

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ  
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА



**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Проректорка з наукової роботи

Ганна ТОЛСТАНОВА

05

2021 р.


**ПРОГРАМА  
ВСТУПНОГО ВИПРОБУВАННЯ  
ДО АСПРАНТУРИ (АД'ЮНКТУРИ)  
ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 102 ХІМІЯ**  
на здобуття ступеня доктора філософії  
(третій (освітньо-науковий) рівень вищої освіти)

ГАЛУЗЬ ЗНАНЬ 10 ПРИРОДНИЧІ НАУКИ  
ОСВІТНЬО-НАУКОВА ПРОГРАМА «ХІМІЯ»

Київ – 2021

### Розробники програми:

1. Воловенко Юліан Михайлович, декан хімічного факультету, доктор хімічних наук, професор
2. Слободяник Микола Семенович, завідувач кафедри неорганічної хімії, член кор. НАН України, професор,
3. Хиля Володимир Петрович, завідувач кафедри органічної хімії, член кор. НАН України, професор,
4. Фрицький Ігор Олегович, завідувач кафедри фізичної хімії, доктор хімічних наук, професор
5. Савченко Ірина Олександрівна, завідувачка кафедри хімії високомолекулярних сполук, доктор хімічних наук, професор
6. Тананайко Оксана Юріївна, завідувачка кафедри аналітичної хімії, кандидат хімічних наук, доцент

УХВАЛЕНО Вченою радою хімічного факультету «\_29\_» \_березня\_ 2021 р.,  
протокол №\_12\_  
Голова вченої ради хімічного факультету  Ю.М. Воловенко

Гарант освітньо-наукової програми  В.Г. Пивоваренко

# 1. НЕОРГАНІЧНА ХІМІЯ

## 1. Загальна хімія

**Основні поняття та закони хімії.** Атомно-молекулярна теорія. Хімічний елемент, проста речовина і хімічна сполука. Атомна та молекулярна маси, способи їх визначення. Формульна маса. Визначення хімічних формул. Молекулярні та структурні формули. Розміри атомів, молекул і кристалів.

**Спроби систематики хімічних елементів** (Деберейнер, де Шанкуртуа, Ньюлендс, Л.Мейєр). Відкриття періодичного закону Д.І. Менделєєвим (1869 р.). Зміст періодичного закону. Періодична система елементів та її структурні одиниці. Головні та побічні підгрупи.

**Будова атома.** Електрони та їх практичне використання. Визначення масових чисел. X-гау промені. Закон Мозлі. Радіоактивність. Теорія радіоактивного розпаду Резерфорда - Содді. Закон Содді - Фаянса. Розвиток уявлень про будову атома. Ядро та його заряд. Нуклони. Будова ядра. Ізотопи, ізобари, ізотони. Поширеність хімічних елементів. Енергетичний рівень підрівень, електронний шар, орбіталь. Квантові числа. Просторова інтерпретація атомних орбіталей. Максимальна ємність електронних оболонок. Основні принципи заселення атомних орбіталей. Принцип Паулі. Правило Гунда. Електронні формули. Розвиток періодичного закону Д.І. Менделєєва.

**Хімічний зв'язок.** Уявлення про валентність та хімічний зв'язок. Іонний зв'язок. Електронегативність та ступінь окиснення. Іонізаційний потенціал. Спорідненість до електрона. Ненаправленість та ненасиченість електровалентних зв'язків.

**Ковалентний зв'язок.** Метод валентних зв'язків (ВЗ). Основні положення методу (ВЗ). Направленість і насиченість ковалентного зв'язку. Полярний зв'язок. Дипольний момент. Полярність молекул. Ефективний заряд атомів у полярних сполуках. Поняття про метод молекулярних орбіталей (МО). Основні положення методу МО. Метод МО ЛКАО.  $\sigma$ -,  $\pi$ - та  $\delta$ - зв'язки. Кратні зв'язки. Зв'язуючі, незв'язуючі та розрихляючі орбіталі. Будова найпростіших молекул з позиції МО. Поняття про гібридизацію орбіталей. Типи гібридизації. Координаційний та дативний зв'язки як форми ковалентного зв'язку. Багатоцентрові зв'язки. Водневий зв'язок. Внутрішньо- та міжмолекулярний водневий зв'язок. Типи кристалічних

ґраток. Металічний зв'язок. Валентність і металічний зв'язок. Будова речовини з металічним типом зв'язку.

**Енергетика хімічних реакцій.** Закон Гесса. Ентропія. Швидкість хімічних реакцій. Закон діючих мас. Енергія активації. Ланцюгові реакції. Каталіз. Хімічна рівновага. Вплив зовнішніх факторів на хімічну рівновагу. Принцип Ле-Шательє.

**Розчини.** Процес розчинення. Ненасичені, насичені та пересичені розчини. Азеотропні суміші. Коефіцієнт розчинності. Перекристалізація як метод очистки речовин. Осмотичний тиск. Закон Вант-Гоффа. Осмос у природі. Пружність пари над розчинами. Закон Рауля. Зменшення температури замерзання та підвищення температури кипіння розчинів. Кріоскопія та ебуліоскопія.

**Хімічні властивості розчинів.** Теорія електролітичної дисоціації. Ступінь дисоціації, константа дисоціації. Властивості розчинів сильних електролітів. Добуток розчинності. Дисоціація води. Водневий показник. Гідроліз солей. Ступінь та константа гідролізу.

**Класифікація хімічних реакцій.** Окисно-відновні реакції. Окисники та відновники. Рівняння окисно-відновних реакцій. Окисно-відновні потенціали. Ряд напруг та його наукове обґрунтування. Практичне використання окисно-відновних реакцій.

## **2. Властивості елементів основних підгруп (s-, p-елементів та їх сполук).**

**Загальна характеристика елементів сьомої групи.** Поширеність у природі. Основні мінерали. Одержання простих речовин, фізичні й токсикологічні властивості галогенів. Хімічні властивості галогенів. Класифікація галогенних сполук. Галогеніди сольового, основного, амфотерного, кислотного та несольового типів. Галогеноводні, їх фізичні та хімічні властивості. Одержання галогеноводнів. Галогеноводневі кислоти та їх солі. Техніка безпеки при роботі з галогенами та їх похідними. Кисневі сполуки галогенів. Кисневмісні кислоти галогенів, їх властивості, добування та застосування. Солі кисневмісних кислот галогенів, їх практичне застосування. Порівняльна характеристика стійкості та властивостей оксидів та кисневмісних кислот.

**Загальна характеристика елементів шості групи.** Поширеність і знаходження халькогенів у природі (самородна сірка, сульфати, халькогеніди

металів, полісульфідні руди). Добування сірки, селену та телуру. Фізичні властивості та застосування халькогенів. Хімічні властивості халькогенів. Халькогеноводневі кислоти та їх солі. Гідросульфідні та полісульфідні халькогеніди як відновники. Класифікація бінарних сірковмісних сполук. Галогенні сполуки халькогенів. Тіоангідриди. Тіокислоти та їх солі. Застосування халькогенідів у хімічному аналізі. Використання халькогенідів у напівпровідниковій техніці. Діоксиди халькогенідів, їх одержання та властивості. Сульфіти, тіо(селено)-сульфати та політіонати.

Оксиди халькогенідів (VI), їх одержання. Сульфатна кислота, її одержання, властивості та застосування. Олеум. Сульфати, їх термічна стійкість. Полісульфати. Пероксосульфатні кислоти та їх солі. Одержання селенатної та телуратної кислоти.

**Загальна характеристика елементів п'ятої групи.** Азот. Поширеність та кругообіг у природі. Будова молекули азоту з позиції методу ВЗ та МО. Застосування та властивості азоту. Методи зв'язування атмосферного азоту. Аміак. Солі амонію, їх термічна стійкість. Гідроліз солей амонію. Амоніак як ліганд. Нітриди та амідні як похідні амоніаку. Гідразин та гідроксиламін. Одержання, властивості. Солі гідразонію. Азидоводень та азидна кислота. Азиди. Галогеніди азоту, їх властивості.

Оксиди азоту. Оксид азоту (I). Одержання, властивості, застосування. Монооксид азоту та його властивості. Одержання оксиду азоту (II) з повітря та амоніаку. Оксид азоту (III). Нітритна кислота. Нітрити та їх властивості. Азотна кислота та методи її одержання. Властивості азотної кислоти. Застосування азотної кислоти. Нітрати, їх властивості, термічна стійкість та практичне значення.

Фосфор. Поширеність фосфору та форми його знаходження у природі. Алотропні видозміни фосфору. Властивості фосфору, його застосування. Галогеніди фосфору. Оксиди фосфору, будова, одержання, властивості. Гіпофосфітна кислота та її солі. Фосфітна кислота. Фосфатні кислоти (мета-, орто-, полімета-, ізополі-, гетерополі-), їх будова, одержання та властивості. Мета- й ортофосфати, подвійні фосфати. Практичне значення фосфатів. Роль сполук фосфору в біологічних процесах.

Підгрупа арсену. Знаходження у природі. Одержання простих речовин, їх фізичні та хімічні властивості. Оксиди та гідроксиди елементів (III), їх солі. Оксиди

елементів підгрупи арсену (V). Арсенати, стибати та бісмутати, їх одержання та властивості. Сульфід едементів підгрупи арсену.

**Загальна характеристика елементів четвертої групи.** Вуглець. Знаходження у природі, поширеність у органічному та неорганічному світі. Особливість електронної будови атома вуглецю, що зумовлює здатність утворення зв'язків вуглець-вуглець різної кратності та зв'язків його з іншими елементами. Алотропія (алмаз, графіт, карбін, фулерени). Аморфний вуглець. Застосування алмазів, графіту й сажі. Хімічні властивості вуглецю. Карбоніли. Карбонатна кислота та її солі.

Силіцій. Роль силіцію в будові земної кори. Основні силіційвмісні мінерали - кварц, силікати. Одержання силіцію, його фізичні та хімічні властивості. Напівпровідникові властивості силіцію. Сполуки силіцію з металами та неметалами. Силіциди. Сполуки силіцію з вуглецем, сіркою та азотом. Оксиди силіцію. Силікатна кислота та її солі.

Підгрупа германію. Поширеність у природі. Мінерали стануму та плюмбуму. Одержання германію, його фізичні та хімічні властивості. Германій у напівпровідниковій техніці. Одержання стануму та плюмбуму. Практичне значення їх сполук. Хімічні властивості елементів підгрупи германію. Оксиди й гідроксиди. Солі германію, стануму та плюмбуму. Кисотно-основні та окисно-відновні властивості сполук елементів (II) та (IV) підгрупи германію. Свинцевий акумулятор. Галогеніди та сульфід едементів підгрупи германію.

**Загальна характеристика елементів третьої групи.** Одержання бору, взаємодія його з металами та неметалами. Бориди. Борати, їх одержання, будова та властивості. Нітрид бору. Боразон та "біла сажа". Сполуки з вуглецем та силіцієм. Галогеніди бору. Боратні кислоти та їх солі, одержання, властивості. Застосування сполук бору.

Алюміній, його поширеність у природі. Корунд, штучні рубіни. Одержання алюмінію, його фізичні та хімічні властивості, застосування. Гідроксид алюмінію, алюмінати, солі алюмінію. Природні та штучні алюмосилікати. Цеоліти та їх використання як молекулярних сит. Галогеніди алюмінію. Гідрид та нітрид алюмінію.

Поширеність елементів підгрупи галію у природі. Одержання металів. Їх фізичні та хімічні властивості. Амфотерність їх оксидів та гідроксидів.

**Загальна характеристика елементів другої групи.** Берилій та магній. Поширеність у природі, основні мінерали. Одержання, фізичні та хімічні властивості металів та їх сполук. Лужноземельні метали. Знаходження у природі, основні мінерали. Одержання металів, їх фізичні та хімічні властивості, застосування. Оксиди та гідроксиди. Розчинні та нерозчинні солі. Зміна термічної стійкості солей в ряду лужноземельних металів. Галогеніди лужноземельних металів.

**Загальна характеристика елементів першої групи.** Лужні метали, їх одержання, фізичні, хімічні властивості та застосування. Оксиди, гідроксиди, пероксиди та озоніди.

**Загальна характеристика елементів восьмої групи.** Інертні газы. Історія їх відкриття. Знаходження у природі, методи виділення. Фізичні властивості газів, їх практичне використання. Відкриття сполук інертних газів. Фториди ксенону, криптону та радону. Триоксид ксенону. Окисні властивості сполук інертних елементів.

### **3. Хімія перехідних елементів.**

**Підгрупа мангану.** Поширеність у природі. Одержання простих речовин. Хімічні властивості елементів підгрупи мангану. Оксиди та гідроксиди мангану, технецію та ренію. Їх одержання та властивості. Окисно-відновні властивості сполук мангану та ренію (IV), (VI) та (VII).

**Підгрупа хрому.** Її загальна характеристика. Мінерали та руди хрому, молібдену та вольфраму. Прості речовини, їх фізичні та хімічні властивості, застосування. Сполуки хрому, молібдену та вольфраму нижчих ступенів окиснення. Оксид, гідроксид та солі хрому (II), їх відновні властивості. Оксид та гідроксид хрому (III), хроміти. Триоксиди елементів підгрупи хрому. Хромати, молібдати та вольфрамати, ізо-, гетерополікислоти та їх солі; одержання, властивості, застосування. Сполуки зі ступенями окиснення 4+ та 5+. Одержання та властивості. Вольфрамові бронзи та молібденові сині. Пероксидні сполуки елементів підгрупи хрому. Галогеніди елементів підгрупи хрому. Одержання, властивості, застосування. Оксогалогеніди.

