

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**

**Голова Приймальної комісії  
В.о. ректора  
Київського національного університету  
імені Тараса Шевченка**



**Валерій КОПІЙКА**

**ПРОГРАМА  
ВСТУПНОГО ІСПИТУ ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ  
НА ЗДОБУТТЯ СТУПЕНЯ ДОКТОРА ФІЛОСОФІЇ**

**Освітньо-науковий рівень – доктор філософії**

**Галузь знань – Е Природничі науки, математика та статистика**

**Спеціальність – ЕЗ «Хімія»**

**Освітньо-наукова програма «ХІМІЯ»**

**КИЇВ – 2026**

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

**ПРОГРАМА  
ВСТУПНОГО ІСПИТУ ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ  
НА ЗДОБУТТЯ СТУПЕНЯ ДОКТОРА ФІЛОСОФІЇ**

**Освітньо-науковий рівень – доктор філософії  
Галузь знань – Е Природничі науки, математика та статистика  
Спеціальність – ЕЗ «Хімія»  
Освітньо-наукова програма «ХІМІЯ»**

Голова предметної комісії

 Юліан ВОЛОВЕНКО

Гарант  
освітньо-наукової програми

 Василь ПИВОВАРЕНКО

КИЇВ – 2026

## ВСТУП

Вступники на освітньо-наукову програму «ХІМІЯ» третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти (доктор філософії) зі спеціальності ЕЗ «ХІМІЯ» складають письмовий вступний іспит зі спеціальності.

Програма вступного іспиту до аспірантури укладена в обсязі стандарту вищої освіти магістра зі спеціальності ЕЗ “ХІМІЯ”. Програма вступного іспиту зі спеціальності розроблена відповідно до вимог розділу V Правил прийому до Київського національного університету імені Тараса Шевченка у 2026 році, затверджених Вченою радою Університету 04.05.2026 (протокол № 12) та введених в дію наказом ректора № 510-32 від 05.05.2026.

Програма затверджена на засіданні вченої ради хімічного факультету «20» травня 2026 року (протокол № 11).

**Метою програми** вступного іспиту є оцінювання рівня знань вступників та їхня здатність до здійснення науково-дослідної роботи, а саме: оцінювання теоретико-методологічної підготовки вступника; оцінювання здібностей вступника до науково-дослідної роботи; оцінювання наявних у вступника наукових та навчальних досягнень.

**Форма проведення іспиту.** Вступний іспит зі спеціальності проводиться в очному форматі у письмовій формі. Під час проведення вступного іспиту зі спеціальності здійснюється відеозапис процесу проведення іспиту.

**Структура іспиту.** Вступний іспит зі спеціальності складається з трьох основних компонентів:

- 1) виконання завдань екзаменаційного білету з розгорнутою відповіддю;
- 2) оцінювання дослідницької пропозиції, (готується технічним секретарем на основі поданих файлів у форматі pdf і надаються на розгляд комісії);
- 3) презентація наукових та/або навчальних досягнень (готується технічним секретарем на основі поданих документів і надаються на розгляд комісії).

Тривалість проведення іспиту. Тривалість виконання усіх компонентів іспиту складає 120 хвилин.

**Схема формування оцінки.** Результати виконання завдань вступного іспиту зі спеціальності оцінюються за 200-бальною шкалою.

Формування оцінки за вступний іспит до аспірантури здійснюється за наступною схемою:

Компонент іспиту	Мінімальна кількість балів	Максимальна кількість балів
Теоретичні та практичні питання	0	140

Презентація дослідницької пропозиції	0	30
Наукові та навчальні досягнення	0	30

Підсумкова оцінка за вступний іспит зі спеціальності формується шляхом додавання оцінок за теоретичні та практичні питання, презентацію дослідницької пропозиції, наукові та/або навчальні досягнення.

У разі отримання вступником підсумкової оцінки за вступне випробування до аспірантури зі спеціальності у межах 0-99 балів комісією ухвалюється рішення про негативну оцінку («незадовільно») за вступний іспит.

Дослідницька пропозиція має містити наступні структурні частини:

- формулювання наукової проблеми;
- актуальність тематики;
- стан розробки у вітчизняній та зарубіжній науці, виділення невирішених аспектів обраної проблематики;
- мета та завдання дослідження;
- формулювання та аргументація наукової гіпотези;
- методологія та науковий інструментарій дослідження;
- список літератури та потенційних джерел первинної інформації;
- передбачувана новизна дослідження;
- можливі напрями практичного застосування передбачуваних результатів дослідження.

### **Критерії оцінювання**

*Результати виконання завдань з розгорнутою відповіддю оцінюються за наступними критеріями і балами:*

121-140 балів – «відмінно» – заслуговує вступник у разі глибокого розуміння теоретичних концепцій та прикладного аналізу завдання; відповідь повністю висвітлена та відповідає вимогам всебічного системного і глибокого знання програмного матеріалу; чіткому володінню понятійним апаратом, методами та інструментами, передбаченими програмою дисципліни. У відповіді продемонстровано здібності у розумінні, викладі та використанні програмного матеріалу.

101-120 балів – «добре» – заслуговує вступник у разі чіткого представлення теоретичних вмінь і навичок у контексті спеціалізації; всі завдання повністю виконані без суттєвих помилок або з незначними помилками; відповідь демонструє виявлення знань основного програмного матеріалу, володіння теорією та

необхідними методами, передбаченими програмою; вміння використовувати їх для вирішення типових ситуацій, припускаючи окремі незначні помилки.

81-100 балів «задовільно» – заслуговує вступник у разі здатності до самостійного виконання завдання з використанням базових знань; у відповіді присутні значні прогалини у знаннях основного програмного матеріалу: не досить упевнено володіє окремими поняттями, методами та теорією, про що свідчать принципові помилки під час їх використання.

