

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ФРАНКА**

Затверджено”

на засіданні Вченої Ради
хімічного факультету
Львівського національного
університету імені Івана Франка
(протокол №19 від 23.03.2023 р.)

Декан _____

Григорій ДМИТРІВ



**ПРОГРАМА
АТЕСТАЦІЙНОГО ІСПИТУ «ХІМІЯ»**

освітній рівень	бакалавр
галузь знань	10 Природничі науки
спеціальність	102 Хімія
освітня програма	Хімія
факультет	хімічний

НЕОРГАНІЧНА ХІМІЯ

1. Основні положення і поняття атомно-молекулярної теорії. Атом, молекула, іон. Проста і складна речовина. Хімічний елемент. Атомна одиниця маси. Відносні атомна та молекулярна маси. Кількість речовини. Моль. Молярна маса, молярний об'єм. Характеристика агрегатних станів речовини. Закони газового стану. Реальні гази.

2. Фундаментальні закони хімії (збереження і перетворення енергії, збереження кількості руху та електричного заряду, сталості складу Пруста, еквівалентів Ріхтера-Дальтона, закон кратних відношень Дальтона). Основні класифікаційні поняття: система, тіло, фаза, компонент, індивід. Сполуки постійного і змінного складу. Дальтоніди та бертоліди. Хімічна формула. Види хімічних формул. Методи визначення молекулярних і атомних мас.

3. Закономірності перебігу хімічних реакцій. Хімічна термодинаміка. Термодинамічні параметри. Функції стану. Внутрішня енергія. Тепловий ефект реакції. Ізобарні та ізохорні хімічні процеси. Ентальпія. Перший закон термодинаміки. Закони термохімії: Лавуазьє-Лапласа та Гесса. Ентальпія утворення хімічних сполук. Термохімічні рівняння. Напрявленість перебігу хімічних реакцій. Хімічна спорідненість. Принцип Томсона-Бертло. Параметри інтенсивності та екстенсивності. Термодинамічна імовірність. Ентропія. Другий закон термодинаміки. Зміна ентропії в хімічних процесах. Енергія Гіббса та її зміна. Термодинамічний аналіз можливості і напрямленості перебігу хімічних реакцій.

4. Хімічна кінетика і рівновага. Хімічні реакції в гомогенних та гетерогенних системах. Швидкість гомогенних реакцій. Фактори, що визначають швидкість хімічної реакції. Хімічна рівновага в гомогенних і гетерогенних системах. Константа рівноваги. Взаємозв'язок між константою рівноваги і енергією Гіббса. Вплив зовнішніх факторів на хімічну рівновагу. Принцип Ле Шательє-Брауна і його значення в хімії.

5. Дисперсні системи. Розчини. Класифікація розчинів за агрегатним станом їх компонентів: газові, рідкі, тверді розчини. Розчинення як фізико-хімічний процес. Теорії розчинів. Сольватація (гідратація). Сольвати (гідрати). Способи вираження концентрації розчинів. Розчинність речовини. Коефіцієнт розчинності. Насичені, ненасичені та пересичені розчини. Теорії розчинності. Вплив на розчинність природи компонентів розчину, температури і тиску. Розчинність твердих речовин. Криві розчинності. Розчинність рідин. Критична температура розчинення. Закон розподілу Нернста. Екстракція. Розчинність газів. Залежність розчинності газів від температури та тиску. Азеотропні суміші. Закон Генрі.

6. Колігативні властивості розчинів. Фазові рівноваги. Діаграма стану води та правило фаз Гіббса. Тиск пари розчинів. Температури замерзання і кипіння розчинів. Закони Рауля. Діаграма стану розчину. Кріоскопія і ебуліоскопія. Осмос. Осмотичний тиск. Закон осмотичного тиску.

7. Властивості розчинів електролітів. Теорія електролітичної дисоціації. Ступінь електролітичної дисоціації. Сильні та слабкі електроліти. Електропровідність розчинів. Рівновага в розчинах слабких електролітів. Константа електролітичної дисоціації. Ступінчаста дисоціація. Закон розбавлення Оствальда. Властивості розчинів сильних електролітів. Іонні асоціати. Активність іонів.

Коефіцієнт активності. Іонна сила розчину. Кислотно-основна дисоціація. Електролітична дисоціація води. Іонний добуток води. Водневий показник середовища. Малорозчинні електроліти. Добуток розчинності. Реакції обміну між електролітами. Реакції нейтралізації та гідролізу. Гідроліз солей. Ступінь гідролізу. Константа гідролізу. Взаємозв'язок ступеня та константи гідролізу.

8. Теорії кислот та основ. Електролітична теорія Арреніуса. Теорія сольвосистем (Франклін, Кеді). Протонна теорія Бренстеда-Лоурі. Електронна теорія Льюїса. Хімічна теорія Ганча. Позитивно-негативна теорія Усановича. Теорія жорстких та м'яких кислот і основ Пірсона.

9. Електрохімічні процеси. Електродні потенціали металів. Електрохімічний ряд напруг металів. Хімічні джерела електричної енергії. Гальванічні елементи. Електрорушійна сила гальванічних елементів. Відновні й окисні потенціали. Вплив концентрації, температури, середовища і комплексоутворення на потенціали. Рівняння Нернста. Концентраційні елементи. Акумулятори. Електроліз. Окисно-відновні процеси під час електролізу. Електроліз розплавів і водних розчинів електролітів. Закони електролізу. Електрохімічний еквівалент. Корозія металів, її типи. Способи захисту металів від корозії. Окисно-відновні реакції. Процеси окиснення і відновлення. Окисники і відновники. Типи окисно-відновних реакцій. Методи складання рівнянь окисно-відновних реакцій: алгебраїчний, електронного балансу, аналізу ступенів окиснення, напівреакцій.

10. Будова атомів. Розвиток уявлень про складність будови атомів. Ядерна модель Резерфорда. Закон Мозлі. Атомні спектри. Рівняння Рідберга. Двоїста природа світла. Рівняння Планка. Основні ідеї квантової механіки. Будова атома Бора-Зоммерфельда. Постулати Бора. Квантово-механічна модель атома. Корпускулярно-хвильовий дуалізм мікросвіту. Принцип невизначеності Гейзенберга. Хвильове рівняння Шредінгера. Хвильові функції атома водню та електронні орбіталі. Характеристика стану електрона квантовими числами. Будова багатоелектронних атомів. Атомні ядра, їхній склад та будова. Протонно-нейтронна модель ядра. Нукліди. Ізотопи, ізотони, ізобари. Енергія зв'язку. Радіоактивність. Закон радіоактивного розпаду. Закон зміщення. Радіоактивні ряди. Ядерні реакції. Термоядерні реакції. Мічені атоми. Радіохімія. Радіаційна хімія. Дія на організм радіоактивного випромінювання.

