

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра хімічного матеріалознавства

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор з науково-педагогічної
роботи

“ _____ ” _____ 2018 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

ХІМІЯ ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНИХ СПОЛУК

рівень вищої освіти _____ бакалавр _____

галузь знань _____ 10 Природничі науки _____

спеціальність _____ 102 Хімія _____

освітня програма _____ освітня-професійна програма “Хімія” _____

вид дисципліни _____ обов’язкова _____

факультет _____ хімічний _____

2018 / 2019 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження вченою радою хімічного факультету
“ 31 ” серпня 2018 року, протокол № 7

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

Холін Ю.В., доктор хім. наук, професор кафедри хімічного матеріалознавства;
Захаров А.Б., кандидат хім. наук, доцент кафедри хімічного матеріалознавства;
Рошаль О.Д., доктор хім. наук, доцент кафедри хімічного матеріалознавства.

Програму схвалено на засіданні кафедри хімічного матеріалознавства

Протокол від “31 ” серпня 2018 року № 1

Завідувач кафедри хімічного матеріалознавства

_____ Коробов О.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією хімічного факультету

Протокол від “ 31 ” серпня 2018 року № 1

Голова методичної комісії хімічного факультету

_____ Єфімов П.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни “Хімія високомолекулярних сполук” складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалаврів напряму 102 Хімія

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни є формування у студентів уявлень про основні методи синтезу високомолекулярних сполук (ВМС), засвоєння студентами причин та прояву специфічних властивостей ВМС, ознайомлення студентів із сучасними тенденціями та напрямками розвитку науки про полімери, демонстрація практичного значення цього класу сполук.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни:

- ознайомлення студентів із сучасними уявленнями про класифікацію полімерів;
- розгляд молекулярної будови та морфології полімерів;
- розгляд синтезу та хімічних перетворень, деструкції та стабілізації ВМС;
- розгляд фазово-агрегатних станів полімерів (розплав, розчин, кристал, гель, рідкий кристал);
- аналіз зв'язку «структура – властивість» в полімерах на макро- і мікрорівнях;
- знайомство з сучасними методами вивчення структури і властивостей полімерів;
- обговорення тенденцій та напрямків створення матеріалів на основі полімерів.

1.3. Кількість кредитів 6.

1.4. Загальна кількість годин 180.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
Нормативна	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
3-й, 4-й	3-й
Семестр	
6-й, 7-й	5-й
Лекції	
64 год.	12 год.
Лабораторні заняття	
48 год.	20 год.
Самостійна робота	
68 год.	58 год.

1.6. Заплановані результати навчання

Студенти повинні досягти таких результатів навчання:

ЗНАТИ ТА РОЗУМІТИ:

- основні поняття та визначення хімії ВМС;
- роль ВМС у природі, значення як промислових матеріалів;
- основні етапи розвитку науки про ВМС;
- особливості полімерів порівняно з низькомолекулярними сполуками;
- хімічну класифікацію полімерів, типових представників кожної групи;
- головні форми макромолекул;

- особливості поняття молекулярної маси полімерів, молекулярно-масовий розподіл макромолекул, види середніх молекулярних мас, методи їх визначення, коефіцієнт полідисперсності полімеру;
- конфігурації макромолекул, конфігураційну ізомерію, вплив конфігурації на властивості полімерів;
- механізми гнучкості макромолекулярного ланцюга;
- модель вільнозчленованого ланцюга, радіус інерції макромолекули;
- модель розподілу макромолекул за розмірами, коефіцієнт набухання макромолекул, виключений об'єм окремої макромолекули;
- фактори, що впливають на кінетичну та термодинамічну гнучкість макромолекул;
- теорему Флорі;
- статистичну теорію пружності полімерних сіток;
- агрегатні і фазові стани полімерів, механізми фазових переходів та вплив на них різних чинників;
- фізичні стани аморфних полімерів, температури склування та текучості, вплив на них різних чинників, особливості течії полімерних рідин;
- релаксаційні властивості, в'язкопружність полімерних систем, теорію рептацій;
- надмолекулярну організацію полімерів в аморфному та кристалічному станах;
- особливості утворення та специфічні властивості розчинів полімерів;
- концентраційні режими розчинів полімерів, концентрацію кроссовера;
- теорію Флорі-Хаггінса;
- класифікацію розчинників для полімерів, набухання полімеру в хорошому розчиннику,
- другий віріальний коефіцієнт, його експериментальне визначення, тета-умови та причини їх існування;
- перехід клубок-глобула;
- методи дослідження полімерних розчинів;
- пластифікацію полімерів;
- рідкокристалічний стан;
- класифікацію поліелектролітів;
- специфічні властивості розчинів поліелектролітів, поліелектролітне набухання;
- іонний обмін та його головні принципи;
- опис рівноваг ліганд-рецептор за моделлю Тенфорда, способи виявлення ефектів кооперативності;
- види іонообмінної ємності та способи їх визначення;
- фракціонування полімерів;
- головні методи, механізми, кінетичні та термодинамічні закономірності синтезу полімерів;
- побічні реакції при різних способах синтезу полімерів;
- способи регулювання молекулярної маси та однорідності полімерів на стадії синтезу;
- способи проведення синтезу полімерів;
- способи синтезу співполімерів;
- основні хімічні властивості полімерів: хімічні реакції, що не приводять до зміни ступеню полімеризації, та реакції, що приводять до його зміни, деструкцію полімерів;
- методи переробки полімерних матеріалів у вироби;

ВМІТИ:

- проводити класифікацію полімерів за хімічною будовою та функціональним призначенням;
- записувати хімічні формули основних представників кожної групи полімерів та рівняння реакцій їх синтезу;
- характеризувати властивості полімерів на основі їх хімічної будови;
- визначати середні молекулярні маси та параметри полідисперсності полімерів;
- виводити “правило квадратного кореня”, користуватися моделлю вільнозчленованого ланцюга;
- визначати персистентну довжину та сегмент Куна;
- оцінювати густину ідеального полімерного клубка;
- виводити формули для оцінки ентропійної пружності полімерного ланцюга;
- виводити формули для оцінки ентропії розчинення полімеру в теорії Флорі-Хаггінса;
- обговорювати ентальпії розчинення полімеру в хорошому та поганому розчинниках;