**Підгрупа ванадію.** Поширеність сполук елементів ванадію у природі. Мінерали ніобію та танталу. Одержання та розділення металів підгрупи ванадію, їх фізичні властивості та застосування. Хімічні властивості ванадію, ніобію та танталу. Оксиди, гідроксиди та солі ванадію (II) та (III). Оксиди елементів (V). Ванадати, ніобати, танталати, одержання та властивості. Галогеніди елементів підгрупи ванадію, їх хімічні властивості.

**Підгрупа титану.** Поширеність у природі та основні мінерали. Одержання та розділення титану, цирконію та гафнію. Їх очистка методом зонної плавки та йодидного рафінування. Застосування металічних титану, цирконію, гафнію та сплавів на їх основі. Хімічні властивості елементів підгрупи титану. Діоксиди та гідроксиди, зміна кислотно-основних властивостей. Титанати, цирконати та гафнати, їх одержання. Галогеніди елементів підгрупи титану, їх одержання, властивості та застосування.

**Рідкоземельні елементи.** Їх загальна характеристика, поширеність у земній корі. Одержання металів, їх фізичні властивості. Класифікація лантаноїдів. Лантаноїдне стиснення. Хімічні властивості рідкісноземельних елементів. Оксиди та гідроксиди. Солі простих кисневмісних кислот. Прості та комплексні солі. Леткі сполуки РЗЕ. Практичне використання рідкоземельних елементів та їх сполук.

**Актиноїди.** Їх загальна характеристика. Одержання торію, протактинію, урану, нептунію, плутонію та їх найважливіших сполук. Сполуки актиноїдів зі ступенями окиснення +2, +3, +4, +6, та +7.

**Елементи підгрупи цинку.** Їх загальна характеристика, поширеність у природі, основні мінерали. Одержання металів, їх фізичні властивості та застосування. Оксиди, гідроксиди, солі, їх хімічні властивості. Комплексоутворююча здатність металів підгрупи цинку.

**Підгрупа міді.** Поширеність у природі, основні мінерали. Металургія міді, срібла та золота. Фізичні властивості металів. Застосування металів та їх сполук. Хімічні властивості елементів підгрупи міді. Зміна характерних ступенів окиснення в підгрупі. Оксиди та гідроксиди елементів підгрупи міді. Галогеніди. Солі міді та срібла кисневмісних кислот. Сполуки міді та її аналогів зі ступенями окиснення +1, +2, +3.



**Підгрупа заліза.** Поширеність у природі, основні мінерали, одержання чавуну та сталі. Переробка чавуну на сталь та ковке залізо. Одержання кобальту та нікелю при переробці сульфідних руд. Фізичні властивості та застосування металів родини заліза. Сполуки металів (II). Оксиди та гідроксиди, їх властивості. Солі та їх властивості. Сполуки металів (III). Оксиди та гідроксиди. Ферити та ферати, їх одержання та властивості. Роль заліза в біологічних процесах. Застосування сполук елементів родини заліза.

**Платинові метали.** Їх поширеність, одержання та застосування. Розділення платиноїдів. Фізичні та хімічні властивості платиноїдів. Сполуки платиноїдів з різними ступенями окиснення, їх одержання та властивості.

## 2. АНАЛІТИЧНА ХІМІЯ

Предмет і завдання аналітичної хімії, її значення в системі природничих наук, у народному господарстві та в охороні об'єктів навколишнього середовища. Види аналізу за природою речовини, що аналізується. Хімічні, фізико-хімічні, фізичні й біологічні методи аналізу.

Хімічна рівновага в гомогенних і гетерогенних системах. Кислотно-основні реакції, реакції окиснення-відновлення, комплексоутворення й осадження в аналізі. Константи рівноваги у гомогенних і гетерогенних системах: термодинамічні, концентраційні, умовні константи, їх загальна характеристика. Розрахунки рН у розчинах кислот, основ і солей. Буферні розчини. Розчини амфолітів. Вплив неводних розчинників на протолітичні рівноваги кислот, основ, солей. Основи неводного титрування.

Електродні потенціали. Рівняння Нернста. Стандартні й реальні потенціали. Константа рівноваги окисно-відновної реакції, напрямок реакцій. Вплив конкурентних реакцій, осадження, комплексоутворення та рН розчину на окисно-відновний потенціал.

Комплексні сполуки в аналізі. Константа стійкості комплексних сполук. Комплекси металів з органічними й неорганічними лігандами. Внутрішньокomплексні та хелатні сполуки. Циклоутворення. Іонні асоціати. Комплекси іонів металів з макроциклічними лігандами. Комплекси іонів металів з кисневмісними, азотовмісними та сірковмісними лігандами, їх застосування в аналізі. Реакції маскування та демаскування в аналізі.

Метрологічні основи аналізу. Похибки, правильність і точність аналізу. Методи оцінки правильності: використання стандартних зразків, метод добавок, зіставлення з іншими методами аналізу. Статистичні критерії перевірки гіпотез, їх застосування для оцінки правильності. Помилки першого та другого роду. Критерії точності: дисперсія, стандартне відхилення, відносне стандартне відхилення вибіркової сукупності результатів хімічного аналізу, розмах вибірки. Довірчий інтервал. Основи дисперсійного та регресивного аналізу. Характеристика чутливості методів аналізу. Межа виявлення та межа кількісного визначення. Способи їх розрахунку.

Нижня і верхня границі визначуваних концентрацій

Хімічні та фізико-хімічні методи аналізу. Гравіметрія. Співосадження. Електрогравіметрія. Основи методу. Титриметричні методи аналізу. Індикатори кислотно-основного та окисно-відновного титрування. Методи аргентометрії та їх застосування для визначення гілогенід- іонів. Комплексонометрія. Металохромні індикатори. Особливості застосування комплексонометрії для визначення іонів металів.

Електрохімічні методи аналізу. Потенціометрія і потенціометричне титрування. Індикаторні електроди першого і другого роду, електроди порівняння. Іон-селективні електроди. Електроди зі скляними, твердими та рідкими мембранами. Рівняння Нікольського. Поняття про коефіцієнт селективності іон-селективного електроду. Особливості застосування іонометрії в аналізі.

Вольтамперометрія. Основи методу, види вольтамперометрії в залежності від способів розгортки потенціалу. Полярографічний аналіз. Полярографічна хвиля, її характеристика та особливості. Залишковий, дифузійний та граничний дифузійний струми. Полярографічні максимуми та фактори, що впливають на них. Особливості застосування твердих електродів в аналізі. Вольтамперометрія органічних сполук. Амперометричне титрування. Види кривих амперметричного титрування. Амперометричне титрування з двома індикаторними електродами. Кулонометрія, основи методу. Пряма кулонометрія при постійному потенціалі, види кулонометрів. Кулонометричне титрування. Особливості методу. Кондуктометрія. Области застосування кондуктометричного титрування.

Методи молекулярної спектроскопії. Оптичні методи аналізу. Закон Бугера-Ламберта-Бера. Молярний коефіцієнт поглинання. Фізичні та хімічні причини відхилення від закону Бера. Спектри поглинання, їх природа та характеристика. Особливості застосування спектрофотометрії в УФ та видимій області в аналізі

органічних та неорганічних сполук. Загальне поняття про основні класи фотометричних аналітичних реагентів. ІЧ- спектроскопія та її застосування в аналізі органічних сполук. Загальна характеристика ІЧ- спектроскопії у ближній області.

Флуоресцентні методи аналізу. Діаграма Яблонського. Спектри збудження, люмінесценції, фосфоресценції. Закони флуоресценції. Основні класи органічних аналітичних реагентів, що застосовуються у флуоресцентних методах аналізу. Хемілюмінесценція в аналізі. Кінетичні методи аналізу.

Сорбційно-люмінесцентні та сорбційно- флуоресцентні методи аналізу.

Фізичні методи аналізу. Збудження внутрішніх і зовнішніх валентних електронів. Емісійний спектральний аналіз. Джерела й характер збудження спектрів. Фотометрія полум'я. Джерела збудження і процеси, які відбуваються у полум'ї. Атомно-абсорбційний аналіз. Джерела збудження і джерела первинного випромінювання. Атомізатори. Горючі суміші. Хімічні процеси у полум'ї. Рентген-флуоресцентний аналіз. Джерела і механізми збудження внутрішніх електронів. Особливості застосування атомно- емісійної спектроскопії в аналізі. Оже- та фотоелектронна спектроскопія. Загальна характеристика, області застосування в аналізі.

Методи мас спектроскопії. Основи методу, способи іонізації органічних та неорганічних речовин. Типи мас аналізаторів. Хромато-мас-спектрометрія. Области застосування мас спектроскопії в аналізі.

Методи термічного аналізу. Загальна характеристика, області застосування. Застосування термічних методів у фазовому аналізі.

Методи мікроскопії. Мікроскопія у видимому світлі, електронна, атомна скануючи мікроскопія, просвічуюча електронна мікроскопія. Тунельна та атомно-силова мікроскопія. Загальна характеристика методів, області застосування.

Концентрування в аналізі традиційних об'єктів аналізу, продуктів харчування, у контролі якості лікарських засобів та об'єктів навколишнього середовища. Поєднання концентрування з методами визначення: комбіновані і гібридні методи аналізу. Концентрування в аналітичному циклі. Загальні кількісні характеристики методів концентрування. Характеристики концентрування у двофазних системах. Класифікація методів концентрування.

Механізми сорбційного концентрування. Основні типи взаємодій «сорбент-сорбат». Статичні та динамічні методи сорбційного концентрування. Вимоги до сорбентів. Кількісні характеристики сорбційного концентрування. Характеристики

сорбентів. Техніка сорбційного концентрування. Зовнішньодифузійна та внутрішньодифузійна кінетика сорбційних рівноваг. Основні типи сорбентів. Органічні іоніти, їх класифікація та властивості. Матриця органічних іонітів. Селективність розділення іонів за допомогою органічних іонітів. Неорганічні іонообмінники. Комплексоутворюючі сорбенти: сорбенти з прищепленими групами на полімерній основі та неорганічній матриці, полімерні гетероланцюгові сорбенти, сорбенти з нековалентною модифікацією комплексоутворюючими реагентами.

Основні типи екстракційних систем, використання екстракції в аналітичній хімії. Класифікація екстракційних систем. Реакційна екстракція. Фундаментальні закони екстракції. Загальні кількісні характеристики екстракції. Рівновага екстракційної системи, її критерії. Швидкість та режим екстракції. Механізми екстракції. Способи проведення екстракції. Хімізм екстракції внутрішньокмлексних сполук. Рівняння Кольтгофа-Сендела. Вплив природи органічного розчинника на екстракцію внутрішньокмлексних сполук. Екстракція координаційно насичених та ненасичених комплексів. Вибірковість розділення металів при екстракції внутрішньокмлексних сполук. Обмінна екстракція.

Хроматографічні методи аналізу. Класифікація хроматографічних методів за хімізмом взаємодії у системі "сорбент-сорбат" та за технікою виконання експерименту. Теоретичні основи лінійної неідеальної хроматографії. Основи рідинної та газової хроматографії. Тонкошарова хроматографія. Іонообмінна хроматографія. Адсорбційна хроматографія. Електрокінетична хроматографія. Модифіковані сорбенти та їх використання в аналізі.

Аналіз продукції металургійного виробництва. Особливості аналізу об'єктів природного середовища — води, повітря і ґрунтів. Особливості аналізу лікарських засобів. Основи фармацевтичного аналізу. Особливості аналізу харчових продуктів. Особливості аналізу біологічних об'єктів: визначення білків, амінокислот, ліпідів, вуглеводів, нуклеїнової кислот. Поняття про біосенсори на основі іммобілізованих ферментів, антитіл/антигенів, нуклеїнових кислот.

Аналітична хімія елементів: лужно-земельні, перехідні, важкі метали, РЗЕ, неметали.

### **3. ОРГАНІЧНА ХІМІЯ**

## 1. Загальні положення

1.1. Предмет органічної хімії. Унікальні властивості Карбону, що є причиною розгляду його сполук в окремій галузі хімії. Різноманітність класів і безмежне число органічних сполук.

Джерела органічної сировини. Методи вилучення, очищення та ідентифікації органічних сполук. Принципи кількісного елементного аналізу, визначення молекулярної формули сполуки.

Органічні речовини і життя. Значення органічних речовин у практичній діяльності людини.

1.2. Основні поняття органічної хімії. Гомологічні ряди. Формування та основні положення теорії будови органічних сполук. Валентність і координаційне число. Основні типи структурних фрагментів органічних молекул: прості й кратні зв'язки, карбонові ланцюги і цикли, радикали та функціональні групи. Ряди і класи органічних сполук.

Типи хімічних формул: емпіричні, структурні, скорочені, бруто-формули, формули просторової будови. Структурні формули як засіб відображення будови органічних сполук. Структурна ізомерія та її різновиди. Просторова ізомерія. Молекулярні моделі. Комп'ютерні програми для візуалізації хімічних структур

Номенклатура в органічній хімії як засіб позначення хімічних сполук і реакцій. Номенклатура тривіальна, замісна, радикально-функціональна, систематична (номенклатура IUPAC). Значення теорії будови для розвитку органічного синтезу. Комп'ютерні програми для побудови систематичних назв органічних сполук.

1.3. Електронні уявлення в органічній хімії. Прояв характеристичності та адитивності властивостей атомів і зв'язків. Атомні орбіталі. Гібридні атомні й молекулярні орбіталі. Взаємний вплив атомів у молекулі. Кон'югація (спряження) як взаємодія зв'язків і атомів. Основні поняття електронної і просторової будови молекул. Хімічний зв'язок як прояв єдиної взаємодії атомів у молекулі. Перекривання орбіталей. Довжина та спрямованість зв'язку. Наближені математичні методи оцінки електронної будови молекул: метод молекулярних орбіталей (МО ЛКАО), метод валентних зв'язків (ВЗ), теорія резонансу тощо. Молекулярні орбіталі, способи їх зображення:  $\sigma$ - і  $\pi$ -зв'язки; локалізовані й делокалізовані МО.