11. Хімічний зв'язок і будова молекул. Типи хімічного зв'язку. Ковалентний зв'язок. Умови утворення ковалентного зв'язку. Метод валентних зв'язків. Механізми утворення ковалентного зв'язку. Особливості ковалентного зв'язку: насичуваність і напрямленість. Способи перекривання електронних орбіталей. Одинарний і кратні зв'язки. Гібридизація атомних орбіталей. Типи гібридизації. Просторова конфігурація молекул. Метод молекулярних орбіталей. Енергетичні діаграми розподілу електронів на молекулярних орбіталях. Порядок зв'язку. Розподіл електронів на молекулярних орбіталях гомо- і гетероядерних молекул. Іонний зв'язок. Умови утворення іонного зв'язку. Ненапрямленість і ненасиченість іонного зв'язку. Іонні кристали. Координаційне число іона в кристалі. Енергія іонного кристала. Стала Маделунга. Термохімічний цикл Борна-Габера та обчислення енергії кристалічної ґратки. Водневий зв'язок, природа і особливості водневого зв'язку. Металічний зв'язок. Теорія металічного стану. Енергетичні зони:

валентна, провідності, заборонена. Типи твердих тіл: провідники, напівпровідники і діелектрики. Міжчастинкові взаємодії. Природа міжмолекулярних сил. Вандерваальсова взаємодія молекул: орієнтаційна, індукційна, дисперсійна. Енергія міжмолекулярної взаємодії.

12. Періодичний закон і періодична система хімічних елементів. Періодичний закон Д.І. Менделєєва і його загальнонаукове і філософське значення. Структура періодичної системи елементів.

13. Склад і будова комплексних сполук. Координаційна теорія Вернера. Комплексоутворювачі. Типи лігандів. Дентатність і лігандність. Комплексоутворення і дисоціація комплексних сполук. Константи стійкості комплексних іонів. Класифікація комплексних сполук. Номенклатура комплексних сполук. Просторова конфігурація та ізомерія комплексних сполук. Природа хімічного зв'язку в комплексних сполуках. Квантовомеханічні методи пояснення хімічного зв'язку в комплексних сполуках: метод валентних зв'язків, теорія кристалічного поля, метод молекулярних орбіталей.

14. Гідроген. Фізичні та хімічні властивості водню. Форми знаходження в природі. Способи добування. Застосування водню. Гідриди.

15. Елементи сьомої групи. Загальна характеристика. Будова атомів. Характеристика елементів. Особливості фтору. Фізичні та хімічні властивості простих речовин. Форми знаходження галогенів у природі. Способи добування. Застосування галогенів. Галогеноводні. Галогеноводневі кислоти. Оксигеновмісні сполуки галогенів. Порівняльна стійкість і окиснювальна здатність. Інтергалогеніди.

16. Підгрупа мангану. Фізичні та хімічні властивості простих речовин. Добування і застосування. Оксиди і гідроксиди. Стійкість, кислотно-основні та окисно-відновні властивості. Перманганати. Окиснювальні властивості перманганатів у кислому, лужному і нейтральному середовищах.

17. Елементи шостої групи. Особливості кисню. Фізичні властивості. Алотропні модифікації кисню. Вода. Аномалія фізичних властивостей води. Важка вода. Пероксиди, надпероксиди та озоніди. Гідрогенсульфід і сульфідна кислота. Добування і застосування халькогеноводнів. Халькогеніди: середні і кислі. Поліхалькогеніди. Оксигеновмісні сполуки халькогенів. Сульфідна, селенітна і телуритна кислоти. Сульфатна, селенатна і телуратна кислоти. Будова молекул і аніонів кислот. Властивості кислот. Полісульфатні кислоти. Олеум. Промислові методи добування сульфатної кислоти та її застосування. Сульфати. Гідрогенсульфати. Дисульфати. Селенати і телурати. Тіокислоти та їхні солі. Тіосульфати. Відновні властивості натрій тіосульфату та його застосування. Політіонатні кислоти та їхні солі. Будова їхніх молекул. Стійкість і окисно-відновні властивості кислот і їхніх солей. Пероксокислоти сульфуру та їхні солі. Пероксосульфати. Галогеніди і оксогалогеніди сульфуру, селену і телуру.

18. Підгрупа хрому. Фізичні та хімічні властивості простих речовин. Оксиди хрому, молібдену і вольфраму, їхня стійкість, кислотно-основні та окисно-відновні властивості. Відношення до води, кислот і лугів. Добування. Гідроксиди. Склад і особливості будови хром(III) гідроксиду. Хроматна, молібдатна і вольфраматна кислоти, їхня стійкість, кислотні та окиснювальні властивості. Ізополікислоти та гетерополікислоти. Солі хрому, молібдену і вольфраму. Хромати, молібдати,

вольфраматів. Поліхромати, полімолібдати, полівольфраматів. Взаємний перехід хроматів у дихромати. Окиснювальні властивості хроматів і дихроматів. Кристалогідрати. Подвійні солі. Комплексні сполуки. Карбоніли. Кластерні галогеніди. Пероксидні сполуки. Стійкість і окиснювальна здатність пероксидних сполук. Порівняння властивостей елементів підгрупи хрому з властивостями халькогенів.

19. Елементи п'ятої групи. Підгрупа нітрогену. Водневі сполуки. Амоніак. Добування. Рідкий амоніак як розчинник. Розчинність у воді. Солі амонію. Амідні, іміди, нітриди. Реакції окиснення. Застосування амоніаку. Гідразин. Хімічні властивості. Солі гідразонію. Гідроксиламін. Хімічні властивості. Солі гідроксиламонію. Азидна кислота. Хімічні властивості. Оксигеновмісні сполуки нітрогену та їхні похідні. Оксиди. Нітритна кислота. Нітрити. Нітратна кислота. Нітрати. Властивості нітратів. Термічний розклад нітратів. Застосування нітратної кислоти та її солей. Азотні добрива. Оксиди фосфору, арсену, стибію і бісмуту. Гіпофосфітна кислота і гіпофосфіти. Фосфітна кислота і фосфіти. Фосфатні кислоти та їхні солі. Фосфорні добрива.