- тлумачити дані осмометрії та експериментів із розсіяння світла та віскозиметрії;
- характеризувати тепловий рух макромолекул у склоподібному, високоеластичному, текучому станах;
- визначати ступінь кристалічності;
- наводити приклади поліелектролітів різних класів;
- обговорювати властивості слабких поліелектролітів із використанням рівнянь Качальського, Гендерсона-Гассельбаха;
- знаходити іонообмінну ємність;
- планувати та виконувати синтези високомолекулярних сполук;
- розпізнавати основні полімерні матеріали;
- вербально та невербально представляти навчальний матеріал і результати виконання лабораторних робіт.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Виклад теоретичного матеріалу (6-й семестр)

Тема 1. Загальні особливості високомолекулярних сполук (ВМС) та їх практичне значення

- Місце ВМС серед інших хімічних сполук.
- Макромолекула – головна структурна частинка ВМС.
- Специфічні властивості ВМС: еластичність, набухання, висока в'язкість розчинів.
- Природні та синтетичні ВМС. ВМС як матеріальні носії життя.
- Історія розвитку науки про ВМС.
- Практичне значення полімерів та області їх використання.
- Загальна характеристика навчальної дисципліни „Хімія високомолекулярних сполук”.

Тема 2. Хімічна будова та класифікація макромолекул

- Хімічна будова макромолекул. Визначення поняття «полімер». Поняття мономеру, ланки, головного ланцюгу, бокової групи.
- Хімічна класифікація макромолекул. Карболанцюгові, гетероланцюгові, елементоорганічні, неорганічні ВМС.
- Головні форми макромолекул. Лінійні, розгалужені, сітчасті та тривимірні структури макромолекул.
- Гомополімери та співполімери. Статистичні, блочні і прищеплені співполімери.

Тема 3. Молекулярна маса полімерів

- Полідисперсність макромолекул і явище полімергомології.
- Молекулярно-масовий розподіл макромолекул.
- Середні молекулярні маси макромолекул.
- Експериментальне визначення середньочислових молекулярних мас за концентрацією кінцевих груп.
- Коефіцієнт полідисперсності макромолекул.

Тема 4. Конфігурація макромолекул

- Поняття та види конфігурацій.
- Конфігурація ланок: цис-, транс-, *l*-, *d*-ізомерія. Хімічна ізомерія ланок ланцюгу (конфігурація приєднання ланок).
- Дальній конфігураційний порядок: стереоізомерія макромолекул. Атактичні, синдіотактичні, ізотактичні полімери. Кількісна характеристика дальнього конфігураційного порядку. Розрахунки діадного та тріадного складу.
- Основні конфігурації макромолекул.

Тема 5. Конформації та гнучкість макромолекул

- Механізми гнучкості макромолекулярного ланцюга: поворотно-ізомерний та персистентний. Потенціальні бар'єри обертання. Тепловий рух ланцюгів – причина утворення конформерів.
- Контурна довжина макромолекули та середньоквадратична відстань між кінцями макромолекули. Модель вільнозчленованого ланцюга. “Правило квадратного кореня”.
- Об'ємні взаємодії. Виключений об'єм для окремої макромолекули.

- Ідеальний клубок. Густина полімерного клубка.
- Макромолекула як ансамбль квазінезалежних сегментів. Ефективний сегмент (сегмент Куна). Персистентна довжина.
- Кінетична та термодинамічна гнучкість. Фактори, що впливають на кінетичну та термодинамічну гнучкість.
- Конформаційна статистика макромолекул. Розподіл макромолекул за розмірами.
- Вискоеластичність – універсальна властивість полімерних сіток. Ентропійна пружність полімерного ланцюга та її порівняння з пружністю ідеального газу.
- Теорема Флорі.
- Пружність полімерних сіток.
- Ефект Гуха-Джоуля

Тема 6. Агрегатні і фазові стани полімерів

- Основні сили міжмолекулярної взаємодії. Енергія когезії.
- Агрегатні стани полімерів.
- Термодинамічне поняття фази. Кристалізація і плавлення – фазові переходи першого роду. Умови кристалізації полімерів. Будова полімерів у кристалічному стані. Ступінь кристалічності. Надмолекулярні структури.
- Фізичні стани аморфних полімерів. Особливості переходів від одного фізичного стану в інший у полімерах. Температури переходів $T_{пл}$, $T_{скл}$, $T_{г}$. Характер теплового руху ланок і макромолекул при переходах з одного стану в інший. Термомеханічні криві. Залежність температур переходів від молекулярної маси та будови полімерів, наявності пластифікаторів. Вплив молекулярної маси, полідисперсності, поперечних зв'язків, наповнювачів і пластифікаторів на форму термомеханічних кривих.
- Умови прояву вискоеластичності.
- В'язкотекучий стан полімерів.

Тема 7. Реологія полімерних матеріалів

- Закон Гука – модель ідеального твердого тіла.
- Закон Н'ютона – модель ідеальної рідини.
- Особливості пластичної деформації.
- Модель в'язкопружності Максвелла.
- Модель в'язкопружності Кельвіна-Фойгта.
- Об'єднана модель в'язкопружності полімерних тіл Бюргера.
- Класифікація полімерів на основі їх механічної поведінки.
- Релаксація деформації та релаксація напруження. Явище гістерезису.
- Особливі явища при течії полімерів. Модель рептацій.

Тема 8. Розчини високомолекулярних сполук

- Особливості утворення розчинів ВМС. Набухання полімерів. Ступінь набухання.
- Термодинаміка розчинення полімерів. Класифікація розчинників для полімерів. Фактори, що впливають на розчинення полімерів. Фракціонування полімерів.
- Теорія Флорі-Хагінса. Розрахунок ентропії та ентальпії розчинення полімеру. Параметри термодинамічної взаємодії для розчинів полімерів.
- Конформації макромолекул в розчинах. Набухання полімерного клубка. Концентрація кроссовера.
- Коллігативні властивості розчинів полімерів. Осмотичний тиск.
- Стан макромолекул у розчинах. Рівняння стану. Виключений об'єм і термодинамічні властивості розчину. Кількість зіткнень ланок у полімерному клубку. Набухання полімеру в хорошому розчиннику. Перехід клубок-глобула. Тета-умови. Температура Флорі.
- Осмометрія розведених розчинів полімерів і визначення середньочислових молекулярних мас.
- Основні показники в'язкості. Зв'язок між в'язкістю і молекулярною масою та формою макромолекули.
- Концентровані розчини і пластифікація полімерів. Утворення драглів та їх практичне значення. Явище синерезису. Пластифікація полімерів та її практичне значення.
- Рідкокристалічний стан.