50-80 балів «незадовільно» – відповідь демонструє обмежене розуміння завдання і недостатню здатність застосовувати теоретичні знання та практику, що призводить до невірних висновків та помилок у виконанні практичного завдання.

*Результати виконання презентації дослідницької пропозиції оцінюються за наступними критеріями*

1. Науковий апарат дослідження: якість обґрунтування актуальності, мети, об'єкту досліджень, предмету досліджень, завдань дослідження, його новизни та послідовності виконання.
2. Методи дослідження: обґрунтованість запропонованих вступником методів дослідження, їх релевантність меті, завданням та темі.
3. Аналіз літературних джерел: уміння аналізувати, систематизувати наукові джерела та оформляти їх за відповідними стилями.

*Бали оцінювання компонентів дослідницької пропозиції.* Кожен структурний компонент дослідницької пропозиції оцінюється за 30-бальною шкалою з врахуванням коефіцієнтів: науковий апарат дослідження 0,5; методи дослідження 0,3; аналіз літературних джерел 0,2.

*Оцінювання наукових та навчальних здобутків вступника здійснюється за наступними критеріями.*

Навчальні та наукові досягнення	Код	Кількість балів
Диплом переможця чи призера міжнародної студентської олімпіади з хімії*	ДБ <sub>1</sub>	перше місце – 30 друге місце – 25 третє місце – 15
Диплом переможця чи призера Всеукраїнської студентської олімпіади МОН України з хімії *	ДБ <sub>2</sub>	перше місце – 15 друге місце – 10 третє місце – 5
Диплом переможця чи призера Міжнародного конкурсу студентських наукових робіт з хімії *	ДБ <sub>3</sub>	перше місце – 30 друге місце – 25 третє місце – 15

Диплом переможця чи призера Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт МОН України з хімії *		перше місце – 15 друге місце – 10 третє місце – 5
Диплом переможця чи призера Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт МОН України з хімії (I тур – у разі відсутності II туру)*		перше місце – 7 друге місце – 5 третє місце – 3
Диплом переможця чи призера Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт НАН України з хімії *	ДБ <sub>1</sub>	перше місце – 15 друге місце – 10 третє місце – 5
Диплом лауреата премії НАН України для молодих учених та студентів ЗВО з хімії	ДБ <sub>2</sub>	15
Стаття у науковому виданні, включеному до Переліку наукових фахових видань України (категорія Б) або у закордонному виданні (з хімії)**	ДБ <sub>3</sub>	10 (кожна стаття) 5 (якщо стаття має більше 2 співавторів)
Стаття у виданні, яке індексується у міжнародних наукометричних базах Scopus або Web of Science (з хімії)**	ДБ <sub>4</sub>	10 (кожна стаття)
Матеріали конференції, які проіндексовано у міжнародній наукометричній базі Scopus або Web of Science (з хімії)**		5 (кожен матеріал)
Участь у науковій конференції (за умови опублікування тез доповіді з хімії)***	ДБ <sub>5</sub>	2 (кожні тези)
Патент України на винахід з хімії ***	ДБ <sub>6</sub>	10
Диплом магістра/спеціаліста з відзнакою з хімії	ДБ <sub>7</sub>	5

Загальна сума балів за навчальні/наукові досягнення не може перевищувати 30 балів:

$$ДБ_1 + ДБ_2 + ДБ_3 + ДБ_4 + ДБ_5 + ДБ_6 + ДБ_7 + ДБ_8 + ДБ_9 + ДБ_{10} + ДБ_{11} \leq 30$$

Дослідницька пропозиція та наукові досягнення (подаються в електронній формі до відбіркової комісії хімічного факультету [asp.chem@knu.ua](mailto:asp.chem@knu.ua) після отримання в особистому електронному кабінеті статусу «Зареєстровано в ЄДЕБО».

Паперовий варіант дослідницької пропозиції з особистим підписом, список наукових публікацій, завірений деканом або зав. кафедрою та паперові копії друкованих робіт **надаються особисто** до кімн.218а до **25 серпня 2026 р.**

# 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, орбіталі. 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.

### **Властивості s- і p-елементів періодичної системи та їх сполук.**

*Загальна характеристика елементів I групи (Гідроген; лужні елементи: Літій, Натрій, Калій, Рубідій, Цезій).* Гідроген. Особливості його хімічних властивостей. Лужні метали, їх одержання, фізичні, хімічні властивості та застосування. Оксиди, гідроксиди, пероксиди та озоніди.

*Загальна характеристика елементів II групи (Берилій; Магній; лужноземельні елементи: Кальцій, Стронцій, Барій).* 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 погано розчинні солі. Зміна термічної стійкості солей в ряду лужноземельних металів. Галогеніди лужноземельних металів.

*Загальна характеристика елементів XIII групи (Бор, Алюміній, Галій, Індій, Талій).* Бор. Одержання кристалічного та аморфного бору, його взаємодія з металами та неметалами. Бориди. Борани. Нітрид бору. Боразон та "біла сажа". Галогеніди бору. Боратні кислоти та їх солі, одержання, будова та 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 молекулярні сита. 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 XIV групи (Карбон, Силіцій, Германій, Станум, Плюмбум).* Карбон. Знаходження у природі, поширеність у органічному та неорганічному світі. Особливість електронної будови атома вуглецю. Утворення зв'язків карбон-карбон різної кратності та природа зв'язків карбону з іншими елементами. Алотропія (алмаз, графіт, графен, карбін, фулерени). Застосування алмазу, графіту й сажі. Хімічні властивості вуглецю. Оксиди карбону. Карбонатна кислота та її солі. Карбоніли.