20. Підгрупа ванадію. Оксиди і гідроксиди. Кислотно-основні властивості. Сполуки елементів з неметалами. Галогеніди.

21. Елементи четвертої групи. Підгрупа карбону. Особливості хімічних зв'язків карбону і силіцію. Особливості вуглецю. Прості речовини. Поліморфні модифікації. Особливості їхньої будови. Напівпровідникові властивості силіцію і германію. Хімічні властивості. Оксигеновмісні сполуки та їхні похідні. Оксиди карбону. Карбоніли металів. Карбонатна кислота та її солі. Властивості кислоти. Карбонати, гідрогенкарбонати, гідроксикарбонати. Термічна стійкість карбонатів. Застосування. Оксиди силіцію. Силікатні кислоти та їхні солі. Алюмосилікати. Скло. Ситали. Оксиди і гідроксиди германію, стануму і плюмбуму, їхня порівняльна стійкість, кислотно-основні та окисно-відновні властивості. Сполуки з металами. Карбіди. Типи карбідів. Карборани. Силіциди.

22. Підгрупа титану. Оксиди та гідроксиди. Солі: титанати, цирконати, гафнати. Властивості солей. Сполуки з неметалами. Оксогалогеніди. Галогенокомплекси. Халькогалогеніди.

23. Елементи третьої групи. Підгрупа бору. Борани. Гідридоборати. Бор оксид та його похідні. Боратні кислоти та їхні солі. Натрій тетраборат. Галогеніди бору. Тетрафтороборатна кислота. Фтороборати. Бор нітрид. Поліморфні модифікації. Властивості. Боразол. Бориди. Алюміній оксид. Гідроксиди. Кислотно-основні властивості. Відношення до кислот, лугів. Солі алюмінію в аніонній і катіонній формах. Галій, індій, талій. Властивості речовин та їхніх сполук.

24. Підгрупа скандію. Родини лантаноїдів та актиноїдів. Рідкісноземельні елементи. Підродини церію та ітрію. Оксиди. Гідроксиди. Солі. Сполуки з неметалами та металами. Підродини торію та берклію. Найважливіші сполуки актиноїдів. Сполуки актиноїдів (+3). Сполуки торію (+4) та урану (+4). Сполуки урану (+6): оксид, гідроксид, галогеніди, уранати, солі диоксоурану.

25. Підгрупа берилію. Лужноземельні метали.

26. Підгрупа цинку. Фізичні і хімічні властивості простих речовин. Оксиди і гідроксиди. Солі. Кристалогідрати. Солі цинку в катіонній та аніонній формах. Солі меркурію (+1). Гідроліз солей. Комплексні сполуки.

27. Елементи першої групи. Підгрупа лужних металів. Підгрупа купруму. Здатність до утворення катіонної та аніонної форм, комплексоутворення. Галогено-, ціано-, аміно-, аквокомплекси. Тетрахлороауратна кислота та її солі.

28. Елементи восьмої групи. Підгрупа інертних елементів. Родина фероїдів. Оксиди. Гідроксиди. Солі. Кристалогідрати. Подвійні солі. Основні солі. Солі в катіонній та аніонній формах. Властивості солей. Стійкість. Гідроліз. Ферити. Ферати. Принципи добування. Комплексні сполуки. Відносна стійкість простих і комплексних солей. Акво-, аміно-, гідроксо-, ціано-, тіоціанокомплекси. Карбоніли. Багатоядерні комплекси.

29. Родина платиноїдів.

АНАЛІТИЧНА ХІМІЯ

1. Метрологічні основи хімічного аналізу. Методи виявлення та ідентифікації. Аналітичний сигнал. Аналітичні реакції та реагенти, вимоги до них. Чутливість, специфічність та селективність реакцій. Метрологічні характеристики аналітичних методів. Статистична обробка результатів вимірів. Закон нормального розподілу випадкових похибок, t- і F-розподіл. Середнє, дисперсія, стандартне відхилення. Способи оцінки правильності: метод добавок, метод подвоєння наважки, використання стандартних зразків.

2. Рівновага в гомогенній системі. Константа рівноваги та способи її вираження. Теорія Дебая-Хюккеля. Коефіцієнт активності. Теорія Бренстеда-Лоурі, сучасні уявлення про кислоти та основи. Константи кислотності і основності, їх взаємозв'язок. Властивості розчинників, їх автопротоліз. Розрахунок рН розчинів протолітів різного типу та їх сумішей. Буферні розчини. Буферні розчини та їх властивості. Буферна ємність.

3. Рівновага між твердою фазою і розчином. Константа рівноваги та її зв'язок із розчинністю. Фракційне осадження. Вплив різних факторів на розчинність. Розчинність осадів в кислотах. Кінетика утворення осадів. Властивості кристалічних та аморфних осадів. Умови їх утворення. Старіння осадів. Причини забруднення осадів: сумісне осадження, співосадження, післяосадження. Класифікація різних видів співосадження (адсорбція, оклюзія, ізоморфізм та ін.). Концентрування мікроелементів співосадженням на неорганічних колекторах). Гравіметрія. Суть методу та межі його застосування. Вимоги до осаджуваної та гравіметричної форм. Найважливіші неорганічні та органічні осаджувачі.

4. Методи виділення, відокремлення, концентрування. Вибір методів та їх оцінка. Константа розподілу, фактор розділення. Коефіцієнт концентрування. Екстракція. Теорія екстракційних методів. Закон розподілу. Класифікація екстракційних процесів. Природа і характеристика екстрагентів. Селективне розділення елементів шляхом підбору органічних розчинників, зміни рН водної фази, маскування та демаскування. Хроматографія, основні її види. Кінетична теорія, основні теоретичні положення. Типи стаціонарних і рухливих фаз. Іонний обмін та іонообмінна хроматографія. Газова хроматографія, основні теоретичні положення, типи детекторів. Паперова хроматографія.

5. Титриметричний аналіз та його види. Вимоги до реакцій. Точність титриметричних методів. Способи вираження концентрації розчинів у титриметрії. Точка

еквівалентності і кінцева точка титрування. Первинні та вторинні стандарти, вимоги до них. Методи окремих наважок та піпетування. Обчислення результатів аналізу.