Тема 9. Поліелектроліти

- Поліелектроліти. Хімічна будова поліелектролітів.
- Поліамфоліти. Ізоелектрична точка.
- Рівняння Гендерсона-Гассельбаха і Качальського.
- Модель поліелектроліту як послідовності блобів.
- В'язкість розчинів поліелектролітів. Поліелектролітне набухання.
- Зшиті поліелектроліти. Типи іонообмінних смол. Катіоніти, аніоніти, редоксити, комплексити. Еквівалентність іонного обміну. Ємність іонітів. Кінетика обміну іонів. Рівновага обміну іонів. Рівняння Нікольського.
- Рівноваги ліганд-рецептор у розчинах полімерів. Полімер як єдиний центр зв'язування (за Тенфордом). Ефекти кооперативності, їх виявлення та кількісний опис.
- Практичне значення іонітів.

Тема 10. Методи дослідження та фракціонування полімерів

- Визначення хімічного складу та будови полімерів.
- Елементний і функціональний аналіз полімерів.
- Світлова та електронна мікроскопія.
- Рентгенографічний і структурний аналіз полімерів.
- Визначення розподілу макромолекул за молекулярними масами та середніх молекулярних мас.
- Дробове розчинення. Дробове осадження.
- Гель-проникна хроматографія.
- Лазерна десорбційно-іонізаційна мас-спектроскопія за участю матриці (MALDI).

Тема 11. Ланцюгова полімеризація

- Загальні особливості ланцюгової полімеризації.
- Радикальна полімеризація. Основні стадії радикальної полімеризації.
- Методи ініціювання.
- Механізм і кінетика.
- Утворення полімергомолігів.
- Реакції передачі ланцюга.
- Регулятори. Інгібітори.
- Іонна (каталітична) полімеризація.
- Особливості катіонної, аніонної й аніонно-координаційної полімеризації, їх практичне значення.
- Способи проведення полімеризації.
- Полімеризація в масі (блочна), в розчині і в твердій фазі. Емульсійна та суспензійна полімеризація.

Тема 12. Співполімеризація

- Одержання звичайних (статистичних) співполімерів. Механізм і кінетика процесу. Діаграма співполімеризації.
- Одержання блок- та прищеплених співполімерів.
- Практичне значення співполімерів.

Тема 13. Поліконденсація

- Загальні закономірності поліконденсації. Гомо- та гетерополіконденсація.
- Напрямок реакцій при поліконденсації.
- Термодинамічні критерії напрямку реакції.
- Роль концентрації та температури.
- Молекулярна маса утворених полімерів.
- Швидкість реакції поліконденсації.
- Реакції деструкції при поліконденсації.
- Способи проведення поліконденсації. Поліконденсація у розплаві, розчині, на межі розподілу фаз, в твердій фазі.

Тема 14. Перетворення циклів у лінійні макромолекули

- Перетворення циклів у лінійні макромолекули. Особливості процесу з електронної та термодинамічної точок зору. Основні умови протікання процесу.
- Використання каталізаторів.
- Механізм і кінетика полімеризації циклів.
- Молекулярна маса утворених полімерів. Практичне значення методу.

Тема 15. Хімічні перетворення полімерів

- Основні види хімічних реакцій за участю макромолекул: реакції ланок ланцюга, макромолекулярні реакції, реакції кінцевих груп.
- Практичне значення хімічної модифікації полімерів.
- Особливості полімераналогічних перетворень. Реакції ланок ланцюга. Взаємний вплив бокових груп. Труднощі одержання однорідних продуктів. Роль дифузійних процесів.
- Реакції внутрішньомолекулярної циклізації.
- Приклади полімераналогічних перетворень полімерів.
- Особливості макромолекулярних реакцій.
- Зшивання макромолекул.

Тема 16. Деструкція і стабілізація полімерів

- Причини деструкції полімерів.
- Хімічна деструкція.
- Окислювальна деструкція.
- Фізична деструкція.
- Фотохімічна деструкція.
- Механохімічна деструкція.
- Стабілізація полімерів. Види стабілізаторів.
- Механізми дії стабілізаторів.
- Практичне значення процесів деструкції і стабілізації полімерів.

Тема 17. Окремі представники полімерів

- Поліетилен, поліпропілен.
- Полівінілхлорид, політетрафторетилен.
- Полівінілацетат, полівініловий спирт.
- Поліакрилова кислота, поліметилметакрилат.
- Поліакрилонітрил.
- Полістирол.
- Полібутадієн, поліізопрен, поліхлоропрен.
- Фенолформальдегідні полімери
- Поліетиленоксид, поліетилентерефталат, целюлоза.
- Поліаміди, білки, поліуретани. ДНК, РНК.
- Полімерні сульфур та карбон.
- Кремній-, титан-, алюмінійорганічні полімери.
- Поліфосфати. Полісилікати.
- Комплексоутворюючі полімери.

Тема 18. Методи переробки полімерів у вироби

- Основні види пластмас.
- Переробка пластмас методами пресування, лиття під тиском, екструзії тощо.

Розділ 2. Лабораторні заняття (7-й семестр)

Тема 19. Визначення молекулярної маси полімерів методом віскозиметрії.

Тема 20. Залежність модуля пружності полімерів від величини навантаження.

Тема 21. Оцінка ступеню полідисперсності макромолекул.

Тема 22. Іонообмінні властивості поліелектролітів сітчастої будови.

Тема 23. Визначення констант дисоціації поліелектролітів методом рН-метричного титрування.

Тема 24. Полімеризація і співполімеризація мономерів в масі в присутності ініціатора.