Дві групи характеристик електронної будови: енергетичні та зв'язані з розподілом електронної густини. Енергетичні характеристики: енергія зв'язку, потенціал йонізації, спорідненість до електрона, енергія граничних МО, повна енергія утворення молекули, потенціальна поверхня молекули. Характеристики, пов'язані з розподілом електронної густини: полярність зв'язку, ефективний заряд на атомі,

дипольний момент окремих зв'язків і молекули в цілому, спінова густина. Індуктивний і мезомерний ефекти, способи їх позначення. Теорія резонансу як важливий етап у формуванні теоретичних уявлень в органічній хімії. Енергія резонансу.

1.4. Будова і реакційна здатність органічних сполук. Хімічна рівновага. Проміжні частинки, перехідний стан (активований комплекс) і механізм реакції. Класифікація реакцій за їх наслідком (заміщення, приєднання, елімінування, перегрупування), за типом розриву зв'язку (гомолітичні й гетеролітичні реакції), за природою реагентів (електрофільні, нуклеофільні, радикальні), за числом молекул на стадії, що визначає швидкість реакції (мономолекулярні, бімолекулярні). Кінетичний і термодинамічний контроль. Орбітальний і зарядний контроль. Електрофільні, нуклеофільні та радикальні реагенти. Гомогенний, гетерогенний і міжфазовий каталіз. Статичний і динамічний підходи у вивченні електронної будови та реакційної здатності молекул. Статичний підхід: індекси реакційної здатності, ефективний заряд, вільна валентність, енергія граничних МО; молекулярні діаграми. Динамічний підхід: урахування реагентів (реагенту, субстрату, середовища) та їх взаємного впливу; енергетичний профіль реакції; енергетичний бар'єр реакції, енергія активації, енергія перехідного стану, тепловий ефект реакції.

1.5. Фізичні й фізико-хімічні методи дослідження в органічній хімії. Коливальна спектроскопія: природа ІЧ спектрів, групові характеристичні частоти. Електронна спектроскопія: природа спектрів, типи переходів, поняття про хромофори й ауксохроми. Спектри протонного магнітного резонансу: їхня природа, основні характеристики (хімічний зсув, інтенсивність, мультиплетність сигналів), зв'язок із будовою молекул. Мас-спектрометрія: основні принципи, види органічних йонів, молекулярний йон. ізотопний склад спектрів. Поняття про метод дипольних моментів. Хроматографія як метод аналізу та очищення органічних сполук.

1.6. Найважливіші джерела інформації про органічні сполуки і органічні реакції. Довідник Бейльштейна, "Словарь органических соединений", довідники з фізичних і хімічних властивостей органічних сполук, інтернет. Показники синтезів і збірники препаративних методик. Оглядова література з органічних реакцій і спектральних характеристик органічних сполук. Наукові журнали з хімії. Реферативні журнали: "Реферативный журнал "Химия"" (РЖХим), "Chemical Abstracts" (США), "Chemisches Zentralblatt" (Німеччина). Інформаційні служби і банки даних. Використання комп'ютерів для збереження і пошуку хімічної інформації.

1.7. Органічний синтез: мета, планування і шляхи реалізації. Мета: одержання відомих речовин з практично корисними властивостями (барвники, ліки, парфуми, харчові добавки, інсектициди, гербіциди, репеленти, атрактанти, рідкі кристали,

мономери, реактиви, розчинники тощо); синтез аналогів природних речовин з вищою ефективністю дії; встановлення в ряду аналогів зв'язку хімічної будови з фізичними і хімічними властивостями та фізіологічною дією, прогнозований синтез нових структур з наперед заданими властивостями; зустрічний синтез для доказу структур невідомих сполук; розуміння причин аномалій, що виникають при проведенні запланованих реакцій; створення ключових, проблемних структур; планомірне заповнення банку структур.

Стратегія і логіка органічного синтезу: синтез за літературними даними; синтез за аналогією.

Планування ланцюга перетворень: евристичний підхід; формально-логічний підхід.

Практична реалізація плану синтезу, поняття синтону: створення карбонового скелету; введення функціональних груп; активізація реакційних центрів і захист функціональних груп; взаємоперетворення функцій, класи еквівалентності функціональних груп за Тернером і Корі; забезпечення потрібної стереохімії цільового продукту; конструктивні зв'язки й трансформація цільової сполуки; лінійний і конвергентний шляхи синтезу.

Побудова дерева синтезу: комп'ютерний синтез.

Оптимізація і практична реалізація плану синтезу. Суб'єктивні критерії вибору схеми: доступність, індивідуальність і належна реакційна здатність вихідних і проміжних речовин, наявність апаратури, економічні аргументи, витрати часу і реагентів (кількість стадій - довжина схеми, виходи на стадіях, відтворюваність стадій) - фактор ризику, урахування небезпечних властивостей реагентів (токсичність, вогне- і вибухонебезпечність).

Об'єктивні критерії: належна реакційна здатність вихідних і проміжних речовин; можливість побічних процесів; урахування впливу наявних функціональних груп, термодинамічна можливість процесу (подолання енергетичного бар'єра), виконання правил збереження орбітальної симетрії (Вудварда - Хоффмана).

Органічний синтез: наука і мистецтво.

## 2. Вуглеводні

2.1. Алкани. Гомологічний ряд, номенклатура та ізомерія алканів, алкільні групи. Природні джерела. Нафта, газ та їх переробка. Електронна й просторова будова алканів, довжини зв'язків і валентні кути. Поворотна ізомерія, конформації та їхні відносні енергії, формули Ньюмена. Бар'єр обертання. Фізичні властивості алканів і їх залежність від довжини карбонового ланцюга й ступеня його розгалуженості. Теплота утворення. Енергія атомізації. Спектральні характеристики алканів: спектри УФ, ПМР та  $^{13}\text{C}$ -ЯМР.

Методи синтезу: гідрування ненасичених вуглеводнів, відновлення різних класів органічних сполук, реакція Вюрца, декарбоксілювання і електроліз солей карбонових кислот (анодна реакція Кольбе), гідроліз магній- і літійорганічних сполук.

Хімічні властивості алканів. Гомолітичний тип розриву зв'язку. Вільні радикали, якісне трактування їхньої електронної будови; фактори, що визначають відносну стабільність вільних радикалів. Первинний, вторинний, третинний радикали. Загальні уявлення про механізм ланцюгових вільнорадикальних реакцій заміщення в алканах: галогенування, сульфохлорування, нітрування. Окиснення, дегідрування, крекінг, піроліз алканів. Гетеролітичний тип розриву зв'язків в алканах. Карбокатиони, їх електронна будова і фактори, що визначають відносну стабільність, основні шляхи перетворення карбокатионів. Реакції алканів в надкислих системах. Сполуки включення (клатрати). Біологічно активні алкани. Поняття про феромони комах. Основні шляхи використання алканів: моторне паливо, пальне, розчинники в органічному синтезі.

2.2. Циклоалкани. Класифікація і номенклатура, структурна ізомерія. Методи синтезу насичених циклів: з дигалогеналканів за реакцією Вюрца, взаємодія діазометану з алкенами, синтези на основі малонового естеру та похідних дикарбонових кислот, дієновий синтез. Гідрування ароматичних вуглеводнів. Розширення і звуження циклів (Дем'янов). Просторова будова циклоалканів. Конформації циклогексану та його похідних: крісло, човен (ванна), твіст-форма; екваторіальні й аксіальні зв'язки, геометрична ізомерія похідних циклогексану. Особливості просторової і електронної будови циклопропанового кільця. Поняття про просторову будову інших циклоалканів. Відносна стійкість циклів за даними теплот згоряння і взаємоперетворень циклів різних розмірів, її аналіз на підставі уявлень про різні типи напруг. Хімічні властивості циклобутану, циклопентану і циклогексану. Особливі властивості циклопропану. Використання циклопропану в медицині. Загальні уявлення про середні цикли і макроцикли. Трансанулярні реакції.

2.2.1. Поліциклічні насичені вуглеводні. Номенклатура і типи біциклічних систем: сполуки з ізольованими циклами, спірани, конденсовані й місткові системи. Декаліни та їхня просторова будова. Уявлення про природні моно- і поліциклічні системи терпенів і стероїдів: ментол, борнеол, камфора, холестерол. Рідкі кристали. Статеві гормони. Каркасні сполуки: тетраедран, кубан, адамантан, додекаедран.

2.3. Алкени. Номенклатура, *Z,E-* (*цис-,транс-*) ізомерія. Електронна будова і геометрична ізомерія алкенів. Фізичні властивості і спектральні характеристики алкенів: спектри ПМР і <sup>13</sup>C-ЯМР, розпізнавання геометричних ізомерів за спектрами. Способи утворення подвійного зв'язку, дегідрування алканів, часткове



гідрування алкінів, дегідрогалогенування і правило Зайцева, дегалогенування, дегідратація спиртів, термічний розклад четвертинних амонієвих основ (реакція Гофмана) та оксидів амінів (реакція Коупа), перетворення карбонільної групи на групу C=C (реакція Віттіга).

Поняття про механізми хімічних перетворень алкенів. Гідрування в присутності каталізаторів (Сабатьє, Сандеран), гомогенне гідрування. Приєднання електрофільних реагентів до зв'язку C=C: кислот, галогеноводнів, води, галогенів. Правило Марковникова та його інтерпретація. Обернення орієнтації приєднання бромоводню (за Карашем) як наслідок зміни механізму реакції (пероксидний ефект). Приєднання галогенів: утворення галогенієвих йонів. Стереохімія електрофільного приєднання. Радикальні реакції алкенів. Координація алкенів з перехідними металами. Уявлення про природу зв'язку алкен – метал. Основні стадії реакції каталітичного гідрування. Прояв відносної стабільності структурних і геометричних ізомерів алкенів. Оксосинтез. Приєднання карбенів. Гідроборування (реакція Брауна) і його використання для одержання продуктів гідрування і гідратації зв'язку C=C. Окисні перетворення алкенів: епоксидування (реакції Прилежаєва і Шарплесса), *цис*- і *транс*-гідроксилування (реакція Вагнера), розщеплення зв'язку C=C, озоноліз. Полімеризація: катіонна, вільнорадикальна і координаційна. Теломеризація. Реакції алкенів за алільним положенням: галогенування, окиснення, окисний амоніліз. Алільна  $\pi$ -електронна система,  $\pi, \pi$ -кон'югація, якісний опис у термінах теорії МО і характер розподілу електронної густини в алільному катіоні, радикалі та аніоні.

2.4. Алкадієни. Номенклатура, класифікація та ізомерія. Електронна будова: кон'югація кратних зв'язків ( $\pi, \pi$ -кон'югація), уявлення про делокалізовані  $\pi$ -МО кон'югованих дієнів. Найважливіші 1,3-дієни і способи їх одержання за реакціями дегідрування, дегідрохлорування, дегідратації. Хімічні властивості 1,3-дієнів: каталітичне гідрування, електрофільне приєднання галогенів і галогеноводнів; орієнтація в цих реакціях за умов кінетичного й термодинамічного контролю. Дієновий синтез. Поняття про правила Вудворда – Хоффмана; уявлення про дозволені і заборонені за симетрією реакції циклоприєднання з позицій розгляду граничних МО реагентів. Полімеризація та циклоолігомеризація 1,3-дієнів.

Різновиди лінійної полімеризації та її технічне значення. Природний і синтетичний каучук. Гутаперча. Синтез 1,3-бутадієну з етилового спирту (Лебедєв), ізопрену з ацетону і ацетилену (Фаворський). Вулканізація каучуку. Поняття про ізопреноїди.

Полієни. Каротиноїди. Поліацетилен. Кумулени: електронна і просторова будова. Стереохімія кумуленів.

2.5. Алкіни. Номенклатура та ізомерія алкінів. Опис потрійного зв'язку виходячи з уявлень про sp-гібридизацію. Фізичні властивості й основні спектральні характеристики алкінів. Способи утворення потрійного зв'язку. Карбідний і піролітичний методи одержання ацетилену.

Хімічні властивості алкінів: каталітичне гідрування, відновлення натрієм у рідкому амоніаку, реакція Кучерова, приєднання спиртів, карбонових кислот, галогеноводнів, ціановодню; реакції Фаворського і Реппе на основі ацетилену. Оксосинтез з використанням алкінів. Нуклеофільне приєднання до потрійного зв'язку. Перетворення ацетилену на вінілацетилен, промислове значення цієї реакції. Циклоолігомеризація алкінів; алкіни як дієнофіли. Окисні перетворення алкінів. Кислотні властивості термінальних ацетиленів, ацетиленіди металів, реактиви Йоцича. Застосування алкінів і ацетиленідів металів в органічному синтезі. Карбін.

2.6. Ароматичні вуглеводні (арени). Бензен і його гомологи: толуен, ксилени, кумен; номенклатура, ізомерія. Сучасна символіка бензену та його похідних. Формули Кекуле, Армстронга, Ладенбурга, Дьюара. Фізичні властивості й основні спектральні характеристики бензену та його гомологів. Спектри ПМР та  $^{13}\text{C}$ -ЯМР, ефект кільцевих  $\pi$ -електронних струмів. Дипольні моменти. Джерела ароматичних вуглеводнів: кам'яновугільна смола, продукти переробки нафти.

