
НАВЧАЛЬНІ ПРОГРАМИ З ХЕМІЇ

УДК 54(075.8); 546(075); 544(075.8)

Т.Р. Татарчук, Г.О. Сіренко, Л.Я. Мідак

Навчальна програма поглибленого вивчення курсу «Неорганічна хемія» Частина I. Теоретичні основи неорганічної хемії

*Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,
вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, 76025, Україна*

Репрезентовано першу частину навчальної програми поглибленого вивчення курсу «Неорганічна хемія». Програма містить наступні розділи: атомно-молекулярне вчення; основні поняття та закони хемії; будова атома; Періодичний закон та Періодична система хемічних первнів; моделі хемічного зв'язку в неорганічній хемії; основи хемії твердого тіла; основні класи неорганічних сполук; комплексні сполуки; основи хемічної термодинаміки; хемічна кінетика та рівновага; розчини; сучасна теорія окисаційно-відновних процесів; основні положення електрохемії; корозія металів та способи захисту від корозії; загальні властивості металів; супрамолекулярна хемія; нанохемія та наноматеріали тощо. Затверджено на засіданні катедри неорганічної та фізичної хемії 2 березня 2011 року (протокол № 7).

Навчальна програма призначена для підготовки студентів за спеціальністю «хемія» спеціалізації «неорганічна хемія» в університетах класичного типу. Літ. джерел 108.

Ключові слова: хемія, атом, орбіталь, хемічний первень, моль, атомна маса, еквівалент, Періодичний закон, Періодична система первнів, електронегативність, валентність, ступінь окисації, кайносиметрія, оксид, гідроксид, сіль, хемічний зв'язок, гібридизація, дефект, комплексна сполука, хемічна термодинаміка, розчин, гідроліз, корозія, метал, неметал, нанохемія.

Програма постуила до редакції 10.03.2011; прийнята до друку 20.04.2011.

Вступ

1. Хемія як наука. Основні періоди розвитку неорганічної хемії (найдавніший, алхемія, ятрохемія, виникнення технічної хемії, технологічна хемія (хемічна технологія), нова хемія, класична хемія, новітня хемія). Хемія та хемічна технологія в Україні. Огляд найважливіших відкриттів у неорганічній хемії за останні 20-30 років. Нобелівські лавреяти з хемії.

2. Предмет неорганічної хемії та її завдання. Місце неорганічної хемії у природничих науках, зокрема в системі хемічних, фізичних та біологічних наук. Найважливіші розділи неорганічної хемії (теоретична, синтези, прикладна). Неорганічна хемія та її взаємозв'язок з іншими науковими дисциплінами.

3. Роль хемії у природних процесах, процесах життєдіяльності та у виробництві. Мови хемії. Хемія та «інформаційний вибух». ІЮПАК (Міжнародний союз теоретичної і прикладної хемії). Хемічні наукові журнали.

4. Хемічна промисловість України, її галузі: гірничохемічна, основна хемічна, пластичних мас, штучного волокна та інших синтетичних продуктів, хеміко-фармацевтичних препаратів, лісохемічна, лако-фарбні та ін.). Сировинна база хемічної промисловості України. Екологічні проблеми хемічної промисловості.

5. Значення хемії. Роль хемії у розв'язанні енергетичної проблеми. Проблеми і перспективи розвитку сучасної неорганічної хемії. Завдання синтези нових неорганічних сполук із заданими властивостями (напівпровідники, тугоплавкі і надпровідні стопи, кластери і т.і.). Проблема отримання речовин високої та надвисокої чистоти. Перспективи використання усіх відомих первнів у науці і техніці.

I. Атомно-молекулярне вчення. Основні означення та закони хемії

1.1. Основні положення та означення атомно-молекулярної теорії. Атом, молекула, йон,

родень. Хемічний первень. Проста і складна речовина. Алотропія та алотропні модифікації речовини. Поліморфізм. Індивідуальні речовини і їх суміші. Хемічна класифікація чистоти речовин. Основні класифікаційні поняття: система, тіло, фаза, компонент, хемічний індивід, сполука.

1.2. Хемічні реакції. Необхідні умови для проходження реакцій. Ознаки хемічної реакції. Класифікація хемічних реакцій за різними ознаками: тепловим ефектом, складом реагентів, агрегатним станом, механізмом перебігу тощо.

1.3. Міжнародна система одиниць фізичних величин та її застосування в неорганічній хемії. Основні одиниці СИ (System International). Маса, об'єм і густина речовини, тиск, концентрація, енергетичні величини та ін. Атомна одиниця маси. Відносні атомна та молекулярна маси. Кількість речовини. Моль. Молярна маса і молярний об'єм. Хемічна символіка. Хемічна формула. Види хемічних формул: емпірична, молекулярна, графічна, структурна, електронна тощо. Хемічні сполуки, їх склад у масових, мольних та атомних відсотках. Методи визначення молекулярних мас. Методи визначення атомних мас за Авогадро, Канніцаро та за питомою теплоємністю. Правило Дюлонга і Пті. Узагальнені вирази для теплоємності за Айнштайном та Дебаєм. Мас-спектрометрія.

1.4. Газовий стан. Ідеальний газ. Закон об'ємних співвідношень Гей-Люссака. Закон Авогадро та висновки з нього. Густина газу. Відносна густина газу. Закони газового стану: Бойля-Маріотта, Гей-Люссака, Шарля. Розрахунок молярної маси газових речовин (за молярним об'ємом та за відносною густиною тощо). Рівняння стану ідеального газу. Рівняння Карно-Клапейрона. Питома газова стала. Універсальна газова стала. Тиск газових сумішей. Парціальний тиск. Закон парціальних тисків. Закон Грехема (закон ефузії та дифузії газів). Кінетична теорія газів. Закон Максвелла-Больцмана. Основне рівняння кінетичної теорії газів. Реальні гази. Рівняння реальних газів ван дер Валса, Вукаловича-Новікова, Бітті-Бріджмена тощо.

1.5. Фундаментальні закони хемії. Закон збереження маси та енергії. Рівняння Айнштайна. Особливості закону збереження маси та енергії в ядерних процесах. Стехіометрія. Закон сталості складу Пруста. Речовини з молекулярною та немоллекулярною структурою. Сполуки постійного і змінного складу. Дальтоніди і бертоліди. Хемічний еквівалент. Фактор еквівалентності. Еквівалентне число. Молярна маса та молярний об'єм еквівалентної речовини. Визначення молярних мас еквівалентів хемічних первнів та їх сполук (оксидів, кислот, основ, солей). Залежність молярної маси еквівалента від умов хемічної реакції. Закон еквівалентів. Закон кратних співвідношень Дальтона. Сучасне трактування стехіометричних законів.

II. Будова атома

2.1. Речовина. Означення атома як «цеглинки» світобудови. Визначальні категорії речовини, простору, часу, руху та енергії. Історія розвитку уявлень про матерію та складність будови атома (Демокрит, Аристотель, Фалос Мілетський, Анаксимандер, Анасімен, Геракліт, Анаксагор, М.Кузанський, П.Гассенді, Р.Бойль, А.Лавуазьє, Д.Далтон, У.Проут, Й.Берцеліус, Р.Бойль, Л.Бройль, В.Гайзенберг, А.Шопенгавер, О.Лодж, І.Пулюй, В.Рентген, Е.Резерфорд, А.Шустер, Р.Фейнман, Н.Бор, А.Айнштайн, О.Штерн, М.Лауе, Х.Лоренц, В.Паулі, А.Беккерель, Ф.Астон, Д.Чедвік, Д.Іваненко, Д.Гільберт тощо). Наукові відкриття, що лягли в основу створення теорії будови атома: катодні промені (Крукс), радіоактивність (Беккерель), видима частина спектру Гідрогену за Бальмером. Модель атома Томсона. Планетарна модель будови атома Резерфорда. Х-променеві спектри. Походження ліній спектру. Відмінність оптичного та Х-променевого спектрів. Закон Мозлі. Атомні спектри. Спектр випромінювання атома Гідрогену. Серія Лаймана, Бальмера, Пашена, Брекетта, Пфунда. Рівняння Рідберга. Двоїста природа світла. Рівняння Планка. Основні ідеї квантової механіки. Постулати Нільса Бора. Переваги та недоліки теорії Бора. Вклад Зеемана і Зоммерфельда в розвиток теорії Бора. Відкриття нейтрону (Чедвік). Сучасні уявлення про будову атома. Основний і збуджений стан електронів. Радіус орбіти, швидкість і енергія електрона в основному стані.

2.2. Будова та склад атомних ядер. Важливі характеристики елементарних частинок: маса спокою, заряд, час життя, спин, зарядова незалежність, ізотопний спин, гіперонний заряд тощо. Елементарні частинки. Лептони та мезони: фотон, електрон, позитрон, нейтрино, антинейтрино, μ -мезони (μ^- та μ^+), π -мезони тощо. Електрон валентний, електрон сольватований. Види електронів: π -електрони, σ -електрони, антизв'язуючі, внутрішні, делокалізовані, зв'язуючі, незв'язуючі, спарені, неспарені, успільнені. Баріони (важкі частинки): протон, нейтрон, антипротон, антинейтрон, гіперони та К-мезони. Протонно-нейтронна модель ядра (Іваненко, Гапон, Гейзенберг). Нуклони та їх різновиди. Нуклонне та протонне числа. Масове число. Нукліди. Ізотопи, ізотони, ізобари. Енергія зв'язку. Поняття про ефективний заряд ядра атома. Екранування заряду ядра електронами. Поняття про дефект маси. Взаємоперетворення протонів і нейтронів. Поняття про кварки. «Чорна» (схована) маса та «чорна» (схована) енергія. Уявлення про елементарні частинки як протяжні об'єкти – суперструни у багатовимірному просторі.

2.3. Хвильова теорія будови атома. Подвійна природа електрону (корпускулярно-хвильовий

дуалізм). Співвідношення невизначеності Гейзенберга та принцип доповнювальності Бора, рівняння Де-Бройля. Делокалізація у принципі невизначеності. Основні поняття квантової механіки, які застосовуються для опису дво- та багатоатомних молекул: хвильова функція, стаціонарне рівняння Шрьодінгера, знак хвильової функції, позитивне та негативне перекривання, інтеграл перекривання, орбіталі типу гідрогенових, орбітальна апроксимація. Розв'язання рівняння Шрьодінгера для одновимірної потенціальної чарунки. Поняття про тривимірну потенціальну чарунку. Результати розв'язання рівняння Шрьодінгера для атома Гідрогену. Поняття про електронну хмару. Радіальний розподіл ймовірностей перебування електрона навколо ядра. Електронна густина. Хвильові функції атома Гідрогену та електронні орбіталі. Радіальна і сферична складові хвильової функції. Поняття про радіус атома. Форма та якість речовини.

2.4. Атомна орбіталь. Характеристика стану електрона квантовими числами. Головне квантове число. Енергетичний рівень. Орбітальне квантове число. Енергетичний підрівень (s-, p-, d-, f-підрівень). Виродження. Магнітне квантове число. Енергетична чарунка. Вузлові поверхні та символи орбіталей. Полярні діаграми. Форми атомних орбіталей та їх орієнтація у просторі. Спінове квантове число. Спін електрона. Спін-орбітальна взаємодія. Спін-орбіталь. Сумарні орбітальні спінові моменти електронів атома. Дослід Штерна-Герлаха.

2.5. Будова поліелектронних атомів. Наближені методи обчислення електронних орбіталей поліелектронних атомів. Нульове наближення. Метод самоузгодження поля Хартрі-Фока. Одноелектронне наближення. Метод Слетера. Розподіл електронів на енергетичних рівнях і підрівнях. Принцип мінімуму енергії. Принцип Паулі і ємність електронних рівнів та підрівнів. Проникнення та екранування. Правило Гунда і послідовність заповнення атомних орбіталей електронами. Правило найменшого запасу енергії Клечковського. Способи зображення електронних структур атомів. Електронні терми і конфігурації. Електронні формули атомів у збудженому стані. Електронні формули йонів. Терми багатоелектронних атомів. Спінова мультиплетність терма. Мультиплетні стани: синглетний, дублетний, триплетний, кватретний. Стабільні і нестабільні (метастабільні) електронні конфігурації. «Магічні» числа.

2.6. Ядерні сили. Радіоактивність. Одиниці вимірювання радіоактивності (Беккерель та Кюрі). Типи та властивості радіоактивного випромінювання. Типи радіоактивного розпаду (α -, β -, γ -, позитронний, електронне захоплення). Швидкість радіоактивного розпаду. Період напіврозпаду. Закони радіоактивного розпаду. Закон зміщення. Радіоактивні ряди. Штучна

радіоактивність. Методи реєстрації радіоактивних випромінювань (метод та лічильник Резерфорда-Гейгера-Мюллера, напівпровідникові детектори). Ядерні реакції (реакції під час бомбардування ядер). Поділ важких ядер. Ядерні реактори. Паливні стержні (твели). Атомна бомба. Термоядерний синтез. Синтез трансуранових первнів. Реакції за участю мічених атомів. Застосування мічених атомів у медичній діагностиці. Радіаційна хемія. Дія на організм радіаційного випромінювання. Радіоліз води. Біологічно допустима доза опромінення. Застосування ядерної хемії. Ядерні реакції в природі. Використання радіоактивних ізотопів. Ізотопні індикатори. Радіокарбонівий метод.

III. Періодичний закон та Періодична система хемічних первнів

3.1. Періодичний закон і Періодична система хемічних первнів. Перші спроби класифікації хемічних первнів. Тріади Деберейнера, спіраль Шанкуртуа, октави Ньюлендса, схема Мейера. Періодичний закон як основа хемічної систематики і подальшого розвитку неорганічної хемії. Різне формулювання Періодичного закону. Створення Періодичної системи первнів. Періодична система як колективна праця хеміків та фізиків: І.Деберейнер, А.Лавуазьє, Ж.Дюма, А.Шанкуртуа, Й.Берцеліус, У.Одлінг, Дж.Ньюлендс, Л.Мейер, Д.Менделєєв, П.Лекок де Буабодран, Л.Нільсон, К.Вінклер, Т.Бейлі, Ю.Томсен, А.Вернер, Н.Бор, Е.Резерфорд, А.ван ден Брук, Г.Мозлі, В.Паулі, М.Борн тощо. Форми вираження Періодичного закону: словесна, таблична, графічна, математична. Варіанти зображення Періодичної системи первнів: короткий, напівдовгий, довгий і східчастий. Структура Періодичної системи первнів: малі й великі періоди, групи, головні і побічні підгрупи, родини окремих первнів.

3.2. Хемічний первень як об'єкт дослідження з позицій Періодичного закону і Періодичної системи. Означення хемічного первня. Недоліки ядерного означення хемічного первня. Хемічний первень як тип атомів з однаковою електронною будовою. Місце хемічного первня у Періодичній системі, його порядковий номер. Класифікація хемічних первнів за будовою електронної оболонки (s-, p-, d-, f-первні) і за властивостями ізольованих атомів хемічних первнів (метали, неметали, інертні первні). Типи періодичності зміни властивостей первнів. Основна, вторинна і внутрішня періодичність. Аналогія між первнями. Види аналогії: вертикальна (групова, типова, шарова, контракційна, електронна), горизонтальна, діагональна тощо. Закономірності у зміні властивостей атомів хемічних первнів, обумовлених складом ядра: атомної маси, ізотопного

складу (моноізотопні первні) і розповсюдження у Природі (рідкісні та розсіяні первні). Поняття про кайносиметрію. Особливості хемії первнів-кайносиметриків. Зміна хемічної активності металів і неметалів за періодами та групами. Зміна кислотно-основних властивостей оксидів і гідроксидів за періодами та групами.