Тема 25. Синтез полімерів методом поліконденсації.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	лаб.	інд.	с.р.		л	п	лаб.	інд.	с. р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Розділ 1. Виклад теоретичного матеріалу												
Тема 1. Загальні особливості високомолекулярних сполук (ВМС) та їх практичне значення	6	4				2	5	1				4
Тема 2 . Хімічна будова та класифікація макромолекул	6	4				2	7	1				6
Тема 3. Молекулярна маса полімерів	4	2				2	7	1				6
Тема 4. Конфігурація макромолекул	6	4				2	7	1				6
Тема 5. Конформації та гнучкість макромолекул	8	6				2	6	2				4
Тема 6. Агрегатні і фазові стани полімерів	6	4				2	4					4
Тема 7. Реологія полімерних матеріалів	6	4				2	5	1				4
Тема 8. Розчини високомолекулярних сполук	7	5				2	7					7
Тема 9. Поліелектроліти	8	6				2	4					4
Тема 10. Методи дослідження та фракціонування полімерів	5	3				2	5	1				4
Тема 11. Ланцюгова полімеризація	10	8				2	8					8
Тема 12. Співполімеризація	4	2				2	6	2				4
Тема 13. Поліконденсація	8	6				2	7	1				6
Тема 14. Перетворення циклів у лінійні макромолекули	4	2				2	4					4
Тема 15. Хімічні перетворення полімерів	4	2				2	4					4
Тема 16 Деструкція і стабілізація полімерів	4	2				2	4					4
Тема 17. Окремі представники полімерів	2					2	6					6
Тема 18. Методи переробки полімерів у вироби	2					2	4	1				3
Разом за розділом 1	100	64				36	100	12				88

Розділ 2. Лабораторні заняття												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Тема 19. Визначення молекулярної маси полімерів методом віскозиметрії	12			8		4	16			4		12
Тема 20. Залежність модуля пружності полімерів від величини навантаження	9			6		3	14			4		10
Тема 21. Оцінка ступеню полідисперсності макромолекул	11			8		3	5					5
Тема 22. Іонообмінні властивості поліелектролітів сітчастої будови	11			6		5	14			4		10
Тема 23. Визначення констант дисоціації поліелектролітів методом рН-метричного титрування	11			6		5	5					5
Тема 24. Полімеризація і співполімеризація мономерів в масі в присутності ініціатора	14			8		6	14			4		10
Тема 25. Синтез полімерів методом поліконденсації	12			6		6	12			4		8
Разом за розділом 2	80			48		32	80			20		60
Усього годин	180	64		48		68	180	12		20		148

4. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		д	з
1	Визначення молекулярної маси полімерів методом віскозиметрії.	8	3
2	Залежність модуля пружності полімерів від величини навантаження	6	3
3	Оцінка ступеню полідисперсності макромолекул	8	3
4	Іонообмінні властивості поліелектролітів сітчастої будови	6	3
5	Визначення констант дисоціації поліелектролітів методом рН-метричного титрування	6	2
6	Полімеризація і співполімеризація мономерів в масі в присутності ініціатора	8	3
7	Синтез полімерів методом поліконденсації	6	3
	Разом	48	20

5. Завдання для самостійної роботи

Назва теми	Кількість годин	
	д	з
6-й семестр		
Тема 1. Загальні особливості високомолекулярних сполук (ВМС) та їх практичне значення	2	4
Тема 2. Хімічна будова та класифікація макромолекул	2	4
Тема 3. Молекулярна маса полімерів	2	4
Тема 4. Конфігурація макромолекул	2	4
Тема 5. Конформації та гнучкість макромолекул	2	4

Тема 6. Агрегатні і фазові стани полімерів	2	4
Тема 7. Реологія полімерних матеріалів	2	4
Тема 8. Розчини високомолекулярних сполук	2	4
Тема 9. Поліелектроліти	2	4
Тема 10. Методи дослідження та фракціонування полімерів	2	4
Тема 11. Ланцюгова полімеризація	2	4
Тема 12. Співполімеризація	2	4
Тема 13. Поліконденсація	2	4
Тема 14. Перетворення циклів у лінійні макромолекули	2	4
Тема 15. Хімічні перетворення полімерів	2	4
Тема 16. Деструкція і стабілізація полімерів	2	4
Тема 17. Окремі представники полімерів	2	4
Тема 18. Методи переробки полімерів у вироби	2	4
7-й семестр		
Тема 19. Визначення молекулярної маси полімерів методом віскозиметрії	4	8
Тема 20. Залежність модуля пружності полімерів від величини навантаження	3	8
Тема 21. Оцінка ступеню полідисперсності макромолекул	3	8
Тема 22. Іонообмінні властивості поліелектролітів сітчастої будови	5	12
Тема 23. Визначення констант дисоціації поліелектролітів методом рН-метричного титрування	5	12
Тема 24. Полімеризація і співполімеризація мономерів в масі в присутності ініціатора	6	14
Тема 25. Синтез полімерів методом поліконденсації	6	14
Разом	68	148

6. Індивідуальні завдання

Не передбачено навчальним планом.

7. Методи контролю

6-й семестр: Поточний контроль на лекціях. Виконання контрольної роботи.
Семестровий залік (письмова робота).

7-й семестр: Складання колоквиумів. Розв'язування задач.
Семестровий екзамєн (письмова робота).

Теми колоквиумів

1. Класифікація, синтез, хімічні перетворення, деструкція, стабілізація полімерів, окремі представники полімерів, переробка полімерів у вироби.
2. Молекулярні маси ВМС, конфігурації макромолекул, конфігураційна ізомерія, гнучкість макромолекулярного ланцюга, пружність полімерної сітки, агрегатні і фазові стани полімерів, фізичні стани аморфних полімерів, течія полімерних рідин, релаксаційні властивості, в'язкопружність полімерних систем, теорія рептацій, надмолекулярна організація полімерів в аморфному та кристалічному станах.
3. Розчини полімерів, поліелектроліти, іонообмінні процеси, методи дослідження та фракціонування полімерів.

При складанні колоквиуму студент має дати відповіді на теоретичні питання, що відносяться до тематики колоквиумів та розв'язати задачі (див. додаток).

