

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ВАСИЛЯ СТУСА

ЗАТВЕРДЖУЮ



Голова Приймальної комісії

Ректор

[Signature]

Ілля ХАДЖИНОВ

« 23 »

Березня

2025 року

ПРОГРАМА

вступного випробування зі спеціальності Е3 Хімія

для здобуття ступеня освіти «Доктор філософії»

Галузь знань Е Природничі науки, математика та статистика

Спеціальність Е3 Хімія

Освітньо-наукова програма Хімія

Вінниця 2025

Програма вступного випробування для вступників на здобуття ступеня освіти «Доктор філософії» за спеціальністю ЕЗ Хімія, 2025. 39 с.

Розробники:

ШЕНДРИК О. М., декан факультету хімії, біології і біотехнологій, д-р хім. наук, професор, керівник спеціальності ЕЗ Хімія;

РОЗАНЦЕВ Г. М., завідувач кафедри фундаментальної та прикладної хімії, д-р хім. наук, професор, гарант ОНП «Хімія» ступеня «Доктор філософії»;

ЖИЛЬЦОВА С. В., заст. директора навчально-наукового інституту розвитку академічного потенціалу, доцент кафедри фундаментальної і прикладної хімії, канд. хім. наук, доцент.

Програма вступного випробування затверджена на засіданні вченої ради факультету хімії, біології і біотехнологій протокол № 6 від 25 березня 2025 року

ЗМІСТ

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА.....	4
ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СКЛАДОВИХ ВСТУПНОГО ВИПРОБУВАННЯ	6
ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ВСТУПНОГО ВИПРОБУВАННЯ.....	6
КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ФАХОВОГО ВСТУПНОГО ВИПРОБУВАННЯ	7
ПЕРЕЛІК І ЗМІСТ ПИТАНЬ ТА КЛЮЧОВИХ ПОНЯТЬ ОСВІТНІХ КОМПОНЕНТІВ	8
Блок «Загальна хімія» та «Неорганічна хімія».....	8
Блок «Органічна хімія»	13
Блок «Фізична хімія».....	32
Блок «Квантова хімія».....	36
Блок «Координаційна хімія», «Фізичні методи дослідження»	36
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	37

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Програма вступного випробування зі спеціальності ЕЗ Хімія для здобуття ступеня освіти «Доктор філософії» відповідає Правилам прийому до аспірантури та докторантури Донецького національного університету імені Василя Стуса, необхідно скласти вступне випробування зі спеціальності в обсязі програми рівня вищої освіти магістра. Програма вступного випробування розроблена відповідно до Закону України «Про вищу освіту»; Статуту Донецького національного університету імені Василя Стуса; Положення про організацію освітньої діяльності в ДонНУ.

Мета вступного іспиту: визначення наявності потрібного рівня набутих вступником компетентностей і програмних результатів навчання, що визначені стандартом вищої освіти України другого (магістерського) рівня вищої освіти, достатніх для успішного проходження конкурсу та навчання за освітньо-науковою програмою спеціальності ЕЗ «Хімія» здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти – доктора філософії.

Характеристика змісту програми: програма розроблена на підставі вимог програм підготовки ступеня освіти «Магістр» за спеціальністю ЕЗ «Хімія» (галузь знань Е «Природничі науки, математика та статистика») з відповідними навчальними планами та робочими програмами навчальних дисциплін. Програму вступного випробування з хімії складено з урахуванням сучасного стану теоретичних основ хімічної та педагогічної науки, вона визначає провідні напрямки у фаховій підготовці майбутнього здобувача ступеня освіти «Доктор філософії» і включає найважливіші розділи хімічних дисциплін, що викладаються в усіх ЗВО, таких як загальна хімія, неорганічна хімія, органічна хімія, фізична хімія, квантова хімія, фізичні методи дослідження. Об'єм і зміст навчального матеріалу з курсів цих дисциплін, який увійшов до даної програми, узгоджено з відповідними діючими програмами, що дозволяє скорегувати міжпредметні зв'язки дисциплін хімічного циклу та забезпечує справедливий

конкурсний відбір і максимально враховує зорієнтованість на майбутню практичну діяльність вступника в сучасних умовах.

Вимоги до вступників: для успішного засвоєння освітньо-наукової програми третього рівня вищої освіти вступники повинні мати освіту за ступенем освіти «Магістр» (диплом ОКР «Спеціаліст» прирівнюється до вищої освіти зі ступенем освіти «Магістр»). Обов'язковою умовою є вільне володіння державною мовою та однією з мов ЄС. Вступники до аспірантури при складанні вступного випробування зі спеціальності ЕЗ «Хімія» мають продемонструвати наявність та вміння застосовувати набуті за попередніми ОПП або ОНП компетентності, виявити знання предмету та об'єкту як науково-дослідницької сфери, показати вміння комплексно аналізувати матеріал та розуміння системності як наукового підходу, що є принципово важливим в пізнанні сутності, мати глибоке знання матеріалу про сучасний стан розвитку та основні проблеми, що існують у галузі хімії, матеріалознавства, хімічної та екологічної безпеки.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СКЛАДОВИХ ВСТУПНОГО ВИПРОБУВАННЯ

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ВСТУПНОГО ВИПРОБУВАННЯ

Порядок проведення вступного випробування визначається Правилами прийому до Донецького національного університету імені Василя Стуса Положенням про приймальну комісію Донецького національного університету імені Василя Стуса.

Вступне випробування зі спеціальності проводиться у вигляді тестування. Завдання тестів складені відповідно до освітніх програм підготовки ступеня освіти «Магістр» за спеціальністю ЕЗ «Хімія» (галузь знань Е «Природничі науки, математика та статистика») і охоплюють весь необхідний навчальний матеріал освітніх компонентів загальна хімія, неорганічна хімія, органічна хімія, фізична і колоїдна хімія, квантова хімія, фізичні методи дослідження, що дозволяє об'єктивно оцінити у вступника не тільки знання та їх застосування, а й розуміння системності та наукового підходу і забезпечує об'єктивний конкурсний відбір.

Вступне випробування відбувається за допомогою навчальної платформи Moodle в присутності членів фахової комісії. Завдання для кожного вступника обираються програмою довільно із загального обсягу тестових завдань.

Під час випробування вступник отримує тест, який містить 30 тестових завдань закритої форми, з них:

- 20 завдань з однією правильною відповіддю;
- 5 завдань з кількома правильними відповідями;
- 5 завдань на встановлення відповідності.

Система випадковим чином відбирає тестові завдання різного типу з кожної теми відповідно до програми вступного випробувань.

Час виконання – 60 хвилин.

КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ФАХОВОГО ВСТУПНОГО ВИПРОБУВАННЯ

Вступне випробування зі спеціальності проводиться у вигляді тестування, а його оцінювання проводиться згідно з Методичними рекомендаціями до розробки критеріїв оцінювання типових завдань у Донецькому національному університеті імені Василя Стуса. Тестові завдання передбачають відповіді у вигляді цифр або комбінацій цифр із літерами, які необхідно обрати у відповідних полях тестового бланку (завдання закритого типу, завдання на встановлення відповідності). Кожне повністю правильно виконане завдання закритої форми з однією правильною відповіддю оцінюється у 3 бали; з кількома правильними відповідями або завдання на встановлення відповідності оцінюється у 4 бали. Бали за відповіді на питання нараховуються наступним чином:

1) якщо питання містить тільки одну правильну відповідь, вступник має обрати тільки один варіант відповіді з усіх можливих; у разі вибору правильної відповіді за питання він отримує 3 бали, у разі неправильної або обрання декількох відповідей – 0 балів;

2) якщо питання містить декілька правильних відповідей, вступник має обрати необхідну, на його думку, кількість варіантів відповідей, а бал за питання нараховується в залежності від внеску правильних відповідей за наступною формулою:

$$\frac{k_1 - k_0}{n_1} \times 4$$
, де n_1 – кількість правильних варіантів відповідей у питанні, та k_0 , k_1 – кількість неправильних та правильних варіантів відповідей, які обрав вступник, даючи відповідь на питання (якщо сума балів, що розрахована за формулою, виявиться негативною, то за питання нараховується 0 балів).

Максимально можлива кількість балів, отриманих за вирішення тестових завдань (тестовий бал), становить 100 балів, а конкурсний бал за вступний іспит за спеціальністю (ВІС) визначається за 200-бальною шкалою за формулою:

BIC = T + 100, де **T** – отриманий абітурієнтом тестовий бал.

Якщо вступник набрав конкурсний бал за вступний іспит менше 160 балів (**BIC < 160**) то, як це передбачено Правилами прийому до аспірантури Донецького національного університету імені Василя Стуса, він вважається таким, який не склав випробування, і не допускається до наступних іспитів і подальшої участі в конкурсному відборі. За умови успішного виконання запропонованих завдань вступник має право брати участь у конкурсному відборі.

ПЕРЕЛІК І ЗМІСТ ПИТАНЬ ТА КЛЮЧОВИХ ПОНЯТЬ ОСВІТНІХ КОМПОНЕНТІВ

Блок «Загальна хімія» та «Неорганічна хімія»

Будова атома: перші докази складності будови атома: тиск світла, катодні та рентгенівські промені, дослід Беккереля.

Доквантовохімічні моделі атома: модель Томпсона, дослід Резерфорда, планетарна модель, спектр атомарного водню, рівняння Рідберга, постулати Бора, вивід рівняння Рідберга з теорії Бора, недоліки доквантовохімічних моделей.

Квантові числа, правила заповнення орбіталей електронами (правила мінімальних енергій, принцип Паулі, правило Хунда), електронні формули, електронно-графічні формули.

Періодичний закон та періодична система елементів Д.І. Менделєєва: періодичний закон, структурні фрагменти періодичної системи, типи періодичності (головна, внутрішня, вторинна, діагональна подібність).

Зміна властивостей елементів в періодах та групах: радіуси, потенціал іонізації, спорідненість до електрону, електронегативність.