3.3. Електронні формули s-, p-, d-, f-первнів: скорочені та повні електронні формули. Особливості електронних конфігурацій атомів первнів А- та В-підгруп. Розміщення s-, p-, d-, f-первнів у Періодичній системі. Проблема визначення розташування Гідрогену та Гелію (s-первнів) в Періодичній системі, явище «провалу» електронів. Місце Лантану та Актинію, Лютецію та Лоуренсію в Періодичній системі первнів. Екранування ядра. Діамагнітне екранування ядра. Магнітне екранування ядра. Парамагнітне екранування ядра.

3.4. Атомні характеристики. Розміри атомів та йонів. Орбітальні та ефективні радіуси. Ковалентні, йонні, металеві та вандервалсові радіуси. Магнітні властивості атомів. Зміна атомних та йонних радіусів у періодах та групах. Ефекти d- і f-контракції. Лантанойдне стиснення.

3.5. Енергетичні характеристики атомів. Енергія йонізації атомів. Енергія відриву першого та наступних електронів. Чинники, які впливають на величину енергії йонізації. Зміна величин енергії йонізації атомів за періодами та групами. Енергія електронної спорідненості. Чинники, що визначають її величину. Зміна величин енергії електронної спорідненості за періодами та групами. Означення електронегативності первнів. Різне трактування електронегативності. Шкала Полінга, Маллікена, Олреда-Рохова. Певні недоліки концепції електронегативності.

3.6. Ступінь оксидації як фундаментальна величина в неорганічній хемії, її фізичний смисл. Знак та величина ступеня оксидації, їх означення за електронегативністю та електронною будовою. Ступінь оксидації ізольованих атомів хемічних первнів та у сполуках; принципова відмінність. Ступінь оксидації хемічних первнів за періодами і підгрупами Періодичної системи. Ступені оксидації з позицій стійких електронних конфігурацій; їх значення для лантанойдів та актиноїдів. Взаємний вплив електронів один на одного. Ефекти екранування ядра та проникнення електронів. Періодичність хемічних властивостей первнів, простих і складних речовин. Зміна ефективних зарядів ядер, електронегативностей, ступенів оксидації, валентности та координаційного числа залежно від протонного числа первня.

3.7. Межі Періодичної системи і перспективи її розвитку. Магічні числа протонів і нейтронів. Ядерна періодичність. Поширення первнів у природі. Походження первнів. Еволюція Періодичного закону та Періодичної системи первнів. Нуклонний принцип побудови природної системи хемічних первнів. Ізотопічний спін.

Повторюваність періодів. Проблеми в означеності та властивостях легких первнів. Космогенне і біогенне значення легких первнів. Проблема надважких первнів. Принципи синтезу, виділення та ідентифікації нових первнів. Методи прогнозу властивостей надважких первнів.

IV. Моделі хемічного зв'язку в неорганічній хемії: від двоатомних до поліатомних молекул

4.1. Хемічний зв'язок. Хемічний зв'язок і будова молекул. Розвиток уявлень про хемічний зв'язок (Ломоносов, Берцеліус, Франкланд тощо). Теорії Косселя і Льюїса. Суть хемічного зв'язку за Гайтлером і Лондоном. Причини утворення хемічного зв'язку. Природа хемічного зв'язку. Основні типи хемічного зв'язку. Властивості взаємодіючих атомів: ефективний радіус, ефективний заряд, електронегативність, ступінь оксидації, валентність, координаційне число.

4.2. Ковалентний зв'язок. Умови утворення ковалентного зв'язку. Крива потенціальної енергії для молекули водню. Квантово-механічні методи, які розкривають природу та фізичний смисл ковалентного зв'язку. Рівняння Шрьодінгера для молекул.

4.3. Валентність хемічних первнів. Історія розвитку уявлень про валентність. Різні означення валентности у сучасній хемії. Означення спінової та координаційної валентности. Валентність з позицій методу валентних зв'язків (МВЗ). Валентність s-, p-, d-, f-первнів. Постійна і змінна валентність. Валентність за високих температур. Координаційне число і ступінь оксидації первня в його сполуках як характеристики, які доповнюють валентність. Обмеження означення валентности у зв'язку з розвитком теорії хемічного зв'язку в методі молекулярних орбіталей та для координаційних сполук.

4.4. Метод валентних зв'язків. Основні положення. Валентні можливості первнів. Обмінний та донорно-акцепторний механізми утворення ковалентного зв'язку (на прикладах йонів NH_4^+ , $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ тощо). Контурні діаграми електронної густини. Особливості ковалентного зв'язку: насичуваність і напрямленість. Метод накладання валентних схем. Переваги і недоліки методу валентних зв'язків.

4.5. Насичуваність ковалентного зв'язку. Модель, що заснована на конфігурації інертних газів. Делокалізовані зв'язки в йонах оксигенвмісних неорганічних кислот. Молекули O_2 , NO , NO_2 . Електронodefіцитні структури на прикладі молекули диборану. Льюїсові структури молекул. Резонансні структури. Резонансний гібрид. Формальний заряд атома у структурі Льюїса. Гіпервалентні частинки. Гіперкоординаційні частинки. Електронадлишкові молекули. Правило октету.

4.6. Кількісні характеристики хемічних зв'язків. Міцність зв'язку. Енергія зв'язку. Довжина зв'язку. Ступінь йонності зв'язку. Кратність зв'язку. Способи перекривання електронних орбіталей. σ -, π - та δ -зв'язки. Одинарний і кратні зв'язки. Відносна стійкість π -зв'язків. Правило кратності зв'язку. Полярність зв'язку. Хемічний зв'язок за МВЗ на прикладах молекул водню, фтору, азоту (неполярний зв'язок), гідрогенхлориду (полярний зв'язок). Розбіжність МВЗ для молекули кисню з експериментальними даними. Дипольний момент хемічного зв'язку. Полярні і неполярні молекули. Дипольний момент молекул.

4.7. Напрявленість хемічних зв'язків. Концепція гібридизації атомних орбіталей. Особливості розподілу електронної густини гібридних орбіталей. Умови здійснення гібридизації. Прості типи гібридизації: sp , sp^2 , sp^3 , sp^3d , sp^3d^2 (на прикладі атомів Берилію, Бору, Карбону, Нітрогену, Оксигену, Сульфуру, Хлору, Ксенону). Гібридизація за участю неподілених електронних пар. Будова молекул берилій хлориду, бор трифториду, метану, води. Вплив гібридизації орбіталей на міцність зв'язку. Стереохемія молекул. Валентні кути (кути між зв'язками). Правила Гілленсі. Взаємозв'язок між найпоширенішими типами симетрії молекул та між відповідними валентними кутами. Частота коливань зв'язку. Залежність частоти коливань від міцності зв'язку і від маси атомів. Просторова конфігурація молекул та йонів типу AH , AH_2 , AH_3 , AH_4 , AH_5 , AH_6 . Елементи симетрії молекул. Точкові групи симетрії. Вплив незв'язуючих валентних електронів та неподілених електронних пар на просторову конфігурацію молекул. Концепція ізоляльності. Теорія відштовхування валентних електронних пар (ВВЕП). Просторова конфігурація молекул у рамках уявлення про відштовхування електронних пар. Метод Гілленсі. Електростатичне відштовхування між поділеними і неподіленими парами.

4.8. Основні положення теорії молекулярних орбіталей (МО). Молекулярні орбіталі як лінійна комбінація атомних орбіталей (МО ЛКАО). Класифікація МО: за типом атомних орбіталей, за характером зв'язку (зв'язуючі, незв'язуючі, розпушуючі), за симетрією електронної густини (σ - і π -МО). Енергетичні діаграми молекул. Діаграми розщеплення s - і p -атомних орбіталей у двоатомних молекулах. Порядок заповнення (заселення) електронами молекулярних орбіталей. Діаграми МО і електронні формули молекул. Визначення порядку (кратності) зв'язків. Діаграми МО гомоядерних двоатомних молекул пернів другого періоду. Розподіл електронів на молекулярних орбіталах гомо- і гетероядерних молекул пернів другого періоду (LiH , HF , CO , NO). Молекулярні йони (H^{2+} і H^{2-}), їх стійкість в порівнянні з молекулами. Молекулярні орбіталі багатоатомних молекул (CH_4 , OF_2 , CO_2). Ізоелектронні системи. Парамагнетизм. Локалізація і

делокалізація у методі МО ЛКАО на прикладах сполук. Гіпервалентність з точки зору ММО. Електронodefіцитні молекули. Три- і багатоцентрові зв'язки. Зіставлення методів МО і ВЗ. Порівняльні можливості методів у поясненні хемічних зв'язків в неорганічних сполуках.

4.9. Йонний зв'язок. Теорія Косселя. Умови утворення йонного зв'язку. Розподіл електронної густини в молекулі. Міра йонності зв'язку як функція різниці електронегативностей атомів. Ненапрявленість і ненасиченість йонного зв'язку. Розміри позитивно і негативно заряджених йонів. Координаційне число йону в кристалі. Основні типи кристалічних ґраток йонних сполук. Енергія йонної кристалічної ґратки, вплив розмірів і зарядів йонів. Стала Маделунга. Термохемічний цикл Борна-Габера та обчислення енергії кристалічної ґратки. Рівняння Борна-Майєра. Рівняння Капустинського. Основні положення концепції поляризації йонів. Поляризуюча дія і здатність до поляризації йонів; чинники, які впливають на них. Обмеженість концепції поляризації йонів. Теорія поляризації. Правила Фаянса. Додатковий ефект поляризації, ефект контрполяризації. Вплив поляризації на ступінь ковалентності хемічного зв'язку. Пояснення закономірностей у зміні фізичних властивостей сполук (термічна стійкість, розчинність у полярних та неполярних розчинниках, забарвлення тощо) з точки зору теорії поляризації.

4.10. Водневий зв'язок. Природа і особливості водневого зв'язку. Напрявленість водневого зв'язку. Енергія і довжина водневого зв'язку. Види водневого зв'язку: міжмолекулярний і внутрішньомолекулярний. Вплив водневого зв'язку на властивості речовин. Водневий зв'язок між молекулами гідрогенфлуориду, води, амоніаку. Утворення надмолекулярних структур за участю водневих зв'язків. Водневий зв'язок у білках. Сегнетоелектричні кристали.

4.11. Металічний зв'язок. Металічний стан і його особливості. Зонна теорія твердого тіла. Теорія вільних електронів Друде. Теплоємність металів. Дискретність енергії електрона в кристалі. Утворення енергетичних зон при перекриванні орбіталей, їх типи і характер заповнення. Зона провідності, заборонена зона, валентна зона. Ефективна маса електрону. Періодична залежність енергії електрона від хвильового вектора. Зони Бріллоуєна і енергетичні зони. Розподіл електронів за енергією у кристалі. Стеля зони. Енергія Фермі. Електрони та дірки. Ефект Холла. Типи твердих тіл з позиції зонної теорії: метали, напівпровідники (n - і p -напівпровідники), ізолятори (діелектрики). Власна і домішкова провідність. Межі застосування зонної теорії. Явище надпровідності. Надпровідні речовини. Температури прояву надпровідності речовин.

4.12. Міжмолекулярна взаємодія (вандервалсовий зв'язок). Сили ван дер Валса. Орієнта-

ційна, індукційна та дисперсійна взаємодія. Чинники, які визначають енергію міжмолекулярної взаємодії: величина дипольного моменту молекул, здатність молекул до поляризації, розміри молекул. Енергія вандервалсового зв'язку. Ненасиченість та ненапрявленість вандервалсового зв'язку. Вплив вандервалсових взаємодій на властивості речовин.

4.13. Відмінності у фізичних властивостях речовин з різним типом хемічного зв'язку. Анізотропія властивостей.

V. Агрегатний стан речовини. Основи хемії твердого тіла

5.1. Агрегатний стан речовини. Характерні особливості твердого, рідкого, газового та плазмового агрегатних станів речовини. Температурні умови їх існування. Поняття про стандартні умови. Діаграма стану однокомпонентної системи. Параметри системи. Означення потрібної точки стану речовини. Конденсований стан речовини. Близький та далекий порядок у конденсованих речовинах. Кристалічна та аморфна структури твердих тіл. Стан скла. Загальні фізико-хемічні характеристики скла. Компактний та дисперсний аморфні стани.

5.2. Плазмовий стан речовини. Низько- та високотемпературна плазма.

5.3. Газовий стан речовини.

5.4. Рідкий стан речовини. Структурно-хемічна будова рідин. Особливості рідкого стану. Рідкі кристали. Термотропні і ліотропні рідкі кристали. Сметичні, нематичні і холестеринові типи рідких кристалів. Застосування рідких кристалів.

5.5. Кристалічний стан речовини. Будова кристалів. Основні властивості кристалів: анізотропія властивостей, однорідність, здатність до самоогранення, симетрія. Елементи та операції симетрії. Симетрія зовнішніх форм кристалів. Внутрішня будова кристалів. Принцип найщільнішої упаковки. Гексагональна та кубічна найщільніші упаковки. Порожнини у щільних упаковках: октаедричні та тетраедричні. Координаційне число та координаційний багатогранник. Стереохемічні особливості розташування атомів при різних координаційних числах. Кристалічні ґратки. Елементарна чарунка. Кристалографічні класи і системи. Типи кристалічних ґраток: йонні, атомні, молекулярні, металічні. Кристалічні структури. Ізоморфізм і поліморфізм. Тверді розчини вкорінення та тверді розчини заміщення. Аддукти, клатрати, тектогідрати. Типи кристалів. Гомодесмічні та гетеродесмічні системи. Острівні, ланцюгові, шаруваті і каркасні структури. Фізичні властивості кристалів.

5.6. Йонна модель в описі твердого тіла. Основні структурні типи йонних сполук. Структура NaCl. Структура CsCl. Структура сфалериту. Структури флюориту і антифлюориту.

Структура вюрциту. Структура NiAs. Структура рутилу. Структура перовскіту. Структура шпінелі. Закономірності будови йонних кристалів. Йонні радіуси. Відношення йонних радіусів. Структурні карти.

5.7. Будова реальних кристалів. Дефекти кристалічних ґраток. Теплові коливання атомів. Типи дефектів: точкові, дислокації та поверхневі дефекти. Дефекти та надструктури. Вакансії та атоми вкорінення. Дефекти за Шоттке. Дефекти за Френкелем. Енергія утворення дефектів. Атоми заміщення. Електронні дефекти. Лінійні дефекти. Дислокації. Крайові та гвинтові дислокації. Загальні властивості дислокацій. Енергія дислокацій. Рух дислокацій. Взаємодія дислокацій. Поверхневі дефекти. Нестехіометрія. Еволюція означення нестехіометрії. Ферум (II) оксид як типовий представник нестехіометричних сполук. Тверді розчини та нестехіометричні фази. Взаємозв'язок склад–структура–властивості. Кристалоквазіхемія як суперпозиція антиструктури з кристалохемічним складом.