8. Схема нарахування балів

6-й семестр

Поточний контроль	Контрольна робота	Семестровий залік (письмова робота)	Сума
15	25	60	100

7-й семестр

Виконання лабораторних робіт	Складання колоквіумів, розв'язування задач	Семестровий екзамен (письмова робота)	Сума
7 робіт × 2 бала <i>Разом: 14 балів</i>	Колоквіум 1: 15 Колоквіум 2: 15 Колоквіум 3: 16 <i>Разом: 46 балів</i>	40	100
30 балів допуск до іспиту		прохідний бал 20	

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка для чотирирівневої шкали оцінювання
90 – 100	відмінно
70 – 89	добре
50 – 69	задовільно
1 – 49	незадовільно

9. Рекомендована література

Основна література

1. Семчиков Ю. Д. Высокомолекулярные соединения. М.: Академия, 2003.
2. Говарикер В.Р., Висванатхан Н.В., Шридхар Дж. Полимеры / Пер. с англ. под ред. акад. В.Б. Кабанова. М.: Наука, 1990.
3. Сутягин В.М., Бондалетова Л.И. Химия и физика полимеров: Учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2003.
4. Киреев В.В. Высокомолекулярные соединения: Учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1992.
5. Хімія високомолекулярних сполук: навчальний посібник / І.К. Іщенко, Н.І. Гуляєва, Л.В. Мірошник, В.Д. Калугін, В.Д. Орлов. – Харків: ХНУ, 1998.

Допоміжна література

6. Гроссберг А.Ю., Хохлов А.Р. Физика в мире полимеров. М.: Наука, 1989.
7. Куренков В.Ф. Химия высокомолекулярных соединений. Конспект лекций. Казань: Редакция "Бутлеровские сообщения". 2004.
8. Тагер А.А. Физико-химия полимеров. 5-е изд., перераб. и доп. - М.: Химия, 2008.
9. Стrepихеев А.А., Деревицкая В.А. Основы химии высокомолекулярных соединений. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Химия, 1976.
10. Шур А.М. Высокомолекулярных соединения. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1981.
11. Оудиан Дж. Основы химии полимеров / Пер. с англ. М.: Мир, 1974.

10. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

Методичне забезпечення

- Інформація на сайті <http://chemo.univer.kharkov.ua/department/students.htm>
- Програма навчальної дисципліни.
- Підручники.
- Навчальні посібники.
- Описи лабораторних робіт.
- Набори контрольних питань для поточного контролю знань.
- Набори тестових питань для вхідного комп'ютерного контролю знань.
- Завдання для контрольної роботи.
- Екзаменаційні білети.

Критерії оцінювання навчальних досягнень студентів

— **«відмінно»** (90–100) – студент вільно орієнтується у матеріалі навчальної дисципліни, впевнено засвоїв основи фізичних та хімічних явищ, що розглядаються протягом курсу, логічно формулює відповіді на поставлені запитання, може висловлювати свою думку з приводу проблем що виникають, вільно орієнтується у рекомендованій літературі.

— **«добре»** (70–89) – студент орієнтується у матеріалі навчальної дисципліни, засвоїв основи фізичних та хімічних явищ, що розглядаються протягом курсу, логічно формулює відповіді на поставлені запитання але допускає деякі не грубі помилки, в цілому може висловлювати свою думку але робить це невпевнено, орієнтується у рекомендованій літературі.

— **«задовільно»** (50–69) – студент орієнтується не у всіх темах навчальної дисципліни, має уявлення щодо основ фізичних та хімічних явищ, що розглядаються, невпевнено та інколи невірно формулює відповіді на запитання, не досить логічно формулює відповідь, коли необхідно висловити свою думку з того чи іншого приводу, погано орієнтується у рекомендованій літературі.

— **«незадовільно»** (0–49) – студент не орієнтується у матеріалі навчальної дисципліни, не засвоїв основи фізичних та хімічних явищ, що розглядаються протягом курсу, нелогічно формулює відповіді на запитання, допускає грубі помилки, не може висловлювати свою думку з того чи іншого приводу, не орієнтується у рекомендованій літературі.

Теми лабораторних занять

1. Визначення молекулярної маси полімерів методом віскозиметрії.
2. Залежність модуля пружності полімерів від величини навантаження
3. Оцінка ступеню полідисперсності макромолекул
4. Іонообмінні властивості поліелектролітів сітчастої будови
5. Визначення констант дисоціації поліелектролітів методом рН-метричного титрування
6. Полімеризація і співполімеризація мономерів в масі в присутності ініціатора
7. Синтез полімерів методом поліконденсації

Колоквіум № 1. Варіант № 0. Сума балів 15. (Зразок)**1. (3 бали)**

Напишіть рівняння реакції утворення полімерів із таких мономерів:

- а) $\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_5-\text{NH}_2 + \text{Cl}(\text{O})\text{C}-(\text{CH}_2)_2-\text{C}(\text{O})\text{Cl}$,
- б) $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CN}$,
- в) $\text{HO}-(\text{CH}_2)_5-\text{COOH}$,
- г) $\text{HO}-\text{R}-\text{COOH} + \text{HO}-\text{R}'-\text{OH}$.

Класифікуйте реакції утворення полімерів.

2. (3 бали)

Одна з систем, що використовується для ініціації радикальної полімеризації є система гідропероксид кумолу – водний розчин солі Кобальту (ІІІ). Запишіть рівняння реакції утворення вільних радикалів у цій системі та реакції полімеризації метилметакрилату. Поясніть який спосіб проведення полімеризації (в масі, у розчині, суспензії, емульсії) варто використовувати у даному випадку.

3. (3 бали)

Охарактеризуйте критерії, що визначають тип механізму реакції полімеризації та вибір мономерів. Виясніть можливість утворення полімерів у присутності кислот Л'юїса з таких речовин: оцтова кислота, ацетилен, пропілен, ізопрен. Наведіть рівняння реакції та вкажіть механізм.

4. (3 бали)

Напишіть рівняння реакції синтезу полістіролу методом катіонної полімеризації у присутності сірчаної кислоти. Як зміниться ступінь полімеризації полімеру при збільшенні масової частки стирола у реакційному середовищі із 30% до 80%?

5. (3 бали)

Охарактеризуйте основні способи проведення полімеризації, порівняйте переваги та недоліки цих способів.