Силіцій. Роль силіцію в будові земної кори. Основні силіційовмісні 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.

Поширеність елементів підгрупи германію 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, гідроксиди, солі. Кислотно-основні та окисно-відновні властивості сполук елементів (II) та (IV) підгрупи германію. Свинцевий акумулятор. Галогеніди та сульфідні елементів підгрупи германію.

*Загальна характеристика елементів XV групи (Нітроген, Фосфор, Арсен, Стийбій, Бісмут).* Азот. Поширеність та кругообіг у природі. Застосування та властивості азоту. Методи зв'язування атмосферного азоту. Амоніак. 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 нітрогену, їх властивості. Оксиди нітрогену. Оксид нітрогену (I). Одержання, властивості, застосування. Монооксид нітрогену (NO), одержання та його властивості. Оксид нітрогену (III). Нітритна кислота. Нітрити та їх властивості. Нітратна кислота, її властивості, методи одержання та застосування. Нітрати, їх властивості, термічна стійкість та практичне значення.

Форми знаходження фосфору у природі. Алотропні видозміни фосфору. Властивості фосфору, його застосування. 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. Галогеніди фосфору. 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. Сульфідні елементів підгрупи арсену.

*Загальна характеристика елементів XVI групи (Оксиген; халькогени: Сульфур, Селен, Телур; Полоній).* Оксиген. Його значення у еволюції земної кори та живої природи. Будова молекули кисню з позиції методу ВЗ та МО. Хімічні властивості кисню. 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. Оксиди халькогенів, їх одержання та властивості. Сульфатна кислота, її одержання, властивості та застосування. Олеум. Сульфати, їх термічна стійкість. Полісульфати. Пероксосульфатні кислоти та їх солі. Одержання селенатної та телуратної кислоти. Сульфіти, тіо(селено)-сульфати та політіонати. Галогенвмісні сполуки халькогенів. Тіоангідриди. Тіокислоти та їх солі. Застосування халькогенідів у хімічному аналізі.

*Загальна характеристика елементів XVII групи (галогени: Фтор, Хлор, Бром, Йод).* Поширеність у природі. Основні мінерали. Одержання простих речовин, фізичні й токсикологічні властивості галогенів. Хімічні властивості галогенів. Міжгалогенні сполуки. Галогеноводні, їх фізичні та хімічні властивості. Одержання галогеноводнів. Галогеноводневі кислоти та їх солі. Галогеніди сольового, основного, амфотерного, кислотного та несольового типів. Оксигенвмісні сполуки галогенів. Оксигенвмісні кислоти галогенів, їх властивості, добування та застосування. Солі оксигенвмісних кислот галогенів, їх практичне застосування. Порівняльна характеристика стійкості та властивостей оксидів галогенів та їх оксигенвмісних кислот.

*Загальна характеристика елементів XVIII групи (Гелій, Неон, Аргон, Криптон, Ксенон).* Інертні гази. 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.

## **2. Хімія перехідних елементів.**

*Загальна характеристика елементів III групи (Скандій, Ітрій, Лантан, Актиній, лантанноїди, актиніди).* Загальна характеристика рідкісноземельних елементів (РЗЕ). Поширеність у земній корі. Одержання металів, їх фізичні властивості. Класифікація лантанноїдів. Лантанноїдне стиснення. Хімічні властивості РЗЕ. Оксиди та гідроксиди. Солі простих оксигенвмісних кислот. Прості та комплексні солі. Леткі сполуки РЗЕ.

Практичне використання РЗЕ та їх сполук.

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

*Загальна характеристика елементів IV групи (Титан, Цирконій, Гафній).* 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. Оксиди та гідроксиди, їх кислотно-основні властивості. Титанати, цирконати та гафнати, їх одержання. Галогеніди елементів підгрупи титану, їх одержання, властивості та застосування.

*Загальна характеристика елементів V групи (Ванадій, Ніобій, Тантал).* Поширеність сполук елементів V групи 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), (III) та (IV). Оксиди елементів (V). Ванадати, ніобати, танталати, одержання та властивості. Галогеніди елементів підгрупи ванадію, їх хімічні властивості.

*Загальна характеристика елементів VI групи (Хром, Молібден, Вольфрам)* 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.

#### **Загальна характеристика елементів VII групи (Манган, Технецій, Реній)**

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). Перманганати та манганати. Застосування у лабораторіях та промисловості.

*Загальна характеристика елементів VIII, IX та X груп (родина заліза: Залізо, Кобальт, Нікель; платинові метали: Рутеній, Родій, Паладій, Осмій, Іридій, Платина)* Родина 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 елементів (II). Оксиди та гідроксиди, їх властивості. Солі та їх властивості. Сполуки у ступені окиснення +3. 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.

*Загальна характеристика елементів XI групи (Купрум, Аргентум, Аурум).* Поширеність у природі, основні мінерали. Металургія міді, срібла та золота. Фізичні властивості металів. Застосування металів XI групи та їх сполук. Хімічні властивості. Зміна основних ступенів окиснення в підгрупі. Оксиди та гідроксиди елементів підгрупи міді. Галогеніди. Солі оксигенвмісних кислот. Сполуки елементів XI групи зі ступенями окиснення +1, +2, +3.

*Загальна характеристика елементів XII групи (Цинк, Кадмій, Ртуть).* Загальна характеристика, поширеність у природі, основні мінерали. Одержання металів, їх фізичні властивості та застосування. Хімічні властивості металів XII групи. Оксиди, гідроксиди, солі, їх хімічні властивості. Особливість хімії ртуті. Комплексоутворююча здатність металів підгрупи цинку.