6. Протолітометрія. Принцип побудови кривих титрування для протолітів різних типів. Індикатори методу. Іоннохромофорна теорія індикаторів. Індикаторні похибки. Первинний стандарт методу протолітометрії. Застосування методу для визначення фосфатної, карбонатної кислот. Аналіз суміші натрію карбонату та гідрогенкарбонату. Визначення тимчасової твердості води, солей амонію, нітратів та нітритів.

7. Метод осадження. Загальна характеристика та побудова кривих титрування. Способи визначення точки еквівалентності. Аргентометрія. Адсорбційні індикатори, принцип їх дії. Меркурометрія: індикатори методу та сфери застосування.

8. Окисно-відновні реакції в аналітичній хімії. Оборотні і необоротні окисно-відновні системи та їх потенціали (реальні). Вплив різних факторів на величину редокспотенціалів. Напрямок протікання реакцій окиснення-відновлення. Математичний вираз величини потенціалу системи. Константа рівноваги окисно-відновної реакції та її зв'язок з величинами стандартних потенціалів. Побудова кривих титрування та методи визначення кінцевої точки титрування. Індикатори методу, принцип їх дії. Індикаторні похибки. Перманганатометрія: первинні стандарти, особливості методу та сфери застосування. Дихроматометрія: особливості методу та застосування. Йодометрія: особливості методу та його застосування. Броматометрія: особливості методу та застосування.

9. Комплексні сполуки в аналітичній хімії. Класифікація комплексних сполук та їх застосування в аналітичній хімії. Кількісна характеристика комплексних сполук (константи стійкості, функція утворення та закомплексованості). Вплив комплексоутворення на розчинність сполук. Вимоги до реакцій комплексоутворення, які використовують в титриметрії. Меркуриметрія: індикатори методу та практичне застосування. Комплексонометрія. Особливості амінополікарбонатових кислот. Способи комплексонометричного титрування. Металохромні індикатори та вимоги до них. Побудова кривих титрування в методі комплексонометрії. Практичне застосування методу.

10. Оптичні методи аналізу. Спектр електромагнітного випромінювання та його основні характеристики. Спектри атомів і молекул. Основні і збуджені стани атомів і молекул. Спектральні лінії та їх характеристика. Атомно-емісійний аналіз. Джерела атомізації і збудження: електричний розряд, полум'я, індуктивно-зв'язана плазма, лазер. Фізичні та хімічні процеси в джерелах атомізації. Якісний і кількісний атомно-емісійний аналіз. Рівняння зв'язку та методи кількісного визначення. Значення стандартів. Атомно-абсорбційний аналіз. Теоретичні основи методу. Засоби атомізації. Джерела монохроматичного випромінювання та вимоги до них. Кількісний аналіз. Рівняння зв'язку. Гібридні і непрямі методи. Емісійна та атомно-абсорбційна фотометрія полум'я. Значення спектральних методів в аналізі об'єктів довкілля.

11. Фотометричний аналіз. Основний закон світлопоглинання та межі його застосування. Молярний коефіцієнт поглинання та його значення. Реакції, що використовуються у фотометричних методах та вимоги до них. Методи фотометрії.

Сполучення фотометрії з титриметрією та екстракцією. Диференційна спектроскопія. Метрологічні характеристики фотометричних методів – чутливість, (нижня межа визначуваних концентрацій, C_H), вибірковість, інтервал визначуваних вмістів. Фотометричні методи визначення Fe, Mn, Ni, Cu, Cr, Ti, P, Si.

12. Кінетичні методи аналізу. Рівняння зв'язку. Поняття про індикаторну речовину та індикаторну реакцію. Фактори, що впливають на швидкість реакцій. Особливості визначень кінетичними методами.

13. Електрохімічні методи аналізу. Класифікація електрохімічних методів. Електрохімічний ланцюг. Рівноважні та нерівноважні електрохімічні сигнали. Явища, що виникають при проходженні струму (поляризація, омичний спад напруги). Поляризаційні криві. Електрогравіметричний аналіз. Рівноважний потенціал і потенціал розкладання. Перенапруга, види і значення. Розділення металів електролізом. Внутрішній електроліз. Електроліз з ртутним катодом.

14. Кулонометричний аналіз. Зв'язок з електрогравіметриєю. Закони Фарадея. Пряма кулонометрія, кулонометричне титрування та його особливості. Метрологічні характеристики методу.

15. Кондуктометрія. Питома і еквівалентна електропровідності та зв'язок між ними. Кондуктометрія і кондуктометричне титрування. Реакції, що застосовуються в кондуктометрії. Застосування кондуктометрії.

16. Потенціометричний аналіз. Механізм електродних процесів: іонно-електронний, іонообмінний. Класифікація і характеристика електродів. Іоноселективні електроди. Пряма потенціометрія та її особливості. Способи знаходження концентрацій. Іонометричний контроль об'єктів довкілля. Потенціометричне титрування. Реакції, що використовуються в потенціометричному титруванні та вимоги до них. Стрибок титрування та фактори, що його визначають. Застосування потенціометричного титрування для визначення фізичних констант. Неводне титрування.

17. Вольтамперометрія. Класифікація методів. Класична полярографія. Полярограма, умови одержання і опис. Граничний дифузійний струм. Рівняння Ільковича. Якісний і кількісний полярографічний аналіз. Аналіз комплексних сполук. Сучасні різновиди вольтамперометрії: пряма і інверсійна, зміннострумова, осцилополярографія. Застосування інверсійної вольтамперометрії в аналізі об'єктів довкілля. Вольтамперометрія з лінійною розгорткою потенціалу при дослідженні кінетики електродних процесів. Поєднання полярографії з титриметрією. Амперометричне титрування. Вибір потенціалу індикаторного електроду. Криві титрування, їх обробка і використання. Застосування амперометричного титрування.

18. Основні об'єкти аналізу. Аналіз чистих речовин на домішки. Об'єкти довкілля, особливості аналізу. Відбір проб для аналізу. Репрезентативність проби. Відбір проб гомогенного та гетерогенного складу. Основні способи переведення проби у форму, необхідну для аналізу. Автоматизація для аналізу і використання ЕОМ в аналітичній хімії. Автоматизація періодичного, дискретного та неперервного аналізу. Обробка інформації. Значення ЕОМ у плануванні експерименту.

