. Застосування статистичної теорії для інтерпретації експериментів по розсіянню світла та віскозиметрії.
4. Теорію переходів клубок-спіраль та клубок-глобула.
5. Теорію полімерних розчинів.
6. Застосування принципів фізики макромолекул при вивченні медико-біологічних систем.

#### ***Студент повинен вміти:***

1. Логічно і послідовно формулювати основні принципи і закони фізики макромолекул.
2. Користуватися програмами розрахунку структури макромолекули.
3. Інтерпретувати експерименти по розсіянню світла. Визначати з цих експериментів розмір та форму макромолекули.
4. Інтерпретувати віскозиметричний експеримент, визначати молекулярну масу з цього експерименту.
5. Знаходити параметри полімерної сітки по експериментальних залежностях деформації.

### **Місце в структурно-логічній схемі спеціальності.**

Нормативно-навчальна дисципліна «Фізика макромолекул» 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 молекулярної фізики, статистичної фізики та термодинаміки, оптики, атомної та ядерної фізики. У свою чергу, цей предмет є підґрунтям для вивчення таких дисциплін як „Сучасні проблеми фізики”, „Основи молекулярної біофізики”, „Фізика функціональних систем організму людини”, „Додаткові розділи медичної фізики”, „Додаткові розділи молекулярної фізики” а також є основою для виконання магістерських та бакалаврських робіт за тематикою кафедри молекулярної фізики.

### **Система контролю знань та умови складання іспиту.**

Навчальна дисципліна «Фізика макромолекул» оцінюється за модульно-рейтинговою системою. Вона складається з 2 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 **5 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 **15 балам**.

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

**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.
<b>Змістовий модуль 1</b>					
1	Первинна структура макромолекул	2		2	
2	Конфігурації макромолекул	2		2	
3	Поворотні ізомери	2		2	
4	Особливості теплового руху макромолекул	2		2	
5	Розподіл Гібса у фізиці полімерів	2		2	
6	Модель вільноз’єданого ланцюга	2		2	
7	Статистичний клубок та його характеристики	2		2	
8	Ідеальні та неідеальні ланцюги	2		2	
9	Термодинаміка неідеальних ланцюгів	2		2	
10	Набрякання ланцюгів	2		2	
11	Переходи клубок-глобула	2		2	
12	Переходи клубок-спіраль	2		2	
13	Модель полімерної сітки	2		2	
14	Високоеластична деформація макромолекул	2		2	
<b>МОДУЛЬНА КОНТРОЛЬНА РОБОТА</b>					
Оцінка за модульну контрольну роботу					

Оцінка за виконання домашніх завдань					
<b>Змістовий модуль 2</b>					
15	Загальна характеристика розчинів макромолекул	2		2	
16	Полідисперсність полімерів	2		2	
17	В'язкість розчинів макромолекул	2		2	
18	Застосування сегментальної моделі для опису розчину макромолекули	2		2	
19	Типи клубків у розчинах макромолекул	2		2	
20	Визначення довжини ланцюга із віскозиметричного експерименту	2		2	
21	Полімерний розчин як випадковий неоднорідний континуум	2		2	
22	Електродинамічні основи розсіяння світла у розчинах макромолекул	2		2	
23	Розсіяння світла на флуктуаціях концентрації в розчинах макромолекул	2		2	
24	Метод асиметрії	2		2	
25	Метод подвійної екстраполяції	2		2	
26	Фрактали у фізиці макромолекул	2		2	
27	Застосування фізики макромолекул при дослідженні медико-біологічних систем	2		2	
<b>МОДУЛЬНА КОНТРОЛЬНА РОБОТА</b>					
	Оцінка за модульну контрольну роботу				
	Оцінка за виконання домашніх завдань				
<b>ІСПИТ</b>					
Оцінка за іспит					
	<b>ВСЬОГО</b>	54		54	

Загальний обсяг 108 год., в тому числі:  
лекції – 54 год.  
самостійна робота – 54 год.

## ТЕМАТИЧНО – ЗМІСТОВНА ЧАСТИНА КУРСУ

### Змістовий модуль 1

#### **Лекція 1. Первинна структура макромолекул.**

Типи зв'язків полімерних систем. Хімічна та Ван-дер-Ваальсова взаємодія. Графи макромолекул. Синтетичні та біологічні полімери.

#### **Завдання для самостійної роботи (2 год.)**

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

Література [1].

#### **Лекція 2. Конфігурації макромолекул.**

Природні координати. Конформаційне наближення.

#### **Завдання для самостійної роботи (2 год.)**

1. Вивчення матеріалу лекції.

2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення.  
Література [1, 3].

### **Лекція 3. Поворотні ізомери.**

Обертальний потенціал гальмування та його природа. Схема утворення поворотних ізомерів в ланцюгові. Конфігурації макромолекул в поворотно-ізомерному наближенні.

**Завдання для самостійної роботи (2 год.)**

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

Література [1,3].

### **Лекція 4. Особливості теплового руху макромолекул.**

Типи теплового руху. Теплові коливання. Випадкові блукання. Особливості випадкових блукань для макромолекул.