Електронна будова бензенового кільця і хімічні властивості бензену: відносна стійкість до окиснення, схильність до реакцій заміщення, термохімія гідрування і згоряння бензену, його утворення в реакції диспропорціонування циклогексену і циклогексадієну ("необоротний каталіз" Зелінського), ізомеризація дьюарівського бензену. Поняття про ароматичність, правило Хюкеля. Небензоїдні ароматичні системи: циклопропенілій- і тропілій-катіони; циклопентадієнілій-аніон, азулен, анулени. Гідрування бензену, відновлення натрієм у рідкому амоніаку до дигідробензену (Берч). Реакції ароматичного електрофільного заміщення: сульфування, нітрування, галогенування, алкілювання, ацилювання. Реакція Фріделя – Крафтса. Значення цих реакцій для переробки ароматичних вуглеводнів, уявлення про їхній механізм та його експериментальне обґрунтування. Синтетичне використання електрофільного ароматичного заміщення. Вплив замісників у бензеновому кільці на ізомерний склад продуктів і швидкість реакції. Правила орієнтації та їх теоретичне обґрунтування. Реакції радикального заміщення і приєднання,  $\pi$ -комплексотворення аренів з перехідними металами.

2.6.1. Дифеніл- і трифенілметан, їх одержання і властивості. Кислотні властивості вуглеводнів, шкала C-H кислотності, карбаніони, їх електронна будова і фактори, що визначають відносну стабільність. Ди- і трифенілметанові барвники. Стильбен, толан.

2.6.2. Дифеніл, способи його одержання, будова. Уявлення про вплив замісників на легкість взаємного обертання і ступінь копланарності бензенових кілець. Залежність кон'югації  $\pi$ -електронних систем від ступеня копланарності бензенових ядер та її прояв в електронних спектрах похідних дифенілу. Ароматичність дифенілу, реакції електрофільного заміщення, орієнтація в цих реакціях і вплив на неї замісників. Атропоізомерія в ряду дифенілу.

2.6.3. Нафтален. Джерела нафталену та інших багатоядерних вуглеводнів. Номенклатура та ізомерія похідних нафталену, його електронна будова і ароматичність. Хімічні властивості нафталену: каталітичне гідрування і відновлення натрієм у рідкому амоніаку, окиснення і вплив замісників на напрямок цієї реакції. Реакції електрофільного заміщення; фактори, що впливають на орієнтацію в цих реакціях. Тетралін, декалін.

2.6.4. Антрацен. Номенклатура та ізомерія похідних. Електронна будова і ароматичність. Синтез антрацену з сполук бензенового ряду. Реакції гідрування, окиснення, електрофільного приєднання і заміщення, Фотоокиснення і фотодимеризація, Антрацен у дієновому синтезі. Триптицен,

2.6.5. Фенантрен. Ізомерія і номенклатура похідних. Електронна будова і ароматичність. Синтез Пшорра. Реакції гідрування, окиснення, електрофільного приєднання і заміщення. Поняття про природні сполуки з ядром фенантрону. Полібензени: пірен, перилен, коронен, геліцени. Бензпірен: поняття про канцерогенні сполуки. Оптична активність геліценів. Поняття про фулерени, нанотрубки та інші наноструктури.

### 3. Гомофункціональні сполуки

3.1. Елементи стереохімії і оптична ізомерія органічних сполук. Хіральність молекул. Асиметричний атом Карбону. *D,L*- і *R,S*-номенклатури. Проекційні формули. Енантіомери і рацемати. Конфігураційні ряди. Сполуки з двома асиметричними атомами Карбону, діастереомери, *еритро*- і *трео*-форми, мезо-форми. Стереохімія циклічних сполук. Кількість стереоізомерів. Способи розділення (розщеплення) рацематів (роботи Пастера). Методи дослідження хіральних сполук. Обернення конфігурації і рацемізація. Зв'язок механізму реакції та стереохімії продуктів на прикладі реакції приєднання до подвійного зв'язку. Поняття про асиметричний синтез. Уявлення про оптичну ізомерію сполук без асиметричних атомів Карбону.

3.2. Галогенопохідні аліфатичних і аліциклічних вуглеводнів. Фізичні властивості.

3.3. Моногалогенопохідні аліфатичних вуглеводнів, їх номенклатура та ізомерія. Будова молекул. Способи утворення зв'язку C-Hal: заміщення атома Гідрогену, реакції приєднання до кратного зв'язку, заміщення гідроксигрупи. Відмінні

особливості синтезу і властивостей флуоралканів, Полярність зв'язку C-Hal та її залежність від природи атома галогену. Хімічні властивості моногалогеналканів: нуклеофільне заміщення атомів галогенів і дегідрогалогенування. Уявлення про механізми  $S_N1$  E1,  $S_N2$ , E2 як про "ідеалізовані" механізми реакцій нуклеофільного заміщення і елімінування; обґрунтування внесків кожного з них за даними кінетики та стереохімії.

Полігалогенопохідні найпростіших вуглеводнів. Способи одержання: хлорування метану, галоформна реакція. Комбінація реакцій галогенування алканів, приєднання галогенів до ненасичених сполук і дегідрогалогенування як загальний підхід до синтезу полігалогеналканів на прикладі похідних етану. Одержання гемінальних дигалогенопохідних з карбонільних сполук і приєднання дигалокарбенів до подвійного зв'язку. Одержання поліфлуоропохідних метану і етану, фреони. Гексахлороциклогексан.

Сполуки з підвищеною рухливістю атома галогену. Аліл- і бензилгалогеніди, способи їх одержання та особливості хімічних властивостей. Хлорометилування ароматичних сполук (реакція Блана). Ди- і трифенілхлорометан. Стабільні вільні радикали і карбокатиони. Бензальхлорид і бензотрихлорид: одержання з толуену, гідроліз.

Сполуки зі зниженою рухливістю атома галогену. Хлоровініл і хлоропрен. Способи їх одержання, хімічні властивості і застосування. Поліхлоровані й поліфлуоровані похідні етену, полімери на їх основі. Тефлон.

3.4. Ароматичні галогенопохідні. Способи одержання. Галогенування ароматичних вуглеводнів, синтез із солей діазонію. Реакції, що стосуються зв'язку C-Hal. Особливості перебігу реакцій нуклеофільного заміщення в ароматичному ядрі, уявлення про їхній механізм, каталіз, вплив замісників. Нуклеофільне заміщення з проміжним утворенням аніон-радикалів ( $S_{RN}1$ ). Взаємодія арилгалогенідів з металами: одержання металорганічних сполук, синтез алкілароматичних сполук і діарилів. Дегідробензен і механізм кінезаміщення.

Реакції електрофільного заміщення в ряду ароматичних галогенопохідних. Поняття про індукційний і мезомерний ефекти замісників в ароматичному ряду. Ефекти атомів галогенів як замісників. Поліхлоропохідні бензену: одержання хлоруванням бензену, взаємодією з нуклеофільними реагентами, основні шляхи застосування. Поліхлоропохідні дифенілу і нафталену, їх технічне значення.

3.5. Гідроксипохідні вуглеводнів. Одноатомні насичені спирти. Номенклатура, ізомерія, класифікація. Способи утворення спиртової гідроксигрупи: приєднання води до зв'язку C=C, гідроліз зв'язку C-Hal, відновлення карбонільної та естерової груп, синтези з використанням металоорганічних сполук. Промислові способи одержання найпростіших аліфатичних спиртів, циклогексанолу. Електронна

природа і полярність зв'язків С-О та О-Н, водневий зв'язок та його прояв у спектральних характеристиках і фізичних властивостях спиртів.

Хімічні властивості спиртів: кислотно-основні властивості, заміщення гідроксигрупи при дії сірчаної кислоти, галогеноводнів і галогенангідридів мінеральних кислот, дегідратація; розгляд цих реакцій з позицій загальних уявлень про механізм нуклеофільного заміщення і відщеплення в аліфатичному ряду.

Синтез, властивості, синтетичне використання алкілових естерів мінеральних кислот. Диметилсульфат як метилювальний реагент.

Приєднання спиртів до олефінів, ацетиленових сполук, утворення етерів, взаємодія з карбонільними сполуками, карбоновими кислотами та їхніми похідними. Окиснення і дегідрування спиртів; реакція Опенауера. Основні шляхи застосування спиртів.

Багатоатомні спирти. Гліколи, способи їх одержання, хімічні властивості: окиснення плюмбум тетраацетатом та йодною кислотою (реакція Малапрада), взаємодія з борною кислотою, перетворення на  $\alpha$ -оксида, дегідратація, пінаколінове перегрупування. Етиленгліколь, його властивості. Ді- та поліетиленгліколи. Гліцерин: методи синтезу, засновані на використанні пропену; утворення етерів та естерів, комплексів з солями металів, дегідратація. Застосування гліцерину та його похідних. Пентаеритрит. Ксиліт, сорбіт. Азотні естери багатоатомних спиртів.

Насичені та ароматичні спирти. Правило Ельтекова – Ерленмейєра. Аліловий спирт. Методи синтезу, хімічні властивості й їхні особливості, пов'язані з алільним положенням гідроксигрупи. Пропаргіловий спирт. Бензиловий спирт, ди- та трифенілкарбіноли, методи синтезу й хімічні властивості. Вініловий спирт та його похідні. Вінілацетат і полімери на його основі.

3.6. Гідроксипохідні ароматичних вуглеводнів. Номенклатура. Феноли і нафтоли. Способи введення гідроксигрупи в ароматичне ядро: лужне плавлення солей сульфокислот, гідроліз галогенопохідних, заміна аміногрупи на гідроксигрупу через солі діазонію, куменовий спосіб одержання фенолу (Сергєєв, Удрис).

Хімічні властивості. Причини підвищеної кислотності фенолів порівняно з аліфатичними спиртами, вплив замісників. Утворення фенолятів, етерів і естерів фенолів. Заміщення гідроксигрупи на аміногрупу у  $\beta$ -нафтолі (реакція Бухерера). Реакції електрофільного заміщення фенолів. Перегрупування (Фриса) естерів фенолів як спосіб ацилювання по кільцю. Конденсація фенолів з формальдегідом, фенолформальдегідні смоли. Реакції електрофільного заміщення, характерні для фенолів і фенолятів як ароматичних сполук з підвищеною реакційною здатністю: карбоксилювання, нітразування, азосполучення, введення ацильної групи (реакції

Гаттермана, Геша, Раймера – Тімана, Вільсмайера – Гаака – Арнольда). Гідрування і окиснення фенолів. Стабільні фенокисильні радикали. Фенольні стабілізатори полімерних матеріалів. Основні шляхи застосування заміщених фенолів.

Багатоатомні феноли. Пірокатехол і гідрохінон: способи одержання, відновні властивості, утворення моно- і діетерів, циклічні етери пірокатехолу. Гідрохінон та інші феноли як проявники фотографічних матеріалів. Уявлення про природні сполуки похідні пірокатехолу. Резорцинол: одержання, реакції, характерні для фенолів, відновлення до дигідрорезорцинолу. Флороглюцин: одержання, утворення етерів, алкілювання метилйодидом в лужному середовищі, виявлення підвищеної схильності до таутомерного перетворення (реакції з амоніаком і гідроксиламіном). Поняття про льодотворні речовини. Пірогалол.

3.7. Етери (прості ефіри): Номенклатура, класифікація. Діалкілові етери: способи одержання (реакція Вільямсона), взаємодія з протонними кислотами, кислотами Льюїса, розщеплення, окиснення. Утворення гідропероксидів, їх виявлення і видалення. Циклічні прості етери. Тетрагідрофуран. 1,4-Діоксан. Краун-етери. Комплексоутворення з йонами металів. Застосування в міжфазовому каталізі.

3.8. Оксирани ( $\alpha$ -оксиди, епоксиди): одержання, ізомеризація, взаємодія з галогеноводнями, водою, спиртами, етиленгліколем, амоніаком і амінами, магнійорганічними сполуками. Етиленоксид, епіхлоргідрин.

3.9. Карбонільні сполуки. Будова карбонільної групи. Номенклатура, класифікація карбонільних сполук. Спектральні характеристики. Способи утворення карбонільної групи: окиснення алканів і алкілароматичних вуглеводнів, озоноліз і каталітичне окиснення олефінів, оксосинтез, гідратація алкінів (реакція Кучерова), гідроліз гемінальних дигалогенопохідних і вінілових етерів, окиснення і дегідрування спиртів, окисне розщеплення гліколів, дія уротропіну на алкілгалогеніди (реакція Соммле). Синтез альдегідів і кетонів з карбонових кислот та їхніх похідних: відновлення хлорангідридів (реакція Розенмунда – Зайцева), відновлення нітрילів, реакції карбонових кислот та їхніх похідних з металоорганічними сполуками, піроліз солей карбонових кислот і його каталітичні варіанти. Одержання ароматичних карбонільних сполук ацилюванням ароматичних вуглеводнів (реакція Фріделя – Крафтса). Електронна будова групи  $C=O$ , розподіл електронної густини та його зв'язок з реакційною здатністю карбонільної групи. Основні спектральні характеристики і фізичні властивості. Хімічні властивості. Порівняння реакційної здатності і шляхів перетворень альдегідів і кетонів. Реакції з гетероатомними нуклеофілами: гідратація, взаємодія зі спиртами (напівацеталі, ацеталі й кеталі), пентахлоридом фосфору, натрій гідрогенсульфітом. Взаємодія з нітрогеновмісними нуклеофілами: утворення оксимів, гідразонів, азинів, заміщених гідразонів і семікарбазонів, взаємодія з

вторинними амінами й утворення енамінів, взаємодія з первинними амінами і утворення основ Шиффа, взаємодія з амоніаком (уротропін), реакція Манніха. Взаємодія з С-нуклеофілами: утворення ціангідринів, приєднання магнійорганічних сполук. Кето-енольна таутомерія і пов'язані з нею властивості карбонільних сполук: галогенування і галоформне розщеплення, нітрузування, алкілювання. Альдольно-кратонова конденсація та її механізм при кислотному і основному каталізі. Конденсація альдегідів і кетонів зі сполуками інших типів, що містять активну метиленову групу (реакція Кневенагеля), Циклоолігомеризація і полімеризація альдегідів (триоксан, паральдегід, параформ).