5.8. Металічні стопи. Типи стопів: суміші, евтектики, тверді розчини, сполуки. Дослідження стопів методами фізико-хемічної аналізи. Термічна аналіза. Типи діаграм стану. Криві ліквідуса і солідуса. Інтерметалічні сполуки. Сполуки Курнакова, фази Лавіса, фази включення, електронні сполуки Юм-Розері.

5.9. Низькорозмірні тверді тіла. Ланцюгові структури та одновимірна провідність, Пайєрлсовське спотворення. Двовимірні провідники та інтеркаляти. Наноструктури, «об'ємні кластери».

VI. Основні класи неорганічних сполук

6.1. Класифікація неорганічних сполук за їх складом, хемічними та функціональними ознаками. Класифікація неорганічних сполук за числом первнів, що входять у сполуку (одно-, дво- та багатопервневні). Гомосполуки (прості речовини), бінарні і складні гетеросполуки. Класифікація неорганічних сполук за типом перетворень: перенесення електронів; перенесення протонів; перенесення електронних пар, перенесення атомів або груп атомів. Класифікація неорганічних сполук за типом симетрії атомних орбіталей валентних електронних оболонок (s-, p-, d-, f-первень). Традиційна класифікація неорганічних сполук: оксиди, кислоти, основи, солі.

6.2. Номенклатура неорганічних сполук. Мінералогічна, українська, раціональна, систематична (правила ІЮПАК) номенклатури; тривіальні назви. Прості речовини. Йони: однопервневні аніони; багатопервневні аніони; однопервневні катіони; багатопервневні катіони; спеціальні назви.

6.3. Прості речовини. Метали і неметали в Періодичній системі первнів. Межа Цинтля. Зміна металічного і неметалічного характеру первнів,

фізичних властивостей та хемічної активності у групах і періодах. Типи структур простих речовин. Форми знаходження металів і неметалів у Природі. Принципи добування.

6.4. Бінарні сполуки, їх склад і будова. Сполуки Гідрогену. Класи сполук Гідрогену. Гідриди. Сполуки з Оксигеном: субоксиди, оксиди, пероксиди, супероксиди, озоніди. Особливості будови. Галогеніди. Халькогеніди. Нітриди, фосфіди. Карбіди, силіциди, германіди. Бориди. Металіди.

6.5. Оксиди. Типи оксидів: солетвірні і несолетвірні; оснóвні, кислотні, амфотерні. Тип хемічного зв'язку в оксидах. Залежність хемічного характеру оксидів від положення первня у Періодичній системі та від ступеня оксидації первня. Способи добування оксидів: окисненням первнів киснем; взаємодією первнів з солями оксигенвмісних кислот; розкладанням оксигенвмісних солей; дегідратацією кислот, гідроксидів і солей; анодним окисненням металів; випаленням сульфідів (арсенідів). Хемічні властивості оксидів: взаємодія з водою; взаємодія кислотних оксидів з лугами; взаємодія оснóвних оксидів з кислотами; взаємодія амфотерних оксидів з кислотами і лугами; оксидаційно-відновні властивості оксидів. Галогенангідриди – похідні кислотних оксидів.

6.6. Складні гетеросполуки. Гідроксиди. Номенклатура гідроксидів. Типи гідроксидів. Кислотно-основний характер дисоціації гідроксидів залежно від положення первня в Періодичній системі. Оксидаційно-відновні властивості гідроксидів. Систематизація і розвиток уявлень про кислоти Р.Бойлем, А.Лавуазьє, Н.Деві, С.Арреніусом тощо. Основи і кислоти з точки зору теорії електролітичної дисоціації. Йон гідроксонію. Амфотерні гідроксиди. Концепції кислот-основ. Кислотно-основна теорія Арреніуса. Протолітична теорія Бренстеда-Лоурі. Розвиток протолітичної теорії Ізмайловим. Оксигенова теорія Лукса-Флуда. Теорія сольвосистем (Франклін, Кеді). Електронна теорія Льюїса. Хемічна теорія Ганча. Позитивно-негативна теорія Усановича. Теорія жорстких та м'яких кислот і основ Пірсона. Сутність реакції нейтралізації у світлі кожної з теорій. Енергія та довжина зв'язку в адуктах кислота-основа. Порівняльна аналіза та узагальнення концепцій кислот-основ. Підходи до проблеми вибору розчинника для проведення наукових досліджень з точки зору різних теорій кислот-основ.

6.7. Кислоти. Означення. Основність кислот. Кислотний залишок. Класифікація кислот: безоксигенові, оксигенвмісні, пероксокислоти, сульфурвмісні, галогенвмісні; сильні, слабкі; одноосновні, двоосновні, багатоосновні; оксидники, неоксидники; нейтральні, заряджені; спряжені; оксокислоти, ізополікислоти, гетерополікислоти. Номенклатура кислот: спеціальні назви деяких кислот; безоксигенові кислоти; оксигенвмісні кислоти; залежність

назв оксигенвмісних кислот від ступеня оксидації «центрального атома» аніону; пероксокислоти; тіокислоти та інші заміщені кислоти. Отримання безоксигенових кислот (з первнів; за реакціями обміну; за реакціями гідролізу). Хемічні властивості безоксигенових кислот: шкала кислотности безоксигенових кислот: сильні, середні, слабкі; реакції нейтралізації; реакції з активними металами; реакції з оксидами; реакції з солями; оксидаційно-відновні властивості; самоіонізація. Отримання оксигенвмісних кислот. Хемічні властивості оксигенвмісних кислот: шкала кислотности: сильні, середні, слабкі кислоти; орто-, мета-, піро-кислоти; прототропні перегрупування оксигенвмісних кислот (на прикладі фосфітної кислоти); реакції з металами, оксидами, гідроксидами, солями; оксидаційно-відновні властивості. Оксигенові галогенвмісні кислоти.

6.8. Основи. Означення. Кислотність основи. Номенклатура основ. Сильні основи (луги) і слабкі основи. Добування основ: реакції нейтралізації; реакції основних оксидів з водою; реакції пероксидів металів з водою; реакції солей з гідроксидами лужних металів; електрохемічне отримання основ. Хемічні властивості основ: реакції гідроксидів металів з кислотами, кислотними оксидами, неметалами; комплексні гідроксиди металів. Основи Льюїса – ліганди в хемії координаційних сполук.

6.9. Амфотерні гідроксиди. Означення. Номенклатура. Добування амфотерних гідроксидів: взаємодія солей з лугами; взаємодія солей з кислотами тощо. Хемічні властивості амфотерних гідроксидів: взаємодія з кислотами та кислотними оксидами, взаємодія з основами та оснóвними оксидами, утворення комплексних сполук в розчинах.

6.10. Солі. Солі оксигенвмісних і безоксигенових кислот. Типи солей: середні, кислі, оснóвні (гідроксо- і оксосолі), подвійні, змішані та комплексні. Особливості будови солей. Існування солей в твердій фазі і в розчинах. Номенклатура солей: солі безоксигенових кислот; середні солі оксокислот; кислі солі (гідроксо- і оксокислот); основні солі (гідроксо- і оксокислот); солі пероксокислот; солі тіокислот і інших заміщених оксокислот; кристалогідрати солей. Отримання солей: реакції кислот з основами; реакції кислот з оснóвними оксидами; реакції основ з кислотними оксидами; реакції кислотних оксидів з оснóвними; реакції первнів з кислотами; реакції металів з неметалами. Термічне розкладання солей: реакції диспропорціювання; розкладання солей на оксиди металів і неметалів; розкладання солей як метод отримання кисню; розкладання солей як метод отримання безводних оксидів металів; розкладання солей як метод отримання піросполук. Реакції взаємодії кислих, середніх і оснóвних солей між собою, а також з оксидами, кислотами та основами.

6.11. Генетичний зв'язок між основними класами неорганічних сполук.

VII. Комплексні або координаційні сполуки

7.1. Координаційна хемія як загальний розділ хемії. Три етапи розвитку хемії координаційних сполук. Вчені, які зробили значний внесок у розвиток координаційної хемії. Основні поняття координаційної хемії: комплексна сполука, аддукт, центральна частинка, ліганд, донорний атом, координаційна сфера, координаційне число, дентатність. Чинники, що визначають здатність атомів та йонів виступати в ролі комплексоутворювачів. Розташування типових комплексоутворювачів в Періодичній системі хемічних первнів. Зміна координаційних чисел атомів первнів за групами Періодичної системи.

7.2. Номенклатура та типи координаційних сполук. Сучасна номенклатура. Просторова будова координаційних сполук. Катйонні, анійонні та нейтральні комплекси. Моноядерні та поліядерні сполуки. Сполуки з негативною та нульовою ступенями оксидації. Аквакомплекси. Амінокомплекси. Ацидокомплекси (галогеніди, псевдогалогеніди, нітрити, нітрати, сульфїти, сульфати тощо). Гідроксокомплекси. Способи отримання названих сполук, їх будова та властивості. Сполуки зі зв'язком метал-метал. Циклічні сполуки. Хелатні та внутрішньокмплесні сполуки. Правило циклів Чугаєва. Надкмплесні сполуки. Кластери (на прикладі нижчих галогенідів Молибдену) і поліядерні комплекси (на прикладі карбонілів перехідних первнів). π -кмплесні (на прикладі фероцену, дибензенхрому). Сполуки включення (клатрати). Сполуки з макроциклічними лігандами. Координаційні сполуки з анійоном у ролі центра координації. Сполуки, що містять координований атом Нітрогену або Оксигену. Синтез та дослідження супрамолекулярних координаційних сполук. Використання методів інфрачервоної спектроскопії для встановлення способу координації лігандів.

7.3. Ліганди координаційних сполук: вода, гідроксил, амоніак, амід, імід, органічні аміни, гідроксиламін, гідразин, піридин, карбонові кислоти, кмплесони класу амінополікарбонівих кислот, перхлорат, сульфат, фосфат, нітрат, карбонат, нітрит, роданід, ціанід, галогеніди, фосфіни, гідрогенсульфід, тіоетери, сульфоксиди, дитіокарбамати, карбону (II) оксид, ізонітрили, ненасичені вуглеводні (π -кмплесні). Для кожного ліганду розглядаються: геометрична конфігурація ліганду, донорні властивості, способи координації, стійкість і лабільність кмплесів. Амбідентатні ліганди. Хелатні ліганди.

7.4. Фізико-хемічна характеристика кмплесів у розчині. Хемічні та фізико-хемічні ознаки утворення кмплесів у розчині.

Дисоціація кмплесів. Константа дисоціації та константа утворення. Ступінчастий характер утворення кмплесів. Вплив середовища на реакції кмплесування. Основні функції, що характеризують кмплесування у розчині. Функції Бьєррума, Фронеуса й Ледена. Зв'язок цих функцій між собою та з константами утворення кмплесів. Константа стійкості – найважливіша характеристика кмплесних сполук. Залежність константи стійкості від величини заряду та радіусу центрального йону, його електронної конфігурації (на прикладі гексаамінокобальту (II) і гексаамінокобальту (III), а також гексаціаноферату (II) і гексаціаноферату (III)). Уявлення про кінетично лабільні та інертні кмплесні. Геометрична і оптична ізомерія інертних кмплесів. Взаємний вплив лігандів у координаційній сфері. Ефект транс-впливу Черняєва. Ефект Грінберга.

7.5. Хемічний зв'язок у координаційних сполуках. Розвиток поглядів на природу хемічного зв'язку в координаційних сполуках. Координаційна теорія Альфреда Вернера. Основні і побічні валентности. Успішне передбачення Вернером числа ізомерів октаедричних кмплесів кобальту (III). Електростатична теорія Косселя і Магнуса. Константа екранування.

7.6. Теорія валентних зв'язків. Основні положення теорії. Пояснення просторової будови і магнітних властивостей кмплесів. π -дативний зв'язок. Гібридизація орбіталей центрального атома при утворенні октаедричних, тетраедричних і квадратних кмплесів. Внутрішньорбітальні та зовнішньорбітальні кмплесні.

7.7. Теорія кристалічного поля (ТКП). Застосування теорії. Основні положення. Розщеплення d-орбіталей центрального атома в кристалічному полі октаедричного, тетраедричного і квадратного кмплесів. Низькоспінові і високоспінові кмплесні. Спін-спарені і спін-вільні кмплесні. Енергія розщеплення і енергія спарування. Зміна енергії стабілізації кристалічним полем у ряді перехідних первнів для октаедричних і тетраедричних кмплесів, утворених лігандами сильного і слабого поля. Термодинамічне пояснення стійкості кмплесів. Зв'язок величин розщеплення із забарвленням кмплесних сполук. Використання ТКП для пояснення магнітних властивостей кмплесних сполук. Спектрохемічний ряд лігандів. Використання ТКП для опису будови нормальних і обернених шпінелей. Поняття про ефект Яна-Теллера. Пояснення викривлення октаедричної структури кмплесів. Ряд Ірвінга-Вільямса. Нефелоавсетичний ефект – прямий доказ ковалентного зв'язку в кмплесах.

7.8. Теорія поля лігандів як розвиток теорії кристалічного поля. Енергетичні діаграми для гексаамінокобальту (III) і гексафлуорокобальтату (III). σ - і π -донорно-акцепторні зв'язки. Величина розщеплення в теорії поля лігандів. Незв'язуючі орбіталі. Можливість π -дативної взаємодії d-елек-

тронів центрального атома із вільними (розпушуваними) орбіталами ліганда. Порівняння можливостей методу валентних зв'язків, теорії кристалічного поля і теорії поля лігандів в описі будови комплексних сполук. Діаграми Танабе-Сугано для багатоелектронних систем. Застосування методів інфрачервоної, електронної та радіоспектроскопії для встановлення природи зв'язку в координаційній сфері комплексу.

7.9. Ізомерія координаційних сполук. Геометрична та оптична ізомерія. Координаційна ізомерія. Сольватна (гідратна) ізомерія. Ізомерія зв'язку. Йонізаційна ізомерія. Структурна ізомерія. Інші види ізомерії (конформаційна, лігандна, сумарна).

7.10. Методи синтезу координаційних сполук. Взаємний вплив координованих груп. Закономірність транс-впливу І.І.Черняєва. Цис-вплив. Найпростіші методи виявлення внутрішньої сфери та позасферних йонів у координаційних сполуках. Застосування методу електропровідності для визначення координаційної сфери. Зміна хемічних властивостей лігандів внаслідок входу в внутрішню координаційну сферу комплексу. Темплатний синтез макроциклічних лігандів.

7.11. Реакції координаційних сполук. Класифікація. Кислотно-основні і окисаційно-відновні властивості координаційних сполук. Таутомерні перетворення лігандів. Механізми реакцій комплексних сполук. Реакції заміщення, відщеплення і приєднання ліганда. Внутрішньосферні реакції лігандів. Вплив кількості d-електронів на властивості комплексних сполук.

7.12. Застосування координаційних сполук. Комплексні сполуки в хемічній технології (каталізатори синтезу, барвники). Роль комплексних сполук у Природі (ферменти, хлорофіл, гемоглобін, комплексні сполуки мікропервнів у живленні рослин, ліки та отрути). Використання комплексних сполук у технології, сільському господарстві та медицині (розподіл і очищення сумішей неорганічних сполук, боротьба з хлорозом рослин, протипухлинна дія комплексів Платини та інших первнів). Леткі комплексні сполуки і їх роль в неорганічному синтезі (тонкі плівки, гетероструктури). Застосування комплексних сполук в аналітичній хемії (комплексометричне титрування, маскування, екстракція, гравіметрична аналіза, йонообмінне розділення). Координаційні сполуки в технології рідкісних та кольорових металів.