## 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. Внутрішньокмплесні 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. Співосаження. 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. Основні методу, види вольтамперометрії залежно від способів розгортки потенціалу. Полярнографічний аналіз. Полярнографічна хвиля, її характеристика та особливості. Залишковий, дифузійний та граничний дифузійний струми. Полярнографічні максимуми та фактори, що впливають на них. Якісний і кількісний полярнографічний аналіз. Особливості застосування твердих електродів в аналізі. Інверсійна вольтамперометрія, особливості методу, галузі застосування. Вольтамперометрія органічних сполук. Амперометричне титрування. Види кривих амперметричного титрування. Пряма амперометрія. Поняття про амперометричні сенсори. Кулонометрія, основи методу. Пряма кулонометрія при постійному потенціалі, види кулонометрів. Кулонометричне титрування. Особливості методу. Кондуктометрія. Області 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. Інші види джерел атомізації та збудження в методі атомно-емісійної спектрометрії. Атомно-абсорбційний аналіз. Джерела атомізації 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-спектрометрії. Основи методу, способи іонізації органічних та неорганічних речовин. Типи мас аналізаторів. Хромато-мас-спектрометрія. Области застосування мас-спектрометрії в аналізі.

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

Методи мікроскопії. Мікроскопія у видимому світлі, електронна, атомна скануюча 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 внутрішньоконплексних сполук. Рівняння Кольтгофа-Сендела. Вплив природи органічного розчинника на екстракцію внутрішньоконплексних сполук. Екстракція координативно насичених та ненасичених конплексів. Вибірковість розділення металів при екстракції внутрішньоконплексних 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, нуклеїнових кислот. Поняття про біосенсиори 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, брутто-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). 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).. Основні поняття електронної і просторової будови молекул. Перекривання орбіталей. Довжина та спрямованість зв'язку. Наближені математичні методи оцінки електронної будови молекул: метод молекулярних орбіталей, метод валентних зв'язків, теорія резонансу тощо.  $\sigma$ - і  $\pi$ -зв'язки

Дві групи характеристик електронної будови: енергетичні та зв'язані з розподілом електронної густини. Енергетичні характеристики: енергія зв'язку, потенціал іонізації, 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 катализ. Синхронні процеси: реакції циклоприєднання та циклорозщеплення, сигматропні перегрупування, електроциклічні реакції, хелетропні реакції, реакції переносу груп. Поняття про правила Вудворда – Хоффмана; уявлення про дозволені і заборонені за симетрією синхронні процеси з позицій розгляду граничних МО реагентів..

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. Флуоресценція. Спектри ядерного магнітного резонансу: їхня природа, основні характеристики (хімічний зсув, інтенсивність, мультиплетність сигналів), зв'язок із будовою молекул. Спектроскопія ЯМР на ядрах  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{19}\text{F}$ ,  $^{31}\text{P}$ ,  $^{14}\text{N}$  та  $^{15}\text{N}$  тощо. Мас-спектрометрія: основні принципи, види органічних іонів, молекулярний іон. ізотопний склад спектрів, види іонізації, фрагментація іонів. Хроматографія як метод аналізу та очищення органічних сполук.

1.6. Основні бази даних для пошуку хімічної інформації: Reaxys, SciFinder, Organic Syntheses, PubChem, ChemBL, PDB, CCDC тощо. Основні наукові журнали, що публікують первинні дослідження та оглядові статті з органічної хімії.

1.7. Поняття про планування синтезу та ретросинтез. Синтони та синтетичні еквіваленти. Цілеспрямований та комбінаторний синтез. Концепції органічного синтезу на стику органічної та медичної хімії.

## 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..

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 дигалогеноалканів за реакцією Вюрца, взаємодія діазометану з алкенами, синтези на основі малонового естеру та похідних дикарбонових кислот, реакції циклоприєднання. Реакції Кулінковича, Посона – Кханда Гідрування ароматичних вуглеводнів. Розширення і звуження циклів. Просторова будова циклоалканів. Конформації циклогексану та його похідних: крісло, човен, 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. Загальні уявлення про середні цикли і макроцикли. Трансанулярні реакції.

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

2.3. Алкени. Номенклатура, *Z,E*- (*цис*-,*транс*-) ізомерія. Електронна будова і геометрична ізомерія алкенів. Способи утворення подвійного зв'язку, дегідрування алканів, часткове гідрування алкінів, дегідрогалогенування, дегалогенування, дегідратация спиртів та реагент Бургеса, термічний розклад четвертинних амонієвих основ (реакція Гофмана) та оксидів амінів (реакція Коупа), інші реакції

син-елімінування. Перетворення карбонільної групи на групу C=C (реакції Віттіга, Хорнера – Водствордта – Емонса, Петерсена, Теббе, Джуліа).

Поняття про механізми хімічних перетворень алкенів. Гідрування в присутності каталізаторів, гомогенне гідрування. Приєднання електрофільних реагентів до зв'язку C=C: кислот, галогеноводнів, води, галогенів. Правило Марковникова та його інтерпретація. Обернення орієнтації приєднання бромоводню (за Харашем) як наслідок зміни механізму реакції (пероксидний ефект). Приєднання галогенів: утворення галогенієвих іонів. 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 (у тому числі асиметричне) *цис*- і *транс*-гідроксилювання, розщеплення зв'язку C=C, озоноліз. Реакції алкенів за алільним положенням: галогенування, окиснення.. Реакції крос-метатезису.

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. Реакції метатезису за участі дієнів.

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. Реакція Соногашири та азид-алкінова клік-реакція. Реакції метатезису за участі алкінів: еніновий та алкін-алкіновий метатезис. Карбін.