ОРГАНІЧНА ХІМІЯ

Просторова будова органічних сполук. Види просторової ізомерії. Оптична ізомерія. D,L- і R,S-системи в номенклатурі органічних сполук. Типи хімічних зв'язків в органічних сполуках. Класифікація реакцій органічних сполук. Реакції заміщення, приєднання, відщеплення, перегрупування. Радикальні, електрофільні та нуклеофільні реагенти.

Сполуки аліфатичного ряду.

1. *Алкани.* Методи синтезу і хімічні властивості алканів. Реакційна здатність первинного, вторинного і третинного атомів карбону в реакціях заміщення.

2. *Алкени.* Природа подвійного зв'язку. Методи синтезу алкенів, реакції відщеплення (елімінування). Механізм та стереохімія реакцій елімінування. Правило Зайцева. Реакції електрофільного приєднання до алкенів, їх механізм, поняття про π - та σ -комплекси. Правило Марковникова. Приєднання проти правила Марковникова. Окиснення і озоноліз алкенів. Гідрування, гідроборування. Реакції алкенів за участю алільного положення. Делокалізація електронів у алільному вільному радикалі і карбокатионі.

3. *Алкадієни.* Типи дієнів. Спряжені дієни, особливості будови та стереохімія, методи одержання. Специфічні властивості та будова аленових та спряжених дієнів. π,π -Спряження. 1,2- і 1,4-Приєднання до спряжених дієнів. Взаємодія спряжених дієнів з бромом, хлоро- і бромоводнями. Кінетичний і термодинамічний контроль реакцій. Гідрування. Дієновий синтез.

4. *Алкіни.* Природа потрійного зв'язку; sp -гібридизований стан атома карбону. Методи синтезу і хімічні властивості. $C\equiv N$ -Кислотність ацетилену, ацетиленіди та магнійорганічні похідні ацетилену. Приєднання до алкінів галогенів і хлороводню, води, гідрування; стереохімія цих реакцій. Приєднання спиртів, карбонових кислот, HCN . Взаємодія ацетилену з кетонами та альдегідами. Синтези на основі ацетилену.

5. *Галогенопохідні вуглеводнів.* Одержання і властивості. Загальні закономірності реакцій нуклеофільного заміщення галогенів. Нуклеофільність та основність. Карбокатиони, їх стійкість. Реакції S_N1 та S_N2 , вплив на них електронних і структурних факторів в молекулах галогеналкілів, природи відхідної групи, реагента, розчинника. Амбідентні йони. Використання реакцій нуклеофільного заміщення. Уявлення про участь розчинника в реакціях S_N1 -типу. Конкуренція реакцій заміщення та елімінування, механізми $E1$ та $E2$ реакцій, їх стереохімія. Галогеналкени. Хлориди і броміди алільного і вінільного типів. Причини різної рухливості галогену в алільному та вінільному положеннях. Синтези на основі магнійорганічних сполук.

6. *Спирти.* Одержання і властивості. Кислотність. Утворення асоціатів, водневий зв'язок. Спирти та алкоголяти як основи. Нуклеофільне заміщення гідроксилу.

Етери і епоксиди.

7. *Альдегіди і кетони.* Методи одержання, фізичні та хімічні властивості. Взаємодія з нуклеофільними реагентами, реакції з магнійорганічними сполуками. Відновлення і окиснення альдегідів і кетонів. Єнолізація альдегідів і кетонів під дією кислотних та основних агентів. Амбідентний характер єнолят-аніонів. Реакції єнольних форм. Альдольно-кетонова конденсація. Карбонільна і метиленова

компоненти. Конденсуючі агенти. Вибір агента залежно від кислотності метиленової компоненти. α,β -Ненасичені альдегіди і кетони, їх синтези. Дикарбонільні сполуки.

8. *Карбонові кислоти*. Класифікація. Методи одержання; синтези через ацетооцтовий та малоновий естери. Будова карбоксилу. Асоціація кислот. Індуктивний ефект та його вплив на кислотність. Реакційні центри карбонових кислот. Реакції карбонових кислот. Одержання солей, хлорангідридів, естерів, ангідридів, амідів, нітрилів. Властивості функціональних похідних кислот. Естери. Механізм реакції естерифікації. Використання ангідридів і хлорангідридів як ацилюючих засобів. Порівняння активності карбонільної групи карбонових кислот та їхніх функціональних похідних. Нітрили та аміди, їхні взаємні перетворення. α,β -Ненасичені кислоти. Двохосновні кислоти, методи їх синтезу. Оксалатна, малонна і бурштинова кислоти. Синтези на основі малонного естеру. Бромсукцинімід як галогенуючий агент. Фумарова та малеїнова кислоти.

9. *Нітросполуки і аміни аліфатичного ряду*. Основність амінів. Залежність основності від кількості та природи замісників, зв'язаних з атомом азоту. Реакції амінів як нуклеофільних реагентів.

10. *Гідроксикислоти*. Структурна та оптична ізомерія. Методи одержання α - і β -гідроксикислот. Загальні властивості гідроксикислот. Відмінності у дегідратації α -, β - і γ -гідроксикислот.

11. *Альдегідо- і кетокислоти*. Методи одержання, властивості. Ацетооцтова кислота та її естер. Кето-єнольна таутомерія ацетооцтового естеру. Причини відносної стабільності єнольної форми. Реакції, характерні для кетонної та єнольної форм. Натрійацетооцтовий естер. Кетонне та кислотне розщеплення ацетооцтового естеру та продуктів його алкілювання. Синтези на основі ацетооцтового естеру: кетонів, дикетонів, моно- і дикарбонових кислот.

12. *Гідроксиальдегіди і гідроксикетони*. Їхні хімічні особливості. Кільцево-ланцюгова таутомерія δ - і γ -оксосполук.

13. *Вуглеводи*. Моносахариди. Кільцево-ланцюгова таутомерія. Формули Хеурса. Хімічні властивості моносахаридів. Дисахариди і полісахариди.

14. *Амінокислоти*. Методи одержання, властивості. Специфічні властивості амінокислот.

15. *Аліциклічні вуглеводні та їхні похідні*.

Сполуки ароматичного ряду.