Колоквіум № 2. Варіант № 0. Сума балів 15. (Зразок)**1. (6 балів)**

Зразок полівінілацетату містить 25% макромолекул з молекулярною масою 100000 Да, 40 % макромолекул з молекулярною масою 200000 Да та 35 % макромолекул з молекулярною масою 300000 Да. *Розрахувати* середньочислову та середньовагову молекулярні маси. *Розрахувати* ступінь полідисперсності Шульца. Константи рівняння Марка-Куна-Хаувінка для розчину полівінілацетату в ацетоні при 25С становлять: $K = 1.02 \cdot 10^{-4}$; $\alpha = 0.72$. *Розрахуйте* характеристичну в'язкість цього розчину. Зобразіть графічно залежність характеристичної в'язкості розчину полівінілацетату в ацетоні від температури.

2. (3 бали)

Охарактеризуйте характер теплового руху макромолекул у склоподібному, високоеластичному, в'язкотекучому станах. Який зміст мають температури склування, розм'якшення та текучості і від яких головних факторів залежать?

3. (3 бали)

Охарактеризуйте модель вільно зчленованого ланцюга, поворотно-ізомерний та персистентний механізми гнучкості макромолекули.

4. (3 бали)

Для моделі вільно зчленованого ланцюга квадрат середньоквадратичної відстані між кінцями рівний $2000000 \cdot L^2$ (L – довжина ланки), середньочислова молекулярна маса 5600000. Знайдіть статистичний сегмент поліетилену.

Колоквіум № 3. Варіант № 0. Сума балів 16. (Зразок)**1. (3 бали)**

Назвіть два хороші та два погані розчинники для полівінілацетату. В якому розчиннику – хорошому чи поганому – характеристична в'язкість розчину полівінілацетату вище і чому?

2. (3 бали)

Який стан називають рідкокристалічним?

3. (3 бали)

Охарактеризуйте специфічні властивості поліелектролітів (поліоснов, полікислот, поліамфолітів).

4. (3 бали)

Який вигляд має залежність наведеної в'язкості розчину поліакрилової кислоти від рН в інтервалі $3 < \text{pH} < 10$. Відповідь поясніть.

5. (4 бали)

Деякий іоніт містить сульфогрупи у концентрації $5 \cdot 10^{-3}$ моль/г. Його використовують для вилучення іонів магнію з води. Розрахуйте, який об'єм води із вмістом іонів магнію 2.4 г/л можна очистити за допомогою 100 г катіоніту.

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Факультет хімічний
Спеціальність хімія
Семестр 7
Форма навчання денна
Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень): бакалавр

Навчальна дисципліна: Хімія високомолекулярних сполук

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 0 (ЗРАЗОК)

1. Охарактеризуйте особливості аніонної полімеризації та поясніть причини утворення «живих ланцюгів». Розгляньте кінетику аніонної полімеризації. Наведіть приклади реакцій. (10 балів)
2. Середні молекулярні маси полімерів. Криві молекулярно-масового розподілу. Визначте середньочислову та середньомасову молекулярні маси і ступінь полідисперсності полімеру, який містить 30% макромолекул з молекулярною масою 100000 Да, 20 % макромолекул з молекулярною масою 200000 Да та 50 % макромолекул з молекулярною масою 300000 Да. (10 балів)
3. Дайте визначення терміну θ -умови. Що таке θ -розчинник та θ -температура. Оцініть приблизно концентрацію, при досягненні якої розчини полістиролу у θ -розчиннику переходять межу розведений/напіврозведений (c^*), якщо середній квадрат відстані між кінцями макромолекулярного ланцюгу полістиролу становить 100 нм², а середньочислова молекулярна маса полістиролу дорівнює 10⁵ Да. (15 балів)
4. Наведіть приклади хімічних перетворень полімерів, що відбуваються без зміни ступеню полімеризації макромолекул. (5 балів)

Затверджено на засіданні кафедри хімічного матеріалознавства
протокол № __ від “__” _____ 201_ р.

Завідувач кафедри _____ О.І. Коробов
підпис

Екзаменатор _____ О.Д. Рошаль
підпис

Екзаменатор _____ А.Б. Захаров
підпис

Приклади контрольних питань і задач до колоквіумів

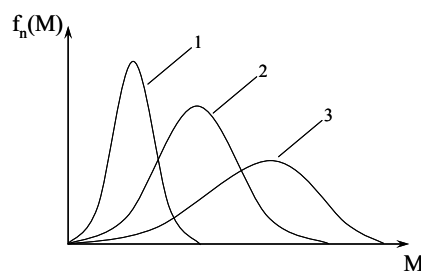
Колоквіум 1. Класифікація, синтез, хімічні перетворення, деструкція, стабілізація полімерів, окремі представники полімерів, переробка полімерів у виробі.