VIII. Основи хемічної термодинаміки. Термохемія

8.1. Означення термодинаміки. Загальна, технічна та хемічна термодинаміка. Основні завдання хемічної термодинаміки як науки про перетворення енергії під час протікання хемічних реакцій. Основні поняття термодинаміки: термодинамічна система, параметри та функції

термодинамічного стану, температура, внутрішня енергія у формі тепла та термодинамічної роботи. Системи відкриті, закриті та ізольовані. Екстенсивні та інтенсивні властивості системи. Особливості протікання хемічних реакцій в закритих та ізольованих системах. Зміна внутрішньої енергії системи в ході хемічних та фазових перетворень.

8.2. Перше начало термодинаміки: формулювання та математичне вираження. Ентальпія. Співвідношення ентальпії та внутрішньої енергії системи. Стандартний стан. Стандартна ентальпія утворення речовини. Ентальпія згоряння. Стандартна ентальпія хемічної реакції. Зміна ентальпії в ході реакції і напрям протікання реакції. Зміна ентальпії при фазових переходах. Закон Лавуазьє-Лапласа.

8.3. Тепловий ефект реакції та його експериментальне визначення. Термохемія. Термохемічні рівняння. Закон Гесса та його практичне використання. Наслідки із закону Гесса. Типи процесів і стандартні термохемічні величини. Залежність теплового ефекту від температури. Термохемічні цикли. Теплоємність. Температурна залежність теплоємності і ентальпії. Рівняння Кірхгофа. Енергія хемічного зв'язку. Поняття про використання хемічних і фазових перетворень у неорганічних системах для регенерації, зберігання і транспортування енергії. Воднева енергетика.

8.4. Друге начало термодинаміки. Напрямок процесів. Самочинні процеси. Термодинамічні оборотні (квазістатичні) і необоротні процеси. Поняття про ентропію. Квантово-механічна природа ентропії. Рівняння Больцмана. Стандартна ентропія речовини. Вплив температури на величину ентропії. Стандартна зміна ентропії системи під час фазових перетворень та протікання хемічних реакцій. Передбачення знаку зміни ентропії в хемічних реакціях. Визначення абсолютної і стандартної ентропії речовини. Хемічна спорідненість.

8.5. Об'єднання першого і другого начал термодинаміки. Ізобарно-ізотермний потенціал Гіббса і ізохорно-ізотермний потенціал Гельмгольца як основні критерії визначення напрямку самочинних процесів і рівноваги в неізольованих системах, міра хемічної спорідненості. Співвідношення між потенціалом Гіббса, ентальпією та ентропією системи. Стандартний потенціал Гіббса утворення речовини. Вплив температури на величину потенціала Гіббса. Діаграми Еллінгема. Оцінка напрямку і повноти протікання реакції за величиною та знаком зміни потенціала Гіббса. Стандартний ізобарно-ізотермний потенціал і напрямок хемічних процесів. Роль ентальпійного та ентропійного чинників і температури в оцінці можливості протікання реакцій за різних умов. Термодинамічний аналіз хемічної реакції. Хемічний потенціал, залежність хемічного потенціалу від концентрації, тиску реагентів. Термодинамічна

та фактична можливість протікання хемічної реакції. Чинники, що утруднюють реальне протікання реакції у заданому напрямку: кінетична загальмованість, надання переваги іншій реакції. Умова хемічної рівноваги, константа рівноваги. Ізотерма хемічної реакції. Використання значень стандартної ентальпії та ентропії для розрахунку констант рівноваги хемічних реакцій. Фазові рівноваги, число ступенів вільностей фаз, правило фаз Гіббса. Фазові діаграми одно- і двокомпонентних систем. Фазові діаграми H_2O та S .

8.6. Третє начало термодинаміки. Теплова теорема Нернста. Недосяжність абсолютного нуля температур. Поняття про нерівновагову термодинаміку (термодинаміку нерівновагових процесів).

IX. Хемічна кінетика та каталіз

9.1. Хемічна кінетика як предмет. Швидкість хемічної реакції. Чинники, що визначають швидкість хемічної реакції: концентрація реагуючих речовин, тиск, температура, наявність каталізатора, взаємна орієнтація молекул у момент зіткнення. Закон дії мас Гульдберга-Ваге, його застосування для гомогенних і гетерогенних процесів. Молекулярність та порядок реакцій. Лімітуюча стадія реакції. Константа швидкості хемічної реакції. Кінетичні криві для вихідних речовин і продуктів реакції. Методи визначення порядку реакції і константи швидкості.

9.2. Вплив температури на швидкість хемічної реакції. Температурний коефіцієнт швидкості. Наближене правило Вант-Гоффа. Енергія активації, її фізичний смисл, методи визначення енергії активації із експериментальних даних. Чинники, що визначають величину енергії активації. Енергія активації і швидкість хемічної реакції. Рівняння Арреніуса. Перехідний стан чи активований комплекс. Енергія активації і тепловий ефект реакції. Реакції з нульовою енергією активації. Енергія активації вільна та ефективна.

9.3. Вплив каталізаторів на швидкість хемічної реакції. Гомогенні і гетерогенні каталітичні реакції. Міцелярний каталіз. Вплив каталізаторів на константу швидкості і енергію активації реакції. Істинна та ефективна енергія активації каталітичних реакцій. Проміжні стадії в гомогенних і гетерогенних каталітичних реакціях. Механізм каталізу. Селективність каталізаторів. Промотори. Каталітичні отрути. Інгібітори. Основні положення теорії каталізу. Активні центри на поверхні каталізаторів. Адсорбція фізична та хемічна (хемосорбція), десорбція. Кількісний опис адсорбції. Ізотерми Ленгмюра. Ферментативний каталіз. Компліментарність фермента і субстрата. Активні центри ферментів. Рівняння Міхаеліса-Ментен.

9.4. Оборотні і необоротні хемічні реакції. Хемічна рівновага. Залежність положення рівноваги від температури, концентрації та тиску.

Константа хемічної рівноваги і чинники, які визначають її величину. Співвідношення величини зміни енергії Гіббса і константи рівноваги хемічної реакції. Зсув хемічної рівноваги. Принцип Ле-Шательє-Брауна. Особливості рівноваги в гетерогенних системах.

9.5. Реакційна здатність хемічних речовин. Термодинамічно стійкі і нестійкі речовини. Отримання термодинамічно нестійких речовин. Термодинамічна стійкість речовин і їх реакційна здатність. Залежність реакційної здатності від кінетичних факторів.

9.6. Механізм хемічних реакцій. Багатостадійні реакції і закон дії мас. Складні реакції – паралельні, послідовні, спряжені, ланцюгові, реакції твердофазного горіння. Поняття про хемічні періодичні (коливальні) реакції. Макроскопічна і квантова когерентність. Реакція Белоусова-Жаботинського. Кільця Лізеганга. Роль періодичних процесів у біологічних системах. Автокаталітичні системи. Автокаталіз. Поняття про хемічні перетворення в незвичайних умовах: плазмохемія, звуко- і механохемія, кріохемія, лазерна хемія. Інші методи активації молекул. Радіаційно-хемічні реакції. Поняття про фотохемічні реакції. Основні закони фотохемії (Гротгуса-Депера, Айнштайна-Штарка). Фотохемічні реакції в Природі. Фотосинтез.

X. Розчини та реакції у водних розчинах

10.1. Дисперсні системи. Дисперсна система, дисперсна фаза, дисперсійне середовище. Класифікація дисперсних систем: зависі, колоїдні розчини, істинні розчини. Типи дисперсних систем. Грубодисперсні системи. Суспензії. Емульсії. Колоїдні розчини, їх класифікація (макромолекулярні, міцелярні та суспензійні колоїди). Ліофобні та ліофільні колоїди. Методи добування колоїдних розчинів: дисперсійні, конденсаційні. Будова міцели. Міжфазовий та електрокінетичний потенціали. Коагуляція. Седиментація і пептизація. Золі та гелі. Роль колоїдних розчинів в науці і практиці. Колоїди у Природі. Аерозолі, дими, тумани.

10.2. Розчини. Класифікація розчинів за агрегатним станом їх компонентів: газові, рідкі, тверді розчини. Розчинення як фізико-хемічний процес. Теорії розчинів. Поняття "розчинник" і "розчинена речовина". Зміна ентальпії та ентропії під час розчинення речовин. Охолоджуючі суміші.

10.3. Властивості рідин як розчинників. Протонні та апротонні розчинники. Діелектрична проникність розчинів. Самойонізація розчинників. Константа автопротолізу. Структурованість розчинника. Активність розчинника. Коефіцієнт активності. Фізична та хемічна сольватація. Особливі властивості води як розчинника: йонізуюча дія води, самойонізація води, реакції взаємодії з розчиною речовиною. Причини, що

обумовлюють ці властивості. Гідрати. Кристало-гідрати. Неводні розчини. Рідкі амоніак, гідроген-флуорид і сульфур (IV) оксид як неводні розчинники. Органічні розчинники. Можливість дисоціації речовин у неводних розчинах.

10.4. Розчинність речовин. Коефіцієнт розчинності. Вплив природи розчиненої речовини і розчинника, температури і тиску на розчинність речовин. Розчини насичені, ненасичені, пересичені, концентровані і розбавлені. Розчинність твердих речовин. Криві розчинності. Розчинність рідин. Критична температура розчинення. Закон розподілу. Екстракція. Розчинність газів. Залежність розчинності газів від температури та тиску. Закон Генрі. Розчинність суміші газів. Закон Дальтона. Азеотропні суміші. Гранично розбавлені розчини.

10.5. Способи вираження кількісного складу розчинів: масова частка розчиненої речовини, молярна частка розчиненої речовини, молярна концентрація речовини, молярна концентрація еквівалентів речовини (нормальність), титр, молярність. Способи вираження складу розчинів, прийняті у фармацевтичній практиці.

10.6. Колігативні властивості розчинів неелектролітів, їх термодинамічне обґрунтування. Фазові рівноваги. Діаграма стану води та правило фаз Гіббса. Поняття про ідеальні розчини. Розведені розчини неелектролітів. Тиск пари розчинів. Температури замерзання та кипіння розчинів. Закон Рауля. Причини відхилень від закону Рауля. Діаграма стану розчину. Кріоскопічна та ебуліоскопічна сталі. Кріоскопія та ебуліоскопія. Осмос. Осмотичний тиск. Закон осмотичного тиску. Рівняння Вант-Гоффа. Осмос у Природі. Ґрунтовий розчин. Ґрунтові та підземні води. Ізотонічні, гіпертонічні та гіпотонічні розчини. Визначення молекулярних мас розчинених речовин. Зворотній осмос.

10.7. Властивості розчинів електролітів. Непідпорядкованість розчинів електролітів законам Рауля і Вант-Гоффа. Ізотонічний коефіцієнт. Теорія електролітичної дисоціації Арреніуса та її розвиток І.А.Каблуковим. Електроліти і неелектроліти. Чинники, що визначають схильність речовин до електролітичної дисоціації: міра йонності зв'язків, енергія зв'язків, здатність до поляризації молекул розчиненої речовини, полярність молекул розчинника, взаємодія між молекулами розчинника і частинками розчиненої речовини. Механізм дисоціації. Сольватація (гідратація) йонів у розчині (фізична та хемічна). Дисоціація солей. Сильні і слабкі електроліти. Константа і ступінь дисоціації електролітів. Чинники, що впливають на їх величини: природа електроліту, природа розчинника, температура, концентрація розчину, вплив однойменних йонів. Методи визначення ступеня електролітичної дисоціації. Сучасні погляди на процеси електролітичної дисоціації. Закон розбавлення Оствальда. Ступін-

частий характер дисоціації. Істинна і уявна дисоціація в розчинах сильних електролітів. Йонна атмосфера. Йонні асоціації. Основні положення теорії Дебая-Гюккеля, межі її застосування. Середній йонний коефіцієнт активності електроліту, характер його залежності від концентрації і валентного типу електроліту (заряду йонів), йонної сили розчину. Оцінка коефіцієнтів активності окремих йонів у розбавлених розчинах. Електропровідність розчинів. Закон Кольрауша.

10.8. Автопротоліз води: реакція переносу протону між молекулами H_2O (донор \leftrightarrow акцептор). Константа дисоціації води. Йонний добуток. Вплив температури на дисоціацію води. Водневий показник середовища (рН). Гідроксильний показник середовища (рОН). Методи вимірювання рН. Кислотно-основні індикатори. Поняття про буферні розчини. Зона буферної дії. Розрахунок рН в буферних розчинах. Буферні розчини у Природі та медицині.

10.9. Важкорозчинні електроліти. Рівновага між осадом і насиченим розчином. Добуток розчинності і розчинність речовин. Вплив однойменних йонів на розчинність речовин. Переведення важкорозчинних осадів в розчинний стан у результаті утворення комплексної сполуки; малодисоційованої розчинної у воді речовини; окиснення осаду. Вплив рН розчину на утворення важкорозчинної речовини. Умови осадження та розчинення осаду електроліту.

10.10. Обмінні реакції між йонами у водних розчинах. Загальні умови їх протікання до кінця (утворення малодисоційованої сполуки, утворення малорозчинної сполуки, утворення газової сполуки). Повні та скорочені йонні рівняння.

10.11. Гідроліз солей. Гідроліз солей за катіоном і за аніоном. Молекулярні і йонні рівняння гідролізу. Ступінчастий гідроліз багатозарядних йонів. Полімеризація і поліконденсація продуктів гідролізу багатозарядних йонів. Умови протікання реакцій гідролізу до кінця. Гідроліз кислих солей. Гідроліз важкорозчинних солей. Спільний гідроліз солей. Ступінь гідролізу. Вплив концентрації розчину, температури, рН середовища на ступінь гідролізу. Константа рівноваги реакції гідролізу. Термодинамічні характеристики процесу гідролізу (зміна потенціалу Гіббса, ентальпії та ентропії). Умови пригнічення гідролізу. Загальні принципи отримання солей, які легко гідролізують, їх очищення і сушіння.

10.12. Значення розчинів в природі і життєдіяльності людини. Екологічний моніторинг водного басейну і проблема очищення стічних вод.

XI. Сучасна теорія оксидційно-відновних процесів

11.1. Оксидційно-відновні реакції (ОВР). Валентність і ступінь оксидції. Правила визначення ступеня оксидції. Залежність оксидційно-

відновних функцій атомів первнів від їх розташування в Періодичній системі. Оксидційно-відновні властивості йонів. Відновники та оксидники. Електронні рівняння процесів оксидції та відновлення. Найголовніші сполуки в оксидційно-відновних реакціях у лабораторіях та в промисловості. Оксидційно-відновна двоїстість.

11.2. Відновники. Означення відновника. Група відновників: нейтральні атоми; негативно заряджені йони металів; позитивно заряджені йони металів у нижчому ступені оксидції; складні йони і молекули, що містять атоми в проміжному валентному стані. Відновлення за механізмами: приєднання електрона до молекулярної частинки; зниження ступеня оксидції первня в молекулі; приєднання водню сполукою, що супроводжується зменшенням кількості кратних зв'язків у молекулі; зменшення кількості гетероатомів у молекулі, заміна їх на атоми Гідрогену, Карбону або інші, менш електронегативні гетероатоми. Види відновлення: електролітичне; за Берчем; за Бешаном; за Буво-Бланом; за Мерсвайном-Понидорфом-Верлесом тощо.