16. *Бензол та його гомологи*. Електронна будова. Ароматичність. Хімічні властивості аренів. Реакції електрофільного заміщення в бензолі: алкілювання, галогенування, сульфування, нітрування, ацилювання тощо. Електрофільні реагенти та електрофільні частки. Механізм реакцій електрофільного заміщення (S_E2) та його експериментальне обґрунтування, π - та σ -комплекси. S_E2 -Реакція як двостадійний процес. Лімітувальна стадія реакції. Зміна потенційної енергії в процесі електрофільного заміщення в молекулі бензолу та його похідних з електронодонорними та електроноакцепторними замісниками. Правила орієнтації електрофільного заміщення монозаміщених бензолу. Класифікація замісників. Узгоджена та неузгоджена орієнтація в реакціях S_E2 -заміщення. Механізм

нуклеофільного заміщення: бімолекулярний ($S_{\text{NAr}2}$) – через проміжний комплекс типу Мейзенгеймера, як відщеплення-приєднання (через дегідробензол, арин).

17. *Алкілбензоли.* Методи одержання і властивості. Окремі представники аренів: бензол, толуол, кумол.

18. *Галогенопохідні ароматичних вуглеводнів.* Методи одержання, властивості. Галогенування як процес електрофільного заміщення в ароматичному ядрі. Каталізатори галогенування – кислоти Льюїса. Добування аренгалогенідів через ароматичні солі діазонію. Умови галогенування бензолу в ароматичне ядро і бічний ланцюг. Природа зв'язку карбон–галоген арилгалогенідів. Порівняння рухливості галогену в галогенобензолах, галогеналкілах, галогеновінілах та галогеналілах. Хімічні властивості арилгалогенідів. Реакції за участю галогену і бензольного ядра. Орієнтуюча дія галогенів. Ароматичні галогенопохідні з галогеном у бічному ланцюзі.

19. *Сульфокислоти та їхні похідні.* Одержання і властивості. Сульфування бензолу та його гомологів. Зворотність реакції (причини). Сульфуючі агенти. Реакції арилсульфокислот за сульфогрупою. Сахарин.

20. *Нітросполуки.* Нітрування бензолу, алкілбензолів, галогенобензолів, фенолу, аніліну та інших похідних. Механізм реакції, доказ участі в ній нітроній-катиона. Нітруючі агенти. Орієнтація. Продукти відновлення нітросполук.

21. *Аміни.* Електронна будова молекули аніліну. Порівняльна характеристика амінів жирного та жирно-ароматичного рядів. Основність та нуклеофільність ароматичних амінів різного типу. Вплив природи і положення замісників у ядрі на основність ароматичних амінів. Реакції за участю аміногрупи. Одержання і властивості вторинних і третинних амінів. Вплив аміногрупи на властивості бензольного ядра. Реакції електрофільного заміщення – галогенування, нітрування та сульфування аніліну і його заміщених.

22. *Ароматичні діазосполуки.* Реакції діазотування первинних амінів, механізм. Реакції діазосполук з виділенням азоту: заміна діазогрупи на гідроген, гідроксил, йод, бром, хлор, фтор, родано-, ціано- та нітрогрупи. Реакції Зандмейєра, Шимана. Реакції ароматичних солей діазонію без виділення азоту, азоз'єднання. Азобарвники.

23. *Феноли.* Одержання і властивості. Кислотно-основні властивості фенолів: взаємний вплив гідроксилу і ядра та природи замісників у ядрі. Властивості гідроксилу фенолів: порівняння будови фенолів і спиртів. Реакції заміщення в ядрі фенолу.

24. *Ароматичні альдегіди і кетони.* Методи одержання і хімічні властивості. Ацетофенон, α -бромацетофенон: одержання та властивості.

25. *Ароматичні карбонові кислоти.* Добування та реакції по карбоксильній групі та ароматичному ядру (реакції електрофільного заміщення). Синтез пара-амінобензойної кислоти та її біологічна активність.

26. *Багатоядерні ароматичні сполуки та їх похідні.*

Гетероциклічні сполуки.

27. *Загальна характеристика гетероциклів.* Ароматичні гетероцикли. Характер делокалізації р-електронів у п'яти- та шестичленних гетероциклах, вплив

гетероатома. Порівняльна характеристика ароматичності бензолу та гетероциклічних ароматичних сполук.

28. *П'ятичленні гетероцикли з одним гетероатомом.* Фуран, пірол, тіофен. Одержання і властивості. Порівняльна характеристика. Вплив гетероатома на ароматичність, ненасиченість і на ацидофобність. П'ятичленні гетероцикли, конденсовані з ароматичним ядром. Індол, синтез індолу та його похідних. Синтез індиго. П'ятичленні гетероцикли з декількома гетероатомами.

29. *Шестичленні гетероцикли з одним гетероатомом.* Піридин. Одержання і властивості. Будова піридину, вплив гетероатома на розподіл електронної густини в ядрі. Основність та нуклеофільність піридину. Реакції електрофільного заміщення: нітрування, сульфування та бромовання. Порівняння з нітробензолом. Нуклеофільне заміщення. Шестичленні гетероцикли з одним гетероатомом, конденсовані з бензольним ядром. Хінолін і його похідні. Синтез за Скраупом та Дебнером-Міллером. Властивості: реакції електрофільного та нуклеофільного заміщення, утворення четвертинних солей. Відношення хіноліну до окисників та відновників. Алкалоїди.

30. *Фізичні методи дослідження та встановлення будови органічних сполук (ЯМР-, мас-, ІЧ-спектроскопія).*

ФІЗИЧНА ХІМІЯ

1. Поняття системи.

Ієрархія систем. Хімічні системи. Параметри (властивості) системи. Стан системи. Функції стану системи. Рівняння стану ідеального газу. Реальні гази. Рівняння Ван-дер-Ваальса. Рівновага в системах. Процеси в системі. Необоротні і оборотні процеси. Асиметричність (однонаправленість) процесів. Шлях процесу. Термічна рівновага. Нульовий закон термодинаміки. Енергія, теплота і робота. Теплота і робота як форми передачі енергії. Статистичне тлумачення теплоти і роботи. Перший закон термодинаміки. Аналітичний вираз закону збереження енергії. Внутрішня енергія, ентальпія і теплоємність. Тепловий ефект хімічних перетворень. Закон Гесса. Залежність теплового ефекту від температури. Диференціальна та інтегральна форми рівняння Кірхгофа. Експериментальні і розрахункові методи визначення теплот утворення органічних і неорганічних речовин. Другий закон термодинаміки як основний постулат термодинаміки для опису асиметричних самочинних природних процесів. Зв'язана теплота Клаузіуса. Функція стану – ентропія.