Окисно-відновні реакції альдегідів і кетонів. Окиснення альдегідів до карбонових кислот, окиснення кетонів без розриву і з розривом карбон-карбонових зв'язків (правило Попова). Каталітичне гідрування карбонільних сполук, відновлення комплексними гідридами металів, спиртами в присутності алкоголятів алюмінію (рівновага Меєрвейна – Понндорфа – Верлея, реакція Тищенко), амальгамованим цинком і соляною кислотою (реакція Клеменсена), відновлення кетонів металами з утворенням металкетилів і пінаконів. Взаємодія альдегідів, що не енолізуються, з лугами (реакція Канніццаро), бензоїнова конденсація. Реакції електрофільного заміщення в ароматичних альдегідах і кетонах. Ацетофенон, бензофенон. Нітрогеномісні похідні карбонільних сполук. Загальні уявлення про схожість електронної будови і хімічних властивостей карбонільної та азометинової групи. Відновлення оксимів, гідразонів, шифових основ, відновне амінування карбонільних сполук. Оксими: геометрична ізомерія, перетворення, що каталізуються кислотами, перегрупування (Бекмана) оксиму циклогексанону і його промислове значення. Розклад гідразонів, що каталізується основою, як спосіб відновлення карбонільних сполук (реакція Кіжнера – Вольфа). Кислотний гідроліз гідрогенсульфідних похідних, оксимів, гідразонів, ацеталів і кеталів як метод вилучення і очищення карбонільних сполук.

Дикарбонільні сполуки. Номенклатура і класифікація. Способи одержання, що ґрунтуються на реакціях окиснення, нітрузування і конденсації,  $\alpha$ -дикарбонільні сполуки. Гліюксаль, метилгліюксаль: утворення стійких гідратів; перетворення на гідроксикислоти, що каталізуються основами. Реактив Чугаєва і комплекси металів на його основі. Бензил, бензильне перегрупування.  $\beta$ -Дикарбонільні сполуки, кето-енольна таутомерія, алкілювання, утворення хелатних комплексів з йонами металів на прикладі ацетилацетону. Глутаконовий альдегід,  $\gamma$ -Дикарбонільні сполуки, застосування у синтезі гетероциклічних сполук.

$\alpha,\beta$ -Ненасичені альдегіди і кетони. Загальні методи синтезу: окиснення олефінів за алільним положенням і спиртів алільного типу, кратонова конденсація карбонільних сполук. Синтез акролеїну дегідратацією гліцерину. Електронна будова та її зв'язок з реакційною здатністю  $\alpha,\beta$ -ненасичених карбонільних сполук.

Хімічні властивості. Схожість і відмінність хімічних властивостей  $\alpha,\beta$ -ненасичених альдегідів і кетонів: каталітичне гідрування, відновлення комплексними гідридами металів, спиртами, відновлення металами в присутності джерел протонів. Селективне окиснення альдегідної групи. Реакції приєднання води, спиртів, галогеноводнів, гідрогенсульфіту натрію, амоніаку й амінів, ціановодню, магнійорганічних сполук. Реакції конденсації з С-Н активними сполуками (реакція Міхаеля). Ефект вінілогії та С-Н активність  $\alpha,\beta$ -ненасичених карбонільних сполук. Халкони. Кетени: методи синтезу, реакції приєднання до кетенів як різновид реакцій ацилювання, димеризація кетенів.

3.10. Хінони. Одержання *o*- і *p*-бензо- і нафтохінонів. Властивості хінонів: одержання моно- і діоксимів, приєднання хлороводню, аніліну, оцтового ангідриду, реакція з дієнами. Зіставлення властивостей хінонів і  $\alpha,\beta$ -ненасичених кетонів. Хінгідрон. Поняття про комплекси з переносом заряду (КПЗ). Семіхінони. Поняття про йон-радикали. Антрахінон: одержання, уявлення про властивості і застосування.

3.11. Карбонові кислоти та їхні похідні. Класифікація і номенклатура. Методи одержання: окиснення вуглеводнів, спиртів і альдегідів, синтези з використанням магній- і літійорганічних сполук, оксиду карбону(IV), малонового і ацетооцтового естерів, гідроліз нітрילів і естерів. Синтез оцтової кислоти карбонілюванням метанолу на родієвому каталізаторі. Природні джерела карбонових кислот. Електронна будова карбоксигрупи і карбоксилат-аніона. Фізичні властивості карбонових кислот і їхніх похідних. Водневі зв'язки й утворення димерних асоціатів. Хімічні властивості. Кислотність, її зв'язок з електронною будовою карбонових кислот та їхніх аніонів, залежність від характеру й положення замісників у алкільному ланцюзі або бензеновому ядрі. Поняття про кореляційні рівняння. Константи Гаммета як кількісна характеристика замісників.

Похідні карбонових кислот: солі, естери, галогенангідриди, ангідриди, амідни, гідрази, азиди, гідроксамові кислоти, ортоестери, амідини, нітрили. Уявлення про механізм взаємоперетворень карбонових кислот та їхніх похідних, роль кислотного і основного каталізу на прикладі реакцій естерифікації і омилення. Відновлення і галогенування кислот (реакція Гелля — Фольгарда — Зелінського).

Солі карбонових кислот: реакція декарбоксілювання та її каталітичні варіанти, анодне окиснення карбоксилат-аніонів (реакція Кольбе), дія галогенів на аргентумові солі (реакція Бородини – Хунсдіккера). Практичне застосування солей карбонових кислот. Мила.

Хлорангідриди: реакції з нуклеофілами і використання хлорангідридів як агентів ацилювання, реакція Розенмунда – Зайцева, реакції з магнійорганічними



сполуками, Бензоїлхлорид одержання, реакційна здатність при взаємодії з нуклеофілами, використання як реагента бензоїлювання.

Естери: каталітичне гідрування, відновлення комплексними гідридами металів, реакція Буво – Блана. Реакції переестерифікації та естерової конденсації (Кляйзен). Уявлення про основні шляхи застосування естерів.

Ангідриди: реакції з нуклеофілами (ацилювання), реакція Перкіна.

Аміди: кислотнo-оснóвні властивості, причина зниженої основності і підвищеної кислотності порівняно з амоніаком і амінами, основні шляхи перетворення на аміни (відновлення, реакція Гофмана і споріднені перетворення гідразидів, азидів і гідроксамових кислот), реакція з нітритною кислотою (Буво), уявлення про основні шляхи застосування амідів. Взаємоперетворення амідів і нітрилів.

Нітрили. Властивості нітрилів: каталітичне гідрування, відновлення тетрагідридоалюмінатом (алюмогідридом) літію, реакції з магнійорганічними сполуками.

Амідини: причини підвищеної основності порівняно з амідами і амінами.

Дикарбонові кислоти. Номенклатура і класифікація. Методи синтезу: окиснення циклоалканів, ациклічних спиртів і кетонів, ароматичних і алкілароматичних вуглеводнів, гідроліз моно- і динітрилів, синтези з використанням малонового й ацетооцтового естерів.

Одержання оксалатної (щавлевої) кислоти з натрій форміату. Хімічні властивості. Кислотні властивості та їх залежність від взаємного розташування карбоксильних груп. Утворення похідних по одній і обом карбоксильним групам, змішані похідні. Оксалатна (щавлева) кислота: реакції декарбоксилювання, декарбонілювання, окиснення. Діетилноксалат, реакції естерової конденсації за його участю та їхнє синтетичне застосування. .

Малонова кислота: декарбоксилювання і причини підвищеної легкості його перебігу, конденсації з карбонільними сполуками. Властивості малонового естеру та їх синтетичне використання: конденсації з карбонільними сполуками (реакція Кневенагеля) приєднання до кратного зв'язку, активованого електронноакцепторними замісниками (реакція Міхаеля), утворення, алкілювання та окисна конденсація натрмалонового естеру, перетворення продуктів цих реакцій на карбонові кислоти (синтези Конрада). Бурштинова (янтарна) і глутарова кислоти: утворення ангідридів, імідів. Сукцинімід, його використання в реакції бромовання.

Адипінова кислота та її похідні, їхні властивості й шляхи практичного використання. Сіль АГ.

Фталева кислота та її похідні: фталевий ангідрид і його застосування для синтезу антрахінону та його похідних, триарилметанових барвників; фталімід і його застосування у синтезі амінів (реакція Габріеля) й антранілової кислоти; естери та їхнє практичне застосування. Репеленти, пластифікатори. Терфталева кислота, диметилтерфталат і його застосування.

3.12. Похідні вугільної кислоти: фосген, сечовина та її похідні, естери вугільної кислоти, ізоціанати, уретани, семікарбазид, ксантогенати. Гуанідин, причини високої основності. Шляхи практичного застосування похідних вугільної кислоти.

3.13. Ненасичені монокарбонові кислоти. Класифікація. Методи одержання  $\alpha,\beta$ -ненасичених карбонових кислот, Електронна будова, взаємний вплив групи  $\text{COOH}$  і зв'язку  $\text{C}=\text{C}$ . Приєднання води, аміаку, галогеноводнів, причини орієнтації, що спостерігається в цих реакціях. Методи одержання і шляхи використання акрилової, метакрилової кислот і їх похідних. Плексиглас. Природні джерела й практичне значення олеїнової, лінолевої, ліноленової, арахідонової кислот. Поняття про простагландини та ейкозаноїди. Ліпіди, жири. Оліфа та інші олії, що висихають.

3.14. Ненасичені дикарбонові кислоти. Способи одержання малеїнової кислоти та її ангідриду. Стереоізомерія і взаємоперетворення малеїнової та фумарової кислот, виявлення стереоізомерії у відмінностях між їхніми хімічними властивостями у просторовій будові продуктів їхніх реакцій, що відбуваються по зв'язку  $\text{C}=\text{C}$ . Ацетилендикарбонова кислота як дієнофіл у реакції Дільса – Альдера.

3.15. Нітросполуки. Номенклатура і класифікація. Способи одержання нітросполук: нітрування алканів (реакція Коновалова), обмін атома галогену на нітрогрупу, окиснення амінів, синтез ароматичних сполук з амінів через солі діазонію. Електронна будова нітрогрупи та її електроноакцепторний характер. Хімічні властивості. Каталітичне гідрування, відновлення в кислому, нейтральному, лужному середовищі. С-Н кислотність і пов'язані з нею властивості аліфатичних нітросполук: галогенування, нітрузування та його використання для ідентифікації нітросполук, що відрізняються будовою алкільного залишку, конденсація з карбонільними сполуками і приєднання до зв'язку  $\text{C}=\text{C}$ , активованого електроноакцепторними замісниками. Таутомерія нітросполук і реакції *аци*-форми: гідроліз, перегрупування на гідроксамові кислоти. Синтез гідроксиламіну з динітроетану (Бамбергер). Нітрооцтовий естер та його застосування у синтезі амінокислот. Властивості ароматичних нітросполук. Реакції електрофільного заміщення, вплив нітрогруп на швидкість і орієнтацію. Радикальне заміщення нітрогрупи. Полі-нітроароматичні сполуки: реакції часткового відновлення; нуклеофільне заміщення нітрогрупи; утворення комплексів з переносом заряду (підкрати). Нітропохідні толуену: окиснення і внутрішньомолекулярне диспропорціонування нітротолуенів, С-Н кислотність фенілнітрометану. Тротил.

Продукти неповного відновлення нітросполук. Нітрозосполуки: таутомерія, димери-зація, реакції конденсації. Фенілгідроксиамін, азоксибензен та їх перегрупування. Гідразобензен, бензидинове та семідинове перегрупування (Зінін).

3.16. Аміни. Класифікація, номенклатура. Способи синтезу, засновані на реакціях нуклеофільного заміщення в галоген-, гірокси- і амінопохідних аліфатичних і ароматичних вуглеводнів; реакціях відновлення нітросполук (реакція Зініна), нітрогеновмісних похідних карбонільних сполук і карбонових кислот; перегрупуваннях амідів (реакція Гофмана), азидів (перегрупування Курціуса), гідразидів карбонових кислот і гідроксамових кислот (реакція Лоссена).

Електронна будова аміногрупи, залежність від природи радикалів, зв'язаних з атомом Нітрогену. Просторова будова амінів. Фізичні властивості, їх зв'язок зі здатністю амінів утворювати водневі зв'язки. Найважливіші спектральні характеристики. Хімічні властивості. Основність і кислотність амінів, залежність від природи вуглеводневих залишків. Взаємодія з електрофільними реагентами: алкілювання, гідроксиалкілювання, ацилювання і його значення в хімії амінів, взаємодія з нітритною кислотою. Окиснення аліфатичних і ароматичних амінів. Основні представники аліфатичних амінів і шляхи їх використання. Четвертинні амонієві солі: одержання з третинних амінів і галогеналкідів. (Меншуткін); електронна будова, практичне застосування; каталізатори міжфазового каталізу. Четвертинні амонієві основи і оксиди амінів: реакції розкладу з утворенням олефінів (реакції Гофмана і Коупа). Енаміни. Поліметинові солі.