2.6. Ароматичні вуглеводні (арени). Бензен і його гомологи: толуен, ксилени, кумен; номенклатура, ізомерія. Фізичні властивості й основні спектральні характеристики бензену та його гомологів. Ефект кільцевих  $\pi$ -електронних струмів у спектрах ЯМР. 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, 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 С-Н кислотності, карбаніони, їх електронна будова і фактори, що визначають відносну стабільність. Ди- і трифенілметанові барвники. Стилбен.

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.

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. Механізм  $E1cB$ .

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. Реагенти для деокси- та деоксофлуорування оксигеновмісних сполук. Гексахлороциклогексан.

Сполуки з підвищеною рухливістю атома галогену. Аліл- і бензилгалогеніди, способи їх одержання та особливості хімічних властивостей. Хлорометилювання 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,.

3.4. Ароматичні галогенопохідні. Способи одержання. Галогенування ароматичних вуглеводнів, синтез із солей діазонію. Реакції, що стосуються зв'язку C-NaI. 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 кіне-заміщення.

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.

Реакції метал-каталізованого крос-сполучення (Паладій, Купрум, Нікель). Реакції Хека, Сузуки, Кумади, Стілле, Негіші. Реакції Бухвальда – Хартвіга та Чена – Лема. Механізми метал-каталізованих процесів крос-сполучення.

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-NaI, відновлення карбонільної та естерової груп, синтези з використанням металоорганічних сполук. Промислові способи одержання найпростіших аліфатичних спиртів, циклогексанолу. Електронна природа і полярність зв'язків C-O та O-H, 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 реагент метилювання.

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  $\alpha$ -оксиди, 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. Нітратні 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..

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.

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 за кільцем. Конденсація фенолів з формальдегідом, фенолформальдегідні смоли. Реакції електрофільного заміщення, характерні для фенолів і фенолятів як ароматичних сполук з підвищеною реакційною здатністю: карбоксилювання, нітрузування, азосполучення, введення ацильної групи (реакції Гаттермана, Геша, Раймера – Тімана, Вільсмайєра – Гаака – Арнольда). Гідрування і окиснення фенолів. Стабільні фенокисьні 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. Флороглуцин: 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: 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 іонами 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, епіхлорогідрин.

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). Методи м'якого окиснення первинних та вторинних аліфатичних спиртів (реакція Сверна, реагенти Деса-Мартіна, Колінза, Лея тощо). Синтез альдегідів і кетонів з карбонових кислот та їхніх похідних: відновлення хлорангідридів (реакція Розенмунда), 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 C-нуклеофілами: утворення ціангідринів, приєднання магнійорганічних сполук. Кето-енольна таутомерія і пов'язані з нею властивості карбонільних сполук: галогенування і галоформне розщеплення, нітрузування, алкілювання. Альдольно-кетонова конденсація та її механізм при кислотному і основному каталізі. Конденсація альдегідів і кетонів зі сполуками інших типів, що містять активну метиленову групу

(реакція Кневенагеля). Циклолігомеризація 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. Реакція Пінніка. Реакція Байєра-Вілігера. Каталітичне гідрування карбонільних сполук, відновлення комплексними гідридами металів, спиртами в присутності алкоголятів алюмінію (рівновага Меєрвейна – Понндорфа – Верлея), 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. Нітрогеновмісні 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. Розклад гідразонів, що каталізується основою, як спосіб відновлення карбонільних сполук (реакція Кіжнера – Вольфа). Кислотний гідроліз гідрогенсульфітних 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. Бензил, бензильне перегрупування.  $\beta$ -Дикарбонільні сполуки, кето-енольна таутомерія, алкілювання, утворення хелатних комплексів з іонами 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, кротонова 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, реакції [2+2] циклоприєднання.

3.10. Хінони. Одержання *o*- і *p*-бензо- і нафтохінонів. Властивості хінонів: одержання моно- і діоксимів, приєднання хлороводню, аніліну, оцтового ангідриду, реакція з діенами. Зіставлення властивостей хінонів і  $\alpha, \beta$ -ненасичених кетонів. Хінгідрон. Поняття про комплекси з переносом заряду (КПЗ). Семіхінони. Поняття про іон-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 нітрилів 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 Бородіна – Хунсдіккера). Радикальні реакції за учасні естерів Бартона та естерових похідних *N*-гідроксифталіміду.

Хлороангідриди: реакції з нуклеофілами і використання хлороангідридів як агентів ацилювання, реакція Розенмунда, реакції з магнійорганічними сполуками, Бензоїлхлорид одержання, реакційна здатність за взаємодії з нуклеофілами, використання як реагента бензоїлювання.

Естери: відновлення комплексними гідридами металів, реакція Буво – Блана. Реакції переестерифікації та естерової конденсації (Кляйзен). Реакція Кулінковича.

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

Амідни: кислотно-основні 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, уявлення про основні шляхи застосування амідів. Взаємоперетворення амідів і нітрилів. Методи активації

карбонових кислот у синтезі амідів: використання уронієвих, фосфонієвих солей, карбодіамідів, активованих естерів тощо.

Нітрили. Властивості нітрилів: каталітичне гідрування, відновлення тгідридними відновниками, реакції з магнійорганічними сполуками.

Амідини: причини підвищеної основності порівняно з амідами і амінами. DBU, DBN.

Дикарбонові кислоти. Номенклатура і класифікація. Методи синтезу: окиснення циклоalkanів, ациклічних спиртів і кетонів, ароматичних і алкілароматичних вуглеводнів, гідроліз моно- і динітрилів, синтези з використанням маленового 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.

Маленова кислота: декарбоксилювання і причини підвищеної легкості його перебігу, конденсації з карбонільними сполуками. Властивості маленового естеру та їх синтетичне використання: конденсації з карбонільними сполуками (реакція Кневенагеля), приєднання до кратного зв'язку, активованого електроноакцепторними замісниками (реакція Міхаеля), утворення, алкілювання та окисна конденсація натрмаленового 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.