Хімічний зв'язок: загальні положення. Йонний тип зв'язку: умови утворення йонного типу зв'язку, електростатична взаємодія двох йонів, властивості йонного зв'язку (полярність, ненапрявленість, ненасиченість), координаційні поліедри та координаційні числа (к.ч.), залежність к.ч. від співвідношення йонних радіусів, енергія йонного кристалу, поляризація йонів, правила Фаянса, ступінь йонності.

Ковалентний зв'язок: умови утворення, властивості ковалентного зв'язку (полярність, напрямленість, насиченість), довжина та енергія зв'язку, дипольний момент, полярність молекули.

Метод валентних зв'язків (ВЗ), σ -, π -, δ - зв'язки, гібридизація орбіталей, конфігурація молекул, структурна формула.

Метод відштовхування валентних електронних пар (ВВЕП або метод Гіллеспі): основні положення методу, вплив неподілених пар на геометрію молекули.

Метод молекулярних орбіталей (МО), діаграми МО для двохатомних молекул I та II періодів (гомоядерні та гетероядерні).

Невалентні сили: водневий зв'язок, металічний зв'язок, сили межмолекулярної взаємодії, умови утворення, вплив на властивості сполук, зонна теорія твердого тіла, провідники, напівпровідники, діелектрики.

Основи термодинаміки: термодинамічні функції: поняття про систему, внутрішня енергія (ΔU), ентальпія (ΔH), I закон термодинаміки, залежність ΔH та ΔU від температури (закон Кіргофа), теплоємність, зв'язок між C_p та C_v (вивід), стандартний стан.

Основи термохімії: закон Гесса, наслідки з закону Гесса, теплоти утворення та згоряння, ентальпійні (енергії) зв'язків, способи розрахунку теплових ефектів реакцій.

Ентропія (S): поняття про ентропію, залежність ΔS від температури, об'єму, тиску, зміна ентропії в ході реакції, умови самодовільного перебігу реакцій, II закон термодинаміки, розрахунок ΔS реакції.

Енергія Гіббса (ΔG) та енергія Гельмгольца, умови самодовільного перебігу реакцій (ентропійний та ентальпійний фактори), рівновага та умови її встановлення, термодинамічний вивід константи рівноваги, способи виразу константи рівноваги (K^0 , K_c , K_p та K_x), залежність константи від температури (рівняння Вант-Гоффа), рівняння ізотерми.

Хімічна рівновага: зв'язок між константою рівноваги та енергією Гіббса, вплив зовнішніх факторів на стан рівноваги, умови зсуву рівноваги (принцип Ле

Шательє)

Закономірності перебігу реакцій: напрямок перебігу реакцій, ступінь перетворення та його зв'язок з константою рівноваги, оптимальні умови перебігу реакцій.

Основи кінетики: основні поняття кінетики: швидкість середня та миттєва, закон діючих мас, кінетичне рівняння, швидкість в гомо- та гетерогенних системах, порядок та молекулярність реакції, константа швидкості, механізм реакції.

Експериментальна кінетика: експериментальне визначення порядків за компонентами, та загального порядку по залежностям $w = f(c)$ та $c = f(\tau)$, використання сталості константи рівноваги, період напівперетворення для реакцій 0 – 2 порядків.

Теоретичні основи кінетики: рівняння Ареніуса, енергія активації, експериментальне визначення A та E_a , теорія активних співударів, активні молекули та залежність їх вмісту від температури, теорія абсолютних швидкостей, активований комплекс, рівняння Ейрінга – Поляні (вивід), вивід константних рівнянь (швидкість визначаюча стадія, стаціонарне наближення).

Вплив факторів на швидкість реакції: вплив концентрації, тиску, температури, рівняння Вант – Гоффа, правило Вант – Гоффа, каталіз додатний та від'ємний, каталізатор, кінетичне рівняння некаталітичного та каталітичного процесів (вивід), гомогенний та гетерогенний каталіз.

Кінетика складних реакцій: оборотні реакції, кінетичний вивід константи рівноваги, ініціювання фотохімічних реакцій, ланцюгові реакції (неразголушена, разголушена, рідкоразголушена), паралельні, послідовні та послідовно – паралельні реакції (кінетичне рівняння, діаграми $c = f(\tau)$).

Розчини неелектролітів: термодинамічні аспекти: термодинаміка процесу розчинення, типи розчинів (істинні, колоїдні, грубо-дисперсні системи), зони в розчині, зміна термодинамічних функцій при утворенні зон, правило фаз Гіббса, діаграми однокомпонентних систем (H_2O та CO_2), діаграми двохкомпонентних систем (з простою евтектикою, з твердими розчинами, з

новою сполукою).

Колигативні властивості розчинів: I закон Рауля, позитивне та негативне відхилення від закону, діаграми стану $p = f(x)$, II закон Рауля, кріоскопія, ебуліоскопія, кріо- та ебуліоскопічні сталі, осмотичний тиск, рівняння Вант – Гоффа, використання колигативних властивостей.

Розчини електролітів: термодинамічні аспекти: процес йонізації та дисоціації (зміна термодинамічних функцій), константа дисоціації, ступінь дисоціації, ступінчаста дисоціація, закон розведення Оствальда, вплив концентрації та температури на стан рівноваги при дисоціації.

Вода як розчинник: дисоціація, йонний добуток води, концентрація $[H^+]$ та $[OH^-]$ в розчинах, рН розчину, індикатори та інші методи визначення рН, кислоти, основні солі з точки зору електролітичної дисоціації, буферні розчини.

Колігативні властивості розчинів електролітів: ізотонічний коефіцієнт та його зв'язок зі ступенем дисоціації, закони Рауля, осмос, експериментальне визначення молярних мас та ступеню дисоціації.

Гетерогенні рівноваги: розчинність, добуток розчинності, розрахунок розчинності слабого електроліту, та сильного електроліту, умови утворення або розчинення осаду, вплив однойменних іонів на розчинність.

Розчини сильних електролітів: йонна сила розчину, активність, коефіцієнт активності, теорія Дебая – Гюккеля, термодинамічна та концентраційна константи рівноваги та їх зв'язок, сольовий ефект.

Гідроліз: гідроліз за катіоном, за аніоном, сумісний, взаємний, константа та ступінь гідролізу, вплив факторів на перебіг гідролізу, кількість стадій гідролізу, гідроліз кислих та основних солей, гідроліз неелектролітів.

Теорія кислот та основ: Бренстеда, йонотропії, Льюїса, жорстких та м'яких кислот і основ Пірсона, Усановича, реакції нейтралізації.

Основи електрохімії: основні поняття: окислювально – відновний процес (ОВП), окислювально – відновна реакція (ОВР), окислювально – відновні потенціали, рівняння Нернста, ряд напруги металів та обмеження при його використанні.

Гальванічні елементи: складові частини, рівняння Нернста,

електрорушійна сила, напрямок електричного струму, типи елементів, пальні елементи, акумулятори.

ОВР: напрямок перебігу, константа рівноваги, вплив кислотності середовища на перебіг ОВР, рівняння Нернста, корозія металів та боротьба з нею.

Електроліз: в розплаві, в розчині, типи електродів (інертні, розчинні, спеціальні), використання електролізу в техніці, поляризація електродів, перенапряга, закони Фарадея, вихід за речовиною та за струмом.

Хімія елементів:

p- елементи VIII групи. Інертні та благородні газ.

p – елементи VII групи. Водень. Водень. Місце в періодичній системі елементів. Властивості водню. Загальна характеристика галогенів. Сполуки галогенів з воднем. Галогеноводневі кислоти. Галогеніди. Оксиди галогенів. Кисневмісні сполуки галогенів.

p- елементи VI групи. Загальна характеристика халькогенів. Кисень. Халькогеноводні, халькогеніди. Полісульфонові кислоти. Оксиди p-елементів VI групи. Кисневмісні кислоти Se, Te. Кисневмісні кислоти сірки. Галогеніди та оксогалогеніди.

p-елементи V групи. Загальна характеристика p-елементів V-групи. Водневі сполуки p-елементів V-групи. Аміак. Оксиди та кисневмісні кислоти азоту та їх солі. Кисневмісні сполуки фосфору, миш'яку, стибію та бісмуту. Сульфід, галогеніди та оксогалогеніди p-елементів V-групи.

p-елементи IV групи. Загальна характеристика p-елементів IV-групи. Гідриди. Сполуки вуглецю та їх хімічні властивості. Сполуки силіцію. Їх місце в неживій природі. Властивості сполук германію, олова та свинцю.

p-елементи III групи. Загальна характеристика p-елементів III-групи. Сполуки бору. Хімічні властивості сполук алюмінію та елементів підгрупи галію.

s-елементи I і II груп. s-Елементи I і II груп та їх сполуки. Синтез. Використання.

d-елементи III групи. Елементи підгрупи скандію. Загальна характеристика 4f- та 5f-елементів та їх сполук.

d-елементи IV групи. Загальна характеристика d-елементів IV групи. Сполуки елементів підгрупи титану.

d-елементи V групи. Загальна характеристика d-елементів V групи. Сполуки елементів підгрупи ванадію.

d-елементи VI групи. Загальна характеристика d-елементів VI групи. Сполуки хрому. Сполуки молібдену, вольфраму. Їх властивості.

d-елементи VII групи. Загальна характеристика d-елементів VII групи. Сполуки елементів підгрупи мангану.

d-елементи VIII групи. Загальна характеристика d-елементів VIII групи. Родина заліза. Платинові метали та їх сполуки.

d-елементи I групи. Елементи підгрупи міді.

d-елементи II групи. Елементи підгрупи цинку.

Блок «Органічна хімія»

Насичені вуглеводні. Алкани: Гомологічний ряд алканів. Ізомерія: структурна та оптична. Конформації. Поняття про конформаційний аналіз. Номенклатура алканів. Природні джерела алканів. Методи добування: відновлення насичених вуглеводнів, з галогенпохідних (відновлення, реакція Вюрца, через магнійорганічні сполуки), декарбоксилювання карбонових кислот, синтез Кольбе. Фізичні властивості алканів, закономірності їх змінення в гомологічному ряду. Хімічні властивості. Реакції радикального заміщення (галогенування, нітрування, сульфохлорування), їх ініціювання та інгібірування. Ланцюгові реакції. Реакційна здатність та селективність первинного, вторинного та третинного атомів вуглецю. Будова і стабільність вільних радикалів. Реакції дегідрування, окислення, перетворення при високих температурах, їх промислове значення. Використання насичених вуглеводнів в органічному синтезі та як двигунне паливо.