- Які (яке) твердження щодо поліетилентерефталату $-\text{O}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-\text{OC}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CO}-$ є правильними (правильним)?
 - простий полієфір,
 - лінійний полімер,
 - гомоцепний полімер,
 - елементоорганічний полімер.
- Напишіть рівняння реакцій утворення полімерів з таких мономерів:
 - $\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_5-\text{NH}_2$ та $\text{Cl}(\text{O})\text{C}-(\text{CH}_2)_2-\text{C}(\text{O})\text{Cl}$,
 - $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CN}$,
 - $\text{HO}-(\text{CH}_2)_5-\text{COOH}$,
 - $\text{HO}-\text{R}-\text{COOH} + \text{HO}-\text{R}'-\text{OH}$.
 Класифікуйте реакції утворення полімерів.
- Напишіть структурні формули таких полімерів: хлоропреновий каучук, поліамід-6, полівініловий спирт, полістирол.
- Виходячи з метану, синтезуйте полівінілхлорид, напишіть рівняння відповідних реакцій. Здійснення яких реакцій дозволить надати полівінілхлориду властивості поліелектроліту?
- Поліметилметакрилат (напишіть структурну формулу) синтезують радикальною полімеризацією в масі чи суспензії. Це – прозорий пластик, що за звичайних умов має кристалічну / аморфну / склоподібну / високоеластичну) структуру (обґрунтуйте свій вибір), добре розчиняється в таких розчинниках: _____ (обґрунтуйте свій вибір).
- З'ясуйте критерії вибору низькомолекулярних сполук (мономерів) і відповідних каталізаторів або ініціаторів одержання полімерів методом полімеризації серед наведених нижче сполук (мономерів і ініціаторів або каталізаторів), знайдіть системи, тобто мономер – каталізатор (ініціатор), здатні до створення полімерного ланцюга. Охарактеризуйте механізм і запишіть відповідні реакції: мономери – стирол, вінілбутиловий ефір, метилметакрилат, формальдегід, ізобутилен; каталізатори (ініціатори) – пероксид бензоїлу, трифторид бору, н-бутиллітій, сірчана кислота, амід натрію.
- Охарактеризуйте критерії, які визначають тип механізму реакцій полімеризації і вибір мономерів. З'ясуйте можливість утворення полімерів в присутності кислот Льюїса з таких речовин: оцтова кислота, ацетилен, пропілен, ізопрен. Наведіть відповідні рівняння реакцій і зазначте механізм.
- Ініціатори та інгібітори реакцій полімеризації. Принцип дії і параметри, які характеризують їх активність. З'ясуйте, в присутності яких із перелічених нижче сполук можна одержати поліметилметакрилат полімеризацією відповідного мономеру: а) кисень повітря; б) пероксид бензоїлу; в) н-бутиллітій; г) нітробензол; д) CuCl_2 , е) LiHSO_4 . Наведіть рівняння відповідних реакцій.
- Однією з ініціюючих радикальну полімеризацію систем є система гідропероксид кумолу – водний розчин солі кобальту(III). Запишіть рівняння реакції утворення вільних радикалів у цій системі та реакцію полімеризації метилметакрилату. Роз'ясніть, який спосіб проведення полімеризації (у масі, розчині, суспензійну, емульсійну полімеризацію) слід використати в цьому разі.
- Охарактеризуйте основні способи проведення радикальної полімеризації.
- Охарактеризуйте основні та побічні реакції, які відбуваються при полімеризації метилового ефіру метакрилової кислоти в хлороформному розчині.
- Визначте, яким буде відношення швидкостей реакцій полімеризації у розчинах, перший з яких містить стирол у концентрації 5 моль/л та перекис бензоїлу у концентрації 0.005 моль/л, а другий – стиролу концентрації 8 моль/л та перекис бензоїлу у концентрації 0.001 моль/л.
- Які компоненти входять до складу суміші для емульсійної полімеризації? Вкажіть позитивні та негативні риси цього способу проведення полімеризації у порівнянні з полімеризацією у масі та у розчині.

14. Охарактеризуйте особливості аніонної полімеризації та поясніть причини утворення „живих ланцюгів”. Розгляньте кінетику аніонної полімеризації.
15. Охарактеризуйте основні способи проведення іонної полімеризації.
16. Запропонуйте спосіб одержання стереорегулярного полі- α -метилстиролу, напишіть рівняння реакцій.
17. Напишіть рівняння реакції синтезу полістиролу методом катіонної полімеризації у присутності сульфатної(VI) кислоти. Як зміниться ступінь полімеризації полімеру при збільшенні масової частки стирулу у реакційному середовищі від 30 до 80 %?
18. Які способи добування прищеплених та блок-співполімерів вам відомі? Навести по два приклади синтезу прищеплених та блок-співполімерів.
19. Від яких чинників залежить склад співполімеру при радикальній співполімеризації?
20. Поліконденсація: поняття, приклади реакцій (рівняння), типи поліконденсації.
21. Лінійна поліконденсація: каталізatori і термодинамічні аспекти поліконденсації.
22. Основні чинники, що впливають на ступінь полімеризації при поліконденсації.
23. Причини низького ступеню полімеризації продуктів поліконденсації.
24. Проаналізуйте можливість утворення циклів при поліконденсації таких мономерів.
25. Наведіть приклади хімічних перетворень полімерів, що відбуваються без зміни ступеню полімеризації макромолекул.
26. Як деполімеризуються при термічній деструкції такі полімери: полі- α -метилстирол, політетрафторетилен, поліметилметакрилат? Наведіть, якщо можливо, рівняння відповідних хімічних реакцій.
27. Типи хімічних перетворень, що відбуваються зі зменшенням ступеню полімеризації полімеру.
28. Охарактеризуйте основні способи переробки у виробі термопластичних полімерів.
29. Охарактеризуйте основні способи одержання виробів із термореактивних полімерів.
30. Охарактеризуйте основні способи переробки у виробі волокнуутворюючих полімерів.

Колоквіум 2. Молекулярні маси ВМС, конфігурації макромолекул, конфігураційна ізомерія, гнучкість макромолекулярного ланцюга, пружність полімерної сітки, агрегатні і фазові стани полімерів, фізичні стани аморфних полімерів, течія полімерних рідин, релаксаційні властивості, в'язкопружність полімерних систем, теорія рептацій, надмолекулярна організація полімерів в аморфному та кристалічному станах.

1. Поняття молекулярної маси полімерів у порівнянні з молекулярною масою низькомолекулярних сполук.
2. Поняття середньочислової та середньовагової молекулярних мас та зв'язок між ними.
3. Фракціонування полімерів за молекулярними масами.
4. Методи визначення величин $\bar{M}_w$, $\bar{M}_n$, $\bar{M}_\eta$. Причини відмінності цих молекулярних мас.
5. При дослідженні продукту поліконденсації тетраметилендіаміну та адипінової кислоти знайшли, що вміст кінцевих карбоксильних груп у полімері становить $1 \cdot 10^{-4}$ моль/г. Розрахуйте середньочислову молекулярну масу та ступінь полімеризації.
6. Розрахуйте значення величин $\bar{M}_n$ і $\bar{M}_w$ суміші полімерів, яка містить 1 г полімеру з молекулярною масою 10^4 Да і 1г полімеру з молекулярною масою 10^6 Да.
7. Визначте середньочислову та середньовагову молекулярні маси і ступінь полідисперсності полімеру, який містить 30% макромолекул з молекулярною масою 100000 Да, 20 % макромолекул з молекулярною масою 200000 Да та 50 % макромолекул з молекулярною масою 300000 Да.
8. Запропонуйте два способи розділення на фракції з різними молекулярними масами зразку полістиролу.
9. Числові функції молекулярно-масового розподілу ($f_n(M)$) трьох зразків полімерів мають такий вид:



З'ясуйте, в якому співвідношенні знаходяться середньомасові молекулярні маси. Відповідь обґрунтуйте.