Зміна ентропії в різних процесах. Фундаментальне співвідношення для відкритих систем. Характеристичні функції. Розрахунок функцій стану: ентропії, внутрішньої енергії, ентальпії, енергії Гельмгольца та енергії Гіббса. Робота і теплота хімічних процесів. Максимальна робота оборотного хімічного процесу, як міра хімічного споріднення. Хімічний потенціал, його визначення і розрахунок. Вираження рівноважного стану і направленості процесів за допомогою хімічного потенціалу.

2. Розчини. Фазові рівноваги.

Розчини як суміші речовин у різних фазових станах. Тиск насиченої пари над рідкими розчинами. Рівняння Рауля. Відхилення від закону Рауля. Неідеальні

розчини. Активність. Коефіцієнт активності і методи його визначення. Розчинність газів, рідин, твердих речовин. Зміна температури замерзання і підвищення температури кипіння розчинів. Кріоскопія і ебуліоскопія. Явище осмосу. Термодинаміка осмотичного тиску. Парціальні мольні величини. Рівняння Гіббса-Дюгема. Фазові рівноваги в одно-, дво- і багатокомпонентних розчинах. Фазові переходи першого і другого виду. Розділення рідких сумішей. Рівновага в гетерогенних системах. Правило фаз Гіббса. Діаграми стану дво- і трикомпонентних систем.

3. Вчення про хімічну рівновагу.

Закон діючих мас, його термодинамічний вивід. Спосіб вираження константи рівноваги і зв'язок між різними її видами. Хімічна рівновага в ідеальних і неідеальних системах. Зміна енергії Гіббса і Гельмгольца в хімічних перетвореннях. Термодинамічне трактування хімічної "спорідненості". Приведена енергія Гіббса та її використання для розрахунку константи хімічної рівноваги. Розрахунок виходу продуктів хімічних реакцій різних типів. Вихід продуктів при сумісному протіканні декількох хімічних реакцій. Залежність константи хімічної рівноваги від температури. Рівняння ізобари та ізохори реакцій, їх термодинамічний вивід. Особливості термодинамічного аналізу стану хімічної рівноваги в гетерогенних системах.

4. Елементи статистичної термодинаміки.

Метод Гамільтона в класичній механіці. Узагальнюючі імпульси і координати. Фазовий або Г-простір. Зображення різних об'єктів у фазовому просторі. Рівняння руху Гамільтона. Структури з термодинамічними властивостями речовини. Розподіл Боса-Айнштейна і Фермі-Дірака. Фазові переходи в статистичному тлумаченні. Статистичні вирази для основних термодинамічних функцій: внутрішньої енергії, ентропії, енергії Гіббса та Гельмгольца. Їх розрахунок за статистичною сумою станів. Статистичний розрахунок ентропії для одноатомного ідеального газу. Статистичний розрахунок ентропії енергії для багатоатомних частинок. Розрахунок константи рівноваги методом статистичної механіки. Опис нерівноважних явищ. Теорія броунівського руху. Рівняння Ланжевена. Н-теорема Больцмана і баланс ентропії. Необоротність і дисипація. Необоротні процеси і продукування ентропії. Залежність швидкості продукування ентропії від узагальнюючих потоків і сил. Стаціонарний стан системи і теорема Прігожина. Потoki при сумісній дії декількох сил. Співвідношення Онзагера та застосування їх в термодинаміці необоротних процесів.

5. Кінетика хімічних реакцій.

Хімічна кінетика – вчення про швидкість хімічного перетворення і шляхи його здійснення. Кінетика реакцій простих типів. Складні реакції. Специфічні параметри кінетичної системи: константа швидкості, кінетичний порядок, енергія активації. Ланцюгові реакції з розгалуженням і без нього. Принцип стаціонарності і його застосування до кінетичного аналізу реакції окиснення водню. Тепловий і ланцюгові вибухи й умови самозапалювання на третій межі тиску і температури. Залежність швидкості хімічних реакцій від температури. Рівняння Арреніуса. Крива і поверхня потенціальної енергії хімічного перетворення. Квантово-хімічний розрахунок поверхонь потенціальної енергії хімічних реакцій. Теорія співударів в

хімічній кінетиці. Активні зіткнення. Розрахунок констант швидкості бімолекулярних реакцій. Аналіз мономолекулярних реакцій Ліндеманом, Гіншельвудом, Каселем і Слейтером. Поняття про динамічну координату реакцій. Метод перехідного стану (активованого комплексу). Статистичний розрахунок константи швидкості. Стеричний фактор і його походження. Застосування теорії активованого комплексу до опису тримолекулярних реакцій з участю оксиду азоту (II). Кінетичний аналіз реакцій в розчині. Вплив іонної сили розчину на швидкість хімічних перетворень в розчині. Рівняння Б'єрума-Брьонстеда. Метод лінійності вільних енергій. Кореляційні співвідношення. Ефект Франка-Рабіновича ("клітковий" ефект). Фотохімічні реакції. Механізм фотохімічного синтезу хлористого водню. Визначення кінетичних параметрів у фотохімічних перетвореннях.

6. Каталіз.

Загальні принципи каталізу. Гомогенний каталіз. Кінетика реакцій загального кислотного каталізу. Каталіз комплексними сполуками перехідних металів. Каталітичне окислення етилену комплексними сполуками паладію. Ферментативний каталіз. Субстрактна специфічність ферментів. Адсорбційні і каталітичні центри ферментів. Кінетика і механізм ферментативних реакцій. Рівняння Міхаеліса-Ментен. Гетерогенний каталіз. Визначення швидкості гетерогенної каталітичної активності. Активність і селективність каталізаторів. Неоднорідність поверхні каталізатора. Кислотні і основні каталітичні центри. Центри Льюїса і Брьонстеда. Механізм каталітичного перетворення вуглеводнів на біфункціональних каталізаторах. Активність поверхні монокристалів платини. Роботи Саморджая. Механізм каталітичних реакцій. "Вулканоподібна" залежність активності каталізатора від енергії сорбційного зв'язку частинки адсорбату–поверхневі атоми адсорбента. Реакція окиснення оксиду вуглецю (II) та її механізм за Іллі-Рідлом і Легмюром-Гіншельвудом. Використання процесів повного каталітичного окиснення в очистці газових викидів хімічних виробництв і двигунів внутрішнього згоряння.

7. Електрохімія.