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); естери та їхнє практичне 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 COOH і зв'язку C=C. Приєднання води, аміаку, галогеноводнів, причини орієнтації, що спостерігається в цих реакціях. Методи одержання і шляхи використання

акрилової, метакрилової кислот і їх похідних.. Природні джерела й практичне значення олеїнової, лінолевої, ліноленої, арахідонової кислот. Поняття про простагландини та ейкозаноїди. Ліпіди, жири.

3.14. Ненасичені дикарбонові кислоти. Способи одержання малеїнової кислоти та її ангідриду. Стереοізомерія і взаємоперетворення малеїнової та фумарової кислот, виявлення стереοізомерії у відмінностях між їхніми хімічними властивостями у просторовій будові продуктів їхніх реакцій, що відбуваються по зв'язку C=C.

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. C-N 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 C=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; нуклеοфільне заміщення нітрогрупи; утворення комплексів з переносом заряду (пiкрати). Нітропохідні толуену: окиснення і внутрішньомолекулярне диспропорціонування нітротолуенів, C-N кислотність фенілнітрометану. Тротил.

Продукти неповного відновлення нітросполук. Нітрососполуки: таутомерія, димеризація, реакції конденсації. Фенілгідроксиламін, азоксибензен та їх перегрупування. Гідразобензен, бензидинове та семідинове перегрупування.

3.16. Аміни. Класифікація, номенклатура. Способи синтезу, засновані на реакціях нуклеοфільного 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). DPPA.

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, електронна будова, практичне застосування; каталізatori міжфазового каталізу. Четвертинні амонієві основи і оксиди амінів: реакції розкладу з утворенням олефінів (реакції Гофмана і Коупа). Енамiни. Полiметинові 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-фенілендіаміну 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 (реакція Зандмейєра). 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 аліфатичного 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: хлороангідриди, амiди, естери. Сульфони, сульфоксиди й сульфiди. Диметилсульфоксид як розчинник і як окисник. Реактив Корі (димсилнатрій). Використання органічних сполук Сульфуру для обернення полярності синтонів. Ілiди Сульфуру. Органічні сполуки силіцію, їх використання як захисних груп. Реакція Тамао-Флемінга. Силіційорганічні еталони в спектроскопії ЯМР. Типи органічних сполук фосфору, їх взаємні переходи. Реакція Арбузова. Ілiди фосфору.

Магній- і літійорганічні сполуки. Способи одержання з галогенопохідних і вуглеводнів, що мають високу С-Н кислотність. Реакції літіювання. 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, бору, стануму; їх одержання і застосування. Металоорганічні сполуки перехідних металів. Фероцен та інші металоцени. Органічні сполуки цирконію, церію.. Купруморганічні сполуки в органічному синтезі.

#### 4. Гетерофункціональні сполуки

4.1. Гідроксикислоти. Номенклатура і класифікація. Аліфатичні гідроксикислоти. Загальні методи синтезу, засновані на властивостях ненасичених, галогено-, кетой амінокарбонових і дикарбонових кислот, багатоатомних спиртів, гідроксиальдегідів і гідроксинітрилів. Синтез β-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. . Ароматичні гідроксикислоти: одержання карбоксилюванням 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..

4.2. Альдегідо- і кетокислоти. Номенклатура і класифікація. Найпростіші α-альдегідо- і α-кетокислоти. Одержання з кетонів, карбонових кислот та їх похідних. Хімічні властивості, β-альдегідо- та β-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 електроноакцепторними замісниками (реакція Міхаеля); синтетичне використання цих реакцій. Взаємодія з гідрогенсульфітом натрію, ціановоднем, гідроксиламіном і похідними гідразину. Реакція бромовання, нітрузовання, азосполучення, ацетилювання, взаємодія з магнійорганічними сполуками і діазометаном.

4.3. Вуглеводи. Номенклатура і класифікація. Характерні хімічні властивості. Моносахариди. Стереїзомери, конфігураційні ряди. Кільчасто-ланцюгова таутомерія, мутаротація. Реакції, що застосовують для встановлення структурних і стереохімічних характеристик моносахаридів: окиснення і відновлення, ацилювання, алкілювання, утворення фенілгідразонів і озазонів, 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 малонового, ацетооцтового і нітрооцтового естерів, галоген- і кетокарбонових кислот. Реакції Штрекера, Бухерера – Бергса та Петасіса. Методи синтезу β-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, захисні групи та реагенти для нього.

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

## 5. Гетероциклічні сполуки

5.1. Загальні уявлення і класифікація гетероциклів. Номенклатура гетероциклів.

5.2. П'ятичленні гетероцикли з одним гетероатомом (фуран, тіофен, пірол). Загальні методи синтезу. Залежність ступеня ароматичності від природи гетероатома і його вплив на особливості взаємодії гетероциклу з електрофілами. Порівняльна характеристика фізичних і хімічних властивостей фурану, тіофену, піролу та бензену. Реакції металювання. 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, індіго.. Методи синтезу піролідинів за реакціями [3 + 2] циклоприєднання.

5.3. П'ятичленні гетероцикли з декількома атомами Нітрогену, Оксигену або Сульфуру. Піразол, імідазол, триазоли, тетразол; оксазол, тіазол; ізоксазол:

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, у тому числі метал-каталізовані. 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.

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 піримідину. 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. Теплота та робота. Перший закон термодинаміки Ізохорний процес, теплота 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 теплота. 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 Максвела та їх використання. Методи обчислення та фізичний зміст вільної енергії.