**Завдання для самостійної роботи (2 год.)**

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

Література [1].

### **Лекція 5. Розподіл Гібса у фізиці полімерів.**

Конфігураційний інтеграл ланцюга. Фазовий простір ланцюга. Розподіл Гібса в конфірмаційному наближенні.

**Завдання для самостійної роботи (2 год.)**

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

Література [1].

### **Лекція 6. Модель вільно з'єданого ланцюга.**

Фантомність ланцюга. Вільне обертання. Застосування теорії випадкових блукань для отримання функції розподілу ланцюга.

**Завдання для самостійної роботи (2 год.)**

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

Література [1, 2].

### **Лекція 7. Статистичний клубок та його характеристики.**

Природа статистичного клубка. Його параметри. Флуктуації розмірів клубка.

**Завдання для самостійної роботи (2 год.)**

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

Література [1, 2].

### **Лекція 8. Ідеальні та неідеальні ланцюги.**

Визначення ідеального ланцюга. Об'ємна взаємодія. Типи об'ємних взаємодій.

**Завдання для самостійної роботи (2 год.)**

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

Література [1, 2].

### **Лекція 9. Термодинаміка неідеальних ланцюгів.**

Модель розірваних силових центрів. Вільна енергія розчину неідеальних ланцюгів.

**Завдання для самостійної роботи (2 год.)**

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

Література [2].

#### **Лекція 10. Набрякання ланцюгів.**

Типи розчинників. Вплив розчинника на розміри клубка. Формула Флорі.

**Завдання для самостійної роботи (2 год.)**

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

Література [2].

#### **Лекція 11. Переходи клубок-глобула.**

Флуктуації в клубку та глобулі. Роль взаємодії між ланками в утворенні глобули.

Умови утворення глобули.

**Завдання для самостійної роботи (2 год.)**

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

Література [2].

#### **Лекція 12. Переходи клубок-спіраль.**

Спіраль як форма полімерного ланцюга. Умови виникнення переходу спіраль-клубок та його кооперативний характер. Механізм денатурації білкових молекул.

**Завдання для самостійної роботи (2 год.)**

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

Література [3].

#### **Лекція 13. Модель полімерної сітки.**

Параметри полімерної сітки. Приклади полімерних сіток. Сітчаті структури в медико-біологічних об'єктах.

**Завдання для самостійної роботи (2 год.)**

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

Література [1].

#### **Лекція 14. Високоеластична деформація макромолекул.**

Застосування моделі вільно з'єданого ланцюга для опису деформації полімерної сітки. Ентропійна пружність. Визначення кількості вузлів сітки з експеримента.

**Завдання для самостійної роботи (2 год.)**

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

Література [1].

#### **Матеріал, що винесений на самостійне вивчення**

1. Хімічна будова біополімерів: білки, ДНК.
2. Хімічна будова синтетичних полімерів.
3. Роль макромолекул (білки, ДНК) у життєдіяльності організму.
4. Колаген у структурі біотканин.
5. Типи розподілів у статистичній фізиці.
6. Центральна гранична теорема в теорії ймовірностей.
7. Марківський ланцюг в теорії ймовірностей.

## Контрольні запитання та завдання

1. Порівняти хімічну будову синтетичних та біологічних полімерів.
2. Яка мета введення природних координат?
3. Отримати функцію розподілу для ланцюга виходячи із загальної формули для розподілу Гібса.
4. Визначити число поворотних ізмерів бутана при заданій температурі.
5. Розрахувати параметр, що характеризує загальмоване обертання полімерного ланцюга.
6. Отримати формулу для квадрата дисперсії відстані між кінцями ланцюга при умові, що тепловий рух зводиться до крутильних коливань.
7. Оцінити розміри клубків, утворені різними типами ланцюгів.
8. Назвати причини кооперативності переходу спіраль-клубок.
9. Розрахувати флуктуації розмірів клубка та глобули.
10. Описати експеримент, який дозволив би визначити високоеластичний модуль.
11. Розрахувати число полімерних ланцюгів за заданою залежністю модуля пружності від температури.
12. Врахувати зміну об'єму при розрахунку високоеластичного модуля.
13. Визначити причини нелінійності діаграми розтягу для полімерів.
14. Оцінити максимальне значення високоеластичної деформації.

## Змістовий модуль 2

### Лекція 15. Загальна характеристика розчинів макромолекул.

Основні параметри розчинів макромолекул. Молекулярні моделі розчинів макромолекул.

**Завдання для самостійної роботи (2 год.)**

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

Література [2].

### Лекція 16. Полідисперсність полімерів.

Розподіл макромолекул за масою. Характеристики розподілу. Середньочислова та середньо вагова молекулярні маси.

**Завдання для самостійної роботи (2 год.)**

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

Література [1].

### Лекція 17. В'язкість розчинів макромолекул.

Характеристична в'язкість розчинів макромолекул. Її визначення з експерименту. Дисипативна функція.

**Завдання для самостійної роботи (2 год.)**

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

Література [2].

### Лекція 18. Застосування сегментальної моделі для опису розчину макромолекули.

Ланцюг в потоці рідини. Гантельна модель. Динаміка сегментальної моделі.