11.3. Група оксидників: нейтральні атоми; позитивно заряджені йони металів; складні йони і молекули, що містять атоми металів у стані найвищого ступеня оксидції; складні йони і молекули, що містять атоми неметалів у позитивному ступені оксидції.

11.4. Класифікація оксидційно-відновних реакцій. Реакції міжмолекулярної оксидції-відновлення, що проходять із зміною ступеня оксидції атомів у різних молекулах. Реакції диспропорціонування, в яких молекули чи йони однієї і тієї ж речовини реагують одна з одною як відновник і оксидник. Реакції конмутації, в яких взаємодіють оксидник та відновник, що містять один і той самий первень з різними ступенями оксидції. Реакції внутрішньомолекулярної оксидції-відновлення. Оксидційно-відновні реакції в розчинах, в газовому стані, за участю твердих речовин. Реакції оксидційно-відновного сполучення. Реакції оксидційно-відновного розкладу. Реакції оксидційно-відновного заміщення. Реакції оксидційно-відновної взаємодії, що проходять в присутності лугів. Реакції оксидційно-відновної взаємодії, що проходять в присутності кислот. Реакції оксидційно-відновної взаємодії, в яких бере участь вода. Реакції оксидційно-відновної взаємодії, в яких змінюється зарядність декількох первнів. Автооксидція (оксидція речовини внаслідок радикальної реакції з киснем). Оксидційно-відновні реакції з участю органічних речовин.

11.5. Методи складання оксидційно-відновних реакцій: за формальним принципом (електронний баланс) та за принципом йонно-електронних напіврівнянь. Урівнювання ОВР у розтопах оксигенвмісних солей (оксидційне і відновне стоплення). Складання рівнянь реакцій горіння. Механізм оксидційно-відновних проце-

сів. Чинники, які визначають напрям і глибину протікання оксидційно-відновних процесів: природа реагуючих речовин, концентрація реагентів, значення відновних потенціалів оксидників і відновників, характер середовища, активність всіх речовин, температура розчину, утворення малорозчинних речовин, утворення комплексних сполук, осадоутворення, природа розчинників. Роль кінетичного фактора в протіканні ОВР. Термодинамічна стійкість речовин у кислих та лужних водних розчинах. Діаграми Латимера. Константа хемічної рівноваги оксидційно-відновної реакції.

11.6. Значення оксидційно-відновних процесів у Природі і життєдіяльності людини.

XII. Основи електрохемії

12.1. Історія розвитку електрохемічної науки. Означення електрохемії. Поняття про електрохемічний ланцюг, хемічні джерела струму і електролізер. Структура сучасної електрохемії. Роль українських вчених в розвитку електрохемії.

12.2. Електрохемічні процеси. Рівновага на межі поділу фаз метал-розчин. Подвійний електричний шар. Електродні потенціали металів. Вплив концентрації, температури, характеру середовища і комплексоутворення на потенціали. Рівняння Нернста. Залежність електродного потенціалу від рН середовища. Діаграми Пурбе (діаграми E – рН). Побудова і застосування. Стандартний водневий електрод та інші електроди порівняння. Електрохемічний ряд напруг металів. Положення металів у ряді напруг і можливість їх взаємодії з водою; водними розчинами кислот і лугів; солями інших металів. Активність металів у залежності від їх положення у ряді напруг і в Періодичній системі. Класифікація електродів. Діаграми Латимера (потенціальні діаграми). Діаграми Фроста, побудова і аналіза. Вплив комплексоутворення і утворення малорозчинних сполук на відновні потенціали.

12.3. Хемічні джерела електричної енергії. Гальванічні елементи. Принцип дії гальванічного елемента Якобі-Даніеля. Електрорушійна сила гальванічних елементів. Сучасні види гальванічних елементів. Термодинаміка оксидційно-відновних реакцій, які протікають у гальванічних елементах. Концентраційні елементи. Сухі елементи. Паливні елементи. Акумулятори. Принцип дії кислотних і лужних акумуляторів. Свинцевий акумулятор. Заряджання і розряджання акумулятора. Кадмій-нікелеві акумулятори та їх аналоги. Літєві джерела струму.

12.4. Електроліз. Електричний струм як сильний окислюючий і відновлюючий агент. Типи електролізу (електроліз з розчинним та нерозчинним анодами). Схеми процесів на електродах (інертних і активних) при електролізі розтопів і водних розчинів. Послідовність розрядження йонів та молекул води. Виділення на катоді

водню, металів. Оксидація на аноді простих і складних аніонів. Радикал ОН як оксидник. Оксидація матеріалу анода. Напруга розкладу електролітів. Поляризація електродів (концентраційна, хемічна, електрохемічна). Перенапруга. Закони Фарадея (закони електролізу). Стала Фарадея. Електрохемічний еквівалент.

12.5. Практичне застосування електролізу. Одержання і очистка металів. Гальваностегія і гальванопластика. Анодне кольорове оксидування. Перспективні електрохемічні технології матеріалів електронної техніки і електрохромних матеріалів. Електрохемічна нанотехнологія. Принципи електросинтезу неорганічних речовин на прикладах отримання і очищення металів, отримання вільних галогенів, гідроген пероксиду, перманганатів, гідроксиламіну. Використання електрохемічних методів для отримання і очищення лікарських речовин, очищення продуктів харчування. Екологія і проблеми перетворення енергії.

XIII. Корозія металів і способи захисту від корозії

13.1. Корозія металів як електрохемічний процес їх руйнування. Види корозії (суцільна, місцева, селективна). Хемічна і електрохемічна корозія металів. Негативні наслідки корозії. Розпорошення руд металів як негативний процес втрати родовищ руд металів. Встановлення причин та механізму корозії як перший крок до розробки способів захисту від неї. Швидкість корозії та чинники, які впливають на неї. Корозія в природних умовах. Атмосферна корозія (суха, волога, мокра). Схема корозійного руйнування залізної пластини під краплею води. Підземна корозія. Корозія під дією блукаючих струмів (електрокорозія). Корозія в морській воді.

13.2. Хемічна корозія. Хемічна корозія в розчинах-неелектролітах. Хемічна газова корозія. Корозія заліза, чавуну та криць в атмосфері O_2 , CO_2 , H_2O . Корозія під дією продуктів згоряння палива (CO_2 , H_2O , CO). Корозія в атмосфері хлору і гідрогенхлориду. Термодинаміка та кінетика газової корозії. Оксидні плівки. Йонно-електронний механізм утворення і росту оксидної плівки. Корозія з кисневою та водневою деполяризацією. Типи корозійних гальванічних елементів (макро- і мікрогальванічні).

13.3. Електрохемічна корозія: причини та механізм виникнення. Види електрохемічної корозії (контактна, атмосферна, щілиста, фретинг-корозія, корозійна кавітація, біокорозія та ін.). Корозійне руйнування евтектичного ступу. Термодинаміка та кінетика електрохемічної корозії. Вплив різних факторів на швидкість електрохемічної корозії: зміна температури, рН середовища, тиск, швидкість руху електроліту, склад електролітного середовища.

13.4. Способи захисту металів від корозії. Захисні покриття: неметалічні та металічні. Неметалічні покриття: органічні (оливи, мастила, лаки, фарби, смоли, бітуми, полімерні покриття) та неорганічні покриття (покриття силікатними матеріалами, керамічне футерування, емальювання, цементні покриття, хемічні покриття). Хемічні покриття – покриття із стійких плівок (оксидування, фосфатування, азотування (нітридні плівки), цементування (карбідні плівки), хроматування). Термообробка як штучне створення захисних плівок. Механізм росту оксидних і сольових плівок; структура, стехіометрія і провідність плівок, які утворюються при анодній поляризації. Металічні покриття. Гальваностегія та гальванопластика. Анодні і катодні металічні покриття. Класифікація металічних покриттів за способом нанесення: гальванічні, хемічні, металотермічні (дифузійні), металізаційні. Електрохемічні методи захисту (катодний та анодний протекторний захисти). Захист металів шляхом зміни властивостей агресивного середовища (деаерація електроліту, додавання інгібіторів). Анодні, катодні інгібітори та інгібітори змішаної дії. Легування металевих матеріалів. Запобігання корозії під час проектування.

XIV. Загальні властивості металів

14.1. Загальна характеристика металів. Особливості будови атомів первнів з металічним характером. Розташування цих первнів у Періодичній системі. Три основні типи кристалічних ґраток металів: об'ємноцентрована, гранецентрована, базоцентрована. Кристалічні структури металів. Політипія. Поліморфізм металів. Атомні радіуси металів. Модель, що пояснює виникнення металічного зв'язку (на прикладах кристалів графіту, літію, берилію). Металографічні методи дослідження. Класифікація первнів-металів з точки зору їх металічної будови. Перехідні первні (означення, особливості властивостей). Сполуки перехідних первнів із зв'язком метал-метал (клас-тери). Ряд напруги металів і його термодинамічне обґрунтування. Діагональна схожість первнів.

14.2. Розповсюдження і знаходження металів у Природі. Геохемічні "зірки" Ферсмана. Метали життя.

14.3. Промислові методи отримання металів з руд. Відновлення як загальний принцип отримання металів. Відновники, які використовуються у цих процесах. Пірометалургія. Металотермія. Алюмотермія. Гідрометалургія. Способи збагачення руд (флотаційний, гравітаційний, магнітний). Витягання металів з руд розчинами кислот, лугів, карбонатів лужних металів, амоніяку, ціянідів. Витіснення металів з їх сполук у розчинах. Електроліз у водних розчинах (гідроелектрометалургія) та у розтопах (піроелектрометалургія). Метод термічної дисоціації сполук металів

(карбонілів, галогенідів, азидів, оксидів). Отримання металів високої чистоти.

14.4. Фізичні властивості металів. Температура топлення. Оптичні властивості (металевий блиск, непрозорість). Механічні властивості (пластичність, густина, твердість). Теплові властивості (теплопровідність, питома теплоємність). Електромагнітні властивості (електрична провідність, магнітна сприйнятливість). Діамагнітні, парамагнітні та феромагнітні метали.

14.5. Хемічні властивості металів. Відношення до кисню повітря, галогенів, сірки, водню, азоту. Взаємодія з водою. Ряд активності металів, реакції металів з кислотами та лугами. Дія на метали кислот-неоксидників та кислот-оксидників. Взаємодія з солями інших металів. Амальгами. Утворення металами комплексних сполук.

14.6. Стопи металів і методи їх вивчення. Діаграми стану. Фаза. Компонент. Число ступенів вільностей. Правило фаз. Приклади застосування правила фаз. Фізико-хемічна аналіза. Принципи безперервності та відповідності (за М.С.Курнаковим). Криві охолодження. Типи діаграм топлення. Системи, які не утворюють хемічних сполук (з простою евтектикою, тверді розчини з обмеженою і необмеженою взаємною розчинністю). Системи з утворенням хемічних сполук. Інтерметалічні сполуки. Тверді розчини вкорінення. Тверді розчини заміщення.

14.7. Застосування металів. Метали як основа індустрії металургії.

XV. Супрамолекулярна хемія

Найважливіші концепції та проблеми супрамолекулярної хемії. Супрамолекулярні неорганічні сполуки. Кристалічна інженерія як галузь супрамолекулярної хемії. Передбачення кристалічної структури на молекулярному рівні. Поняття синтон, тектон, їх вибір і вплив на будову сполук. Дизайн кристалічної структури з мікропористою будовою. Використання супрамолекулярних сполук.

XVI. Нанохемія та наноматеріали

16.1. Означення наноматеріалів. Термін «нано». Критерії визначення наноматеріалів: критичний розмір та функціональні властивості. Основні класи нанорозмірних систем. Ультратонкі плівки: змочуючі, пінні, емульсійні; кристалічні плівки, аморфні і квазіаморфні плівки, шари Ленгмюра-Блоджет. Надгратки. Колоїдні системи: суспензії, емульсії, золі, піни, міцелярні розчини, гелі, мікроемульсії. Тверді нанокристалічні матеріали. Поліядерні комплекси металів. Кластери. Фулерени і нанотрубки. Багатокомпонентні оксиди.

16.2. Класифікація наноматеріалів. 0D-структури. Нанокристали та нанокластери. 1D-

структури. Нанотрубки та нанонитки. Карбонові нанотрубки, будова, методи отримання і розділення. Нанотрубки на основі молібден сульфїду. Нанонитки на основі металів і стопів. Нанонитки, які складаються з двох та більше металів. Способи з'єднання нанониток у більш складні структури. 2D-структури. Тонкі плівки. Самозбірні моношари, нанолїтографія на моношарах, наноматеріали для мембран, темплатний синтез наноструктурованих плівок на основі силїцій діоксиду, електрохемічні підходи до отримання нанокристалічних покриттів.

16.3. Методи синтезу наноматеріалів. Механохемічні методи, детонаційний синтез та електровибух. Методи конденсації з газової фази (CVD, плазмова дуга, контрольоване горіння). Хемічні методи синтезу (золь-гель синтез, рідкофазний синтез). Синтез у колоїдних міцелах. Нанореактори на основі триоктилфосфіноксиду (ТОФО). Темплатний синтез наноматеріалів і наноструктур. Підходи, основані на принципі самозбирання. Наноструктури «ядро в оболонці», нанопропеллери CdSe. Термічні методи отримання керамік. Молекулярно-променева епітаксія. Газофазна епітаксія з металорганічних сполук. Метод молекулярного нашарування та атомношарова епітаксія. Приклади реакцій.

16.4. Методи дослідження наноматеріалів. Спектральні методи (спектри поглинання та люмінісценції). Спектроскопія комбінаційного розсіювання. Магнітні методи. SQUID-магнетометрія. Метод ЯМР. Мессбауерівська спектроскопія. Методи атомно-силової та скануючої тунельної мікроскопії. Просвічуюча електронна мікроскопія високого граничного розділення.

16.5. Застосування наноматеріалів. Селективне модифікування фрагментів макромолекул. Молекулярний дизайн у спеціальному хемічному та електрохемічному синтезі. Комбіновані технології. Наносенсиори. Нано- і молекулярна електроніка. Фотоніка. Пристрої на квантових точках: лазери, світлодіоди. Електронні механічні системи (MEMS). Нейронні сітки. Наномедицина. Біологічні наноматеріали. Приклади біологічних наноструктур, які зустрічаються в живих організмах. Молекулярні мотори. Використання неорганічних наноматеріалів для діагностики, лікування та доставки лікарських препаратів. Каталітичні системи. Наноструктури в техніці. Наноелектроніка. Запис та зберігання інформації. Ультратонкоплівкові електрохромні системи. Піко- та фемтохемія. Перспектива отримання піко- та фемтоматеріалів.

XVII. Сучасні методи синтезу неорганічних речовин

17.1. Прямий синтез сполук з простих речовин. Реакції в газовій фазі, водних і неводних розчинах, розтопах. Метод хемічного осадження з газової фази, використання надкритичного стану.

Золь-гель метод. Гідротермальний синтез. Твердофазний синтез і його особливості; використання механохімічної активації. Застосування вакууму і високих тисків у синтезі. Синтез під час ультразвукової дії. Кріохімічний неорганічний синтез.

17.2. Металотермія і саморозповсюджувальний високотемпературний синтез (СВС). Синтез боридів, карбідів, силіцидів. Закономірності СВС складних оксидів.