Оборотні (рівноважні) та необоротні (нерівноважні, спонтанні) процеси. Критерії самочинного перебігу спонтанних процесів. Принцип Бертло. 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 плавляться 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 елемента. 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 (ЕРС) 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 ЕРС. Розрахунок констант рівноваги окисно-відновних реакцій за даними ЕРС. 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.

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. Оборотної 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. Кисотно-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. Питома поверхня адсорбентів та її визначення.

Теорія полімолекулярної адсорбції - теорія БЕТ (Брунауера - Еммета - Теллера). Головні постулати теорії БЕТ. Аналіз рівняння БЕТ та його лінеаризація. Типи ізотерм адсорбції.

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. Високоеластичний 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

нестационарної 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. Іонна полімеризація. Основні відмінності іонної та радикальної полімеризації.

Будова мономерів та їх здатність до різних видів іонної 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-іонна полімеризація. Полімеризація олефінів на гомогенних та гетерогенних катализаторах Циглера-Натта. Чотири генерації катализаторів у виробництві поліолефінів. Механізм процесу та стереорегулювання. Полімеризація дієнів на π-алільних комплексах перехідних металів. Проблеми координаційної полімеризації полярних мономерів. Координаційно-іонна кополімеризація. Промислове виробництво полімерів методами іонної та координаційно-іонної 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

### НЕОРГАНІЧНА ХІМІЯ

1. *Голуб А.М.* Загальна та неорганічна хімія. В 2 ч. – К: Вища школа, 1971. –442с.
2. *Неділько С.А., Попель П.П.* Загальна і неорганічна хімія. – Київ: Либідь , 2001.
3. *Слободяник М.С., Бойко К.М., Самійленко В.М., Улько Н.В.* Практикум із загальної та неорганічної хімії. – Київ, Либідь, 2002.
4. *Степаненко О.М., Рейтер Л.Г., Ледовських В.М., Іванов С.В.* Загальна та неорганічна хімія, в 2 ч. – Київ: Педагогічна преса, 2000.
5. *Cotton, F. A. and Wilkinson, G.* Advanced Inorganic Chemistry, John Wiley and Sons: New York, 6th ed., 1999.
6. Inorganic Chemistry (fifth edition)/Housecroft C.E., Sharpe A.G.// Pearson. – United Kingdom. - 2018.- 1251 p.
7. Inorganic Chemistry (6th edition)/Weller M., Overton T., Rourke J., Armstrong F. // Oxford University Press. – United Kingdom. - 2014.- 875 p.

### АНАЛІТИЧНА ХІМІЯ

1. *Skoog D., West D., Holler F., Crouch S.* Fundamentals of Analytical chemistry, 9<sup>th</sup> ed, Mary Finch, 2013.
2. Analytical chemistry. -- Seventh edition / *Gary D. Christian, Purnendu K. (Sandy) Dasgupta, Kevin A. Schug,* John Wiley & Sons, 2014.
3. *Harris D.C.,* Quantitative Chemical Analysis, W.H.Freeman and Co, NY, 2000.
4. *Лисенко О.М., Набиванець Б.Й.* Вступ до хроматографічного аналізу. К.: “Корвін Пресс”. 2005.
5. *Ракс В. А. , Єсауленко А. М.* Сучасна Хроматографія на гребені хвилі прогресу. Київ, Аванпост, 2014.- 162 с.
6. *Пилипюк Я.С., Іщенко М.В., Запорожець О.А.* Методи атомно-абсорбційної спектроскопії. Навчальний посібник для студентів хімічного факультету. Київ-2013.
7. *Зуй М.Ф., Лелюшок С.О., Запорожець О.А. та ін.* Аналіз природних вод і ґрунтів. Навчальний посібник. Київ, LAT&K, 2017.
8. *Дорошук В.О., Шевченко Г.М., Куліченко С.А.* Контроль якості харчових продуктів. Київ, Науковий світ, 2009.
9. *Іщенко М.В.* Обробка даних у хімічному аналізі. Навчальний посібник для студентів хімічного факультету. Київ.- Видавництво та друкарня НУДПС України, 2017.
10. *Куліченко С.А., Дорошук В.О., Лелюшок С.О.* Екстракційне концентрування

- мікрокомпонентів. –К.: LAT&K, 2019. -162 с.
11. *Дорошук В.О., Лелюшок С.О.* Атомно-емісійний аналіз. –К.: Видавець Бихун В.Ю, 2024. -96 с.

## ОРГАНІЧНА ХІМІЯ

1. Горічко М.В. Пивоваренко В.Г. «Органічна хімія. Реакції карбонільних сполук».- Навч. посібник для студентів хімічних факультетів. Вид-во Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ, 2012, 380 с.
2. Воловенко Ю.М., Іщенко В.В. Кількісний елементний і функціональний аналіз органічних сполук. Навч. посібник для студентів хімічного факультету КНУ, 2006.
3. Воловненко Т.А., Воловенко Ю.М. Окиснення органічних сполук. Навч. посібник для студентів хімічного факультету КНУ, 2006.
4. Ганонг В.Ф., „Фізіологія людини”.- Львів,2002,-784 с.
5. Горічко М.В. Ароматичні аміни та діазосполуки. Навч. посібник для студентів хімічного факультету КНУ, 2006.
6. Григоренко О.О., Шабликіна О.В. Літературний пошук в органічній хімії. Методичні рекомендації. – К. : ВПЦ "Київський університет", 2020. – 32 с.
7. Григоренко О.О. Органічна хімія в реакціях. Навчальний посібник. – К. : ВПЦ "Київський університет", 2013. – 114 с.
8. Григоренко О.О., Шабликіна О.В. Сучасні методи органічного синтезу, підручник для студентів хімічного факультету (2-е видання). – К.: Наш формат, 2021. – 568 с.
9. Іщенко В. В., Ковтуненко В. О. Синтези на основі магній- та цинкорганічних сполук. Навч. посібник для студентів хімічного факультету КНУ, 2004.
10. Іщенко В. В., Ковтуненко В. О., Тилтін А. К. Нуклеофільне заміщення при насиченому атомі вуглецю. Навч. посібник для студентів хімічного факультету КНУ, 1997.
11. Ковтуненко В.О. Загальна стереохімія (2-е видання, перероблене). Підручник для студентів вищих навчальних закладів. К., Кондор, 2005.
12. Пивоваренко В. Г. Механізми органічних реакцій у розчинах. – К.: ВПЦ Київський університет, 2019. – 304 с.
13. Хиля О.В., Воловенко Ю.М. Аліфатичні аміни та амінування. Навч. посібник для студентів хімічного факультету КНУ, 2006.
14. Clayden J., Greeves N., Warren S., Wothers P. Organic Chemistry, 2nd ed. – Oxford University Press, New York, 2012. – 1265 p.
15. Eliel E. L., Wilen S. H., Mander L. N. Stereochemistry of Organic Compounds. – John Wiley and Sons, 1994. – 1190 p.