Властивості ароматичних амінів: взаємодія з електрофілами. Реакції алкілювання і сульфування ароматичних амінів, сульфанилова кислота і сульфамідні препарати. Ацилювання ароматичних амінів як захисна реакція для наступного проведення реакцій галогенування і нітрування. Нітрузування і діазотування ароматичних амінів. Найважливіші представники ароматичних моно- і діамінів. Основні шляхи їх використання. Синтез гетероциклічних сполук з о-фенілєндіаміну і о-амінофенолу.

3.17. Діазо- і азосполуки. Діазотування ароматичних амінів (реакція Грісса). Електронна будова, катіон діазонію як електрофільний реагент. Взаємоперетворення різних форм діазосполук. Реакції солей діазонію, що відбуваються з виділенням азоту, та їх використання для одержання функціональних похідних ароматичних сполук (реакції Зандмейєра, Несмеянова). Реакції солей діазонію, що відбуваються без вилучення азоту. Азосполучення, діазо- і азоскладові, залежність умов проведення азосполучення від природи азоскладової. Синтез, електронна будова і структурні особливості азобарвників. Метилоранж і конго червоний як представники барвників, що застосовуються як

індикатори. Відновлення солей діазонію і азосполук. Використання цих реакцій для синтезу похідних гідразину і амінів.

Солі діазонію як реагенти арилювання ароматичних сполук. Діазосполуки жирного ряду: діазометан, діазооцтовий естер. Синтези на їх основі.

3.18. Елементоорганічні сполуки. Органічні сполуки Сульфуру, зіставлення їх властивостей з властивостями відповідних сполук Оксигену. Тіоспирти, тіоетери, тіокарбонільні сполуки. Сульфокислоти та їхні функціональні похідні: хлорангідриди, аміді, естери. Синтетичні мийні засоби. Сульфони, сульфоксиди й сульфіді. Диметилсульфоксид як розчинник і як окисник. Реактив Корі (димсилнатрій). Органічні сполуки силіцію, їх використання як захисних груп і для синтезу полімерів. Силіційорганічні еталони в спектроскопії ЯМР. Типи органічних сполук фосфору, їх взаємні переходи. Реакція Арбузова. Фосфорорганічні інсектициди та бойові отруйні речовини.

Магній- і літійорганічні сполуки. Способи одержання з галогенопохідних і вуглеводнів, що мають високу С-Н кислотність. Значення розчинника в синтезі реактивів Грін'єра. Природа зв'язку карбон-метал. Хімічні властивості: взаємодія з протонодонорними сполуками, галогенами, киснем, галогенопохідними вуглеводнів, карбонільними сполуками, похідними карбонових кислот, епоксидами і діоксидом карбону. Застосування органічних похідних металів I та II груп, їх використання в органічному синтезі та в синтезі інших елементоорганічних сполук.

Органічні сполуки алюмінію, їх одержання і застосування до синтезу та як каталізаторів полімеризації (Циглер). Металоорганічні сполуки перехідних металів. Фероцен. Купруморганічні сполуки в органічному синтезі.

#### 4. Гетерофункціональні сполуки

4.1. Гідроксикислоти. Номенклатура і класифікація. Аліфатичні гідроксикислоти. Загальні методи синтезу, засновані на властивостях ненасичених, галогено-, кето- й амінокарбонових і дикарбонових кислот, багатоатомних спиртів, гідроксиальдегідів і гідроксинітрילів. Синтез  $\beta$ -гідроксикислот за реакцією Реформатського. Природні джерела й найважливіші представники гідроксикислот. Гліколева, молочна, яблучна, винна, лимонна кислоти. Хімічні властивості. Реакція дегідратації та залежність результату від взаємного розташування карбокси- і гідроксигруп. Уявлення про стереохімію гідроксикислот, реакції з оберненням і збереженням конфігурації хірального центра (Вальден). Ароматичні гідроксикислоти: одержання карбоксиліюванням фенолятів і нафтолятів за реакцією Кольбе – Шмітта, взаємоперетворення солей гідроксикарбонових кислот і вплив природи катіона лужного металу і

температури на напрямок цих реакцій. Одержання етерів та естерів, реакції азосполучення. Саліцилова кислота, аспірин, салол. Шляхи використання гідроксибензойних і нафтоїних кислот та їх похідних.

4.2. Альдегідо- і кетокислоти. Номенклатура і класифікація. Найпростіші  $\alpha$ -альдегідо- і  $\alpha$ -кетокислоти. Одержання з кетонів, карбонових кислот та їх похідних. Хімічні властивості,  $\beta$ -альдегідо- та  $\beta$ -кетокислоти, специфіка їхніх властивостей. Одержання естерів за реакцією Клайзена. Ацетооцтовий естер, його С-Н кислотність і таутомерія, утворення металічних похідних, їхня будова, двоїста реакційна здатність і застосування в синтезі кетонів і карбонових кислот. Конденсація з карбонільними сполуками, приєднання до зв'язку С=C, активованому електронноакцепторними замісниками (реакція Міхаеля); синтетичне використання цих реакцій. Взаємодія з гідрогенсульфітом натрію, ціановоднем, гідроксиламіном і похідними гідрозину. Реакція бромовання, нітрузування, азосполучення, ацетилювання, взаємодія з магнійорганічними сполуками і діазометаном.

4.3. Вуглеводи. Номенклатура і класифікація. Характерні хімічні властивості. Моносахариди. Стереοізомери, конфігураційні ряди. Кільчасто-ланцюгова таутомерія, мутаротація. Реакції, що застосовують для встановлення структурних і стереохімічних характеристик моносахаридів: окиснення і відновлення, ацилювання, алкілювання, утворення фенілгідразонів і озонів, переходи від нижчих моносахаридів до вищих і навпаки. Ди- і полісахариди; знаходження вуглеводів у природі і шляхи їх використання.

4.4. Амінокислоти. Номенклатура і класифікація. Структурні типи природних амінокислот, стереохімія і конфігураційні ряди. Синтези з альдегідів і кетонів через ціангідрини, з малонового, ацетооцтового і нітрооцтового естерів, галоген- і кетокарбонових кислот. Методи синтезу  $\beta$ -амінокислот, засновані на реакціях ненасичених і дикарбонових кислот. Кислотно-основні властивості амінокислот і залежність їх від рН середовища. Ізоелектрична точка. Утворення похідних за карбокси- і аміногрупою, бетаїни. Взаємодія з нітритною кислотою. Перетворення, що відбуваються при нагріванні амінокислот, і залежність їх результатів від взаємного розташування двох функціональних груп. Уявлення про пептидний синтез.

Капролактамі і його технічне значення. Антранілова і *n*-амінобензойна (ПАБ) кислоти: методи одержання, властивості та шляхи застосування.

4.5. Білки. Класифікація. Уявлення про методи доказу поліпептидної будови, визначення амінокислотного складу і послідовності амінокислотних фрагментів у поліпептидному ланцюзі. Вторинна структура.

## 5. Гетероциклічні сполуки

5.1. Загальні уявлення і класифікація гетероциклів.

5.2. П'ятичленні гетероцикли з одним гетероатомом (фуран, тіофен, пірол). Загальні методи синтезу і взаємоперетворень (Юр'єв). Залежність ступеня ароматичності від природи гетероатома і його вплив на особливості взаємодії гетероциклу з електро-філами. Порівняльна характеристика фізичних і хімічних властивостей фурану, тіофену, піролу та бензену. Реакції гідрування й окиснення. Фурфурол і тіофен-2-альдегід, пірослизова кислота. Кислотні властивості піролу та їх використання в синтезі. Аналогія у властивостях піролу та фенолу. Пірол-2-альдегід і його перетворення на порфін. Пірольний цикл як структурний фрагмент хлорофілу й гемоглобіну. Індол і його похідні. Методи побудови індольного ядра, що ґрунтуються на використанні ароматичних амінів і арилгідразонів (реакція Фішера). Хімічні властивості індолу як аналога піролу. Синтез найважливіших похідних. Уявлення про природні сполуки індольного ряду, індиго. Поняття про індигоїдні барвники і кубове фарбування.

5.3. П'ятичленні гетероцикли з атомами Нітрогену, Оксигену і Сульфуру. Піразол, імідазол, триазолі, тетразол; оксазол, тіазол; найважливіші методи синтезу, уявлення про електронну будову, ароматичність і хімічні властивості.

5.4. Шестичленні гетероцикли з одним гетероатомом. Піридин та його гомологи. Номенклатура та ізомерія похідних. Ароматичність і основність піридинового циклу. Прояв нуклеофільних властивостей: реакції з електрофілами за атомом Нітрогену і утворення N-оксиду. Відношення піридину та його гомологів до окисників. Гідрування піридинового ядра. Вплив гетероатома на реакційну здатність піридинового циклу в цілому і його окремих положень. Аналогія в хімічних властивостях піридину і нітробензену. Реакції електрофільного заміщення в ядрі піридину та його N-оксиду. Реакції нуклеофільного заміщення Гідрогену (реакція Чичибабіна) і атомів галогену. Активність метильної групи залежно від її розташування у піридиновому ядрі. Вплив положення функціональної групи в кільці на властивості гідрокси- і амінопіридинів, таутомерія гідроксипіридинів. Солі піридинію, розщеплення піридинового циклу. Хінолін і його найпростіші похідні. Методи побудови хінолінового ядра, засновані на реакціях аніліну з гліцерином і карбонільними сполуками (синтези Скраупа і Дебнера – Міллера). Окиснення хіноліну. Схожість і відмінність хімічних властивостей піридину і хіноліну. Ізохінолін, Уявлення про природні сполуки, лікарські засоби і барвники – похідні піридину.

5.5. Шестичленні нітрогенові гетероцикли з двома гетероатомами. Піримідин. Способи побудови піримідинового ядра, засновані на взаємодії сечовини та її похідних з малоновим естером, естерами  $\beta$ -альдегідо- і  $\beta$ -кетокислот. Схожість і відмінність хімічних властивостей піридину і піри мідину. Урацил, цитозин, тимін. Пурин як конденсована система імідазолу і піримідину. Кофеїн, сечова кислота. Уявлення про нуклеотиди і нуклеїнові кислоти.

## 4. ФІЗИЧНА ХІМІЯ

### 1. Основи термодинаміки.

Система та її стани. Класифікація систем: відкриті, закриті, адіабатичні, ізольовані. Параметри та функції стану системи. Рівняння стану для однокомпонентної системи.

Внутрішня енергія. Закон збереження енергії для ізольованої системи. Тепло та робота. Перший закон термодинаміки Ізохорний процес, тепло ізохорного процесу як міра зміни внутрішньої енергії системи. Ізобарний процес, ентальпія. Теплоємність при сталому об'ємі ( $C_v$ ) та при сталому тиску ( $C_p$ ). Зв'язок між  $C_p$  та  $C_v$ , залежність теплоємності від температури. Правило Дюлонга – Пті.

Термохімія. Тепловий ефект хімічної реакції при сталому об'ємі ( $Q_v$ ) та сталому тиску ( $Q_p$ ). Закон Гесса та його термодинамічне обґрунтування. Теплоти утворення та горіння речовин, наслідки із закону Гесса. Стандартні ентальпії. Залежність теплових ефектів хімічної реакції від температури, формула Кірхгофа. Ізотермічний процес розширення-стиснення для ідеального газу. Адіабатичний процес, рівняння адіабати, робота та зміна внутрішньої енергії в адіабатичному процесі.

Теплові машини. Цикл Карно в  $p - V$  координатах. Робота циклу Карно та його коефіцієнт корисної дії. Зворотний цикл Карно. Теореми Карно. Приведена теплоота. Інтенсивні та екстенсивні величини. Ентропія. Цикл Карно в  $T - S$  координатах.

Обчислення зміни ентропії в різних процесах. Зміна ентропії в ізотермічних процесах. Зміна ентропії при фазових переходах, правила Трутона та Річардсона. Ентропія змішування. Зміна ентропії в ізохорному та ізобарному процесах.

Постулат Планка. Обчислення абсолютних ентропій твердих тіл, рідин та газів. Фізичний зміст ентропії, ентропія як міра молекулярного хаосу, рівняння Больцмана.

Функції стану. Вільна енергія: енергія Гельмгольца та енергія Гіббса. Рівняння Гіббса - Гельмгольца. Співвідношення Максвелла та їх використання. Методи обчислення та фізичний зміст вільної енергії.

Оборотні (рівноважні) та необоротні (нерівноважні, спонтанні) процеси. Критерії самочинного перебігу спонтанних процесів. Принцип Бертоло. Напрямок самочинного перебігу спонтанних процесів в ізольованій системі. Другий закон

термодинаміки. Роль ентропії, формулювання Клаузіуса. Інші формулювання другого закону. Принцип мінімуму вільної енергії як критерій самочинного перебігу необоротних процесів. Філософські аспекти другого закону термодинаміки.

## 2. Термодинаміка однокомпонентних систем.

Термодинаміка фазових переходів. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса. Залежність тиску насиченої пари від температури. Залежність тиску насиченої пари від зовнішнього тиску, що створений інертним газом. Діаграми стану однокомпонентних систем у  $p - T$ ,  $p - V$  та  $p - V - T$  координатах. Діаграма стану води та її аналіз.

Реальні гази. Рівняння стану, рівняння Ван дер Ваальса та його фізичне обґрунтування. Зв'язок параметрів рівняння Ван дер Ваальса з критичними параметрами. Рівняння Ван дер Ваальса в приведених координатах. Визначення термодинамічних функцій реальних газів з використанням рівняння Ван дер Ваальса. Леткість реальних газів та методи її обчислення.

## 3. Розчини неелектролітів і електролітів.

Властивості розведених розчинів. Тиск насиченої пари над розчином, закон Рауля. Розчинність газів у рідинах, закон Генрі. Температури кипіння та твердіння розчинів, явища ебуліоскопії та криоскопії. Залежність розчинності від температури. Осмотичні явища, формула Вант-Гоффа.