**Завдання для самостійної роботи (2 год.)**

1. Вивчення матеріалу лекції.

2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення.  
Література [2].

### **Лекція 19. Типи клубків у розчинах макромолекул.**

Взаємодія клубка із потоком рідини. Проникливий, напівпроникливий та непроникливий клубки.

**Завдання для самостійної роботи (2 год.)**

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

Література [2].

### **Лекція 20. Визначення довжини ланцюга із віскозиметричного експерименту.**

Методика визначення молекулярної маси за віскозиметричними даними. Її застосування для контролю сировини у виробничих умовах.

**Завдання для самостійної роботи (2 год.)**

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

Література [2].

### **Лекція 21. Полімерний розчин як випадковий неоднорідний континуум.**

Модель випадково-неоднорідного континуума. Його характеристики: дисперсія, просторова кореляційна функція, спектральна густина. Кореляційний об'єм.

**Завдання для самостійної роботи (2 год.)**

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

Література [2].

### **Лекція 22. Електродинамічні основи розсіяння світла у розчинах макромолекул.**

Поширення електромагнітної хвилі у випадково-неоднорідному середовищі. Застосування теорії збурень. Борнівське наближення.

**Завдання для самостійної роботи (2 год.)**

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

Література [2].

### **Лекція 23. Розсіяння світла на флуктуаціях концентрації в розчинах макромолекул.**

Інтенсивність розсіяння. Зв'язок інтенсивності розсіяння із флуктуаціями концентрації. Термодинамічна теорія флуктуацій.

**Завдання для самостійної роботи (2 год.)**

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

Література [2].

### **Лекція 24. Метод асиметрії.**

Розрахунок кореляційного об'єму для вільно-з'єданого ланцюга. Асиметрія розсіяння світла полімерним клубком. Експериментальна методика для реалізації метода асиметрії. Визначення маси та розмірів макромолекули методом асиметрії.

**Завдання для самостійної роботи (2 год.)**

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

Література [2].



### **Лекція 25. Метод подвійної екстраполяції.**

Експериментальна реалізація методу подвійної екстраполяції. Методика обробки експериментальних залежностей, отриманих методом подвійної екстраполяції.

#### **Завдання для самостійної роботи (2 год.)**

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

Література [2].

### **Лекція 26. Фрактали у фізиці макромолекул.**

Визначення фракталу. Статистичний клубок як фрактал. Типи фракталів у фізиці макромолекул.

#### **Завдання для самостійної роботи (2 год.)**

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

Література [2].

### **Лекція 27. Застосування фізики макромолекул при дослідженні медико-біологічних систем.**

Роль макромолекул в медико-біологічних системах. Системи, що моделюють медико-біологічні об'єкти. Приклади експериментальних досліджень медико-біологічних об'єктів: вимірювання в'язкості, пружних модулів та ін.

#### **Завдання для самостійної роботи (2 год.)**

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

Література [2].

### **Матеріал, що винесений на самостійне вивчення**

1. Визначення коефіцієнтів зсувної та об'ємної в'язкості з експерименту.
2. Розсіяння світла низькомолекулярними системами.
3. Рівняння Максвелла і Лоренца в електродинаміці. Специфіка їх застосування у фізиці полімерів.
4. Роботи Дебая по розсіянню світла.
5. Характеристики полімерних гелів.
6. Експериментальні дослідження пружності полімерних гелів.
7. Гелі як модельні системи медико-біологічних об'єктів.

### **Контрольні запитання та завдання**

1. Як експериментально визначити наявність кореляцій між розсіюючими центрами?
2. В чому принципова різниця між методом асиметрії та методом подвійної екстраполяції?
3. Як в теорії випадково неоднорідного середовища враховується розмір макромолекули?
4. Розсіюючі центри в сегментальній моделі.
5. Як вплине багатократне розсіяння на точність визначення молекулярної маси?
6. Порівняти розміри макромолекули, отримані методами світлорозсіяння та віскози метричним методом.
7. Розрахувати інтенсивність розсіяння світла глобулою.
8. Розрахувати об'ємну частку полімерних ланок в статистичному клубку.
9. Як впливає взаємодія між макромолекулою та розчинником на розсіяння світла.

10. При яких умовах неідеальний ланцюг веде себе як ідеальний?

### **Питання на іспит і структура білету**

Білет складається з 2 теоретичних і одного практичного завдання (задачі). За кожне з теоретичних питань максимальна кількість балів, яку може отримати студент, дорівнює 15 балам. За практичне завдання – 20 балів. Додаткові питання – 10 балів.

Теоретичні питання до іспиту збігаються з назвою лекцій. Практичні – з контрольними питаннями і завданнями до I-го і II-го модулів.

### **Рекомендована література**

1. Булавін Л.А., Забашта Ю.Ф. Фізика полімерів, вид. Київського університету, 2004р.
2. Гросберг А.Ю., Хохлов А.Р. Статистическая физика макромолекул. М.: Наука 1985г.
3. Флори П., Статистическая теория цепных молекул. Москва: Мир, 1985г.