10. Охарактеризуйте конфігураційну ізомерію полімерів, наведіть відповідні приклади.
11. Конфігураційні ізомери полімерів. Поняття конфігурації і конформації. Які існують відмінності між ними?
12. Наведіть приклади (структурні формули) конфігураційних ізомерів макромолекул стереорегулярного полібутадієну-1,3.
13. Особливості конфігураційної ізомерії полімерів.
14. Охарактеризуйте модель вільнозчленованого ланцюга, поворотно-ізомерний та персистентний механізми гнучкості макромолекули.
15. Виведіть „правило квадратного кореня”.
16. Роз'ясніть, який фізичний сенс має поняття “виключений об'єм”.
Охарактеризуйте чинники, що впливають на кінетичну гнучкість макромолекул.
17. Проаналізуйте, чи існує взаємний зв'язок між гнучкістю макромолекул і величиною сегменту.
18. Обговоріть теорему Флорі та її значення.
19. Охарактеризуйте характер теплового руху макромолекул у склоподібному, високоеластичному, в'язкотекучому станах. Який зміст мають температури склування, розм'якшення та текучості і від яких головних факторів залежать?
20. Назвіть умови, за яких відбувається кристалізація полімерів.
21. Що таке ступінь кристалічності і як його можна визначити?
22. Роз'ясніть, у чому пружна і високоеластична деформації подібні, а які риси їх відрізняють.
23. Які експериментальні факти свідчать про ентропійну природу високоеластичної деформації?
24. Які фактори впливають на температурний інтервал існування високоеластичного стану полімерів.
25. Роз'ясніть сутність високоеластичності з позицій термодинамічної теорії, наведіть необхідні викладки.
26. Роз'ясніть сутність високоеластичності з позицій статистичної теорії, наведіть необхідні викладки.
27. Охарактеризуйте чинники, що визначають температуру склування.
28. Охарактеризуйте характер і природу релаксаційних явищ при деформації полімерів.

Колоквіум 3. Розчини полімерів, поліелектроліти, іонообмінні процеси, методи дослідження та фракціонування полімерів.

1. Охарактеризуйте особливості розчинення полімерів.
2. Назвіть параметри, за допомогою яких можна оцінити термодинамічну якість розчинника для ВМС. З'ясуйте їх фізичний сенс.
3. Особливості розведених розчинів ВМС у співставленні з розчинами низькомолекулярних сполук.
4. Який фізичний зміст має поняття «виключений об'єм» для окремої макромолекули та розчину полімеру і як воно використовується для класифікації розчинників?
5. За якою ознакою поділяють розчинники на погані та добрі? Дайте відповідь, враховуючи стан макромолекул у розчинах.
6. Другий віріальний коефіцієнт, його експериментальне визначення. Поясніть, чому для розчинів полімерів можливі тета-умови, та наведіть необхідні викладки.

7. Який вид мають залежності наведених в'язкостей водного розчину поліметакрилової кислоти та бензольного розчину полістиролу від концентрації полімерів? Відповіді поясніть.
8. Оцініть приблизно концентрацію, при досягненні якої розчини полістиролу у θ -розчиннику переходять межу розведений/напіврозведений (c^*), якщо середній квадрат відстані між кінцями макромолекулярного ланцюгу полістиролу становить 100 нм^2 , а середньочислова молекулярна маса полістиролу дорівнює $100 \cdot 10^3 \text{ Да}$.
9. Підберіть два хороші та два погані розчинники для поліетилену.
10. Роз'ясніть, віскозиметричне дослідження розчинів в якому з розчинників – хорошому чи поганому – більш прийнятне для визначення молекулярної маси полімеру.
11. Що можна сказати про конформацію, виключений об'єм макромолекул та θ -температуру, виходячи із значень параметру α рівняння Марка-Куна-Хаувінка для поданих нижче систем полімер-розчинник при 30°C ?

Полімер	Розчинник	α
тринітрат целюлози	етилацетат	1.0
поліакрилова кислота	діоксан	0.5
поліетилентерефталат	фенол+трихлорфенол	0.47
полівінілацетат	метанол	0.6
12. Концентровані розчини ВМС. Пластифікатори, їх класифікація.
13. Драглі та їх класифікація. Схожі риси та відмінність драглів від концентрованих розчинів полімерів.
14. Який стан називають рідкокристалічним?
15. Поліелектроліти: поняття, класифікація. Приклади хімічних формул елементарних ланок різних типів (за класифікацією) поліелектролітів.
16. Охарактеризуйте специфічні властивості поліелектролітів (поліоснов, полікислот, поліамфолітів).
17. Типи конформацій поліелектролітів в розчинах. Методи (експериментальні) їх визначення.
18. Обговоріть особливості іонізаційних рівноваг у розчині полівініламіну. Яки зміст має «характеристична константа»? Запропонуйте спосіб експериментального визначення характеристичної константи протонізації аміногруп полівініламіну.
19. Методом рН-метричного титрування досліджували водні розчини пропіонової кислоти та поліакрилової кислоти і визначали константи дисоціації кислот. Для обох об'єктів зобразіть графічно залежність pK_a карбоксигруп від ступіня дисоціації груп α , відповідь обґрунтуйте. Для якого з об'єктів pK_a буде вище при $\alpha=0.5$, якщо при $\alpha \rightarrow 0$ константи збігаються?
20. Головні фізико-хімічні характеристики іонітів. Навести приклади сильно- та слабоосновних аніонітів та роз'яснити, як буде змінюватися їх обмінна ємність при зміні рН розчину.
21. Іонообмінні рівноваги за участю іонітів (приклади реакцій). Рівняння Нікольського.
22. Катіоніт сульфовугілля містить сульфогрупи у концентрації $3.5 \cdot 10^{-3} \text{ моль/г}$. Його використовують для вилучення іонів кальцію з води. Розрахуйте, який об'єм води із вмістом $\text{Ca } 2 \text{ г/л}$ можна очистити за допомогою 1 кг катіоніту.