16. Joule J.A., Mills K. Heterocyclic chemistry. – Blackwell Science. London, 2000. – 589 p.
17. Nicolaou K.C., Montagnon T. «Molecules that Changed the World», Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, 2008.
18. Smith, M.B. March, J. March's Advanced Organic Chemistry: Reactions, Mechanisms and Structure, 5th ed by– Wiley, 2001. – 2112 p.

## ФІЗИЧНА ХІМІЯ

### Основна:

1. Яцимирський В.К. Фізична хімія.- К., Перун, 2005. 500с.
2. Лебідь В.І. Фізична хімія. Харків: Фоліо, 2005. — 478 с.
3. Бондарев М.В., Цурко О.М., Водозазька Н.О., Єльцов С.В. Фізична та колоїдна хімія. Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2006. — 324 с.
4. Є.П. Ковальчук, О.В. Решетняк. Фізична хімія: Підручник. – Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007.
5. Atkins P., de Paula J. Atkins' Physical Chemistry. 11th edition. Oxford: Oxford University Press, 2018. — 1264 p.
6. McQuarrie D. A., Simon J. D. Physical Chemistry: A Molecular Approach. Sausalito, CA: University Science Books, 1997. — 1296 p.
7. Levine I. N. Physical Chemistry. 6th edition. New York: McGraw-Hill Education, 2008. — 992 p.
8. Silbey R. J., Alberty R. A., Bawendi M. G. Physical Chemistry. 4th edition. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2004. — 944 p.
9. Laidler K. J., Meiser J. H., Sanctuary B. C. Physical Chemistry. 4th edition. Boston: Houghton Mifflin, 2003. — 1062 p.
10. Олексенко Л.П. Фізична хімія міжфазних явищ. Підручник. – Київ: ВПЦ «Київський університет», 2018. – 287 с.
11. Роїк О.С., Усенко Н.І. Фізична хімія. Термодинаміка та електрохімія. – 2022. – 308 с. <https://physchem.knu.ua/posibniki/Roik-Usenko-zadachnyk-NEW.pdf>

### Додаткова:

1. Білий О.В. Фізична хімія. – Київ: ЦНЛ, Фітосоціоцентр, 2002. – 364 с.
2. Товбін М.В. Фізична хімія. – К.: Вища школа, 1975. – 488 с.
3. Антропов Л.І. Теоретична електрохімія. – Київ : Либідь, 1993, 544 с.
4. Silbey R.J., Alberty R.A., Bawendi M.G. Physical Chemistry. –John Wiley & Sons, 2005. – 958 p.

## ХІМІЯ ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНИХ СПОЛУК

1. 6. Ю. П. Гетьманчук. Полімерна хімія. — К.: ВПЦ "Київський університет", 2008. - 456 с.
2. М.Братичак та інш. Лабораторний практикум з хімії та технології полімерів.— Варшава: ВВП, 2002. – 244 с.
3. Братичак М.М.. Основи промислової нафтохімії. Видавництво національного університету «Львівська політехніка», 2008, 604 с
4. Ян Я. Піліховський, Анджей А. Пушинський. Технологія пластичних мас.- Київ: ІСДО, 1995. - 312 с.
5. О.В. Суберляк, Т.Т. Яковенко, Т.Г. Бабаханова, І.Г. Тхір. Атлас технологічних схем виробництва полімерів та пластичних мас на їх основі. - Львів, 2002. - 239 с.
6. Ю.П. Гетьманчук, М.М. Братичак. Хімія та технологія полімерів. Львів. Вид. „Бескид Біт”, 2006. - 495 с.
7. Ю.П. Гетьманчук, В.Г.Сиромятніков. Практикум з полімерної хімії. Київ.: Вид. "Київський університет", 2006.-86 с.
8. Odian G. Principles of Polymerization, 4th Edition, Wiley-Interscience, 2004, P.848. ISBN: 978-0-471-27400-1.
9. Нижник В.В., Нижник Т.Ю. Фізична хімія полімерів. К., Фітосоціоцентр, 2009, 424 с.
10. Paul C. Hiemenz, Timothy P. Lodge - Polymer Chemistry, Second Edition - CRC Press, 2007, P. 608.
11. Paul C. Hiemenz - Polymer chemistry. The basic concepts - Marcel Dekker, New York, 1984, P. 738.
12. Sun S.F. Physical Chemistry of Macromolecules. Basic Principles and Issues, 2nd edition – Wiley, 2004, P. 584.
13. Yves Gnanou, Michel Fontanille - Organic and Physical Chemistry of Polymers - John Wiley & Sons, Inc., 2008, P. 632. ISBN: 978-0-471-72543-5.