17.3. Плазмовий синтез. Плазмохімічний синтез NO, дициану, фосфор нітриду. Синтез стабільних і метастабільних форм простих та складних оксидів (ZrO₂, Al₂O₃, TiO₂, феритів, цирконатів, титанатів). Синтез нітридів, карбідів, карбонітриду, оксинітридів, боридів. Синтез метастабільного алмазовуглецю.

17.4. Синтез із застосуванням фото-, радіаційного і лазерного впливів. Частотна шкала електромагнітного випромінювання. Типи твердофазних перетворень під дією радіації: аморфізація, кристалізація, фазові переходи. Закономірності радіолізу неорганічних сполук. Проблеми фотокаталітичного, фотоелектрохімічного, радіаційно-хімічного способів отримання водню. Фотосинтез комплексних сполук.

XVIII. Методи дослідження неорганічних сполук

18.1. Хімічна аналіза. Реакційна здатність.

18.2. Дифракційні методи дослідження. Дифракція X-променів. Нейтронографія. Електронографія.

18.3. Спектральні методи дослідження: електронні спектри у видимій і УФ-ділянці. Коливальна спектроскопія (інфрачервона спектроскопія, спектроскопія комбінаційного розсіювання). Резонансна спектроскопія (електронний парамагнітний резонанс, ядерний магнітний резонанс, ядерний квадрупольний резонанс). EXAFS-спектроскопія. Спектроскопія циркулярного дихроїзму. Електронна спектроскопія (ультрафіолетова спектроскопія у видимій ділянці, фотоелектронна спектроскопія, X-промінева електронна спектроскопія, оже-спектроскопія тощо).

18.4. Дослідження електропровідності і магнітної сприйнятливості. Дослідження дипольних моментів. Імпеданс-спектроскопія.

18.5. Мікроскопія. Оптична мікроскопія. Електронна мікроскопія. Атомно-силова мікроскопія. Скануюча тунельна мікроскопія. Скануюча зондова мікроскопія. Локальна X-промінева спектральна аналіза.

18.6. Термодинамічні методи дослідження. Калориметрія, тензометрія, мас-спектроскопія. Диференціальна термічна аналіза. Диференціальна термогравіметрія. Їх інформативність.

XIX. Токсичні та небезпечні неорганічні речовини

19.1. Токсичні речовини. Форми їх дії на людину. Шляхи проникнення в організм. Гранично допустимі концентрації. Особливо токсичні неорганічні речовини. Речовини, що викликають хронічне отруєння.

19.2. Вогненебезпечні речовини. Займисті та горючі речовини та речовини, які підтримують горіння. Самозаймисті на повітрі речовини.

19.3. Вибухонебезпечні речовини і суміші. Чинники, що забезпечують вибухоздатність речовин і сумішей. Потенційно вибухонебезпечні речовини.

19.4. Речовини, що викликають опіки. Неорганічні речовини, що викликають опіки шкірного покриву і слизових оболонок. Розсоли, що викликають утворення виразок.

19.5. Радіоактивні речовини. Ураження, які викликаються радіоактивними речовинами.

XX. Хімія високих енергій. Радіохімія

20.1. Предмет радіохімії.

Радіохімія, як область науки, що вивчає хімію радіонуклідів і радіоактивних речовин, їх фізико-хімічні властивості, ядерні перетворення та супутні їм хімічні процеси. Розділи радіохімії: загальна радіохімія, хімія радіоактивних первнів, хімія ядерних перетворень, прикладна радіохімія. Завдання радіохімії.

Радіонукліди та радіоактивні речовини як об'єкти радіохімії. Характерні особливості об'єктів радіохімії та пов'язана із цим специфіка радіохімічних методів.

20.2. Спектр електромагнітного випромінювання.

Ділянки електромагнітного випромінювання: радіохвильове, мікрохвильове, інфрачервоне, видиме, ультрафіолетове, X-променеве, гамма, жорстке, космічне. Довжина та частота електромагнітних хвиль, універсальна стала Планка, швидкість світла в абсолютному вакуумі. Співвідношення енергії кванта випромінювання та енергії хімічного зв'язку в молекулі. Умови розриву хімічного зв'язку при поглинанні енергії. Поділ діапазону радіохвиль на піддіапазони.

20.3. Загальні положення хімії високих енергій.

Фотохімічні та радіаційно-хімічні реакції. Інтенсивність потоку випромінювання та поглинання. Рівняння інтенсивності потоку поглинання Бугера-Ламберта-Бера. Форма рівнянь у разі поглинання випромінювання газовим або рідким середовищами.

Кількість випромінювання, що поглинається речовиною. Залежність швидкості фотохімічних та радіаційно-хімічних процесів від інтенсивності потоку випромінювання, що поглинається. Рівняння повного та неповного поглинання. Первинні та вторинні процеси поглинання. Наслідки первинного процесу поглинання випромінювання речовиною: перехід молекули у збуджений стан, розкладання молекули на нейтральні молекули, розкладання молекул на йони.

Наслідки вторинного процесу поглинання випромінювання речовиною: флуоресценція, обмін енергії під час ефективного стикання частинок.

Закон еквівалентності енергій А.Айнштейна. Розмірність кількості квантів випромінювання та поглинання речовиною – Айнштейн. Квантовий вихід та його межі.

Основні одиниці радіоактивності: Кюрі, Резерфорд, Беккерель, Рентген.

20.4. Фотохімічні процеси.

Передавання енергії для активації взаємодіючих молекул у формі тепла (темнові хімічні реакції) або квантів електромагнітного випромінювання (фотохімічні реакції в ділянці видимого спектра). Закон Гротгуса для фотохімічних реакцій.

Напрямки взаємодії світла з речовиною:

- 1) збудження молекул;
- 2) йонізація за рахунок відриву електронів;
- 3) дисоціація молекул з утворенням вільних роднів або йонів;
- 4) закон фотохімічної еквівалентності Айнштейна між кількостями енергії, що поглинута молекулами речовини, та молекули, які при цьому будуть піддані фотохімічній реакції.

Квантовий вихід фотохімічної реакції. Класифікація фотохімічних реакцій в умовах $p, T = \text{const}$ за потенціалом Гіббса:

- 1) самочинні процеси, що відбуваються за зменшенням ізобарно-ізотермного потенціалу Гіббса.
- 2) несамочинні процеси (вимагають витрат енергії), що відбуваються за збільшенням ізобарно-ізотермного потенціалу.

Приклади фотохімічних реакцій:

- 1) групи – ланцюгові реакції;
- 2) групи – фотосинтез.

Стадії фотосинтезу:

- а) світлова (поглинання фотонів);
- б) темнова (хімічні перетворення за відсутністю світла).

Механізм процесу фотосинтезу.

Види фотохімічних процесів:

- 1) реакція фотолізу під час дії енергії видимого та ультрафіолетового опромінення речовини (приклади реакцій фотолізу);
- 2) реакція приєднання. Механізм і приклад такої реакції;
- 3) реакція ізомеризації. Механізм і приклад такої реакції.

20.5. Процеси під час лазерного опромінення речовин.

Вплив лазерного випромінювання на речовини, що пов'язаний з моноенергетичними квантами. Приклади та механізм фотохімічних реакцій під час дії лазерного випромінювання. Метод очищення речовини моноенергетичними квантами. Вибірковість дії лазерного випромінювання на речовину. Розділення ізотопів за допомогою лазерного випромінювання.

Вплив лазерного випромінювання на речовину, що пов'язаний з високою інтенсивністю лазерного випромінювання.

Багатофотонне поглинання речовиною квантів поза законом Айнштейна. Швидкість фотохімічного процесу під час високої інтенсивності лазерного випромінювання та глибинний розрив хімічних зв'язків.

Високий тиск світлового потоку, що перевищує на 16 порядків тиск світлового потоку. Можливість перетворення графіту в алмаз під дією лазерного випромінювання.

20.6. Атомне ядро. Радіоактивний розпад та перетворення ядер.

Атомні ядра. Протонно-нейтронна, крапельна та оболонкова моделі ядра. Особливості ядерних сил. Ядерні частинки. Заряд і маса ядра. Масове число. Розміри та густина ядра. Енергія зв'язку ядра. Дефект маси. Фоторозпад. Поведінка ядер в магнітному полі. Нукліди та їх класифікація (ізотопи, ізобари, ізотони). Стабільність ядер. Магічні числа.

Радіоактивність. Перші дослідження радіоактивності. Основні типи радіоактивних перетворень (альфа-, позитронний і електронний розпад, захват орбітальних електронів, спонтанний поділ важких ядер) та їх характеристика. Причини існування різних видів радіоактивного розпаду ядер. Правила зсуву. Побудова схем радіоактивного розпаду. Утворення збуджених ядер і шляхи зняття збудження. Внутрішня конверсія, ефект Оже. Явище радіоактивної віддачі.

Основний закон радіоактивного розпаду. Статистичний характер розпаду. Стала розпаду. Період піврозпаду та середній час життя радіонуклідів. Накопичення продуктів розпаду. Послідовні радіоактивні перетворення, поняття про стаціонарний стан. Радіоактивна рівновага: вікова та динамічна. Природна радіоактивність. Радіоактивні ряди.

Ядерні реакції. Природа та енергетика ядерних реакцій. Відмінність ядерних реакцій від хімічних. Умови, необхідні для протікання ядерних реакцій. Ймовірність ядерної реакції та ефективний переріз. Ядерні реакції під дією елементарних частинок, легких ядер та гамма-опромінення. Поділ важких ядер. Ланцюгові ядерні реакції, поняття про критичну масу. Термоядерний синтез. Штучна радіоактивність. Синтез первнів. Застосування ядерних реакцій.

20.7. Основи загальної радіохемії. Процеси і методи.

Фізико-хімічні закономірності поведінки радіонуклідів в ультрарозведених системах (розчинах, газах, твердих речовинах). Закономірності розподілу радіонуклідів між фазами в процесах осадження, адсорбції, електрохімічних процесах та ізотопному обміні.

Стан радіоактивних первнів у розчинах. Йоннодисперсний, молекулярний та колоїдний стан. Істинні колоїди та псевдоколоїди. Фактори, що впливають на процес утворення радіоколоїдів. Методи виявлення та дослідження радіоколоїдів.

Розподіл мікроільностей радіоактивних ізотопів між твердою і рідкою фазами. Значення процесів розподілу для радіохемії. Процес співосадження. Закон Хана. Правило Фаянса-Хана. Процеси ізоморфної та ізодиморфної співкристалізації. Гомогенний розподіл мікрокомпонентів між твердою і рідкою фазами. Закон Бергто-Нерста. Закон Хлопіна. Фактори, що впливають на розподіл компонентів між твердою та рідкою фазами. Приклади використання процесів ізоморфної співкристалізації при радіохімічних дослідженнях.

Адсорбція радіоактивних нуклідів на йонних кристалах. Правила адсорбції та систематика адсорбційних явищ. Механізм адсорбції, вплив різних факторів на процес адсорбції. Первинна та вторинна адсорбція. Внутрішня адсорбція. Використання адсорбційних процесів у радіохемії.

Електрохімія радіоактивних ізотопів. Особливості електрохімії радіоактивних первнів. Методи визначення критичного потенціалу осадження радіоактивних первнів. Використання рівняння Нерста в процесі електрохімічного осадження радіоактивних первнів. Вплив природи електрода на величину критичного потенціалу осадження радіоактивних первнів. Використання електрохімічних методів для дослідження хімічних та фізико-хімічних властивостей радіоактивних ізотопів. Електрохімічні методи виділення і розділення радіоактивних первнів.

Екстракційні методи виділення радіонуклідів. Загальні уявлення та основні закономірності. Фактори, що впливають на процес екстракції. Екстракція ефірами та кетонами.

Процеси ізотопного обміну. Класифікація реакцій ізотопного обміну. Особливості і причини протікання реакцій ізотопного обміну. Основні кінетичні характеристики реакцій ізотопного обміну.

20.8. Хімія радіоактивних первнів.

Радіоактивні первні та радіоактивні ізотопи в природі.

Радіоактивні аерозолі природного та штучного походження. Радіоактивні мінерали (відомі понад 250 таких мінералів). Уранові та торієві мінерали. Радіоактивні руди. Радіоактивність гірських порід. Радіоактивність вод. Радіоактивні відходи: рідкі,

тверді, високо-, середньо- та низького рівня активності. Радіоактивні препарати.

Активні і актиноїди. Електронна структура і закономірності зміни властивостей актиноїдів. Особливості хімічної поведінки актиноїдів. Уран і трансурани первні. Властивості урану і уранідів (нептуній, плутоній, америцій). Трансамериційові актиноїди (кюрій, берклій, каліфорній, енштейній, фермій, нобелій, лоуренсій). Способи одержання трансураничних первнів. Спільне і особливе в поведінці актиноїдів.

Хімія і металургія урану. Природні ресурси урану, уран в земній корі, мінерали урану. Методи виявлення уранових руд. Добування урану з розчинів. Методи очистки урану. Промислові методи одержання UO_2 , UF_4 та UF_6 . Виробництво металічного урану. Металотермічний та електролітичний методи одержання урану. Рафінування і обробка урану. Сполуки, що використовуються як ядерне паливо.

Плутоній. Ядерно-фізичні властивості плутонію, його виробництво і використання. Хімічні властивості металічного плутонію та його йонів у розчині. Стопи та сполуки плутонію. Застосування плутонію в атомній енергетиці.

Хімія та металургія торію. Сировинні ресурси торію, його руди, способи одержання торієвих концентратів. Способи переробки монацитових концентратів. Сульфатний і лужний способи переробки монацитового концентрату. Очистка сполук торію і добування U^{233} . Метод фракційної нейтралізації і осадження гідрату сульфату торію. Метод оксалатної і екстракційної очистки сполук торію. Способи одержання металічного торію. Металотермія, електрохімічний та йодидний способи. Найважливіші стопи та сполуки торію.

20.9. Взаємодія випромінювання з речовиною. Радіаційно-хімічні перетворення у речовині.

Взаємодія заряджених частинок з речовиною, механізм збурення та йонізації молекул речовини. Механізм виникнення гальмівного X-променевого випромінювання. Довжина вільного пробігу цих частинок у речовині в залежності від агрегатного стану. Структура треків.

Взаємодія нейтронів з речовиною. Швидкі та повільні нейтрони. Явище пружного розсіювання нейтронів. Нейтронографія. Ядерні реакції під дією нейтронів.

Взаємодія електромагнітного випромінювання з речовиною, механізм збурення та йонізації середовища. Внутрішня конверсія гама-променів. Утворення пар. Явище фотоефекту. Ядерні реакції ініційовані гама-випромінюванням.

Радіаційно-хімічні процеси в речовині. Механізм виникнення активних частинок (збурених частинок, електронів, йонів, вільних роднів). Радіаційно-хімічний вихід.

Радіоліз. Означення. Радіаційна хімія газів. Порівняння впливу γ -опромінювання речовини з

фотохімічними перетвореннями. Вплив та використання радіоактивного опромінення на процеси окиснення, одержання озону, знебарвлення води, промислового синтезу монооксиду карбону, гідрозину, вуглецю високої та надвисокої дисперсності, безпосередньо сполучення нитрогену та кисню тощо.

Радіоліз води та водних розчинів. Отримання H_2 , O_2 , H_2O_2 .

Акумуляція – зберігання та накопичення енергії за рахунок γ -променів у екзотермічних реакціях системи $H_2O + CH_4$, $CO + H_2$.