Алкени: Гомологічний ряд алкенів. Ізомерія. Номенклатура. Методи добування: дегідруванням та крекінгом алканів, дегідратацією спиртів, дегідрогалогенуванням віцинальних і гемінальних дигалогенпохідних, частковим гідруванням алкинів. Електрофільне приєднання, механізм. Поняття

про π - та σ -комплекси. Карбкатиони, їх стабільність в залежності від будови. Правило Марковникова. Перекисний ефект Караша. Приєднання галогенів, гіпогалоїдних кислот, галогеноводнів, сірчаної кислоти, води. Радикальне приєднання до алкенів бромоводню, чотирьоххлористого вуглецю. Каталітичне гідрування алкенів, реакція гідроборування. Циклоприєднання за подвійним зв'язком: аліфатичних діазосполук, карбенів, перманганат-йону (гідроксилування за Вагнером), озону, окислення за Прилежаєвим. Деструктивне окислення подвійного зв'язку, його використання для встановлення будови алкенів. Стереорегулярні полімери та умови їх добування (Циглер і Натт). Поліетилен, поліізопропилен, поліізобутилен. Димерізація ізобутилену. Реакції алкилювання алкенами. Ізомерізація етиленових вуглеводнів. Реакції в алільне положення: галогенування (Львов, Циглер), окислення. Застосування алкенів в промисловості.

Алкадієни: Класифікація. Ізомерія, номенклатура, кон'юговані дієни: бутадієн, ізопрен. Добування: із спирту (Лебедєв), ацетилену, дегідруванням бутана та ізобутана, з ізобутилену і формальдегіду. Електронна будова, стереохімія. Вплив π, π -кон'югації на фізичні та хімічні властивості. 1,2- і 1,4-приєднання галогенів і галогеноводнів за електрофільним механізмом (мезомерія алільного катіону). Приєднання водню. Дієновий синтез Дільса-Альдера.

Синтетичний та природний каучуки. Полімерізація супряджених дієнів та методи їх ініціювання. Бутадієновий та ізопреновий каучуки. Синтетичний і природний каучуки, їх будова. Стереоспецифічна полімерізація ізопрену. Інші види синтетичного каучука. Бутилкаучук і хлоропреновий каучук. Сополімерізація бутадієну із стиролом. Вулканізація каучука. Гума. Розвиток промисловості синтетичного каучуку.

Алкіни: Гомологічний ряд алкінів. Ізомерія. Номенклатура. Методи добування: карбідний метод, крекінг метану. Синтез гомологів ацетилену дегідрогалогенуванням віцинальних і гемінальних дигалогенопохідних алканів, алкілюванням ацетиленидів. Природа потрійного зв'язку. Приєднання до

алкинів: галогенів, галогеноводнів, води (Кучеров), спиртів (Фаворський, Шостаковський), ціаністого водню, карбонових кислот. Реакція вінілювання. Промислове значення цих реакцій. Механізм електрофільного і нуклеофільного приєднання до ацетилену. Гідрування алкинів. С-Н-кислотність ацетилену, утворення ацетиленидів та галогенмагнійацетилену (Юцич). Конденсація ацетилену з альдегідами і кетонами (Фаворський, Реппе). Ди-, три- та тетрамеризація ацетилену. Ізомеризація в ряду алкинів (Фаворський). Промислове використання ацетилену.

Аліциклічні вуглеводні (циклоалкани, циклоалкени, циклоалкадієни): Класифікація. Будова аліциклічних вуглеводнів. Теорія напруження Байєра. Гіпотеза Заксе-Мора. Оцінка напруження циклів за теплотами згоряння. Сучасні уявлення про будову і стійкість циклоалканів. Кутове та торсійне напруження. Конформація циклів. Аксиальні та екваторіальні зв'язки.

Циклоалкани. Ізомерія. Номенклатура. Методи добування: з дигалогенпохідних алканів, солей дикарбонових кислот, складноефірна (Дікман) та ацилоїнова конденсація ефірів дикарбонових кислот. Добування циклогексану та його похідних каталітичною гідрогенізацією ароматичних сполук. Природні джерела аліциклічних вуглеводнів. Хімічні властивості: реакції заміщення, окислення до дикарбонових кислот, гідрування та дегідрування до ароматичних сполук (Зелінський, Казанський). Ізомеризація циклів. Розширення та звужування циклів (Дем'янов). Специфічні реакції малих циклів: приєднання галогенів і галогеноводнів. Циклогексан, циклогексанон, добування, застосування. Тетраедричні аліцикли (призман, кубан, адамантан).

Циклоалкени і циклоалкадієни. Ізомерія. Номенклатура. Методи добування, властивості. Необоротний каталіз Зелінського. Циклопентадієн, його властивості. Циклогексан, його природні похідні. Поняття про терпени.

Арени: Класифікація. Сучасні уявлення про природу та критерії ароматичності. Правило Хюккеля. Небензоїдні ароматичні системи. Класифікація. Циклопропенілій катіон. Циклопентадієнільний аніон та його похідні. Ферроцен. Циклогептатриєнілій катіон (катіон тропілія). Азулен.

Одноядерні ацени. Гомологічний ряд бензолу. Ізомерія, номенклатура. Промислові методи добування ароматичних вуглеводнів: ароматизація нафти та коксування кам'яного вугілля. Синтетичні методи добування: конденсація аліциклічних сполук, реакції Фріделя-Крафтса та Вюрца-Фіттіга. Особливості фізичних і хімічних властивостей бензолу та його похідних. Розвиток уявлень про будову бензолу. Енергія утворення та теплота гідрування бензолу. Енергія резонансної стабілізації. Характер С-С зв'язків в бензолі. Реакції електрофільного заміщення у бензольному ядрі: алкилювання, ацилювання (реакція Фріделя-Крафтса), галогенування, нітрування, сульфурування. Механізм цих реакцій, π - та σ -комплекси. Вплив замісників у бензольному ядрі на його реакційну здатність та орієнтацію заміщення. Правила орієнтації. Реакції приєднання у бензолі: гідрування, галогенування. Озоноліз бензолу, окиснення його в малеїновий ангідрид, ізомерізація при освітленні. Реакції за участю бічних ланцюгів аценів: галогенування, нітрування, окиснення, дегідрування. Шляхи промислового застосування бензолу та його гомологів.

Багоядерні ароматичні вуглеводні з неконденсованими ядрами: дифеніл, сполуки ди- та трифенілметанового ряду. Ізомерізація похідних дифенілу. Методи добування, властивості. Реакції в ядро та за метановим атомом вуглецю. Солі трифенілкарбінолу (галохромія). Трифенілметильний радикал, катіон і аніон. Причини, що визначають їх стабільність. Барвники трифенілметанового ряду: основні (парафуксін, малахітовий зелений, кристалічний фіолетовий) та кислотні (фенолфталеїн, флуоресцеїн). Зв'язок будови з забарвленням. Індикаторні властивості фенолфталеїну.

Ароматичні вуглеводні з конденсованими ядрами. Ізомерія та номенклатура похідних. Промислове добування. Вуглеводні лінійної та ангулярної будови. Порівнювальна оцінка ароматичного характеру бензолу, нафталіну, фенантрени та їх енергії делокалізації. Нафталін. Доказ його будови. Синтез із сполук ряду бензолу. Реакції електрофільного заміщення та приєднання в ряду нафталіну. Сульфурування, нітрування, галогенування та ацилювання нафталіну. Правила орієнтації при електрофільному заміщенні в

нафталіні та його похідних. Окиснення і гідрування нафталіну. Синтез нафтолів та нафтиламінів. Значення похідних нафталіну в промисловості. Антрацен та фенантрен. Будова, ізомерія, номенклатура. Методи добування. Особливості реакції електрофільного заміщення. Реакції приєднання, окиснення та відновлення. Антрахінон та фенантренхінон. Дифенова кислота. Алізарин. Протравне фарбування. Лаки. Природні сполуки з фенантреновим скелетом. Вищі конденсовані системи. Поняття про канцерогенні речовини.

Галогенпохідні: Ізомерія. Номенклатура. Методи добування, галогенуванням вуглеводнів, заміщенням гідроксилу на галоген, приєднанням галогеноводнів до насичених вуглеводнів. Особливості добування фторо- та йодопохідних. Будова та хімічні властивості. Реакція нуклеофільного заміщення галогенів в алкилгалогенидах: добування спиртів, простих ефірів, нітрilів, нітросполук, амінів, меркаптанів та ін. Механізм S_N1 і S_N2 . Стереохімія реакцій в залежності від механізму. Вплив на них електронних та стеричних факторів в субстраті, природи відходячої групи реагенту, розчинника. Амбідентатні іони. Механізм нуклеофільного заміщення в арилгалогенидах та їх особливості. Реакції відщеплення галогеноводнів. Правило Зайцева. Механізм $E1$ та $E2$. Конкуренція заміщення та відщеплення. Взаємодія галогенпохідних з металами, участь в реакціях алкилювання. Ди- та полігалогенпохідні. Методи добування та властивості. Застосування галогенпохідних як розчинників, анастетиків, хлороагентів (фреони) та для добування полімерних матеріалів (хлористий метилен, хлороформ, чотирьоххлористий вуглець, хлористий вініл, хлоропрен, тетрафторетилен).