Багатокомпонентні системи. Парціальні мольні величини та методи їх обчислення. Хімічний потенціал. Рівняння Гіббса - Дюгема.

Газові суміші, їх термодинамічні властивості.

Ідеальні розчини в широкій області концентрацій. Термодинамічні умови ідеального розчину. Неідеальні розчини. Позитивні та негативні відхилення від закону Рауля. Активність та коефіцієнт активності розчинів неелектролітів. Методи визначення коефіцієнтів активності в розчинах неелектролітів.

Розчини електролітів. Ізотонічний коефіцієнт Вант-Гоффа. Теорія електролітичної дисоціації Арреніуса. Причини дисоціації, сольватація. Сильні та слабкі електроліти. Константа електролітичної дисоціації, закон розведення Оствальда. Електролітична дисоціація води, рН розчинів.

Електропровідність розчинів електролітів. Числа переносу та методи їх визначення. Закон незалежного руху іонів Кольрауша. Питома та еквівалентна



електропровідність розчинів слабких та сильних електролітів та її залежність від концентрації.

Основи теорії Дебая-Гюккеля. Іонна атмосфера.

Теорія електропровідності сильних електролітів Дебая-Гюккеля-Онзагера. Електрофоретичний і релаксаційний ефекти. Протонний механізм переносу електрики в розчинах.

Активності у розчинах електролітів на основі теорії Дебая-Гюккеля.

#### 4. Фазові рівноваги у багатокомпонентних системах

Правило фаз Гіббса. Умови термодинамічної рівноваги між фазами.

Рівновага рідина – пара у двокомпонентних системах. Тиск насиченої пари над реальними розчинами. Перший закон Коновалова. Залежність складу пари від складу рідини. Другий закон Коновалова. Азеотропні суміші. Діаграми тиск – склад та температура кипіння – склад. Фракційна перегонка. Перегонка рідин, що не змішуються в твердому стані.

Рівновага рідина – рідина у двокомпонентних системах. Діаграма розчинності рідин, що обмежено змішуються. Критична температура розчинності.

Рівновага рідина – тверде тіло у двокомпонентних системах. Діаграми плавлення двокомпонентних систем при сталому тиску. Розрахунок числа ступенів вільності Системи з різною розчинністю в твердому та рідкому станах. Евтектика. Термічний аналіз, криві охолодження та їх аналіз. Діаграми плавлення з утворенням хімічних сполук, що плаваються конгруентно або інконгруентно. Фізико-хімічний аналіз.

Трикомпонентні системи. Методи Гіббса та Розебома визначення складу трикомпонентних систем. Рівновага рідина – рідина в трикомпонентних системах. Діаграми плавлення трикомпонентних систем.

#### 5. Хімічна рівновага

Зміна енергій Гіббса та Гельмгольца протягом хімічного процесу. Рівняння ізотерми хімічної реакції Вант-Гоффа. Закон діючих мас. Константа рівноваги хімічної реакції та засоби її виразу ( $K_p$ ,  $K_c$ ,  $K_x$ ). Зв'язок між  $K_p$ ,  $K_c$  та  $K_x$ . Розрахунки складу рівноважних сумішей для хімічних реакцій. Константа рівноваги в неідеальних системах.

Залежність константи рівноваги від температури, рівняння ізобари та ізохори хімічної реакції. Інтегрування рівняння ізобари, розрахунки хімічної рівноваги при різних температурах. Метод Тьомкіна - Шварцмана.

Зміщення хімічної рівноваги під впливом зовнішніх факторів, принцип Ле-Шательє.

Гетерогенні хімічні рівноваги та особливості їх опису.

## 6. Електрохімічна рівновага

Термодинаміка гальванічного елементу. Визначення термодинамічних параметрів хімічної реакції, що іде в гальванічному елементі. Класифікація електродів (I та II роду, газові, окисно-відновні) та електрохімічних ланцюгів (хімічні, концентраційні). Залежність електрорушійної сили (е.р.с.) та потенціалів електродів від концентрації (активності) потенціалвизначаючих іонів, рівняння Нернста.

Електричні ланцюги з переносом та без переносу іонів. Дифузійний потенціал. Визначення коефіцієнтів активності електроліту методом е.р.с. Розрахунок констант рівноваги окисно-відновних реакцій за даними е.р.с. Потенціометричне титрування.

Хімічні джерела струму.

## 7. Статистична термодинаміка

Термодинамічна ймовірність. Формула Больцмана – Планка для зв'язку між ентропією та термодинамічною ймовірністю.

Розподілення Больцмана за енергіями. Сума станів та її зв'язок з основними термодинамічними функціями.

Молекулярні суми станів для поступального, обертального, коливального та електронного рухів.

Статистична термодинаміка ідеального газу. Статистична теорія теплоємності молекул та твердих тіл.

Статистична термодинаміка реальних газів, врахування міжмолекулярної взаємодії. Конфігураційний інтеграл.

Розрахунок констант рівноваги хімічної реакції методом статистичної термодинаміки.

## 8. Основи хімічної кінетики

Основні поняття хімічної кінетики. Механізм реакції, прості та складні реакції. Швидкість реакції. Кінетичні криві. Кінетичні рівняння. Порядок реакції та методи його визначення. Константа швидкості реакції. Період напівперетворення. Молекулярність елементарних реакцій та її зв'язок з порядком реакції. Інтегрування кінетичних рівнянь для реакцій різних порядків.

Складні реакції. Паралельні реакції. Послідовні реакції. Метод стаціонарного стану. Оборотні реакції. Зв'язок між кінетикою та термодинамікою.

Молекулярно-кінетична теорія газів. Розподілення Максвелла-Больцмана. Середня та середньоквадратична швидкості. Переріз зіткнення. Фактор зіткнення. Частота зіткнень. Довжина вільного пробігу.

Явища переносу в газах. Диффузія, теплопровідність, в'язкість газів. Ефузія.

Теорія зіткнень у хімічній кінетиці. Активні зіткнення. Теорія Арреніуса. Залежність константи швидкості від температури, енергія активації хімічної реакції та її експериментальне визначення.

Теорія перехідного стану (активного комплексу). Поверхня потенціальної енергії. Правило Поляні. Трансмісійний коефіцієнт. Статистичний розрахунок константи швидкості. Термодинамічний аспект теорії активного комплексу, ентропія активації.

#### 9. Кінетика реакцій у гомогенних системах

Бімолекулярні реакції в газах. Застосування теорії зіткнень. Реакції за участю складних молекул, стеричний фактор. Застосування теорії активного комплексу для бімолекулярних реакцій у газах.

Мономолекулярні реакції в газах. Застосування теорії активного комплексу до мономолекулярних реакцій. Теорія Ліндемана.

Ланцюгові процеси. Нерозгалужені ланцюгові реакції, довжина ланцюга. Механізм та кінетика нерозгалужених ланцюгових реакцій. Розгалужені ланцюгові реакції, теорія Семенова - Хіншельвуда. Період індукції, граничні явища в розгалужених ланцюгових процесах.

Реакції у розчинах неелектролітів. Вплив розчинника, комірковий ефект. Ланцюгові реакції полімеризації в неводних розчинах.

Реакції у розчинах електролітів. Сольові ефекти. Вплив полярного розчинника на швидкість реакції.

#### 10. Гомогенний каталіз

Визначення каталізу. Фізико-хімічні основи каталізу. Різниця між каталізаторами та ініціаторами хімічних реакцій. Роль каталізу в промисловості та живій природі. Автокаталітичні реакції та їх кінетика.

Гомогенний каталіз. Каталіз у газовій фазі. Теорія проміжних сполук у каталізі.

Каталіз у розчинах. Кислотно-основний каталіз, загальний та специфічний. Кореляційні співвідношення Бренстеда. Механізми кислотно-основного каталізу.

Каталіз окисно-відновних реакцій у розчинах. Металокомплексний каталіз.

## 11. Фізична хімія поверхневих явищ

Адсорбція в системі тверде тіло - газ. Адсорбція і абсорбція. Типи адсорбції - фізична та хімічна адсорбція. Критерії відмінності фізичної та хімічної адсорбції. Зміна ентальпії та ентропії при адсорбції. Ізотерма та ізобара адсорбції. Неактивована та активована адсорбції. Потенціальні криві Леннарда-Джонса. Локалізована та нелокалізована адсорбція.

Теорія мономолекулярної адсорбції Ленгмюра. Головні постулати теорії. Рівняння ізотерми адсорбції Ленгмюра та його аналіз в області малих, середніх та високих тисків адсорбату. Лінеаризація рівняння Ленгмюра. Застосування лінеаризованої форми рівняння Ленгмюра для визначення ємності моношару та константи адсорбційної рівноваги графічним методом. Питома поверхня адсорбентів та її визначення.

Теорія полімолекулярної адсорбції - теорія БЕТ (Брунауера - Еммета - Теллера). Головні постулати теорії БЕТ. Аналіз рівняння БЕТ та його лінеаризація. Фізичний зміст константи  $C$ . Типи ізотерм адсорбції. Визначення ємності моношару та константи  $C$  графічним методом при використанні лінеаризованої форми рівняння БЕТ.

Капілярна конденсація. Фізична суть теорії капілярної конденсації. Межа застосування рівняння Томсона-Кельвіна. Гістерезис капілярної конденсації, його причини. Типи пор. Типи гістерезисів.

Неоднорідна поверхня. Критерій неоднорідності поверхні і причини її виникнення. Термодинаміка адсорбції на рівномірно неоднорідній поверхні. Основні положення описання адсорбції на рівномірно неоднорідній поверхні. Квазілогарифмічна ізотерма адсорбції Тьомкіна та її аналіз.

Ізостерична теплота адсорбції та її визначення із ізостер адсорбції.

## 12. Гетерогенний каталіз

Визначення швидкості гетерогенно-каталітичної реакції та питома активність каталізатора, правило Борескова. Дифузійна та кінетична області проходження гетерогенно- каталітичних процесів. Активність та селективність гетерогенних каталізаторів.

Кінетика гетерогенно-каталітичних реакцій на однорідних поверхнях, стадії каталітичних процесів. Кінетика реакцій на неоднорідних поверхнях.

Гетерогенні каталізатори. Основні типи гетерогенних каталізаторів. Кислотно-основні каталізатори. Каталізатори окисно-відновних реакцій.

Каталітичні властивості металів. Теорія мультиплетів Баландіна. Нанесені металічні каталізатори, роль носія. Розведені шари, теорія ансамблів Кобозєва. Роль структурного фактора в каталізі на металах, структурно-чутливі та структурно-нечутливі реакції. Каталіз на металічних монокристалах.

Промотори та їх роль в гетерогенному каталізі. Каталітичні отрути.

Механізм окремих гетерогенно-каталітичних процесів.

### 13. Кінетика електродних процесів

Електроліз, хімічні процеси при електролізі. Види електродної поляризації: концентраційна та хімічна. Напруга розкладу електролітів.

Явище перенапруги. Перенапруга виділення водню, рівняння Тафеля. Теорія повільної рекомбінації атомів водню. Будова подвійного електричного шару, теорія повільного розряду іонів гідроксонію.

## 5. ХІМІЯ ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНИХ СПОЛУК

### 1. Загальні питання хімії полімерів.

Класифікація полімерів. Природні та синтетичні, органічні, елементорганічні та неорганічні полімери. Лінійні, розгалужені та зшиті полімери. Гомополімери, кополімери, блок-кополімери. Стереохімія полімерів. Середньочислові й середньомасові молекулярні маси та ступені полімеризації. Методи визначення молекулярних мас. Молекулярно-масовий розподіл та ступінь полідисперсності. Зміна властивостей при переході від мономерів до олігомерів та полімерів. Фізичні стани у полімерів. Вискоеластичний стан. Аморфні та кристалічні полімери. Методи аналізу полімерів. Фізичні та фізико-хімічні методи дослідження полімерів.

### 2. Полімеризація.

Елементарні стадії полімеризації та їх класифікація залежно від природи активного центру. Кінетичні особливості реакцій полімеризації. Умови стаціонарної та нестаціонарної кінетики. Термодинаміка полімеризації. Теплові

ефекти полімеризації вінільних мономерів та вплив на них стеричного та електронних факторів.

### 3. Кополімеризація.

Рівняння складу кополімера. Методи визначення сталих кополімеризації. Кополімеризація як метод оцінки реакційної здатності мономерів. Схема Q-e Алфрея-Прайса. Вплив механізму полімеризації на склад кополімера. Методи одержання блок та щеплених кополімерів. Практичне значення кополімеризації.

### 4. Радикальна полімеризація.

Загальні поняття про вільні радикали. Методи генерації вільних радикалів. Термічна, радіаційна та фотополімеризація. Радикальна полімеризація з хімічним ініціюванням. ініціатори, регулятори, інгібітори. Кінетична схема радикальної полімеризації. Вплив різних факторів на швидкість полімеризації. Гель-ефект. Зв'язок молекулярної маси полімеру з кінетикою радикальної полімеризації.

### 5. Практичне застосування радикальної полімеризації.

Полістирол. Поліхлорвініл. Полівінілацетат та полівініловий спирт. Полімери ненасичених кислот (акрилової, метакрилової, малеїнової) та їх похідних.