Радіоліз органічних сполук γ -опромінення вуглеводнів, реакції крекінгу.

Авторадіоліз.

Радіаційно-хімічна полімеризація. Нерівномірний ступінь полімеризації за каталітично-термічним методом полімеризації та рівномірний ступінь полімеризації за радіаційним методом полімеризації.

Радіографія. Застосування зовнішніх та внутрішніх джерел іонізуючого випромінювання. Авторадіографія, ядерні фотографічні емульсії. Характеристична крива. Денсиметри та мікрофотометри. Розподіл радіоактивних атомів на мікрооб'єктах. Радіоізотопна діагностика. Застосування.

20.10. Радіометрія. Радіометричні та радіохімічні методи аналізу.

Одиниці вимірювання інтенсивності радіоактивного випромінювання та дози опромінення. Фізичні та хімічні методи реєстрації радіоактивного випромінювання, їх загальна характеристика, області застосування.

Іонізаційні, сцинтиляційні, фотографічні методи реєстрації випромінювання. Основи йонізаційного методу реєстрації радіоактивного випромінювання. Принципова схема йонізаційного детектора. Вольтамперна крива йонізаційного детектора. Робочі області напруг йонізаційного детектора. Йонізаційні камери та лічильники. Лічильник Гейгера-Мюллера. Метрологічні характеристики йонізаційних лічильників: фон і час розділення, ефективність.

Явище сцинтиляції: механізм процесу та його використання з метою реєстрації радіоактивного випромінювання. Речовини сцинтилятора, їх

класифікація, приклади. Принципова схема сцинтиляційного лічильника та принцип його роботи. Метрологічні характеристики сцинтиляційних лічильників: фоновий сигнал, час розділення імпульсів, ефективність. Области використання сцинтиляційних лічильників.

Фотографічні методи реєстрації випромінювання. Суть та ефективність методу. Области застосування.

Хімічні дозиметри: глюкозний та “залізний” (Fe^{2+}/Fe^{3+}). Методика використання та реєстрації радіоактивного випромінювання. Области застосування.

γ -Спектроскопія. Суть методу. Методика кількісної та якісної аналізу. Метрологічні характеристики. Области використання.

Активаційна аналіза. Суть методу та його різновиди. Методика кількісної та якісної аналізу. Метрологічні характеристики. Области використання.

Радіометричне титрування та титрування γ -променями.

20.11. Реакції в електричному розряді.

Види впливу: збудження, руйнація, йонізація тощо. Плазма. Характерні реакції в електричному розряді: одержання озону, синтез оксиду азоту, синтез амоніаку, ацетилену з метану тощо.

20.12. Деякі аспекти прикладної радіохімії.

Хімія ядерного пального. Основи ядерного паливного циклу. Ядерні реактори. Технологія переробки опроміненого ядерного пального. Технологія знешкодження радіоактивних відходів: збір, транспортування, очистка, переробка, зберігання.

Використання радіоактивних ізотопів у хімічних дослідженнях: вивчення механізму хімічних реакцій; вивчення комплексоутворення у розчинах; визначення пружності пари важколегких речовин; визначення коефіцієнтів дифузії; визначення активності каталізаторів. Аналітичне використання методу радіоактивних індикаторів.

20.13. Радіоактивність зовнішнього середовища.

Радіохімія зовнішнього середовища. Особливості об'єктів дослідження. Характеристика і джерела утворення радіоактивних відходів. Радіоактивні відходи і навколишнє середовище.

Рекомендована література

1. **Ахметов Н.С.** Общая и неорганическая химия. Учеб. для вузов. – 4-е изд., испр. – Москва: Высш. шк., Изд. центр «Академия», 2001. – 743 с., ил.
2. **Кириченко В.І.** Загальна хімія: Навчальний посібник. [для студ. інженер.-техн. спец. вищ. навч. закл.] / Віктор Іванович Кириченко; [Мін-во освіти і науки України; гриф: лист №14/18.2–1285 від 03.06.2005]. – Київ: Вища шк., 2005. – 639с.: іл., 83 рис., 80 табл. – Інформаційне середовище: на поч. розд. – Контрол. запитання: після розд. – Структурно-логічні схеми: після розд. – Бібліогр.: с. 635 (22 назви). – ISBN 966-642-182-8.
3. **Михалічко Б.М.** Курс загальної хімії. Теоретичні основи: Навчальний посібник / Михалічко Борис Миронович; [Мін-во освіти і науки України; гриф: лист № 1.4/18-Г-1180 від 22.11.2006]. – Київ: Знання, 2009. – 548 с. - Бібліогр.: с. 511 (21 назва). – Предм. покажч.: с. 543–548. – ISBN 978-966-346-712-2.

4. **Неорганическая химия:** В 3 т. /Под редакцией Ю.Д.Третьякова. Т.1: Физико-химические основы неорганической химии: Учебник для студ. высш. учеб. заведений / М.Е.Тамм, Ю.Д.Третьяков. – Москва: Издательский центр «Академия», 2004.-240 с. ISBN 5-7695-1446-9.
5. **Неорганическая химия:** В 3 т. /Под редакцией Ю.Д.Третьякова. Т.2: Химия непереходных элементов: Учебник для студ. высш. учеб. заведений /А.А.Дроздов, В.П.Зломанов, Г.Н.Мазо, Ф.М.Спиридонов. – Москва: Издательский центр «Академия», 2004.-368 с. ISBN 5-7695-1436-9.
6. **Неорганическая химия:** В 3 т. /Под редакцией Ю.Д.Третьякова. Т.3: Химия переходных элементов. Кн.1 : Учебник для студ. высш. учеб. заведений /А.А.Дроздов, В.П.Зломанов, Г.Н.Мазо, Ф.М.Спиридонов. – Москва: Издательский центр «Академия», 2007.-352 с. ISBN 5-7695-2532-0.
7. **Неорганическая химия:** В 3 т. /Под редакцией Ю.Д.Третьякова. Т.3: Химия переходных элементов. Кн.2 : Учебник для студ. высш. учеб. заведений / А.А.Дроздов, В.П.Зломанов, Г.Н.Мазо, Ф.М.Спиридонов. – Москва: Издательский центр «Академия», 2007.-400 с. ISBN 5-7695-2533-9.
8. **Романова Н.В.** Загальна та неорганічна хімія: Підручник [для студ. вищ. навч. закл.] / Неоніла Володимирівна Романова; [Мін-во освіти і науки України; гриф: лист №13710594 від 30.06.1995]. – Київ - Ірпінь: ВТФ «Перун», 2004. – 480с.: 54 рис., 30 табл. – Бібліогр.: с. 465 (25 назв). – Імен. покажч.: с. 466–467. – Предм. покажч.: с. 468–477. – ISBN 966-569-106-6.
9. **Угай Я.А.** Общая и неорганическая химия. – Москва: Высш. шк., 1997. – 527 с.

Використані джерела інформації

1. **Анорганикум:** В 2-х т. Т.1. Пер с нем. / Под ред. Л.Кольдица. – Москва: Мир, 1984.- 672 с., ил.
2. **Анорганикум:** В 2-х т. Т.2. Пер с нем. / Под ред. Л.Кольдица. – Москва: Мир, 1984.- 632 с., ил.
3. **Ахметов Н.С.** Общая и неорганическая химия. Учеб. для вузов. – 4-е изд., испр. – Москва: Высш. шк., Изд. центр «Академия», 2001.– 743 с., ил.
4. **Басов В.П., Родіонов В.М.** Хімія: Навч. посіб. 5-е вид. – Київ: Каравела, 2005. – 320 с.: іл. (13 рис.). – Табл. 7. – Бібліогр.: с. 318 (12 назв). – ISBN 966-95596-1-4.
5. **Биологическое и токсическое действие** химических элементов и их неорганических соединений на организм человека.: Учеб.пособие / Под ред. канд.хим.наук Т.И.Рыбкиной. – Новомосковск: НИ РХТУ им.Д.И.Менделеева, 1999. - 96 с.
6. **Боднарюк Ф.М.** Загальна та неорганічна хімія. Част. I. – Рівне: НУВГП, 2006.- 241 с.
7. **Боднарюк Ф.М.** Загальна та неорганічна хімія. Част. II. – Рівне: НУВГП, 2008. - 312 с.
8. **Буганко Л.Т., Кузьмин М.Г., Полак Л.С.** Химия высоких энергий. – Москва, 1988.
9. **Вдовенко В.Н.** Современная радиохимия. – Москва: Атомиздат, 1969. – 544 с.
10. **Вдовенко О.П.** Загальна хімія: Навчальний посібник. – Вінниця: Нова книга, 2005. – 288 с. – ISBN 966-8609-11-5.
11. **Вест А.** Химия твердого тела. Теория и приложения: В 2 т. Т.1.– Москва: Мир, 1988. – 556 с.
12. **Вест А.** Химия твердого тела. Теория и приложения: В 2 т. Т.2.– Москва: Мир, 1988. – 334 с.
13. **Волков А.И., Жарский И.М.** Большой химический справочник / А.И.Волков, И.М. Жарский. – Мн.: Современная школа, 2005. – 608 с. ISBN 985-6751-04-7.
14. **Вольхин В.В.** Общая химия: Избранные главы: Учеб. пособие для вузов. – Пермь, 2002. – 352 с.
15. **Вредные химические вещества.** Неорганические соединения элементов I – IV групп: Справ.изд. / А.Л.Бандман, Н.В.Волкова, Т.Д.Грехова и др.; Под ред.В.А.Филова и др. – Ленинград: Химия, 1988. – 511 с.
16. **Вредные химические вещества.** Неорганические соединения элементов V – VIII групп: Справ.изд. / А.Л.Бандман, Н.В.Волкова, Т.Д.Грехова и др.; Под ред.В.А.Филова и др. – Ленинград: Химия, 1989. – 592 с. ISBN 5-7245-0264-Х.
17. **Галушак М.О., Гуцуляк Б.М., Мельник О.Д.** Фізичні та хімічні величини і їх одиниці. – Івано-Франківськ: Місто НВ, 2003. – 213 с. – ISBN 966-8090-24-1.
18. **Гиллеспи Р., Харгиттан И.** Модель отталкивания электронных пар валентной оболочки и строение молекул. - Москва: Мир, 1992. - 296 с.
19. **Глінка Н.Л.** Загальна хімія / За ред. В.А.Рабіновича. – 5-е вид. – Київ: Вища шк., 1982. – 608 с.
20. **Григор'єва В.В.** Загальна хімія: Підручник. – Київ: Вища школа, 1991. - 431 с.
21. **Громов В.В., Москвин А.Н., Сапожников Ю.А.** Техногенная радиоактивность мирового океана. – Москва, 1985.
22. **Делимарский Ю.К.** Неорганическая химия. – Київ: Высш. шк, 1973. – 196 с.
23. **Джонсон Д.** Термодинамические аспекты неорганической химии. - Москва: Мир, 1985.
24. **Дикерсон Р., Грей Г., Хейт Дж.** Основные законы химии. Т.1. - Москва: Мир, 1982. - 652 с.
25. **Дикерсон Р., Грей Г., Хейт Дж.** Основные законы химии. Т.2. - Москва: Мир, 1982. - 620 с.
26. **Драго А.** Физические методы в химии. Т. 1, 2. - Москва: Мир, 1981.
27. **Загальна та неорганічна хімія** у двох частинах: Підручник. Частина II [для студ. вищ. навч. закл.] / О.М. Степаненко, Л.Г. Рейтер, В.М. Ледовських, С.В. Иванов; [Мін-во освіти і науки України; гриф:

- лист № 212 від 03.06.1999]. – Київ: Пед. преса, 2000. – 784с.: іл., 125 рис., 63 табл. – Бібліогр.: с. 771 (28 назв). – Імен. покажч.: с.772–773. – Предметн. покажч.: с.774–783. – ISBN 955-7320-13-8.
28. **Защита от ионизирующих излучений** / Под ред. Н.Г. Гусева в 2-х т. - Т.1.- Москва,1989. – Т.2. – Москва, 1990.
 29. **Кабардин О.Ф.** Физика. Справочные материалы. – Москва, 1991.
 30. **Карапетьянц М.Х., Дракин С.И.** Общая и неорганическая химия. - Москва: Химия, 1981. – 345 с.: ил.
 31. **Карнаухов О.І.** Загальна та біоорганічна хімія / О.І.Карнаухов, Д.О.Мельничук, К.О.Чебатько, В.А.Копілевич. – Вінниця: Нова книга, 2003. – 544 с.
 32. **Кемпбел Дж.** Современная общая химия. Т.1-3. - Москва: Мир, 1975.
 33. **Кириченко В.І.** Загальна хімія: Навчальний посібник. [для студ. інженер.–техн. спец. вищ. навч. закл.] / Віктор Іванович Кириченко; [Мін-во освіти і науки України; гриф: лист №14/18.2–1285 від 03.06.2005]. – Київ: Вища шк., 2005. –639с.: іл., 83 рис., 80 табл. – Інформаційне середовище: на поч. розд. – Контрол. запитання: після розд. – Структурно-логічні схеми: після розд. – Бібліогр.: с. 635 (22 назви). – ISBN 966-642-182-8.
 34. **Коренман И.М.** Справочник. Методы количественного химического анализа. – Москва: Химия, 1989.
 35. **Костромина Н.А., Кумок В.Н., Скорик Н.А.** Химия координационных соединений: Учеб. пособие для хим. фак. ун-тов и хим.-технол. спец. вузов / Под ред. Н.А.Костроминой. – Москва: Высш. шк., 1990. – 432 с.: ил. ISBN 5-06-001020-1.
 36. **Коттон Ф., Уилкинсон Дж.** Основы современной химии. - Москва: Мир, 1979, Т.1. – 224 с., Т.2. – 494 с., Т.3. – 592 с.
 37. **Краткий курс радиохимии** / Под. ред. А.В. Николаева. – Москва: Высшая школа, 1969. – 334с.
 38. **Левітін Є.Я.** Загальна та неорганічна хімія: Підручник. [для студ., аспір., виклад. і практ. працівн.] / Є.Я. Левітін, А.М. Бризицька, Р.Г. Ключева; [ЦМК Мін-во охорони здоров'я України]. – Вінниця: Нова книга, 2003.– 468 с.: іл., 55 рис., 39 табл. – Предметн. покажч.: с.460–463. – ISBN 5-7766-0784-1.
 39. **Лидин Р.А.** Константы неорганических веществ: справочник / Лидин Р.А., Андреева Л.Л., Молочко В.А. под ред. Р.А.Лидина. – 2-е изд., перераб. И доп. - Москва: Дрофа, 2006. – 8 с. ISBN 5-7107-8085-5.
 40. **Лидин Р.А.** и др. Химические свойства неорганических веществ: Учеб. пособие для вузов. 3-е изд., испр. / Р.А.Лидин, В.А.Молочко, Л.Л.Андреева; Под ред.Р.А.Лидина. - Москва: Химия, 2000. - 480 с.: ил. ISBN -724-1163-0
 41. **Луцевич Д.Д.** Довідник з хімії. – 2-ге вид. / за ред.Б.С.Зіменковського. – Львів: Українські технології, 2005. – 420 с.
 42. **Мингулина Э.И., Масленникова Г.Н., Коровин Н.В.** и др. Курс общей химии.- Москва: Высшая школа, 1990.- 446 с.
 43. **Михалічко Б.М.** Курс загальної хімії. Теоретичні основи: Навчальний посібник / Михалічко Борис Миронович; [Мін-во освіти і науки України; гриф: лист № 1.4/18-Г-1180 від 22.11.2006]. – Київ: Знання, 2009. – 548 с. - Бібліогр.: с. 511 (21 назва). – Предм. покажч.: с. 543–548. – ISBN 978-966-346-712-2.
 44. **Мурин А.Н.** Физические основы радиохимии. – Москва: Высшая школа, 1971. – 288с.
 45. **Наноматериалы, нанопокрyтия, нанотехнологии:** Учебное пособие / Азаренков Н.А., Береснев В.М., Погребняк А.Д., Маликов Л.В., Турбин П.В. – Харків: ХНУ имени В.Н.Каразина, 2009. – 209 с.
 46. **Некрасов Б.В.** Основы общей химии. Т. 1.- Москва: Химия, 1973. - 656 с.; 160 табл.; 391 рис.
 47. **Некрасов Б.В.** Основы общей химии. Т. 2. - Москва: Химия, 1973. - 688 с.; 270 табл.; 426 рис.
 48. **Неорганическая химия:** В 3 т. /Под редакцией Ю.Д.Третьякова. Т.1: Физико-химические основы неорганической химии: Учебник для студ. высш. учеб. заведений /М.Е.Тамм, Ю.Д.Третьяков; - Москва: Издательский центр «Академия», 2004.-240 с. ISBN 5-7695-1446-9.
 49. **Неорганическая химия:** В 3 т. /Под редакцией Ю.Д.Третьякова. Т.2: Химия непереходных элементов: Учебник для студ. высш. учеб. заведений /А.А.Дроздов, В.П.Зломанов, Г.Н.Мазо, Ф.М.Спиридонов. – Москва: Издательский центр «Академия», 2004.-368 с. ISBN 5-7695-1436-9.
 50. **Неорганическая химия:** В 3 т. /Под редакцией Ю.Д.Третьякова. Т.3: Химия переходных элементов. Кн.1 : Учебник для студ. высш. учеб. заведений /А.А.Дроздов, В.П.Зломанов, Г.Н.Мазо, Ф.М.Спиридонов. – Москва: Издательский центр «Академия», 2007.-352 с. ISBN 5-7695-2532-0.
 51. **Неорганическая химия:** В 3 т. /Под редакцией Ю.Д.Третьякова. Т.3: Химия переходных элементов. Кн.2 : Учебник для студ. высш. учеб. заведений /А.А.Дроздов, В.П.Зломанов, Г.Н.Мазо, Ф.М.Спиридонов. – Москва: Издательский центр «Академия», 2007.-400 с. ISBN 5-7695-2533-9.
 52. **Несмеянов А.Н.** Радиохимия. – Москва: Химия, 1978. – 592 с.
 53. **Несмеянов А.Н.** Прошлое и настоящее радиохимии. – Ленинград: Химия, 1985.
 54. **Нефедов В.Д., Текстер Е.Н., Торопова М.А.** Радиохимия. - Москва: Высшая школа, 1987. – 386 с.