Гідроксіпохідні (гідроксильні сполуки): Класифікація. Одноатомні спирти і феноли. Ізомерія. Номенклатура. Загальні методи добування: гідролізом алкил- та арилгалогенидів, магнійорганічним синтезом, відновленням карбонільних сполук і ефірів карбонових кислот. Добування спиртів гідратацією алкенів. Добування фенолу окисненням кумолу, лужним сплавленням солей ароматичних сульфокислот, з ароматичних амінів. Фізичні властивості. Асоціація. Водневий зв'язок та його вплив на температури кипіння і топлення. Загальні хімічні властивості спиртів і фенолів. Кислотність: реакції з лугами,

лужними металами, металоорганічними сполуками. Особливості фенольного гідроксилу. Основні та нуклеофільні властивості оксипохідних, алкоголятів і фенолятів. Нуклеофільне заміщення гідроксилу та галоген (механізм S_N1 і S_N2). Добування простих і складних ефірів. Окиснення спиртів і фенолів (дегідрування спиртів). Специфічні властивості спиртів. Внутрішня та міжмолекулярна дегідратація спиртів (механізм). Утворення, стабілізація, перегрупування. Специфічні властивості фенолів. Взаємодія з хлорним залізом, виведення гідроксилу шляхом відновлення. Реакції електрофільного заміщення в фенолах: нітрування, сульфурування, галогенування. Активуючий та орієнтуючий вплив гідроксилу. Реакції фенолів із збільшенням вуглецевого скелету: карбоксилювання за Кольбе, формілюванням за Реймером-Тіманом, алкілювання та ацилювання в ядро (перегрупування Фріса). Конденсація фенолу з формальдегідом. Каталітичне гідрування.

Ненасичені спирти. Класифікація. Ізомерія. Номенклатура. Методи добування, властивості. Єноли, їх таутомірна рівновага з карбонільними сполуками. Правило Ельтекова-Ерленмейєра. Феноли як стійкі єноли.

Найважливіші представники насичених одноатомних спиртів, їх добування у промисловості, застосування. Похідні вінілового спирту, їх значення в техніці. Ароматичні спирти – бензиловий і β -фенілетиловий, добування, застосування. Шляхи промислового застосування фенолів і нафтолів.

Багатоатомні спирти і феноли. Класифікація. Ізомерія. Номенклатура. Гліколі. Методи добування: гідролізом дигалогенпихідних, галогенгідридів, гідратацією α -оксидів. Добування пінаконів. Промисловий синтез гліцерину з пропілену. Особливості хімічних властивостей гліколей: утворення внутрішньомолекулярних комплексних гліколятів, дегідратація (пінаколінове перегрупування), окиснення тетраацетатом свинцю та йодною кислотою. Особливості хімічних властивостей багатоатомних фенолів. Етиленгліколь, 1,4-бутадіол, гліцерин та їх похідні, промислове добування, застосування. Використання багатоатомних фенолів як фотографічних проявників та речовин для добування барвників.

Етери: Класифікація. Ізомерія. Номенклатура. Добування за Віль'ямсоном та дегідратацією спиртів. Хімічні властивості простих ефірів: утворення оксонійових сполук, розщеплення простих ефірних зв'язків, утворення гідропероксидів. Алкилвінілові ефіри, добування, особливості хімічної поведінки, застосування. Диетиловий ефір, ефіри етилен- і диетиленгліколю, їх промислове добування і застосування.

Циклічні прості ефіри. Оксид етилену. Добування з етиленхлоргідрину, окисненням етилену. Стійкість α -оксидів. Реакції нуклеофільного приєднання: води, спиртів, галогеноводнів, аміаку та ін. Промисловий органічний синтез на основі оксиду етилену. Епіхлоргідрін. Епоксидні смоли. Тетрагідрофуран, діоксан: добування, застосування. Краунефіри, їх використання в синтезах.

Оксопохідні (карбонільні сполуки): Класифікація. Ізомерія. Номенклатура. Альдегіди і кетони. Методи добування: окисненням і дегідруванням спиртів, гідролізом гемінальних дигалогенпохідних, піролізом солей карбонових кислот, гідратацією алкинів за Кучеровим, окисненням вуглеводнів, гідротормілюванням алкенів (оксосинтез). Введення ацильної і формільної груп в ароматичне ядро. Будова карбонільної групи, її полярність і поляризованість. Хімічні властивості альдегідів і кетонів, нуклеофільне приєднання до карбонільної групи: бісульфіту натрію, синільної кислоти, магнійорганічних сполук, ацетилениду натрію, спиртів, води. Реакції з аміаком, амінами, гідроксилами, гідразином та його похідними. Відновлення альдегідів і кетонів до спиртів: комплексними гідридами металів, реакціями Меєрвейна-Пондорфа-Верля, Канніццаро і Тищенко (гідридне приєднання). Відновлення до вуглеводнів. Реакції Клеменсена і Кіжнера-Вольфа. Відновлювальне амінування кетонів. Заміщення кисню на галоген. Окиснення альдегідів і кетонів за участю α -водневого атому: дія галогенів (галоформна реакція), нітрозування, альдольно-кротонова конденсація. Метиленова і карбонільна компоненти. Основний і кислотний каталіз в реакціях альдольно-кротонової конденсації. Реакція Манніха. Конденсація формальдегіду з алкенами (реакція Прінса) і фенолами. Бензоїнова конденсація. Порівняльна

характеристика властивостей альдегідів і кетонів. Формальдегід, ацетальдегід, ацетон, циклогексанон, їх промислове добування і застосування.

Ненасичені карбонільні сполуки. Кетони. Добування і властивості. Ненасичені альдегіди і кетони. Кон'югація карбонільного та етиленового подвійного зв'язків. Особливості реакцій приєднання (1,2- і 1,4-приєднання). Вінілогія. Участь α , β -ненасичених карбонільних сполук в реакціях дієнового синтезу. Селективне окиснення і відновлення. Полімеризація. Акролеїн, метилвінілкетон, оксид мезитила, форон, корічний альдегід.

Дикарбонільні сполуки. Класифікація. α -Дикарбонільні сполуки: гліоксаль, диацетил. Добування, особливості хімічних властивостей. Диметилгліоксим, його добування і використання в аналітичній хімії. β -Дикарбонільні сполуки, їх добування конденсацією складних ефірів з кетонами. Ацетилацетот (таутомерія, хелатні металічні похідні). γ -Дикарбонільні сполуки. Ацетонилацетон. Хінони. Добування. Властивості: взаємодія з гідроксиламіном, галогенами, галогеноводнями та ін. Окиснювально-відновлювальні властивості, участь в реакціях дієнового синтезу.

Карбонові кислоти: Класифікація. Монокарбонові кислоти. Ізомерія. Номенклатура. Методи добування: оксосинтез, окислення вуглеводнів, первинних спиртів, альдегідів, гідролізом тригалогенпохідних, складних ефірів, нітрilів, з металорганічних сполук, з малонового ефіру. Будова карбоксильної групи. Асоціація карбонових кислот. Вплив електронних ефектів замісників на кислотні властивості. Реакції карбонових кислот: добування функціональних похідних, галогенування за Геллем-Фельгардом-Зелинським, декарбоксилювання, відношення до окисників та відновників. Найважливіші представники монокарбонових кислот. Їх добування та застосування: мурашина (її відновлюючі властивості), оцтова, пальмитинова, стеаринова.

Ненасичені монокарбонові кислоти. Ізомерія структурна та геометрична. Номенклатура. Методи добування: введення подвійного зв'язку у карбонові кислоти, карбоксильної групи у ненасичені сполуки, конденсацією за Перкіним та Кневенагелем. Загальні хімічні властивості: реакції за карбоксилом та

подвійним зв'язком. α , β -Ненасичені кислоти. Особливості хімічної поведінки, що зумовлені кон'югацією подвійного зв'язку та карбоксильної групи. Полімеризація похідних акрилової та метакрилової кислот. Олеїдинова та елаїдинова кислоти. Бензойна кислота: методи добування, реакції за карбоксильною групою та в бензольне ядро.

Дикарбонові кислоти. Класифікація. Ізомерія. Номенклатура. Методи добування: введення карбоксильної групи, окиснювальні методи, ізомеризація солей фталевої кислоти, синтези на основі маленового ефіру. Кислотність та її залежність від будови. Особливості хімічних властивостей: декарбоксилювання, дегідратація, окиснення. Відновлюючі властивості щавлевої кислоти. Малонова кислота та її ефір: СН-кислотність метиленової групи. Участь маленового ефіра в реакції Міхаеля та конденсації з альдегідами. Янтарна кислота, її ангідрид та імід. N-Бромсукцинімід, як бромуючий реагент за Циглером. Глутарова та адипінова кислоти. Промисловий синтез. Фталеві кислоти. Фталевий ангідрид, його добування та застосовування для синтезу гліфталей, похідних антрахінону та ін. Фталімід, його NH-кислотність. Терфталева кислота. Поліетилентерфталат. Ненасичені дикарбонові кислоти. Малєїнова та фумарова кислоти, їх стереоізомерія, взаємний перехід. Реакції за етиленовим зв'язком. Малєїновий ангідрид в дієновому синтезі. Ацетилендикарбонова кислота, її добування, використання ефіру як дієнофілу. Реакції електрофільного заміщення в ароматичних кислотах. Функціональні похідні карбонових кислот, їх властивості. Солі: піроліз, електроліз, взаємодія з алкил- та ацилгалогенидами, добування амідів з амонійних солей. Складні ефіри: гідроліз, амоноліз та переестерифікація складних ефірів. Перетворення в амід, гідразиди і гідроксамові кислоти. Складноефірна і ацилоїнова конденсації. Галогенгідриди і ангідриди карбонових кислот: гідроліз, добування на їх основі складних ефірів, амідів, гідроксамових кислот і азидів. Кетени як внутрішні ангідриди. Нітрили та амід, їх взаємне перетворення. Відновлення до амінів. Алкоголіз та амоноліз нітрilів. Перегрупування амідів (Гофман), азидів (Курціус), гідроксамових кислот (Лоссен). Поняття про секстентні перегрупування. Порівняльна

характеристика кетенів, галогенангідридів, ангідридів, складних ефірів як ацилюючих реагентів.

Нітросполуки: Класифікація. Номенклатура. Методи добування: нітрування аліфатичних та ароматичних сполук, нуклеофільне заміщення галогена на нітрогрупу в галогенпохідних. Будова нітрогрупи, її електроноакцепторний характер. Кислотність та таутомерія аліфатичних нітросполук (ацинітросполуки), реакції з лугами, азотистою кислотою, карбонільними сполуками, галогеналкилами, галогенами, гідроліз в кислих розчинах. Відновлення нітросполук (реакція Зініна для аренів), особливості ходу реакції в кислому та лужному середовищі, проміжні продукти (нітробензол, фенілгідроксиамін, азоксибензол, азобензол, гідразобензол). Нуклеофільне заміщення в нітропохідних бензолу, комплекс Мензейгеймера. Застосування нітросполук (тротил та ін.).

Аміни: Класифікація. Номенклатура. Ізомерія. Стереохімія третинних амінів та четвертинних амонійових солей і основ. Методи добування первинних, вторинних та третинних амінів: алкилювання та ацилювання аміака та амінів; синтез Габриеля; відновлення нітросполук, амідів, нітрilів, ізонітрilів, оксимів, перегруповання азотвмісних сполук (бензидинове, семидинове, Бекмана, Гофмана, Курциуса, Лоссена). Основність амінів. Залежність основності від кількості та природи замісників для аліфатичних та ароматичних сполук і кислотно-основні властивості амінів. Основність та нуклеофільність амінів. Реакції амінів як нуклеофільних реагентів: алкилювання (утворення четвертинних амонійових солей та їх розщеплення за Гофманом); ацилювання; з карбонільними сполуками (основи Шиффу); приєднання до кратних $C=C$ зв'язків, що активовані електроноакцепторними групами. Взаємодія азотної кислоти з первинними, вторинними і третинними аліфатичними та ароматичними амінами. Ізонітрильна реакція на первинні аміни. Утворення N-оксидів. Заміщення ароматичних амінів в ядро: галогенування, сульфурування, нітрування, азосполучення. Захист аміногрупи. Активуючий вплив аміногрупи на ядро та її орієнтація при заміщенні. Застосування амінів.

Діаміни, їх добування, властивості. Гексаметилендіамін, бензидин, їх

використання в реакції поліконденсації. Фенілендіамін, його використання для синтезу азотвмісних гетероциклів.

Діазосполуки: Класифікація. Ароматичні діазосполуки. Діазотування, умови реакції, механізм. Будова і таутомерія ароматичних діазосполук. Реакції діазосполук з виділенням азоту: заміна діазогрупи на водень, гідроксил, галогени, циан-, нітрогрупу, реакція Шимана, фотохімічний розклад. Синтез елементорганічних сполук через діазосполуки (реакція Несмеянова). Реакція арилювання аренів та ненасичених сполук. Реакції ароматичних діазосполук без виділення азоту: відновлення до арилгідразинів, азосполучення. Азосполучення – приклад реакції електрофільного заміщення в ароматичному ядрі. Умови проведення реакції азосполучення з фенолами та амінами. Утворення діазоаміносполук. Азобарвники. Індикаторні властивості азобарвників (метиловий гарячий, конго червоний). Зв'язок між забарвленням та будовою.

Аліфатичні діазосполуки. Діазометан. Методи добування, будова, властивості: взаємодія з алканами, ненасиченими та ароматичними сполуками, альдегідами і кетонами, хлорангідридами карбонових кислот. Використання діазометану як метилюючого реагенту в реакціях з кислотами, фенолами, спиртами. Діазооцтовий ефір, добування, властивості. Будова та реакційна здатність карбенів.

Елементорганічні сполуки: Класифікація. Номенклатура. Загальна характеристика елементорганічних сполук та характеру зв'язку між вуглецем та елементом в залежності від його положення в періодичній системі. Сірковмісні органічні сполуки. Класифікація. Тіоли: аліфатичні та ароматичні (меркаптани). Будова. Методи добування. Властивості: утворення солей, тіоацеталей та тіокеталей, дисульфідів, сульфокислот, приєднання до алкенів. Реакції алкилювання та ацилювання. Порівняльна характеристика їх властивостей із властивостями спиртів та фенолів.

Сульфіди (тіоефіри), будова, добування, властивості: утворення солей сульфонія, окиснення до сульфоксидів та сульфонів. Будова та властивості солей сульфонія. Сульфони та сульфоксиди. Будова, добування, властивості. Диметилсульфоксид як розчинник. Поняття про тіокарбонільні сполуки,

порівняння з альдегідами та кетонами.

Сульфоокислоти. Класифікація. Сульфенові кислоти, добування. Сульфінові кислоти, добування, властивості. Сульфонові кислоти, будова. Методи добування алкил- та арилсульфоокислот. Зворотність реакції сульфурування аренів. Властивості сульфонових кислот. Реакції заміщення сульфогрупи на водень, гідроксильну та нітрильну групи та електрофільного заміщення сульфогрупи на водень, гідроксильну та нітрильну групи та електрофільного заміщення водню в ароматичних сульфоокислотах. Функціональні похідні арил- та алкилсульфоокислот: солі, хлорангідриди, складні ефіри, амідні. Їх добування, властивості. Ефіри, сульфоокислот як алкилюючі реагенти. Застосування солей сульфоокислот як миючих засобів. Сульфамідні препарати.

Фосфорорганічні сполуки. Класифікація: фосфін та алкилфосфіни, фосфініста, фосфоніста, фосфонова кислота, фосфіноксид. Методи добування, взаємні переходи, реакція Арбузова. Фосфорорганічні інсектициди та отруюючі речовини.

Кремнійорганічні сполуки, їх класифікація, номенклатура. Методи добування, властивості, синтез полімерів.

Металорганічні сполуки. Характер зв'язків вуглець-метал. Номенклатура. Загальні методи добування, властивості реакції з речовинами, що містять активний водень, алкилгалогенидами, галогенидами неметалів, неметалами VI-VII груп, приєднання до кисневмісних циклів, подвійних зв'язків. Металорганічні сполуки металів I і II груп. Методи добування та застосування в органічному синтезі. Алюмінійорганічні сполуки, здобування за Циглером, використання як каталізаторів стереоспецифічної полімерізації. Тетраетілсвинець, його добування та використання.

Гідроксікислоти: Класифікація. Номенклатура. Атомність, Основність оксикислот. Ізомерія: структурна, положення функціональних груп, оптична. Відносна (D-, L-) та абсолютна (R-, S-) конфігурація оптичних ізомерів. Правило Інгольда-Кана-Прелога. Методи добування оксикислот. Загальні: окиснення гліколей, відновлення оксикислот, гідроліз галогенпохідних, діазотування

амінокислот; специфічні: ціангідринний синтез (α -оксикислоти), реакція Реформатського, окиснення альдолей, приєднання води до α , β -ненасичених кислот, приєднання синільної кислоти до етилену (β -оксикислоти), відновлення та гідроліз циклічних ангідридів, окиснення циклічних простих ефірів (γ , δ -оксикислоти), реакція Кольбе-Шмідта (фенолокислоти). Фізичні властивості. Хімічні властивості оксикислот, у тому числі властивості, що зумовлені наявністю гідроксильної та карбоксильної груп: синтез аспіріну та салолу. Дегідратація α -, β - та γ -оксикислот. Відновлення та кислотне розщеплення оксикислоти.

Двохосновні оксикислоти. Яблучна кислота. Методи добування. Поняття про асиметричний синтез. Медоти розділу рацематів. Специфічні властивості. Винна кислота. Добування з малеїнової та фумарової кислот, ціангідринним синтезом. Специфічні властивості: відношення до нагрівання, окиснення тетраацетатом свинцю, йодною кислотою, мезовинна та виноградна кислоти. Відношення до нагрівання лимонної кислоти.

Похідні вугільної кислоти. Галогенангідриди. Хлорвугільна кислота та її ефіри: добування, властивості, фосген; добування, властивості, застосування. Ефіри вугільної кислоти: кислі, середні, ортоєфіри. Добування, властивості. Ортоєфіри як ацеталь- та кеталь-утворюючі реагенти. Ефіри піровугільної кислоти. Аміди вугільної кислоти. Карбамінова кислота та її ефіри – уретани. Добування, властивості, поліуретани. Карбамід (сечовина). Добування, властивості. Уреїди, урові кислоти, парабанова та барбітурові кислоти, карбамідні та сечовиноформальдегідні смоли. Гуанідін. Добування. Основні властивості. Тіосечовина. Добування, властивості. Нітрили вугільної кислоти: ціанова та ізоціанова кислоти, ціанати та ізоціанати, ціанурова кислота. Сірковмісні похідні вугільної кислоти: сірковуглець, ксантогенова кислота та ксантогенати. Ефіри ксантогенової кислоти. Реакція Чугаєва.

Оксокислоти: Класифікація, ізомерія, номенклатура та будова. Загальні методи добування оксокислот – окиснення, гідроліз. Специфічні методи добування α -оксокислот (гліоксилова, піровіноградна): з галогенангідридів;

піроліз винної кислоти. Добування β -оксокислот (ацетооцтова кислота) приєднанням води до дикетенів, складноефірною конденсацією Гейтера-Кляйзана. Здобування γ, δ -оксокислот (левулінова кислота) конденсацією Дікмана, з ангідридів дикарбонових кислот. Загальні та специфічні властивості оксокислот: реакція Канніццаро, відношення до нагрівання α - та β -оксокислот, кето-єнольні таутомірні перетворення, перетворення β -, γ - та δ -кислот, кільчато-ланцюгова таутомерія γ - та δ -оксокислот. Ацетооцтовий ефір, виділення таутомірних форм, причини відносної стабільності єнольної форми. Реакції кетонної форми ацетооцтового ефіру: приєднання синільної кислоти, бісульфіту натрію, нуклеофільна взаємодія з гідроксиламіном, фенілгіdraзином, карбонільними сполуками, азотистою кислотою, реакція Міхаеля – приєднання активованого подвійного зв'язку. Реакції єнольної форми ацетооцтового ефіру: взаємодія з хлоридом фосфору (V), хлоридом заліза (III), бромом, галогенангідридом, діазометаном. Натрійацетооцтовий ефір. Алкилювання натрійацетооцтового ефіру, реакції з переносом реакційного центру. Кетонне та кислотне розщеплення ацетооцтового ефіру та продуктів його алкилювання. Синтези на основі ацетооцтового ефіру: кетонів, дикетонів, моно- та дикарбонових кислот.

Амінокислоти: Класифікація. Ізомерія. Номенклатура. Природні амінокислоти, їх стереохімія. Загальні методи добування: амоноліз галогензаміщених карбонових кислот, відновлення карбонових кислот з азотвмістними замісниками, на основі фталіміду калію. Специфічні методи здобування α -амінокислот (метод Штреккера-Зелинського, з ефірів нітрооцтової кислоти, з N-ацетиламіномалонового ефіру), β -амінокислот (приєднання аміаку до ненасичених кислот, метод Родіонова – реакція малонової кислоти, аміака та альдегідів), γ -, δ -, ϵ -амінокислот (гідроліз лактамів). Добування ароматичних амінокислот: антранілової кислоти, *p*- та *m*-амінобензойних кислот. Фізичні властивості, поняття про ізоелектричну точку, бетаїни (цвіттер-іони). Амфотерність. Хімічні властивості. Загальні властивості за карбоксильною та аміно-групами. Специфічні властивості амінокислот: відношення до нагрівання

– утворення дикетопіперазинів, α -, β -ненасичених кислот, лактамів; утворення пептидів, комплексів з металами. Застосування амінокислот: харчові домішки, синтетичні волокна, комплекси (трилон Б).

Пептиди та поліпептиди. Пептидний зв'язок, методи добування пептидів та поліпептидів з різних амінокислот. Захист аміногрупи та активація карбокси-групи N-амінокислоти. Захист карбокси-групи C-амінокислоти. Методи зняття захисту: гідроліз, відновлення. Методи встановлення складу та будови поліпептидів: гідроліз, гідразиноліз, розщеплення з N-, та C-кінця. Природні поліпептиди (окситоцин, вазопресин та ін.). Білки, їх загальна характеристика. Склад білків. Протеїни та протеїди. Уявлення про будову білків: первинна, вторинна, третинна та четвертинна будова. Властивості білків. Якісні реакції на білки: денатурація, осадження солями важких металів, ксантопротеїнова реакція, реакція Мілона, сульфгідрильна реакція, утворення альбумінатів та синтонинів. Роль білків в живій природі, їх значення для харчування та в промисловості.

Гідроксікарбонільні сполуки: Класифікація і номенклатура. Гліколевий та гліцериновий альдегіди, диоксиацетон. Методи добування, окиснення, відновлення, гідроліз, бензоїнова та ацилоїнова (механізм), альдольна конденсація. Добування ароматичних окси-оксо-сполук, реакція Реймера-Тімана (механізм). Властивості. Участь в реакціях окиснення-відновлення. Кетонольна та кільчато-ланцюгова таутомерія. Утворення циклічних напівацеталей α - та γ - (δ)-оксиоксосполуками. Дегідратація β -оксиоксосполук. Реакції гідроксильної групи з ангідридами та галогенангідридами. Реакції карбонільної групи з синільною кислотою, гідразином, фенілгідразином, гіроксиламіном.

Вуглеводи. Класифікація. Моносахариди (монози)-поліоксиальдегіди та поліоксокетони. Класифікація моносахаридів: пентози, гексози; альдози, кетози. Stereoізомерія моноз. Абсолютна та вілносна конфігурація D- та L-ряди, їх стереохімічна спорідненість з гліцериновим альдегідом. Stereoхімічний ряд моноз, найважливіші представники. Кільчато-ланцюгова таутомерія. Мутаротація, α - та β -аномери, глікозидний гідроксил. Проекційні формули Фішера та перспективні формули Хеуорса. Просторова будова альдогексоз –

форма “крісло”. Піранозні та фуранозні цикли. Методи скорочення ланцюгу моносахаридів: метод Воля, метод Руффа. Подовження вуглецевого ланцюгу моносахаридів – синтез Кіліані-Фішера. Властивості моносахаридів. Реакції відкритої форми: відновлення; окиснення з утворенням альдонових, сахарних, уронових кислот, зруйнування вуглецевого ланцюгу; взаємодія з синільною кислотою, гідроксиламіном, фенілгідразином (озазони та озони); епімерізація. Епімери. Реакції циклічних форм: алкилювання спиртами, галогеналкилами, алкилсульфатами, ацилювання. Гідроліз глікозидів, агліконова група. Перетворення пентоз та гексоз в похідні фурфурола. Найважливіші моносахариди, синтез аскорбінової кислоти.

Дисахариди (біози). Класифікація. Номенклатура. Будова. Відновлюючі та невідновлюючі дисахариди. Мальтоза, целобіоза, лактоза, сахароза. Інверсія оптичної активності сахарози при гідролізі. Мутаротація. Реакції алкилювання та ацилювання, гідроліз. Специфічні реакції відновлюючих дисахаридів: окиснення-відновлення, з фенілгідрозином.

Полісахариди. Крохмаль, глікоген, целюлоза (клітковина). Будова полісахаридів, їх розповсюдженість в природі, значення. Якісні реакції на крохмаль, целюлозу. Гідроліз. Прості та складні ефіри целюлози: метил-, етил- та ацетилцелюлоза. Нітроцелюлоза, целулоїд, целофан. Штучні волокна на основі целюлози. Ацетатний шовк. Ксантогенат клітковини. Віскоза.

Методи встановлення будови сахаридів. Встановлення розміру циклу за допомогою вичерпного метилювання з послідовним окисненням.

Загальна характеристика гетероциклів: Класифікація. Номенклатура. Ароматичні гетероцикли, пророда їх ароматичності. Характер делокалізації р-електронів в п'яти- та шестичленних гетероциклах. Вплив гетероатома. Енергія делокалізації як міра ароматичності гетероциклів. Порівняльна характеристика ароматичності бензолу та ароматичних гетероциклів. Роль гетероциклічних сполук в природі та в промисловому органічному синтезі.

П'ятичленні гетероцикли з одним гетероатомом: Порівняльна характеристика гетероциклів. Вплив природи гетероатома на ароматичність,

ненасиченість та ацидофобність. Загальні методи синтезу фурану, піролу та тіофену: реакція Юр'єва, синтез Пааля-Кнорра. Специфічні методи синтезів фурану з моносахаридів, сахарних кислот; піролу з амонієвих солей сахарних кислот, відновленням сукциніміду, з бутандіолу-1,4; тіофену з кам'яновугільної смоли, з ацетилену, бутану, бутену, бутадієну, оцтового альдегіду. Взаємні перетворення гетероциклів. Хімічні властивості. Загальні властивості. Основність та кислотність. Ацидофобність фурану та піролу. Нітрування, сульфурування, галогенування, ацилювання, азосполучення, формілювання (реакції Реймера-Тімана та Гаттермана), меркурування фурану і тіофену, гідрування. Реакції з малеїновим ангідридом: циклоприєднання до фурану, заміщення в піролі. Специфічні властивості. Фуран: розщеплення спиртами з утворенням діацеталей, окиснення до янтарного ангідриду. Пірол: N-H кислотність та синтези на основі метал-піролів; розщеплення гідроксиламіном; розширення циклу; окиснення до малеїніміду; конденсація з формальдегідом. Тіофен: хлорметилування; приєднання до дицианацетилену; відношення до окисників. Найважливіші похідні. Піролідин, піролін. Порфін, порфірін. Поняття про будову та біохімічну роль хлорофілу та гемоглобіну. Пірольний та піролідиновий цикли в алкалоїдах. Фурфурол. Добування. Властивості. П'ятичленні гетероцикли з одним гетероатомом, що конденсовані з бензольним ядром. Індол, тіонафтен, кумарон, карбазол. Будова, ароматичність. Синтез індола методом Фішера, внутрішньомолекулярною конденсацією форміл о-толуїдину та о-заміщених анілінів, з аніліну та ацетилену. Властивості. Ацидофобність. Протонна рухливість N-H-водню (індолилмагнійбромід, індолилнатрій та їх реакції). Електрофільне заміщення: галогенування, нітрування, сульфурування, азосполучення. Реакція Манніха. Взаємодія з лужним розчином хлороформа. Відновлення. Найважливіші похідні індолу. Триптофан. Скатол. Оксиіндоли, кето-єнольна та лактим-лактамна таутомерія. Індоксил. Промисловий синтез індиго. Білий індиго. Барвники на основі індиго. Тіоіндиго. Кубове барвлення. Індолілоцтова кислота (гетероауксин).

Карбазол. Будова. Номенклатура. Електрофільне заміщення в карбазолі. Полівінілкарбазол.

П'ятичленні гетероцикли з декількома гетероатомами: Класифікація.

Будова. Взаємний вплив атомів в імідазолі та піразолі. Методи добування піразолу з гідразину та β -дикарбонільних сполук, чи ефірів маленової кислоти, з діазометану. Добування імідазолу з гліоксалу, з амідіну. Кисотно-основні властивості піразолу та імідазолу. Реакції електрофільного заміщення. Часткове (піразолін, імідазолін) та повне (піразолідин, імідозолідин) відновлення. Похідні піразолу. Піразолон та синтези на його основі лікарських речовин, барвників. Антипирін, амідопирін, анальгін. Похідні імідазолу: гістидин, гістамін. Поняття про триазоли та тетразоли.

Шестичленні гетероцикли з одним гетероатомом: Піридин. Будова. Добування піридину при коксуванні кам'яного вугілля. Синтез піридину та алкилпіридинів реакціями конденсації з акролеїну, оцтового альдегіду. Синтез Ганча. Циклізація ацетилену з синільною кислотою. Реакційна здатність піридину. Нуклеофільне заміщення: амінування, гідроксилювання (р. Чічібабіна), алкилювання. Електрофільне заміщення: нітрування, сульфурування, галогенування. Радикальне заміщення з солями діазонію. Основність і нуклеофільність піридину. Реакції з кислотами, алкилгалогенидами, ацилгалогенидами, утворення комплексів з оксидом сірки (VI), бромом. Здобування N-оксиду піридину та використання її в синтезі похідних піридину. Озоноліз піридину. Відновлення піридину. Піперидин. Похідні піридину та їх властивості. Піколіни. C-H кислотність піколінів, конденсація з альдегідами. Окиснення піколінів: піколінова, нікотинова та ізонікотинова кислоти. Вінілпіридини. Хлорпіридини. Окси- та амінопіридини. Таутомерія α - та γ -оксі- і амінопіридинів, реакції таутомірних форм. Діазотування амінопіридинів. Піридинові та піперидинові цикли в алкалоїдах. Нікотин. Тропан. Атропін. Кокаїн. Лікарські речовини на основі піридину та піперидину. Синтез промедола.

Шестичленні гетероцикли з одним гетероатомом, що конденсовані з бензольним ядром. Хінолін, ізохінолін, акридин. Будова. Ароматичність. Порівняльна характеристика реакційної здатності між собою та відносно піридину і бензолу. Синтез хіноліна методами Скраупа та Дебнера-Міллера. Реакції електрофільного заміщення в хіноліні: нітрування, сульфурування.

Нуклеофільне заміщення: амінування, гідроксилування, алкилювання. Основні властивості: реакції з кислотами – алкил та ацилгалогенидами. Утворення N-оксидів. Окиснення до хінолінової кислоти. Часткове та повне відновлення хіноліну. Похідні хіноліну. Хінальдин, його C-H кислотність. 8-оксихінолін (оксин), його здатність до утворення комплексів з іонами металів. Таутомірні перетворення α - і γ -окси- та амінохінолів, реакції таутомірних форм. Хінін. Ізохінолін. Здобування методами Бішлера-Напіральського та Померанца-Фріча. Здатність ізохіноліна до реакцій нуклеофільного заміщення: амінування, гідроксилування, алкилювання. Електрофільне заміщення: нітрування, сульфування. Основні властивості. Утворення N-оксидів. Окиснення до фталевої та цинхомеронової кислот. Часткове та повне відновлення. Похідні ізохіноліну. Лікарські речовини та алкалоїди на основі ізохіноліну. Папаверін, морфін, кодеїн. Акридин. Добування з о-метилдифеніламіну та м-фенілендіаміну і формальдегіду. Реакції амінування, алкилювання акридину. Окиснення та відновлення акридину. Лікарські речовини на основі акридину.

Шестичленні гетероцикли з декількома гетероатомами: Діазини: піразин, піримідин, піридазин. Будова. Порівняльна реакційна здатність. Методи здобування. Нуклеофільне заміщення. Електрофільне заміщення в похідних діазинів. Основні властивості в порівнянні з піридином. Реакції окиснення-відновлення. Найважливіші похідні. Піримідинові основи: урацил, цитозин, тимін, їх синтез. Синтез барбітурової кислоти. Таутомерія окси- та амінопохідних діазинів. Лікарські речовини на основі піримідину. Люмінал. Вітамін В₁.

Пурін, будова. Похідні пуріну: гуанін, аденін, гіпоксантин, ксантин, сечова кислота. Синтез сечової кислоти методами Фішера та Траубе. Синтез пурінових основ з сечової кислоти.

Нуклеїнові кислоти. Рібо- та дезоксірібонуклеїнові кислоти (РНК та ДНК). Первинна та вторинна структура нуклеїнових кислот. Нуклеотиди, нуклеозиди. Комплементарні основи. Роль нуклеїнових кислот в живій природі.

Блок «Фізична хімія»

Основні закони термодинаміки, загальні критерії термодинамічної рівноваги і спрямованості термодинамічних процесів

Основні положення хімічної термодинаміки: Історія розвитку фізичної хімії як самостійної науки. Термодинамічні системи і процеси. Класифікація й методи їхнього опису.

Перший закон термодинаміки: Перший закон термодинаміки, внутрішня енергія як функція стану системи. Робота розширення ідеального газу. Теплоємність при постійному об'ємі й температурі. Залежність теплоємності від температури. Ентальпія як функція стану системи. Температурна залежність ентальпії реакції.

Термохімія: Стандартні стани й умови, прості речовини. Закон Гесса, термохімічні схеми. Обчислення стандартної ентальпії реакції $\Delta_r H_T^\circ$ з використанням стандартних теплот утворення, згоряння, розчинення, розведення.

Другий закон термодинаміки: Постулати Клаузіуса й Кельвіна (Томсона), рівняння Клаузіуса. Ентропія як функція стану, вираз другого закону термодинаміки у вигляді нерівності Клаузіуса. Закон зростання ентропії, критерії протікання самочинних процесів в ізольованій системі. Ентропія в різних процесах з ідеальним газом, зміна ентропії при фазових переходах. Теорема Нернста, постулат Планка, обчислення ентропії системи при температурі T .

Характеристичні функції й термодинамічні потенціали: Вільна енергія Гіббса й вільна енергія Гельмгольца як функції стану системи. Термодинамічні потенціали й характеристичні функції. Залежність вільної енергії Гіббса й вільної енергії Гельмгольца від температури і тиску для ідеальних і реальних газів, фугітивність і коефіцієнт фугітивності. Хімічний потенціал як критерій термодинамічної рівноваги й самочинного протікання процесів у відкритих системах. Загальні критерії термодинамічної рівноваги й самочинного протікання процесів в ізольованих, закритих і відкритих системах.

Термодинаміка розчинів і фазові рівноваги.

Термодинаміка розчинів: Термодинамічні функції ідеальних розчинів газів. Рівновага рідкий розчин - насичена пара. Закони Рауля і Генрі, ідеальні й гранично розведені розчини. Реальні розчини, активність компонентів розчину, коефіцієнт активності. Розчинність твердих речовин з утворенням ідеальних і неідеальних розчинів. Температура кристалізації і кипіння розчинів нелетких речовин. Явище осмосу, зворотний осмос. Перший закон Коновалова, фракційна перегонка. Другий закон Коновалова, азеотропні розчини.

Фазова рівновага в однокомпонентних системах: Рівновага фаз в однокомпонентних системах, умови рівноваги, правило фаз Гіббса. Тиск насиченої пари і його залежність від температури. Фазові переходи першого і другого роду. Діаграма стану води, фазові поля, фігуративні точки, лінії фазової рівноваги, потрійна точка, критичний стан. Діаграма стану диоксиду вуглецю, сублімація й десублімація. Діаграма стану сірки, метастабільні стани, енантіотропні і монотропні фазові переходи, правило Оствальда.

Фазова рівновага в двокомпонентних системах: Діаграма стану двокомпонентних систем із простою евтектикою. Фазові діаграми двокомпонентних систем з утворенням обмежених і необмежених розчинів у твердих фазах. Діаграми стану двокомпонентних систем з утворенням хімічної сполуки, що плавляться конгруентно. Рідини, що обмежено змішуються, верхня і нижня критичні температури розчинності, визначення, правило Алексєєва. Принципи побудови діаграм фазової рівноваги, криві охолодження, термічний аналіз.

Фазова рівновага в трикомпонентних системах: Трикутні діаграми Гіббса-Розебума, їхні властивості. Діаграми стану трикомпонентних сумішей рідин з обмеженою взаємною розчинністю. Закон розподілу і екстракція.

Хімічна рівновага. Пряма й зворотна реакції, динамічність і рухливість хімічної рівноваги, термодинамічні умови хімічної рівноваги. Закон дії мас, термодинамічне виведення, константи рівноваги. Ізобарний потенціал хімічної реакції, рівняння ізотерми хімічної реакції. Стандартний ізобарний потенціал хімічної реакції. Співвідношення між константами рівноваги, вплив тиску на хімічну рівновагу. Принцип Ле-Шательє-Брауна, застосування до реакції

синтезу аміаку. Залежність хімічної рівноваги від температури у вузькому діапазоні температур. Хімічна рівновага при протіканні хімічної реакції в гетерогенних системах.

Хімічна кінетика

Формальна кінетика: Швидкість хімічної реакції. Двосторонні та однобічні реакції. Молекулярність і порядок реакцій. Необоротні реакції 1-го, 2-го, n-го порядку. Оборотні реакції першого та другого порядку. Паралельні реакції першого та другого порядку. Послідовні реакції. Методи визначення порядку реакції. Вплив температури на швидкість реакції.

Застосування молекулярно-кінетичної теорії до бімолекулярних реакцій: Ефективний діаметр зіткнення. Гіпотеза активних зіткнень. Застосування теорії зіткнень до розрахунку константи швидкості реакції.

Теорія абсолютних швидкостей хімічних реакцій: (активного комплексу; перехідного стану). Поверхня потенційної енергії. Активний комплекс. Вивід основного рівняння теорії активного комплексу. Вільна енергія активації. Експериментальне значення енергії активації. Взаємодія двох атомів. Порівняння теорії зіткнень із теорією активного комплексу.

Мономолекулярні реакції: Експериментальні дані та завдання теорії. Бімолекулярний механізм активації мономолекулярної реакції. Мономолекулярні реакції й теорія методу активного комплексу. Тримолекулярні реакції, теорія зіткнень і теорія активного комплексу.

Мономолекулярні і бімолекулярні реакції в розчинах: Сполучені реакції.

Ланцюгові реакції: Основні поняття. Приклади ланцюгових реакцій. Довжина ланцюга. Ланка ланцюга. Кінетика нерозгалужених ланцюгових реакцій. Розгалужені і вироджено-розгалужені ланцюгові реакції. Кінетика розгалужених ланцюгових реакцій.

Фотохімічні реакції: Основні закони фотохімії. Квантовий вихід. Основні типи фотохімічних реакцій.

Каталітичні реакції: Класифікація хімічних процесів. Каталіз. Гомогенні каталітичні реакції. Загальні кінетичні закономірності. Кислотно-основний

каталіз. Вплив іонної сили на швидкість реакції. Гетерогенні каталітичні реакції. Стадії і характерні риси гетерогенних каталітичних процесів. Кінетична та дифузійна області гетерогенно-каталітичних процесів. Кінетика гетерогенних каталітичних реакцій у статичних умовах. Істинна і уявна енергії активації гетерогенних хімічних реакцій. Активні центри гетерогенних каталізаторів. Мультиплетна теорія каталізу.

Електрохімія

Провідники першого та другого роду: Електрохімічні реакції.

Основи теорії електролітичної дисоціації: Недоліки теорії Ареніуса. Активність і коефіцієнт активності електролітів. Основи теорії Дебая і Гюккеля.

Електропровідність електролітів: Питома і еквівалентна електропровідність електролітів. Рухливість іонів. Зв'язок між рухливістю іонів і їхньою концентрацією. Числа переносу іонів. Методи виміру електропровідності електролітів і чисел переносу.

Іонні рівноваги: Закон розведення. Термодинамічна і істинна константи дисоціації. Визначення істинного ступеня дисоціації. Кислоти і основи. Амфотерні електроліти.

Електрорушійні сили (е.р.с.): Електрохімічні елементи. Стрибки потенціалу та е.р.с. Знаки е.р.с. елементів. Додавання е.р.с. елементів. Вимір е.р.с. Нормальні елементи. Термодинаміка електрохімічних елементів.

Виникнення стрибків потенціалу на межі фаз: Будова границі електрод-розчин. Величина і знак електродного потенціалу. Залежність електродного потенціалу від концентрації розчину. Електроди порівняння. Електроди першого й другого роду. Окислювально-відновні електроди і їхні потенціали. Хінгідронний електрод.

Електрохімічні елементи й ланцюги: Класифікація електрохімічних елементів. Концентраційні елементи. Визначення коефіцієнтів активності електролітів по е.р.с.

Хімічні джерела електричного струму: Акумулятори. Проблема паливних елементів.

Кінетика електрохімічних процесів: Електроліз. Концентраційна і

електрохімічна поляризація. Напруга розкладання. Перенапруга. Теорія водневої перенапруги. Корозія. Полярографія.

Блок «Квантова хімія»

Основи квантової механіки: корпускулярно – хвильовий дуалізм, принцип невизначеності Гейзенберга, рівняння Шредінгера (загальний вигляд), хвильова функція та обмеження на неї.

Квантово – механічна модель атома: орбіталь, складові частини рівняння Шредінгера та їх рішення, квантові числа, правила заповнення орбіталей електронами (правила мінімальних енергій, принцип Паулі, правило Хунда), багатоелектронні атоми, метод самоузгодженого поля, електронні формули, електронно-графічні формули.

Будова атомних ядер: протонно-нейтронна теорія, стійкі нуклоні конфігурації та магічні числа.

Загальні положення: енергія двохатомної системи, правила заборони симетрії, механізми утворення зв'язку, рівняння Шредінгера для H_2^+ та його розв'язок, типи хімічного зв'язку, довжина та енергія зв'язку.

Метод валентних зв'язків (ВЗ): хвильова функція, інтеграли в методі ВЗ, варіаційний підхід, форма та енергія симетричних та асиметричних хвильових функцій, σ -, π -, δ -зв'язки, гібридизація орбіталей, конфігурація молекул, структурна формула. Метод молекулярних орбіталей (МО): хвильова функція, типи орбіталей (зв'язуючи, антизв'язуючи, незв'язуючи, малозв'язуючи), інтеграли в методі МО, кратність зв'язку, діаграми МО для двохатомних молекул I та II періодів (гомоядерні та гетероядерні), поняття про колективну орбіталь, метод МО для багатоатомних бінарних молекул.

Блок «Координаційна хімія», «Фізичні методи дослідження»

Загальні положення: внутрішня (комплекс) та зовнішня сфери, центральний атом, ліганди, характеристики складових частин комплексу (заряд, координаційне число, дентатність), класифікація координаційних сполук.

Сучасна українська номенклатура координаційних сполук, тривіальна та номенклатура ІУАПС.

Будова координаційних сполук: загальні уявлення, октаедричні, квадратні та тетраедричні комплекси, поліедри навколо центрального атома. Природа хімічного зв'язку та методи її дослідження. Методи ВЗ, МО та теорія кристалічного поля.

Координаційні сполуки у розчині: дисоціація, константи утворення та нестійкості, поняття про транс – вплив. Теоретичні основи методів синтезу координаційних сполук.

Взаємозв'язок між складом, будовою та властивостями координаційних сполук. Практичне значення координаційних сполук.

Сучасні фізичні методи встановлення структури координаційних сполук (дифракційні методи, мас-, ЯМР-, електронна, коливальна спектроскопії).

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Загальна та неорганічна хімія. Ч. 1, 2. / Степаненко О.М. та ін. Київ: Педагогічна преса, 2000. 520 с., 784 с.
2. Хімія, Загальна хімія. / А.В.Голубєв та ін. Київ: Кондор, 2016. 264 с.
3. Хімія / В.Шульгін та ін. Київ: Фоліо, 2014. 958 с.
4. Левітін Є.Л., Бризицька А.М., Ключєва Р.Г. Загальна та неорганічна хімія. Харків: НФаУ: Золоті сторінки, 2017. 512 с.
5. Kalibabchuk V.O. General and inorganic chemsstry. Kyiv: AUS Medicine, 2019. 456 p.
6. D.F. Shriver, P. W. Atkins. Inorganic Chemistry, OXFORD University press, 2004. 1165 с.
7. N. N. Greenwood and A. Earnshaw. Chemistry of the elements Second Edition. Butterwort Heineman Oxford Amsterdam Boston London New York Paris San Diego San Francisco Singapore Sydney Tokyo.
8. Сегеда А.С. Аналітична хімія. Якісний аналіз. Київ: ЦУЛ, 2002. 524 с.

9. Ластухін Ю.О., Воронов С.А. Органічна хімія. Львів: Центр Європи, 2001. 864 с.
10. Домбровський А.В., Найдан В.М. Органічна хімія. Київ: Вища школа, 1992. 503 с.
11. Jerry March. ADVANCED ORGANIC CHEMISTRY. Reactions, Mechanisms and Structure. Third edition. A Wiley-Interscience Publication, John Wiley and Sons. New York* Chichester • Brisbane • Toronto • Singapore, 2020. V.1. 381 p.; V.2. 504 p.; V.3. 459 p.; V.4. 472 p.
12. F. Carey, J. Sundbtrg. ADVANCED ORGANIC CHEMISTRY. New York and Ljndon.: Plenum Press, 1981. V.1. 520 p.; V.2. 454p
13. Органічна хімія. / Чирва В.Я. та ін. Львів: БаК, 2009, 996с.
14. Білий О.В. Фізична хімія. Київ: ЦУЛ, Фітосоціоцентр, 2002. 364 с.
15. Ковальчук Є.П., Решетняк О.В. Фізична хімія: Підручник. Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007. 800 с.
16. Лебідь В. І. Фізична хімія : Харків : Фоліо, 2005. 478 с
17. Фізична та колоїдна хімія / Костржицький А. І., Калінов О. Ю., Тіщенко В. М., Берегова О. М. Київ : Центр учбової літератури, 2008. 496 с
18. Фізична хімія : підручник / Л. С. Воловик та ін. Київ, 2007. 496 с.
19. Peter Atkins, Julio de Paula, and James Keeler. Atkins' Physical Chemistry. 2022. 976 pp. ISBN: 9780198847816
20. Peter Atkins, Julio de Paula. Physical Chemistry OXFORD University press 2007. 495с.
21. Яцимирський В.К. Фізична хімія. Київ, 2007. 512 с.
22. Яцков М.В., Буденкова Н.М., Мисіна О.І. Фізична та колоїдна хімія. Рівне, 2016. 164 с.
23. Вакарчук І. О. Квантова механіка. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2007. 848 с.
24. Стрижак П. Є. Квантова хімія: підручник. Київ: Києво-Могилянська акад., 2009. 458 с.
25. Яцимирський В. К., Яцимирський А. В. Квантова хімія: підручник. К.: Видавничо-поліграфічний центр “Київський університет”, 2009. 479 с.

26. Ira N. Levine Quantum chemistry. 7th edition. Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 2014, 714 p.
27. Розанцев Г. М., Радіо С. В., Неділько С.А. Будова атома та періодичність: Київ: ЦП «Компринт», 2017. 162 с.
28. Скопенко В.В., Савронський Л.І. Координаційна хімія: 2-е вид, перероб. і доп. К., 2004.
29. Чундак С.Ю., Багрій І.Є. Основи хімії комплексних сполук: Ужгород: Вид-во УжНУ “Говерла”, 2019. 133 с.
30. Russell S. Drago, Physical methods for chemists 2nd ed., Saunders College Publishing, 1992, 878p.
31. В.К. Зінчук, Г.Д. Левицька, Л.О. Дубенська, Фізико-хімічні методи аналізу. Львів: ЛНУ імені Івана Франка. 2008. 362 с.
34. Воловенко Ю.М., Карцев В.Г., Комаров И.В., Туров А. В., Хиля В.П. Спектроскопія ядерного магнітного резонанса для хіміків. Київ: МБФНП. 2011. 704 с.

Інформаційні ресурси в Інтернет

1. The American Chemical Society. URL: <http://pubs.acs.org/about.html>
2. AIP Publishing. URL: <http://journals.aip.org/>
3. American Mathematical Society. URL: <http://www.ams.org/journals/>
4. APS Journals. URL: <http://publish.aps.org/browse.html>
5. BMC, research in progress. URL: <http://www.biomedcentral.com/>
6. Cambridge Core. URL: <http://journals.cambridge.org/action/login>
7. ScienceDirect. Physical Sciences and Engineering. URL: <http://www.sciencedirect.com/>
8. EBSCO Information Services Product & Services. URL: <http://search.ebscohost.com/>
9. ScienceDirect. Physical Sciences and Engineering. URL: <http://www.sciencedirect.com/>
10. IOPScience. URL: <http://www.iop.org/EJ/main/-list=current/>
11. JSTOR. URL: <http://www.jstor.org/>
12. Metapress. URL: <http://www.metapress.com/>
13. Nature Journal. URL: <http://www.nature.com/siteindex/index.html>
14. OSA Publishing. URL: <http://www.opticsinfobase.org/>
15. Oxford Academic. URL: http://www.oxfordjournals.org/our_journals/
16. Royal society of chemistry. URL: <http://www.rsc.org/Publishing/Journals/Index.asp>