Хімічний і електрохімічний способи здійснення окислювально-відновних реакцій. Електроліти. Основні положення теорії електролітичної дисоціації Арреніуса. Енергія сольватації. Первинна і вторинна сольватні оболонки. Активність електролітів. Деструкуючий вплив електролітів. Модель іонної атмосфери Дебая-Гюкеля. Зв'язок іонної сили розчинів електролітів з коефіцієнтами активності. Нерівноважні явища в розчинах електролітів. Дифузійний і міграційний потоки. Питома і еквівалентна електропровідність. Рухливість іонів. Граничні рухливості. Числа переносу і методи їх визначення. Залежність рухливості, еквівалентної електропровідності і чисел переносу від концентрації розчину електроліту. Теорія Дебая-Гюкеля-Онзагера. Електрофоретичний і релаксаційний ефекти. Перший і другий ефекти Віна. Ефект Дебая-Фалькенгагена. Особливі випадки електропровідності електролітів. Сольватовані електрони. Поняття електрохімічного потенціалу на межі металевий електрод–розчин електроліту. Електродний потенціал. Рівняння Гіббса і Нернста. Електродний потенціал. Подвійний електричний шар. Електрокапілярні криві

Ліпмана. Диференціальна та інтегральна ємність подвійного електричного шару. Модельні уявлення про структуру іонного подвійного електричного шару.

Густина струму як міра швидкості електрохімічних реакцій. Стадії електродного процесу (дифузійна і кінетична). Теорія сповільненої стадії розряду. Рівняння Тафеля і Батлера-Фольмера. Корозія. Швидкість і механізм корозії. Залежність швидкості корозії від рН середовища. Діаграма Пурбе (на прикладі корозії заліза). Пасивація металів. Потенціал Фладе. Захист металів від корозії. Механізм дії інгібіторів і захисна дія лакофарбових покриттів.

Прикладна електрохімія. Електрохімічні виробництва. Гідрометалургія і електрокристалізація металів. Виробництво алюмінію і магнію. Електроорганічні синтези. Хімічні джерела струму. Первинні і вторинні джерела струму. Паливні елементи. Електрохімія і екологія. Моніторинг повітря води та ґрунту електрохімічними методами. Технологія очистки стічних вод, що містять іонізовані неорганічні і органічні шкідливі викиди. Хемотроніка – наука про запис, зберігання і відтворення інформації методами електрохімії.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Телегус В.С., Бодак О.І., Заречнюк О.С., Кінжибало В.В. Основи загальної хімії. – Львів: Світ, 2000. – 423 с.
2. Гладішевський Р.Є., Муць Н.М. Методичні рекомендації до самостійної роботи з дисципліни “Неорганічна хімія”. – Львів : Видавн. центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2021. – 128 с.
3. Голуб А.М. Загальна та неорганічна хімія. – К.: Вища школа, 1971, Т. 2. – 414 с.
4. Степаненко О.М., Рейтер Л.Г., Ледовських В.М., Іванов С.В. Загальна та неорганічна хімія. Ч. I. Київ, Педагогічна преса, 2002, 18 с.; Ч. II. – К.: Педагогічна преса, 2000. – 783 с.
5. Неділько С.А., Попель П.П. Загальна й неорганічна хімія. Задачі та вправи. – К.: Либідь, 2001. – 398 с.
6. Слободяник М.С., Улько Н.В., Бойко К.М., Самойленко В.М. Загальна та неорганічна хімія. Практикум. – К.: Либідь, 2004. – 334 с.
7. Каличак Я.М., Кінжибало В.В., Котур Б.Я., Миськів М.Г., Сколоздра Р.В. Хімія. Задачі, вправи, тести. – Львів: Світ, 2001. – 175 с.
8. Стародуб П., Шпирка З., Муць Н., Ничипорук Г.; ред. Гладішевський Р.Є. Перевір себе. Загальна хімія в задачах/ Навчальний посібник для студентів нехімічних спеціальностей вищих навчальних закладів. – Львів.: Поліграфія, 2009. – 216 с.
9. Стародуб П., Шпирка З., Муць Н., Ничипорук Г. Перевір себе 2 / Навчальний посібник для студентів нехімічних спеціальностей. – Львів: Видавн. центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2012. – 221 с.
10. Кузьма Ю., Ломницька Я., Чабан Н. Аналітична хімія. – Львів.: Видавн. центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2001 – 298 с.
11. Зінчук В.К., Гута О.М. Хімічні методи якісного аналізу. – Львів.: Видавн. центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2006 – 151 с.
12. Зінчук В.К., Левицька Г.Д., Дубенська Л.О. Фізико-хімічні методи аналізу. – Львів.: Видавн. центр ЛНУ ім. Івана Франка. – 2008. – 363 с.

- 13.Дубенська Л. О., Тимошук О.С. Методичні рекомендації до самостійної роботи з дисципліни «Аналітична хімія» – Львів: Малий видавн. центр хімічн. та фізичн. факультетів ЛНУ імю. Івана Франка, 2012. – 126 с.
- 14.Обушак М.Д., Біла Є.Є. Органічна хімія. Частина 1. – Львів, 2004. – 204 с.
- 15.Обушак М.Д., Біла Є.Є. Органічна хімія. Частина 2. Навч. посібн. – Львів: ЛНУ ім. Івана Франка. – 2018. – 256 с.
- 16.Біла Є.Є., Обушак М.Д., Органічна хімія. Частина 3. – Львів, 2011. – 202 с.
- 17.Чирва В.Я., Ярмолюк С.М., Толкачова Н.В., Земляков О.Є. Органічна хімія. – Отава. 2009. – 996 с.
- 18.Ластухін Ю.О., Воронов С.А. Органічна хімія. – Львів: Центр Європи, 2001. – 863 с.
- 19.Домбровський А.В., Найдан В.М. Органічна хімія. – К.: Вища школа, 1992. – 504 с.
- 20.Біла Є.Є., Обушак М.Д. Органічна хімія. Посібник для самостійної роботи. Частина 2. Навч. посібн. – Львів: Видавн. центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2019. – 128 с.
- 21.Ковальчук Є.П., Решетняк О.В. Фізична хімія: Підручник. – Львів: Видавн. центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007. – 800 с.
- 22.Ковальчук Є.П., Яцишин М.М., Ковалишин Я.С. Речовина в інтерфазі. Фізична хімія тонких плівок. – Львів: Видавн. центр ЛНУ імені Івана Франка. 2005. – 242 с.
- 23.Стрижак П.Є. Детермінований хаос в хімії. – К.: Академперіодика, 2002. – 286 с.