### 6. Йонна полімеризація. Основні відмінності йонної та радикальної полімеризації.

Будова мономерів та їх здатність до різних видів йонної полімеризації. Безобривні процеси та «живі» полімери. Кінетика аніонної полімеризації. Особливості аніонної полімеризації полярних мономерів. Стереорегулювання у аніонній полімеризації. Катіонна полімеризація вінільних мономерів. Будова, активність та методи синтезу карбокатионів. Катіонна полімеризація олефінів та стиrolу. Реакції росту та обмеження росту ланцюга при катіонній полімеризації. Катіонна полімеризація з кінетичним обривом. Кінетика катіонної полімеризації та залежність молекулярної маси полімерів від швидкостей ініціювання, росту, передачі та обриву ланцюга. Псевдокатіонна полімеризація вінілових етерів. Стереорегулювання у катіонній полімеризації. «Живі» полімери в безобривних процесах росту ланцюга та синтези за їх допомогою. Координаційно-йонна полімеризація. Полімеризація олефінів на гомогенних та гетерогенних катализаторах Циглера-Натта. Чотири генерації катализаторів у виробництві поліолефінів. Механізм процесу та стереорегулювання. Полімеризація дієнів на  $\pi$ -алільних комплексах перехідних металів. Проблеми координаційної полімеризації полярних мономерів. Координаційно-йонна кополімеризація. Промислове виробництво полімерів методами йонної та координаційно-йонної полімеризації. Поліетилен низького тиску. Стереорегулярний поліпропілен. Стереорегулярні

каучуки. Бугилкаучук. Полиформальдегід. Полімери та олігомери на основи епоксидних мономерів. Полімери та олігомери оксетанів та тетрагідрофурану.

#### 7. Поліконденсація.

Мономери для поліконденсації. Функціональність мономерів. Гомополіконденсація, гетерополіконденсація та співполіконденсація. Рівняння Карозерса. Вплив нееквівалентності взаємодіючих функціональних груп на довжину полімерного ланцюга при поліконденсації. Молекулярно-масовий розподіл та кінетика поліконденсації. Проведення поліконденсації у розплаві, розчині емульсії та твердій фазі. Рівноважна та нерівноважна поліконденсація, міжфазна поліконденсація. Промислове виробництво поліконденсаційних полімерів. Фенолоформальдегідні смоли. Сечовино- та мелаїноформальдегідні смоли. Поліестери. Лавсан. Поліаміди. Найлон-66. Поліуретани. Полікарбонати. Полііміди. Полісилоксани.

9. Біополімери. Полімери в біологічно активних системах. Полімери з власною біологічною активністю.

Полісахариди: крохмаль, амілоза, амілопектин, глікоген, целюлоза. Способи переробки целюлози. Віскоза. Ацетат целюлози. Нітроцелюлоза. Білки. Нуклеїнові кислоти - найбільш високомолекулярні існуючі сполуки, їх функції.

#### 10. Фізична хімія полімерів.

Характерні фізико-хімічні властивості високомолекулярних сполук, відмінність їх від низькомолекулярних. Поняття про мікро- та макросистему. Конфігурація та конформація макромолекул. Гнучкість ланцюга - фундаментальна якість макромолекул. Вільнозчеплений ланцюг, його теорія. Середньоквадратична відстань між кінцями ланцюга. Розподіл Гауса. Параметр згорнутості макромолекули. Розподіл Максвела. Термодинамічна і кінетична гнучкість макромолекул. Сегмент Куна. Кінетичний сегмент. Пастка Флорі. Параметр гнучкості Флорі. Надмолекулярна організація полімерів в аморфному та кристалічному станах. Флуктуаційні та дискретні надмолекулярні утворення. Будова сферолітів.

#### 11. Фізичні особливості полімерного стану.

Загальна характеристика полімерів. Метастабільні стани полімерної системи. Релаксаційні явища в полімерах. Релаксатори. Спектр часів релаксації. Рівняння Больцмана. Склополібний стан полімерів. Теорія склування. Структурне та механічне склування. Змушена високоеластичність. Релаксаційний характер

процесу склування. Високоеластичний стан полімерів. Розтягування ідеального ланцюга. Рівняння стану макромолекули. Теорія пружності сіток. В'язкопружні властивості полімерів. Модель Кельвіна-Фойгта. Принцип температурно-часової еквівалентності. Рівняння Вільямса-Лендела-Фері. Теплові ефекти. Гістерезисні явища. Релаксація напруги. Рівняння Максвелла. В'язкотекучий стан полімерів. Активаційний механізм течії. Рівняння Ейрінга. Реологічні моделі розвитку деформації у пружнов'язкому тілі.

## 12. Кристалічний стан полімерів.

Особливості фазових перетворень в полімерах. Зародкоутворення та ріст кристалічних структур в полімерах. Валова кінетика кристалізації. Рівняння Колмогорова-Аврамі. Рекристалізація. Рідкокристалічний стан полімерної системи. Орієнтований стан полімерів. Механічні властивості полімерів. Шийка. Довговічність полімерів. Рівняння Жукова.

## 13. Двокомпонентні полімерні системи.

Особливості систем полімер-розчинник. Набухання та розчинення. Термодинамічні критерії розчинення. Якість розчинника. Застосування правила фаз до систем полімер-розчинник. Діаграми стану. Термодинаміка розчинів. Теорія розчинів. Розведені розчини. Критерій Дебая. Рівняння Флорі-Фокса. Характеристична в'язкість, її залежність від молекулярної маси полімеру для гнучких, напівжорстких та жорстких макромолекул. Конформація макромолекул в розчині. Вплив якості розчинника на розміри статистичного клубка.  $\theta$ -температура та  $\theta$ -розчинник. Напіврозведені та концентровані розчини полімерів. Ефективна в'язкість. Структура полімеру в розчині. Залежність в'язкості розчину від молекулярної маси полімеру. Драгли, їх особливості та способи одержання. Термодинамічно рівноважні та нерівноважні драгли. Уявлення про синерезис, тіксотропію, структурну пам'ять драглів. Поліелектроліти та поліамфоліти. Властивості в твердому стані та розчині. Поліелектролітний ефект. Ізоелектрична та ізоіонна точки поліамфолітів. Поліелектролітні комплекси. Іонообмінні високомолекулярні сполуки.

## 14. Інтелектуальні полімерні композиційні матеріали.

Світлочутливі полімерні композити. Полімери в композиційних матеріалах, здатних до фотополімеризації. Негативні фоторезисти. Позитивні фоторезисти. Застосування в оптоелектроніці. Електроночутливі полімери і композити.



Напівпровідникові полімерні композиційні матеріали. Полімерні матеріали для органічних світлодіодів і сонячних елементів.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

### АНАЛІТИЧНА ХІМІЯ

1. Основы аналитической химии. Под ред. Ю.А. Золотова. В 2 кн. Общие вопросы. Методы разделения. Серия "Классический университетский учебник". Кн.1. М.: Высшая школа, 2004. - 360 с. Основы аналитической химии, Под ред. Ю.А. Золотова. В 2 кн. Методы химического анализа. Серия "Классический университетский учебник". Кн.2. М.: Высшая школа, 2004. - 504 с.
2. *Скуг Д., Уест Д.* Основы аналитической химии, т. 1,2, М., Мир, 1979.
3. *Пятницкий И.В.* Теоретические основы аналитической химии. - Киев, Вища школа, 1978.
4. *Пилипенко А.Т., Пятницкий И.В.* Аналитическая химия. т. 1,2, М. Химия, 1990.
5. *Васильев В.П.* Аналитическая химия, т. 1,2, М., Высшая школа, 1989.
6. Аналитическая химия. В 2 томах под ред. Р. Кельнера, Ж-М Мерме, М. Отто, Г. М. Видмера, М.: Мир, 2004.
7. *Отто М.* Современные методы аналитической химии, М. Техносфера, 2006.
8. *Лисенко О.М., Набиванець Б.Й.* Вступ до хроматографічного аналізу. К.: "Корвін Пресс". 2005.
9. *Пилипенко А.Т., Пилипенко Л.А., Зубенко А.И.* Органические реагенты в неорганическом анализе. — К., 1994.
10. *Набиванець Б.Й., Сухан В.В., Калабіна І.В.* Аналітична хімія природного середовища. — К., 1996.
11. *Кузьмин Н.М., Золотов Ю.А.* Концентрирование следов элементов. - М.: Наука, 1988. - 268 с.
12. *Москвин Л.Н., Царицына Л.Г.* Методы разделения и концентрирования в аналитической химии. - Л.: Химия, 1991. - 256 с.
13. *Карпов Ю.А., Савостин А.П.* Методы пробоотбора и пробоподготовки. М.: Бином, 2003. - 243 с.

### НЕОРГАНІЧНА ХІМІЯ

1. *Третьяков Ю.Д., Мартиненко Л.Н., Григорьев А.Н., Цивадзе А.Ю.* Неорганическая химия, т 1,2 – М. Химия, 2001, 2006.
2. *Голуб А.М.* Загальна та неорганічна хімія: У 2т.- К.,1970.
3. *Шрайвер Д., Эткисл,* Неорганическая химия т. 1,2 – М. Мир 2004.
4. *Коттон Ф. Уилкинсон Дж.* Основы неорганической химии. – М.,1979.

5. *О.М. Степаненко, Л.Г. Рейтер, В.М Ледовских, С.В. Иванов* «Загальна та неорганічна хімія» в 2Ч. Київ: «Педагогічна преса» 2000.
6. *Некрасов Б.В.* Основы общей химии : В 2 т.- М., 1973.
7. *Ахметов П.С.* Неорганическая химия .- М.,1975.
8. *Реми Г.* Курс неорганической химии : В 2 т. - М.,1968.

## ОРГАНІЧНА ХІМІЯ

### Основна:

1. *Моррисон Р., Бойд Р.* Органическая химия. – М.: Мир, 1974.
2. *Робертс Дж., Кассерио М.* Основы органической химии: В 2 т. – М.: Мир, 1978.
3. *Терней А.* Современная органическая химия: В 2 т. – М.: Мир, 1981.
4. *Марч Дж.* Органическая химия: В 4 т. – М.: Мир, 1987-1988.
5. *Нейланд О.Я.* Органическая химия. – М.: Высш.шк., 1990.
6. *Агрономов А. Е.* Избранные главы органической химии. – М.: Химия, 1990.
7. *Ластухін Ю.О., Воронов С.А.* Органічна хімія. – Львів: Центр Європи, 2006.
8. *Реутов О. А., Курц А. Л., Бутин К. П.* Органическая химия: В 4 ч. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004 г.
9. *Чирва В. Я., Ярмолюк С. М., Толкачова Н. В., Земляков О. Є.* Органічна хімія. Львів: БаК, 2009.

### Додаткова:

1. *Дрюк В.Г., Карцев В.Г., Хиля В.П.* Курс органической химии. Биологические аспекты. – Симферополь: ЧП «Фактор», 2007.
2. *Ковтуненко В.О.* Загальна стереохімія (2-е видання, перероблене). Підручник для студентів вищих навчальних закладів. К., Кондор, 2005.
3. *Джоуль Дж., Миллс К.* Химия гетероциклических соединений. – М.: Мир, 2004.
4. *Шабаров Ю.С.* Органическая химия. М., Химия, 2002.
5. *Органикум. Практикум по органической химии.* В 2 т. – М.: Мир, 1992.
6. *Сайкс П.* Механизмы реакций в органической химии. – М.: Химия, 1991.
7. *Потапов В.М.* Стереохимия. – М.: Химия, 1988.
8. *Кери Ф., Сандберг Р.* Углублённый курс органической химии. В 2 т. М.: Химия, 1981.
9. *Несмеянов А.Н., Несмеянов Н.А.* Начала органической химии: В 2 кн. – М., Л.: Химия, 1969-1970.
10. *Clayden J., Greeves N., Warren S., Wothers P.* Organic Chemistry, 1st ed., OxfordUniversity Press, New York, 2001.

## ФІЗИЧНА ХІМІЯ

1. Даниэльс Ф., Олберти Р. Физическая химия. – М. Мир, 1978. – 646 с.
2. Эткинс П. Физическая химия в 2 т. – М., Мир, 1980. – т. 1 – 580 с.; т. 2 – 584 с.
3. Курс физической химии /под ред. Я.И. Герасимова, в 2 т., М. Химия, т. I – 1970, 592с.; т. II – 1973, 623с.
4. Стромберг А.Г., Семченко Д.П. Физическая химия. – М., Высшая школа, 1999. – 527 с.
5. Товбин М.В. Физическая химия. – К., 1975.
6. Яцимирський В.К. Фізична хімія.- К., Перун, 2005. 500с.

## ХІМІЯ ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНИХ СПОЛУК

1. Гетьманчук Ю.П. Полімерна хімія. (ч. 1. Радикальна полімеризація).- К., 1999.
2. Z. FloljanczykiS. Penczek. Съешіа polimerow t. 1-3. Warszawa. 1995-1997.
3. Киреев В.В. Высокомолекулярные соединения.- М., 1992.
4. Оудиан Дж. Основы химии полимеров. - М., 1974.
5. Тагер А.А. Физико-химия полимеров.- М., 1968.
6. Шур А.М. Высокомолекулярные соединения.- М., 1981.
7. Бартенев Г.М. Физика и механика полимеров. - М., 1983
8. Ерусалимский Б.Л. Процессы ионной полимеризации.- Л., 1974.
9. Зильберман Е.Н. Примеры и задачи по химии высокомолекулярных соединений. - М., 1984.
10. Кеннеди Дж. Катионная полимеризация. - М., 1978.
11. Практикум по химии и физике полимеров. / Под ред. проф. Куренкова В.Ф. - М., 1990.
12. Соколов Л.Б. Основы синтеза полимеров методом поликонденсации. -М., 1979.
13. Усков І.А., Єременко Б.В., Пелішенко С.С., Нижник В.В. Колоїдна хімія з основами фізико-хімії ВМС. - К., 1988.
14. Энциклопедия полимеров т. 1-3. -К., 1973-1975.