55. **Николаева Р. Б.** Неорганическая химия. Часть 1. Теоретические основы химии: учебное пособие / Сибирский федеральный университет. – Красноярск: Сибирский федеральный университет (3-е изд.), 2007. – 119 с., ил.
56. **Николаева Р. Б., Сайкова С. В.** Неорганическая химия: учебное пособие. Часть 2. Химия элементов и их соединений / Сибирский федеральный университет. – Красноярск: Сибирский федеральный университет (3-е изд.), 2007 – 118., ил.
57. **Никольский А.Б., Суворов А.В.** Химия: Учебник для вузов. – Санкт-Петербург: Химиздат, 2001. – 512 с.
58. **Новоженков В.А.** Введение в неорганическую химию: Учебное пособие. - Барнаул: Изд-во Алт. госуд. ун-та, 2001. - 650 с.
59. **Новые направления в химии твердого тела:** Структура, синтез, свойства, реакционная способность и дизайн материалов: Пер.с англ. / Рао Ч.Н.Р., Гопалакришнан Дж. – Новосибирск: Наука, Сиб.отд-ние, 1990. – 520 с. Табл. 35, Ил. 220. Библиогр.: 1073 назв. ISBN 5-02-029203-6.
60. **Охрана окружающей среды** на предприятиях атомной промышленности / Под ред. Б.Н. Ласкорина. – Москва, 1982.
61. **Павлов Н.Н.** Неорганическая химия. Учебник для студ. вузов. – Москва: Высш. шк., 1986. – 336 с.
62. **Патологічна фізіологія** / За ред. М.Н. Зайко і Ю.В. Биця. - Київ, 1995.
63. **Пентин Ю.А., Вилков Л.В.** Физические методы исследования в химии. – Москва: Мир, ООО «Издательство АСТ», 2003. – 683 с., ил. – (Методы в химии). ISBN 5-03-003470-6.
64. **Полтораки О.И., Ковба Л.М.** Физико-химические основы неорганической химии. - Москва: Изд-во МГУ, 1984. - 288 с.
65. **Реми Г.** Курс неорганической химии. – Москва: Мир, 1963, Т.1. – 920 с.; 1966, Т.2. – 836 с.
66. **Рипан Р., Четяну И.** Неорганическая химия. – В 2-х т. – Т. 1. – Химия металлов / Пер. с рум. Д.Г. Батыра и Х.Ш. Харитона; под ред. В.И. Спицына и И.Д. Калли. – Москва: Мир, 1971. – 560с.
67. **Рипан Р., Четяну И.** Неорганическая химия. – В 2-х т. – Т. 2. – Химия металлов / Пер. с рум. Д.Г. Батыра и Х.Ш. Харитона; под ред. В.И. Спицына и И.Д. Калли. – Москва: Мир, 1972. – 871с.: ил. (36 рис.). – Табл. 77. – Библиогр.: с.843 – 844 (66 назв). – Предм. указ.: с. 845 – 865.
68. **Романова Н.В.** Загальна та неорганічна хімія: Підручник [для студ. вищ. навч. закл.] / Неоніла Володимирівна Романова; [Мін-во освіти і науки України; гриф: лист №13710594 від 30.06.1995]. – Київ - Ірпінь: ВТФ «Перун», 2004. – 480с.: 54 рис., 30 табл. – Бібліогр.: с. 465 (25 назв). – Імен. покажч.: с. 466–467. – Предм. покажч.: с. 468–477. – ISBN 966-569-106-6.
69. **Руководство к практическим занятиям по радиохимии** / Под ред. А.Н. Несмеянова. - Москва: Госхимиздат, 1980.
70. **Рэмсен Э.Н.** Начала современной химии. Справ. изд. Пер с англ. / Под ред. В.И.Барановского, А.А. Бельюстина, А.И.Ефимова, А.А.Потехина. – Ленинград: Химия, 1989. – 78 с.: ил. – Пер.изд.: Великобритания, 1985. ISBN 5-7245-0127-9.
71. **Скопенко В.В., Григор'єва В.В.** Найважливіші класи неорганічних сполук. – Київ: Либідь, 1996. – 152с.
72. **Скопенко В.В.** Координационная химия: учеб.пособие / В.В.Скопенко, А.Ю.Цивадзе, Л.И.Савранский, А.Д.Гарновский. – Москва: ИКЦ «Академкнига», 2007. – 487 с.: ил.
73. **Слейбо У., Персонс Т.** Общая химия / Пер. з англ. Е.Л. Розенберга. – Москва, 1979.
74. **Слободяник М.С., Гордієнко О.В., Корнілов М.Ю., Павленко В.О., Пономарьова В.В.** Хімія: Навчальний посібник. – Київ: Либідь, 2003. – 352 с. – Табл. 19. – Бібліогр.: с. 340-341 (16 назв).
75. **Спицын В.И., Мартыненко Л.И.** Неорганическая химия. Т. 1, 2. - Москва: Изд-во МГУ, 1991, 1994. - 480 с., 624 с.
76. **Справочник химика.** Т.1-6 и дополнительный. - Ленинград: Химия, 1965-1968.
77. **Старик И.Е.** Основы радиохимии. – Ленинград: Наука, 1969. – 479 с.
78. **Степаненко О.М., Рейтер Л.Г., Ледовских В.М., Иванов С.В.** Загальна та неорганічна хімія: Підручник. – У 2-х ч. – ч.ІІ. – Київ: Педагогічнапреса, 2000. – 784 с.: іл. – ISBN 966-7320-13-8.
79. **Стид Дж.В., Этвуд Дж.Л.** Супрамолекулярная химия. Пер.с англ.: в 2 т. Т.1 / Джонатан В.Стид, Джерри Л. Этвуд. – Москва: ИКЦ «Академкнига», 2007. - 480 с.: ил. – ISBN 978-5-94628-305-2.
80. **Стид Дж.В., Этвуд Дж.Л.** Супрамолекулярная химия. Пер.с англ.: в 2 т. Т.2 / Джонатан В.Стид, Джерри Л. Этвуд. – Москва: ИКЦ «Академкнига», 2007. - 416 с.: ил. – ISBN 978-5-94628-307-6.
81. **Суворов А.В., Никольский А.Б.** Общая химия. – Санкт-Петербург: Химия, 1997. - 623с.
82. **Телегус В.С., Бодак О.І., Заречнюк О.С., Кінжибало В.В.** Основы загальної хімії / За ред. В.С. Телегуса: Підручник. – Львів: Світ, 2000. – 424 с.
83. **Тлумачний термінологічний словник** з органічної та фізико-органічної хімії (українсько-російсько-англійський) / Уклад. Й.опейда, О.Швайка. – Київ: Наук.думка, 1997. – 533 с. – Бібліогр.: с.527-532 (96 назв). – ISBN 966-00-0039-1.
84. **Турова Н.Я.** Неорганическая химия в таблицах. - Москва: ВХК РАН, 1997. - 140 с.

85. **Уайтсайдс Дж., Эйглер Д., Андерс Р.** и др. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Прогноз направления исследований / Под ред. М.К.Роко, Р.С.Уильямса и П.Аливисатоса. Пер. с англ. – Москва: Мир, 2002. – 292 с., ил.
86. **Угай Я.А.** Общая и неорганическая химия. – Москва: Высш. шк., 1997. – 527 с.
87. **Уэллс А.** Структурная неорганическая химия. В 3-х т. Т. 1. Пер с англ. - Москва: Мир, 1987. – 408 с., ил.
88. **Уэллс А.** Структурная неорганическая химия. В 3-х т. Т. 2. Пер с англ. - Москва: Мир, 1987. – 696 с., ил.
89. **Уэллс А.** Структурная неорганическая химия. В 3-х т. Т. 3. Пер с англ. - Москва: Мир, 1988. – 564 с., ил.
90. **Фридлендер Г., Кеннеди Дж., Миллер Дж.** Ядерная химия и радиохимия. – Москва: Мир, 1967. – 567 с.
91. **Фримантл М.** Химия в действии. Ч. 1,2. - Москва: Мир, 1991. - 528 с., 620 с.
92. **Хенли Э., Джонсон Э.** Радиационная химия / Пер. з англ. В.Н. Лисцова. – Москва: Атомиздат, 1974.
93. **Химическая энциклопедия:** В 5 т.: т.1: А-Дарзана / Редкол.: Кнунянц И.Л. (гл.ред.) и др. – Москва: Сов. энцикл., 1988. – 623 с.: ил.
94. **Химическая энциклопедия:** В 5 т.: т.2: Даффа-Меди / Редкол.: Кнунянц И.Л. (гл.ред.) и др. – Москва: Сов. энцикл., 1990. – 671 с.: ил. ISBN 5-85270-035-5.
95. **Химическая энциклопедия:** В 5 т.: т.3: Меди-Полимерные / Редкол.: Кнунянц И.Л. (гл.ред.) и др. – Москва: Большая Российская. энцикл., 1992. – 639 с.: ил. ISBN 5-85270-039-8.
96. **Химическая энциклопедия:** В 5 т.: т.4: Полимерные-Трипсин / Редкол.: Зефиоров Н.С. (гл.ред.) и др. – Москва: Большая Российская. энцикл., 1995. – 639 с.: ил. ISBN 5-85270-092-4.
97. **Химическая энциклопедия:** В 5 т.: т.5: Три-Ятр / Редкол.: Зефиоров Н.С. (гл.ред.) и др. – Москва: Большая Российская. энцикл., 1998. – 783 с.: ил.
98. **Химия и периодическая таблица:** Пер. с японск. /Под ред. Сайто К. - Москва: Мир, 1982. -320 с., ил.
99. **Хьюи Дж.** Неорганическая химия. Строение вещества и реакционная способность. Пер с англ. / Под ред. Б.Д.Степина, Р.А.Лидина. - Москва: Химия, 1987. - 696 с.
100. **Цветкова Л.Б.** Загальна хімія: теорія і задачі: Навчальний посібник. – Львів: «Магнолія-2006», 2007. – 398 с. – ISBN 966-8340-82-5.
101. **Цветкова Л.Б., Романюк О.П.** Неорганічна та органічна хімія: навчальний посібник. Ч. II. – Львів: «Магнолія-2006», 2007. – 358 с.: іл. (25 рис.). – Табл. 28. – Бібліогр.: с. 355-357 (42 назви). – ISBN 976-966-2025-00-6.
102. **Чернобыль.** Дни испытаний. Книга свидетельств / Сост. В.Г. Шкода. – Киев: Радянський письменник, 1988.
103. **Чумак В.Л., Иванов С.В.** Фізична хімія: Підручник. – Київ: НАУ, 2007. – 648 с. – ISBN 978-966-598-403-0.
104. **Шведов В.П., Седов В.Н., Рыбальченко И.Л., Власов И.Н.** Ядерная технология. – Москва: Атомиздат, 1979. – 336 с.
105. **Шиманович И.Е., Павлович М.Л., Тикавий В.Ф.** и др. Общая химия в формулах, определениях, схемах.- Москва, 1990.- 528 с.
106. **Шрайвер Д., Эткинс П.** Неорганическая химия. В 2-х т. Т.1 / Пер. с англ. М.Г.Розовой, С.Я.Истомина, М.Е.Тамм. – Москва: Мир, 2004. – 679 с., ил. – (Лучший зарубежный учебник). ISBN 5-03-003628-8.
107. **Шрайвер Д., Эткинс П.** Неорганическая химия. В 2-х т. Т.2 / Пер. с англ. А.И.Жирова, Д.О.Чаркина, М.Г.Розовой, С.Я.Истомина, М.Е.Тамм. – Москва: Мир, 2004. – 486 с., ил. – (Лучший зарубежный учебник). ISBN 5-03-003629-6.
108. **Яворський В.Т.** Основи теоретичної хімії: Підручник. – Львів: Вид-во Нац.ун-ту «Львівська політехніка», 2008. – 348 с. – ISBN 978-966-553-727-4.

Укладачі:

Татарчук Т.Р. – кандидат хімічних наук, доцент катедри неорганічної та фізичної хемії.

Сіренко Г.О. – доктор технічних наук, професор, завідувач катедри неорганічної та фізичної хемії.

Мідак Л.Я. – кандидат хімічних наук, доцент катедри неорганічної та фізичної хемії.

Рецензент

Шийчук О.В. – доктор хімічних наук, професор катедри неорганічної та фізичної хемії Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника.

Мазена І.В. – доктор медичних наук, професор катедри біохемії та біотехнології Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника.