

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЗАГАЛЬНОЇ ТА НЕОРГАНІЧНОЇ ХІМІЇ ІМ. В.І.ВЕРНАДСЬКОГО НАН
УКРАЇНИ

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. директора Інституту загальної та неорганічної
хімії ім. В.І.Вернадського НАН України
член-кореспондент НАН України
Анатолій ОМЕЛЬЧУК
« » 2024 р.

Згідно з рішенням Вченої ради ІЗНХ
ім. В.І.Вернадського НАН України
від 16.08 2024 р., протокол № 5

ПРОГРАМА
вступного іспиту в аспірантуру ІЗНХ ім. В.І.Вернадського НАН України на здобуття
ступеня доктора філософії
ГАЛУЗЬ ЗНАНЬ: 10 – ПРИРОДНИЧІ НАУКИ
СПЕЦІАЛЬНІСТЬ: 102 – ХІМІЯ
ОСВІТНЬО-НАУКОВА ПРОГРАМА: НЕОРГАНІЧНА І КООРДИНАЦІЙНА ХІМІЯ,
ФІЗИЧНА ХІМІЯ, ЕЛЕКТРОХІМІЯ

Київ
2024 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Вступний екзамен до аспірантури Інституту загальної та неорганічної хімії ім. В.І.Вернадського НАН України на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 102 – Хімія проводиться для вступників, які мають ступінь магістра. Іспит є невід'ємною частиною державної підготовки наукових та науково-педагогічних кадрів, що відповідає профілю науково-дослідної установи. Програма вступного іспиту з хімії визначає провідні напрямки у підготовці майбутнього фахівця, і тому включає три найважливіші розділи, знання яких необхідне висококваліфікованому спеціалістові: неорганічна і координаційна хімія, фізична хімія та електрохімія. Завдання вступного випробування складається з трьох теоретичних питань. Вступне випробування проводиться у формі усного екзамену.

Програму складено з урахуванням сучасного стану теоретичних основ хімічної науки. Розроблені питання спрямовані на виявлення знань та компетентностей здобувачів вищої освіти третього (освітньо-наукового) рівня зі спеціальності 102 Хімія.

Вступники повинні показати високий рівень теоретичної та професійної підготовки, знання загальних концепцій і методологічних питань хімії, історії її формування та розвитку, глибоке розуміння основних розділів, а також вміння застосовувати свої знання для розв'язання дослідницьких та прикладних задач.

КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

Бали	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	Результат
90-100	A	Відмінно	Вступник виявляє систематизовані знання теоретичних основ хімії, демонструє глибоке розуміння сутності хімічних категорій та понять, висловлює власне ставлення до матеріалу, проявляє здатність до аналітичного мислення, наводить приклади, демонструє творчий потенціал. Відповіді чіткі, логічні та обгрунтовані, конкретні, мова літературна.
82-89	B	Добре	Вступник демонструє володіння матеріалом з хімії, правильно визначає зміст основних понять, дає обгрунтування своїх відповідей, наводить приклади, але при цьому допускає окремі неточності.
74-81	C	добре	Вступник демонструє володіння матеріалом з хімії, правильно визначає зміст основних понять, але при цьому допускає окремі неточності. Обгрунтування відповідей не завжди переконливе.
64-73	D	задовільно	Вступник виявляє в цілому правильність розуміння наукових положень і понять, однак відповіді відрізняються поверховістю або фрагментарністю, наявні неточності та помилки у змісті відповіді.
60-63	E	задовільно	Вступник виявляє в цілому правильність розуміння наукових положень і понять, однак відповіді відрізняються поверховістю або фрагментарністю, наявні неточності та помилки у змісті відповіді. Наявні неточності та помилки

			у змісті відповіді.
35-59	FX	незадовільно	Вступник демонструє суттєві труднощі в оперуванні категоріями та теоретичними положеннями в хімічній науці; відповіді характеризуються обмеженістю, наявні грубі помилки.
0-34	F	незадовільно	Вступник демонструє суттєві труднощі в оперуванні категоріями та теоретичними положеннями в хімічній науці; відповіді характеризуються обмеженістю, наявні грубі помилки. Виявляє обмеженість не сформованість відповідних умінь та компетентностей.

ЗМІСТ ПРОГРАМИ

1. НЕОРГАНІЧНА І КООРДИНАЦІЙНА ХІМІЯ

ЗАГАЛЬНА ХІМІЯ. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ЗАКОНИ ХІМІЇ. Атом, молекула, хімічний елемент, прості та складні речовини. Еквівалент. Закон еквівалентів. Еквіваленти простих та складних речовин. Закон постійності складу. Дальтоніди та бертоліди. Закон Гей-Люссака. Закон Авогадро. Становлення атомно-молекулярної теорії. Атомна та молекулярна маси, способи їх визначення. Кристалічний стан речовини. Формульна маса. Сингонія кристалів. Визначення хімічних формул. Молекулярні та структурні формули. Розміри атомів, молекул і кристалів.

БУДОВА АТОМУ. Основні уявлення про будову атому. Хвильова функція та рівняння Шредінгера. Квантові числа, розподіл електронної щільності, атомні орбіталі (s-, p-, d- та f-АО), їх енергії та граничні поверхні. Розподіл електронів по АО. Принцип мінімуму енергії. Принцип Паулі, правило Хунда. Сучасне формулювання періодичного закону, структура періодичної системи. Періоди та групи. Слабкі сторони періодичної системи та їх обґрунтування. Подільність атома. Анодні та катодні промені. Електрони та їх практичне використання. Визначення масових чисел. Промені Рентгена. Закон Мозлі. Радіоактивність. Теорія радіоактивного розпаду Резерфорда-Содді. Закон Содді-Фаянса. Розвиток уявлень про будову атома. Ядро та його заряд. Нуклони. Будова ядра. Дефект маси. Ізотопи, ізобари, ізотони. Поширеність хімічних елементів. Теорія Бора. Енергетичний рівень підрівень, електронний шар, орбіталь. Іонізаційний потенціал. Рівняння Шредінгера та квантові числа. Просторова орієнтація атомних орбіталей. Максимальна ємність електронних оболонок. Основні принципи заселення атомних орбіталей. Електронні формули. Електропровідність та електронегативність. Філософське значення теорії будови атома.

ХІМІЧНИЙ ЗВ'ЯЗОК. Розвиток уявлень про валентність та хімічний зв'язок. Поняття про природу хімічного зв'язку. Основні характеристики хімічного зв'язку. Вплив неподільних електронних пар на будову молекул, модель Гіллеспі. Іонний зв'язок. Електронегативність та ступінь окиснення. Розміри позитивно та негативно заряджених іонів. Іонізаційний потенціал. Спорідненість до електрона. Електронегативність. Залежність кристалічної структури від розмірів іонів та атомів. Основні типи кристалічних структур. Ковалентний зв'язок. Метод валентних зв'язків (ВЗ). Основні положення методу (ВЗ). Направленість і насиченість ковалентного зв'язку. Полярний зв'язок. Дипольний момент. Полярність молекул. Ефективний заряд атомів у полярних сполуках. Поняття про метод молекулярних орбіталей (МО). Основні положення методу МО. Метод МО ЛКАО. σ - та π -зв'язки. Кратні зв'язки. Зв'язуючі, незв'язуючі та

антизв'язуючі орбіталі. Будова найпростіших молекул з позиції МО. Поняття про гібридизацію орбіталей. Типи гібридизації. Координаційний та донорно-акцепторний зв'язки як форми ковалентного зв'язку. Багатоцентрові зв'язки. Водневий зв'язок. Внутрішньо- та міжмолекулярний водневий зв'язок. Відмінність у фізичних властивостях сполук з іонним та ковалентним зв'язком. Природа сил Ван дер Ваальса. Типи кристалічних ґраток. Поляризація атомів та іонів. Залежність поляризації та поляризуючої дії катіонів та аніонів від їх будови, розміру й заряду. Якісне пояснення характеру зміни властивостей сполук даного складу в ряду елементів - аналогів на основі поляризації. Металевий зв'язок. Валентність і металевий зв'язок. Будова речовини з металевим типом зв'язку. Вступ в зонну теорію. Утворення зон – валентної та провідної з атомних та молекулярних орбіталей, заборонена зона. Метали та діелектрики. Межі застосування зонної теорії.

ХІМІЧНІ ЕЛЕМЕНТИ ЇХ СИСТЕМАТИКА ТА НОМЕНКЛАТУРА. Хімічні елементи в природі. Поширеність хімічних елементів у земній корі та Всесвіті. Геохімія та її основний закон. Ф.Кларк, В.Л. Виноградов і В.Л. Гольдшмідт - основоположники геохімії. Класифікація хімічних елементів. Поширені, рідкісні та розсіяні елементи. Способи систематики хімічних елементів. Відкриття періодичного закону Д.І. Менделєєвим (1869 р.). Зміст періодичного закону. Періодична система елементів та її структурні одиниці. Коротка та довга форми періодичної системи. Типові елементи. Головні й побічні підгрупи. Філософське значення періодичного закону.

Метали, неметали та інертні елементи. Різні види аналогій між елементами. Вторинна періодичність. Стійкість атомних ядер та вік Землі. Поширеність хімічних елементів на Землі та в космосі Елементний склад місячного ґрунту. О.П. Виноградов про геохімію планет. Походження хімічних елементів. Межа періодичної системи. Перспективи розвитку періодичного закону хімічних елементів.

Передісторія систематики та номенклатури хімічних сполук. Хімічна сполука. класифікація неорганічних сполук. Систематика сполук за їх складом. Бінарні, тернарні, кватерні сполуки. Основні принципи назвоутворення неорганічних сполук. Правила ІУРАС. Назви речовин систематичні, традиційні, спеціальні, тривіальні. Бінарні сполуки та методи їх одержання. Оксиди. Гідроксиди. Кислоти. Ізополі-та гетерополікислоти. Пероксокислоти, тіокислоти. Солі. Кислі, середні, основні, оксо-, гідроксо-та комплексні солі.

РОЗЧИНИ. Фізичні властивості розчинів. Система, фаза, компонент. Число ступенів свободи. Правило фаз Гіббса. Діаграма стану системи. Розчин як гомогенна багатокомпонентна система. Процес розчинення. Зміни ентропії та ентальпії при розчиненні. Ненасичені, насичені та пересичені розчини. Азеотропні суміші. Коефіцієнт розчинності. Перекристалізація як метод очистки речовин. Концентрація розчинів. Способи виразу концентрації. Розчинність речовин у двох незмішуваних рідинах. Закон розподілу. Коефіцієнт розподілу. Екстракційний метод розділення речовин. Осмотичний тиск. Закон Вант-Гоффа. Осмос у природі. Пружність пари над розчинами. Закон Рауля. Зменшення температури замерзання та підвищення температури кипіння розчинів. Кріоскопія та ебуліоскопія.

Хімічні властивості розчинів. Сучасні уявлення про природу розчинів. Особливості рідких розчинів. Порядок в розчинах, структура води та водних розчинів. Специфіка реакцій в водних та неводних розчинах. Теорія електролітичної дисоціації. Ступінь дисоціації, константа дисоціації. Властивості розчинів сильних електролітів. Добуток розчинності. Дисоціація води. Іонний добуток води. Водневий показник. Реакції в розчинах електролітів. Іонні рівняння. Гідроліз солей. Ступінь та константа гідролізу. Сильні та слабкі електроліти. Залежність ступеню електролітичної дисоціації від температури, концентрації, природи розчинника та інш. Закон розбавлення Оствальда. Основні поняття теорії сильних електролітів Дебая Хюккеля. Добуток розчинності. Динамічна рівновага в насичених розчинах малорозчинних сильних електролітів та

фактори, що її зміщують. Ізотонічний коефіцієнт. Закон Рауля. Кріоскопія та ебуліоскопія, осмос.

БУДОВА ТВЕРДОГО ТІЛА. Основні поняття кристалохімії. Симетрія кристалічних ґраток. Елементарна комірка. Трансляції. Основні типи елементарних комірок та координаційних поліедрів. Острівні, шаруваті та каркасні структури. Поліморфізм та ізоморфізм. Оптичні властивості кристалів. Склоподібний стан. Хімічний зв'язок у кристалах (атомна, молекулярна, іонна, кристалічна структура). Ефективні заряди на атомах. Радіуси іонів і атомів. Ефективні іонні радіуси. Фізичні властивості твердих тіл. Діелектрики, сегнетоелектрики, п'єзоелектрики. Зонна теорія кристалічного стану. Зонна структура діелектриків, напівпровідників та речовин з металічною провідністю. Основні типи дефектів у кристалах (точкові за Шотткі, Френкелем та лінійні дислокації). Відхилення від стехіометрії в складі твердих тіл (бертоліди та дальтоніди). Модифікування зонної структури та властивостей твердих речовин шляхом зміни природи дефектів та їх концентрацій.

ХІМІЧНІ РЕАКЦІЇ. Різні підходи до класифікації хімічних реакцій. Окисно-відновні реакції. Окисники та відновники. Рівняння окисно-відновних реакцій. Окисно-відновні потенціали. Напрямок окисно-відновних реакцій. Ряд напруг та його наукове обґрунтування. Практичне використання окисно-відновних реакцій. Закони електролізу. Поняття про гальванічні елементи. Електрорушійна сила гальванічного елемента. Хімічні джерела електричного струму. Енергетика хімічної реакції. Закон Гесса. Ентропія. Швидкість хімічних реакцій. Закон діючих мас. Енергія активації. Ланцюгові реакції. Каталіз. Хімічна рівновага. Вплив зовнішніх факторів на хімічну рівновагу. Принцип Ле-Шательє.

КООРДИНАЦІЙНІ (КОМПЛЕКСНІ) СПОЛУКИ. Основні положення координаційної теорії Вернера, центральний атом та ліганди, зовнішня та внутрішня сфери, координаційне число центрального атома, координаційна ємність лігандів. Просторова інтерпретація координаційного числа. Природа хімічного зв'язку в комплексних сполуках та структурні особливості комплексів. Метод валентних зв'язків. Метод кристалічного поля. Октаедричні та тетраедричні комплекси. Будова координаційних сполук з позиції МО. Метод поля лігандів. Ізомерія комплексних сполук. Уявлення про теорію кристалічного поля та поля лігандів. Типи координаційних сполук.

Зовнішні ознаки утворення комплексів. Методи виявлення та встановлення складу комплексів. Дослідження комплексних сполук за допомогою фізико-хімічного аналізу. Спектрофотометрія. Метод розчинності. Визначення стійкості комплексів. Константи дисоціації та константи стійкості комплексів.

Сполуки амінного типу та ацидосполуки (галогеніди, псевдогалогеніди, нітрити, нітрати, сульфати, сульфіти тощо). Сполуки зі зв'язком метал-метал. Кластерні сполуки. Циклічні сполуки. Хелатні та внутрішньоконкомплексні сполуки. Багатоядерні сполуки. Ізомерія координаційних сполук. Утворення координаційних сполук в рамках іонної моделі та уявлень Льюїса. Теорія м'яких та жорстких кислот та основ Пірсона. Стійкість комплексів у розчинах та основні фактори, що її визначають. Константи стійкості. Лабільність та інертність. Сольватний ефект, хелатний ефект, правила Л.А. Чугаєва. Механізми реакцій комплексних сполук. Реакції заміщення, відщеплення та приєднання ліганду, окислювально-відновні реакції. Взаємний вплив лігандів в координаційній сфері. Транс-вплив І.І. Черняєва, цис-ефект А.А. Грінберга. Внутрішньосферні реакції лігандів. Подвійні та змішані солі. Координаційні сполуки в біології, медицині, екології та сільському господарстві.

ОСНОВНІ МЕТОДИ СИНТЕЗУ ТА АНАЛІЗУ НЕОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН. Прямий синтез сполук з простих речовин. Реакції в газовій фазі, водних та неводних розчинах, розплавах. Метод хімічного осадження з газової фази, використання надкритичного стану. Золь-гель метод. Гідротермальний синтез. Твердофазний синтез та його особливості, механохімічний синтез та його активація. Хімічні транспортні реакції

для синтезу та очистки речовин. Фотохімічні та електрохімічні методи синтезу. Основні методи розділення та очистки речовин. Інфрачервоні спектри. Силова константа. Використання інфрачервоних спектрів для визначення будови сполук. Відповідність частотного діапазону електромагнітного спектру атомним чи молекулярним процесам: ядерні реакції, внутрішні та зовнішні переходи електронів, коливання атомів в молекулах, обертання молекул, спінові переходи молекул і ядер. Основні поняття методу оптичної спектроскопії, частотний діапазон коливальних, обертальних та електронних спектрів. Основні поняття методу рентгенівської спектроскопії, частотний діапазон. Залежність рентгенівського випромінювання від будови атома, закон Мозлі. Рентгенівські спектри при якісному, кількісному аналізі речовин, при визначенні зарядів атомів. Рентгенодифракційний метод аналізу: якісний аналіз, структурні дослідження. Методи вирощування монокристалів та їх класифікація. Радіоспектроскопія – метод електронного парамагнітного та ядерного магнітного резонансу. Основні положення, основні методики дослідження та характер методів. Основи гама-спектроскопії. Ефект Мессбауера. Встановлення характеру розподілу електронної густини в сполуках, концентрації та стану елементів в рудах та мінералах.

ВЛАСТИВОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ ТА ЇХ СПОЛУК.

Водень та його сполуки. Водень - перший елемент періодичної системи. Особливості будови атома водню. Водень у природі. Його одержання та властивості. Оводні та їх класифікація. Гідриди. Вода - одержання, властивості та застосування. Пероксодень. Одержання пероксоденню, фізичні та хімічні властивості застосування.

Кисень. Одержання кисню. Властивості кисню. Роль кисню в біологічних та геологічних процесах. Практичне значення кисню. Бінарні кисневі сполуки. Оксиди, їх класифікація. Субоксиди. Пероксиди, надпероксиди. Будова молекули O_2 з позиції МО. Озон. Добування, властивості та застосування. Озонування води та повітря. Озоніди, їх одержання, властивості та застосування.

Елементи сьомої групи. Загальна характеристика елементів головної та побічної підгрупи. Історія відкриття галогенів. Поширеність у природі. Основні мінерали. Одержання простих речовин, фізичні й токсикологічні властивості галогенів. Хімічні властивості галогенів. Класифікація галогенних сполук. Галогеніди сольового, основного, амфотерного, кислотного та несольового типів. Полігалогено-галогеніди. Галогеноводні, їх фізичні й хімічні властивості. Одержання галогеноводнів. Термодинамічна характеристика галогеноводнів. Зміна характеру зв'язку, термічної стійкості та відновних властивостей у ряду галогеноводнів. Галогеноводневі кислоти та їх солі. Техніка безпеки при роботі з галогенами та галогеноводнями. Кисневі сполуки галогенів. Хлорна, бромна та йодна вода. Зміна характеру взаємодії галогенів з водою. Вплив концентрації водневих іонів на положення рівноваги реакції галогенів з водою. Вторинна періодичність у зміні стійкості кисневих сполук галогенів. Кисневмісні кислоти галогенів, властивості, добування та застосування. Солі кисневмісних кислот галогенів. Практичне застосування. Порівняльна характеристика стійкості та властивостей оксидів та кисневмісних кислот. Міжгалогенні сполуки. Підгрупа мангану. Історія відкриття мангану, технецію, ренію. Поширеність у природі. Одержання простих речовин. Хімічні властивості елементів підгрупи мангану. Оксиди та гідроксиди мангану (II), (III) та (IV). Їх одержання та властивості. Комплексні сполуки мангану різних ступенів окиснення. Окисно-відновні властивості сполук мангану (IV), мангану (VI) та мангану (VII).

Елементи шостої групи. Загальна характеристика групи. Головна та побічна підгрупи. Підгрупа халькогенів. Поширеність і знаходження у природі (самородна сірка, сульфати, халькогеніди металів, полісульфідні руди, органічні сірковмісні сполуки). Добування сірки, селену та телуру. Фізичні властивості та застосування халькогенів. Хімічні властивості халькогенів. Халькогеноводні. Халькогеноводневі кислоти та їх солі. Гідросульфідні та полісульфідні. Халькогеніди як відновники. Класифікація бінарних сірковмісних сполук. Галогенні сполуки халькогенів. Тіоангідриди. Тіокислоти та їх солі.

Застосування халькогенідів у хімічному аналізі. Використання халькогенідів у напівпровідниковій техніці. Діоксиди халькогенідів, їх одержання та властивості. Сульфіти, тіо(селено)-сульфати та політіонати. Порівняльна характеристика сульфатів, селенатів, телуратів та їх кислот. Оксиди халькогенідів (VI), їх одержання. Термодинамічна характеристика триоксидів, фізичні та хімічні властивості. Дихлорид сульфурилу та хлорсульфонатна кислота. Сульфатна кислота. Одержання, властивості, застосування. Олеум. Сульфати й галогенсульфати, їх термічна стійкість. Полісульфати. Пероксосульфатні кислоти та їх солі. Одержання селенатної та телуратної кислоти. Порівняльна характеристика халькогенатних кислот і їх солей.

Підгрупа хрому. Будова атомів, валентні стани. Поширеність у природі елементів підгрупи хрому. Мінерали хрому, молібдену та вольфраму. Прості речовини, їх фізичні та хімічні властивості, застосування. Сполуки хрому, молібдену та вольфраму у нижчих ступенях окиснення. Оксид, гідроксид та солі хрому (II), їх відновні властивості. Оксид та гідроксид хрому (III), хроміти. Гідратна ізомерія хлоридів хрому (III). Триоксиди елементів підгрупи хрому. Хромати, молібдати та вольфрамати, ізо-, гетерополікислоти та їх солі; одержання, властивості, застосування. Сполуки зі ступенями окиснення 4+ та 5+. Одержання та властивості. Вольфрамові бронзи та молібденові сині. Пероксидні сполуки елементів підгрупи хрому. Галогеніди елементів підгрупи хрому. Одержання, властивості, застосування. Оксогалогеніди. Сульфіди, нітриди, карбіди, бориди хрому, молібдену та вольфраму.

Елементи п'ятої групи. Загальна характеристика групи. Головна й побічна підгрупи.

Нітроген. Поширеність та кругообіг у природі. Добування азоту. Будова молекули азоту з позиції методу ВЗ та МО. Застосування та властивості азоту. Методи зв'язування атмосферного азоту. Аміак. Будова та хімічні властивості. Одержання аміаку в лабораторії. Зрідження аміаку. Фізико-хімічні умови промислового синтезу аміаку. Рівноважність взаємодії аміаку з водою. Гідрати аміаку. Солі амонію, їх термічна стійкість. Гідроліз солей амонію. Аміак як ліганд. Нітриди та амідни як похідні аміаку. Нітриди з іонним та ковалентним типом зв'язку. Металопоподібні нітриди. Гідразин та гідроксиламін. Одержання, властивості. Солі гідразонію. Азидоводень та азидна кислота. Властивості азидної кислоти. Азиди. Галогеніди азоту, їх властивості. Оксиди азоту. Оксид азоту (I). Одержання властивості, застосування. Будова молекули оксиду азоту (I). Монооксид азоту та його властивості. Одержання оксиду азоту (II) з повітря та аміаку. Оксид азоту (III). Нітритна кислота. Нітрити та їх властивості. Азотна кислота та методи її одержання. Властивості азотної кислоти. Застосування азотної кислоти. Нітрати, їх властивості, термічна стійкість та практичне значення. Порівняльна характеристика оксидів азоту та їх похідних (хімічна активність, кислотно-основні та окисно-відновні властивості). Фосфор. Поширеність фосфору та форми його знаходження в природі. Алотропні видозміни фосфору, їх стабільність та будова. Фізичні та хімічні властивості фосфору, його застосування. Водневі сполуки фосфору. Фосфін. Галогеніди фосфору. Сульфідита солі тіокислот фосфору. Сполуки фосфору з азотом. Оксиди фосфору, будова, одержання, властивості. Гіпофосфітна кислота та її солі. Фосфітна кислота. Фосфатні кислоти (мета-, орто-, полімета-, ізополі-, гетерополі-), їх будова, одержання, властивості. Мета- й ортофосфати, подвійні фосфати. Практичне значення фосфатів. Роль сполук фосфору в біологічних процесах. Арсен, стибій, бісмут. Загальна характеристика. Знаходження у природі. Одержання простих речовин їх фізичні властивості. Хімічні властивості елементів підгрупи арсену. Сполуки з воднем, їх одержання та властивості. Сполуки арсену, стибію та бісмуту з металами. Оксиди та гідроксиди елементів (III), їх солі. Оксиди елементів підгрупи арсену (V). Арсенатна та стибатна кислоти. Арсенати, стибати та бісмутати, одержання, властивості. Галогеніди арсену та його аналогів. Сульфіди. Порівняльна характеристика сполук елементів підгрупи арсену. Підгрупа ванадію. Поширеність, знаходження в природі. Розсіяність ванадію. Мінерали ніобію та

танталу. Одержання металів підгрупи ванадію, їх фізичні властивості та застосування. Ізотопи металів підгрупи ванадію. Хімічні властивості ванадію, ніобію, танталу. Оксиди, гідроксиди та солі ванадію (II) та (III). Оксиди елементів (V). Ванадати, ніобати, танталати, одержання, властивості. Перокси кислоти та їх солі. Галогеніди елементів підгрупи ванадію, одержання, хімічні властивості. Сполуки з азотом та сіркою. Тіованадати. Порівняльна характеристика сполук елементів підгрупи ванадію.

Елементи четвертої групи. Загальна характеристика групи. Вуглець. Знаходження у природі, поширеність у органічному та неорганічному світі. Особливість електронної будови атома вуглецю, що зумовлює здатність утворення зв'язків вуглець-вуглець різної кратності та зв'язків його з іншими елементами. Алотропія (алмаз, графіт, карбін). Аморфний вуглець. Застосування алмазів, графіту й сажі. Хімічні властивості вуглецю. Сполуки вуглецю з воднем, сіркою, азотом. Ціан. Ціано-водень та ціанідна кислота. Ціаніди. Галогено- й аміноціани. Халькогенціани та їх похідні. Ціанатна, тіоціанатна та селеноціанатна кислоти, їх солі. Оксиди вуглецю. Одержання, властивості, застосування. Карбоніли. Карбонатна кислота та її солі. Силіцій. Поширеність силіцію. Роль силіцію в будові земної кори. Основні силіційвмісні мінерали - кварц, силікати. Кристалічна будова силіцію. Одержання силіцію. Фізичні та хімічні властивості силіцію. Напівпровідникові властивості силіцію. Сполуки силіцію з металами та неметалами. Силіциди. Сполуки силіцію з вуглецем, сіркою та азотом. Силани, їх будова та властивості. Оксиди силіцію. Силікатна кислота та її солі. Колоїди, гелі. Силікагель. Гетерополікислоти силіцію та їх солі. Германій, плюмбум, станум. Поширеність, знаходження у природі. Мінерали олова та свинцю. Одержання германію, його фізичні та хімічні властивості. Германій у напівпровідниковій техніці. Одержання олова та свинцю. Практичне значення їх сполук. Хімічні властивості елементів підгрупи германію. Оксиди й гідроксиди. Солі германію, олова та свинцю. Кислотно - основні та окисно – відновні властивості сполук елементів (II) та (IV) підгрупи германію. Свинцевий акумулятор. Галогеніди та сульфідні елементів підгрупи германію. Тіогерманати та тіостанати. Підгрупа титану. Загальна характеристика. Поширеність у природі та основні мінерали. Одержання титану, цирконію та гафнію. Їх очистка методом зонної плавки та йодидного рафінування. Застосування металічних титану, цирконію, гафнію та сплавів на їх основі. Хімічні властивості елементів підгрупи титану. Діоксиди та гідроксиди, зміна кислотно-основних властивостей . Титанати, цирконати та гафнати, їх одержання. Галогеніди елементів підгрупи титану, їх одержання, будова, властивості, застосування. Карбіди, нітриди й сульфідні титану та його аналогів. Комплексні сполуки елементів підгрупи титану. Одержання та властивості сполук титану (III). Порівняння властивостей елементів головної та побічної підгрупи.

Елементи третьої групи. Загальна характеристика групи. Бор. Поширеність, знаходження у природі. Одержання бору, його фізичні та хімічні властивості. Взаємодія з металами та неметалами. Бориди. Борати, їх одержання, будова, властивості. Координаційні сполуки на основі бору. Нітрид бору. Боразон та "біла сажа". Сполуки з вуглецем та силіцієм. Галогеніди бору. Оксид бору. Боратні кислоти та їх солі, одержання, властивості. Ефіри борної кислоти. Застосування сполук бору. Алюміній. Поширеність, знаходження у природі. Корунд, штучні рубіни. Одержання алюмінію, його фізичні та хімічні властивості, застосування. Гідроксид алюмінію. Алюмінати. Солі алюмінію. Природні та штучні алюмосилікати. Цеоліти та їх використання як молекулярних сит. Галогеніди алюмінію. Гідрид та нітрид алюмінію. Галій, індій, талій. Поширеність та знаходження у природі. Одержання металів. Їх фізичні та хімічні властивості. Валентний стан елементів підгрупи галію. Зміна стійкості сполук елементів (I) та (III) у ряду галій - індій - талій. Окисно-відновні властивості сполук талію. Амфотерність оксидів та гідроксидів елементів підгрупи галію. Солі та комплексні сполуки галію, індію, талію. Застосування сполук елементів підгрупи галію в напівпровідниковій техніці. Рідкоземельні елементи. Історія відкриття елементів. Поширеність оксидів скандію, ітрію

та лантаноїдів у земній корі. Одержання металів, їх фізичні властивості. Електронна будова атомів та її вплив на властивості лантаноїдів. Класифікація лантаноїдів. Лантаноїдне стиснення. Хімічні властивості рідкоземельних елементів. Оксиди та гідроксиди. Солі простих кисневмісних кислот. Галогеніди скандію, ітрію та лантаноїдів. Прості та комплексні солі. Леткі сполуки РЗЕ. Практичне використання рідкоземельних елементів та їх сполук. Актиноїди. Історія відкриття. Оксиди та гідроксиди, солі. Сполуки актиноїдів зі ступенями окиснення 2^+ , 3^+ , 4^+ , 6^+ та 7^+ .

Елементи другої групи. Загальна характеристика групи. Берилій та магній. Поширеність у природі, основні мінерали. Добування, фізичні та хімічні властивості металів та їх сполук. Лужноземельні метали. Поширеність у природі, основні мінерали. Одержання металів, їх фізичні та хімічні властивості, застосування. Оксиди та гідроксиди. Розчинні та нерозчинні солі. Зміна термічної стійкості солей в ряду лужноземельних металів. Галогеніди лужноземельних металів. Нітриди, карбіди та гідриди. Підгрупа цинку. Поширеність у природі, основні мінерали. Одержання цинку кадмію та ртуті. Фізичні властивості металів та їх застосування. Оксиди, гідроксиди, солі, їх хімічні властивості. Комплексотвірна здатність металів підгрупи цинку.

Елементи першої групи. Загальна характеристика групи. Лужні метали, добування, фізичні, хімічні властивості, застосування. Оксиди, гідроксиди, добування, фізичні та хімічні властивості. Підгрупа міді. Поширеність у природі, основні мінерали. Металургія міді, срібла та золота. Фізичні властивості металів. Ізотопи металів підгрупи міді. Застосування металів та їх сполук. Хімічні властивості елементів підгрупи міді. Зміна характерних ступенів окиснення в підгрупі. Оксиди та гідроксиди елементів (II). Галогеніди. Солі міді та срібла кисневмісних кислот. Сполуки міді та її аналогів зі ступенями окиснення 1^+ , 2^+ , 3^+ їх одержання, властивості та застосування. Окисно-відновні властивості сполук міді, срібла й золота.

Елементи восьмої групи. Загальна характеристика групи. Головна та побічна підгрупи. Інертні гази. Історія їх відкриття. Знаходження у природі, методи виділення. Фізичні властивості газів, їх практичне використання. Відкриття сполук інертних газів. Фториди ксенону, криптону та радону. Триоксид ксенону. Ксенонати та перксенонати. Окисні властивості сполук інертних елементів. Родина заліза. Поширеність у природі, основні мінерали, доменний процес добування чавуну. Переробка чавуну на сталь та ковке залізо. Добування заліза методом безпосереднього відновлення оксидів. Чорна металургія як основа промислового потенціалу та оборони країни. Одержання кобальту та нікелю при переробці сульфідних руд. Фізичні властивості та застосування металів родини заліза. Сполуки металів (II). Оксиди та гідроксиди, їх властивості. Солі та їх властивості. Сполуки металів (III). Оксиди та гідроксиди. Солі та їх властивості. Аква-, аміно-, ціано- та тіоціанатоккомплекси. Ферати, їх одержання та властивості. Роль заліза в біологічних процесах. Застосування сполук елементів родини заліза. Платинові метали. Поширеність та знаходження у природі. Відокремлення платиноїдів від інших металів. Фізичні й хімічні властивості платиноїдів. Здатність до утворення комплексів. Сполуки платиноїдів (II), галогеніди, ціаніди тощо. Сполуки металів з ступенем окиснення 3^+ , 4^+ . Комплексні сполуки платинових металів. Окисно-відновні реакції за участю сполук платиноїдів.

2. ФІЗИЧНА ХІМІЯ

СТРУКТУРА РЕЧОВИНИ. Основи класичної теорії хімічної будови. Взаємозв'язок структури і властивостей молекул.

Фізичні основи вчення про структуру молекули. Механічна модель молекули. Потенціали парних взаємодій. Методи молекулярної механіки і молекулярної динаміки при аналізі будови молекул.

Загальні принципи квантово-механічного опису молекулярних систем. Стаціонарне рівняння Шредінгера для вільної молекули. Адіабатичне наближення. Електронне хвильове рівняння. Потенціальні криві і поверхні потенціальної енергії. Їх загальна структура і різні типи. Структурна ізомерія. Оптичні ізомери. Коливання молекул. Нормальні коливання, амплітуди і частоти коливань, частоти основних коливальних переходів.

Електронна структура атомів і молекул. Одноелектронне наближення. Атомні і молекулярні орбіталі. Інтерпретація будови молекул на основі орбітальних моделей і дослідження розподілу електронної щільності. Локалізовані молекулярні орбіталі. Гібридизація.

Уява про заряди на атомах та порядок зв'язків. Різні методи виділення атомів в молекулах.

Симетрія молекулярних систем. Точкові групи симетрії молекул. Поняття про представлення груп та характерах представлень. Симетрія атомних і молекулярних орбіталей, s- та p- орбіталі. p-Електронне наближення.

Електричні та магнітні властивості. Дипольний момент і поляризованість молекул. Магнітний момент і магнітна сприйнятливість. Ефекти Штарка та Зеемана. Магнітно-резонансні методи дослідження будови молекул. Хімічний зсув.

Оптичні спектри молекул. Імовірність переходів та правила відбору при переходах між різними квантовими станами молекул. Взаємозв'язок спектрів молекул з їх будовою. Визначення структурних характеристик молекул із спектроскопічних даних.

Міжмолекулярні взаємодії. Основні компоненти міжмолекулярних взаємодій. Молекулярні комплекси. Ван-дер-ваальсові молекули. Кластери атомів і молекул. Водневий зв'язок. Супрамолекули та супрамолекулярна хімія.

Структура конденсованих фаз. Структурна класифікація конденсованих фаз.

Ідеальні кристали. Кристалічна ґратка та кристалічна структура. Реальні кристали. Типи дефектів в реальних кристалах. Кристали з неповною впорядкованістю. Доменні структури.

Симетрія кристалів. Кристалографічні точкові групи симетрії, типи ґраток, сингонії. Уявлення про просторову групу кристалів. Індокси кристалографічних граней.

Атомні, іонні, молекулярні та інші види кристалів. Шаруваті структури. Структура твердих розчинів. Впорядковані тверді розчини. Аморфні речовини.

Метали та напівпровідники. Зонна структура енергетичного спектра кристалів. Поверхня Ферми. Різні види провідності. Коливання в кристалах. Фонони.

Поверхня конденсованих фаз

Особливості будови поверхні кристалів та рідин, структура границ і розділу конденсованих фаз. Молекули і кластери на поверхні. Структура адсорбційних шарів.

ХІМІЧНА ТЕРМОДИНАМІКА. Основні поняття і закони термодинаміки: ізольовані і відкриті системи, рівноважні та нерівноважні системи.

Перший закон термодинаміки. Тепло, робота, внутрішня енергія, ентальпія, теплоємність. Закон Гесса. Стандартні стани і стандартні теплоти хімічних реакцій. Залежність теплового ефекта реакції від температури. Формула Кирхгофа.

Другий закон термодинаміки. Ентропія і її зміни в оборотних і незворотних процесах. Теорема Карно–Клаузіуса. Різні шкали температур.

Рівняння Гіббса – Гельмгольца. Робота і теплота хімічного процесу. Хімічний потенціал.

Хімічна рівновага. Закон діючих мас. Різні види констант рівноваги і відносини між ними. Ізотерма Вант-Гоффа.

Елементи статистичної термодинаміки. Термодинамічна імовірність та її взємозв'язок з ентропією. Розподіл Максвелла – Больцмана. Розрахунок числа станів у квазікласичному наближенні.

Розподіл Бозе – Ейнштейна та Ферми – Дирака. Вироджений ідеальний газ. Електрони в металах. Рівень Ферми. Дефекти кристалічних ґраток. Рівноважні та нерівноважні дефекти.

Елементи термодинаміки незворотніх процесів. Стаціонарний стан системи та теорема Пригожина.

РОЗЧИНИ. ФАЗОВІ РІВНОВАГИ. Різні типи розчинів. Способи виразу складу розчинів. Ідеальні розчини, загальна умова стану ідеальності розчинів. Неідеальні розчини та їх властивості. Метод активностей. Коефіцієнти активності та їх визначення.

Гетерогенні системи. Компонент, фаза, ступень свободи. Правило фаз Гіббса.

Фазові переходи першого роду. Рівняння Клапейрона – Клаузіуса.

Двокомпонентні системи. Різні діаграми стану двокомпонентних систем. Рівновага рідина–пар в двокомпонентних системах.

Фазовий перехід другого роду. Рівняння Еренфеста.

АДСОРБЦІЯ ТА ПОВЕРХНЕВІ ЯВИЩА. Адсорбція. Адсорбент, адсорбат. Види адсорбції. Структура поверхні та пористість адсорбента. Ізотерми та ізобари адсорбції. Рівняння Генри. Константа адсорбційної рівноваги. Рівняння Ленгмюра. Адсорбція из розчинів. Поверхня подіжу фаз. Вільна поверхнева енергія, поверхнєве напруження. Ефект Ребиндера: Капілярні явища.

КІНЕТИКА ХІМІЧНИХ РЕАКЦІЙ. Хімічна кінетика. Основні поняття хімічної кінетики. Прості та комплексні реакції, молекулярність та швидкість простої реакції. Основний постулат хімічної кінетики. Способи визначення швидкості реакції. Кінетичні криві. Кінетичні рівняння. Константа швидкості та порядок реакції. Реакції змінного порядку.

Залежність швидкості реакції від температури. Рівняння Арреніуса. Енергія активації та способи її визначення. Елементарні акти хімічних реакцій та фізичний сенс енергії активації. Термічний та нетермічний шляхи активації молекул. Різні види хімічних реакцій. Бімолекулярні та тримолекулярні реакції, залежність предекспоненціального множника від температури.

Реакції в розчинах, вплив розчинника та заряду реагуючих частинок., процеси сольватації в розчинах.

Фотохімічні та радіаційно-хімічні реакції. Елементарні фотохімічні процеси. Ексімери. Квантовий вихід фотостимульованих реакцій. Закон Ейнштейна – Штарка.

Електрокапілярні явища, рівняння Липпмана.

КАТАЛІЗ. Класифікація каталітичних реакцій та каталізаторів. Теорія проміжних сполук в каталізі. Гомогенний каталіз. Кислотно-основний каталіз. Гетерогенний каталіз. Визначення швидкості гетерогенної каталітичної реакції. Селективність каталізаторів. Роль адсорбції в кінетиці гетерогенних каталітичних реакцій. Енергія активації гетерогенних каталітичних реакцій.

3. ЕЛЕКТРОХІМІЯ

ВСТУП. Предмет і зміст електрохімії. Специфічні особливості електрохімії, як науки та її місце серед інших наук. Основні історичні етапи розвитку електрохімії. Сучасне і майбутнє електрохімії як науки та її вплив на розвиток промисловості.

РІВНОВАГИ В РОЗЧИНАХ ЕЛЕКТРОЛІТІВ. Основні положення класичної теорії електролітичної дисоціації електролітів. Водні та неводні розчини електролітів. Термохімічні ефекти в розчинах електролітів. Хімічні рівноваги. Буферні властивості розчинів. Іонні рівноваги. Недоліки теорії електролітичної дисоціації.

Міжйонні взаємодії в розчинах електролітів. Поняття про активність та коефіцієнт активності. Іонна сила розчину. Коефіцієнти активності розчинів електролітів малих та великих концентрацій. Проблема коефіцієнта активності окремого іону. Термодинамічні основи теорії міжйонних взаємодій. Розподіл іонів у розчинах по Арреніусу та Гхошу.

Теорія Дебая-Гюккеля. Основні припущення теорії, модельні уявлення про розчини електролітів. Відповідність теорії та експерименту. Застосування теорії Дебая-Гюккеля до розчинів сильних та слабких електролітів. Розвиток теоретичних уявлень Дебая-Гюккеля. Іонна асоціація в розчинах електролітів. Емпіричні та напівемпіричні методи опису термодинамічних властивостей розчинів електролітів. Сучасний стан теорії розчинів електролітів.

Сучасні поняття про сольватацію та гідратацію іонів. Енергетика процесів сольватації та гідратації. Емпіричні теплоти гідратації. Термодинамічні та модельні методи розрахунку енергії гідратації іонів. Хімічна та реальна енергії гідратації. Числа гідратації іонів. Ентропії сольватації іонів. Протолітична теорія кислот і основ. Рівняння Бренстеда. Кислотно-основні рівноваги в розчинах.

НЕРІВНОВАЖНІ ЯВИЩА В РОЗЧИНАХ ЕЛЕКТРОЛІТІВ. Загальна характеристика нерівноважних явищ в розчинах електролітів. Дифузія та міграція іонів. Електропровідність розчинів електролітів. Методи визначення електропровідності. Питома та молярна електропровідність. Закони Кольрауша. Взаємозв'язок електропровідності з властивостями електролітів та природою розчинника. Вплив концентрації, температури та тиску на електропровідність розчинів електролітів. Числа переносу та методи їх визначення. Дійсні числа переносу. Теоретичне тлумачення чисел переносу. Рухомість іонів та її залежність від іонного радіусу, концентрації електроліта, температури розчину. Кондуктометрія. Класична, високочастотна.

Інтерпретація явищ електропровідності електролітів. Класична теорія. Теорія Дебая-Онзагера. Електрофоретичні та релаксаційні ефекти; рівняння Онзагера; ефекти Віна та Дебая-Фалькенгагена. Залежність провідності електролітів від концентрації та в'язкості. Аномалії електропровідності. Аномальна рухливість іонів водню та гідроксиду. Аномальна електропровідність в неводних розчинах електролітів. Електропровідність розчинів деяких металів у рідкому аммоніаку. Електропровідність неводних розчинів, розплавів та твердих електролітів. Змішані іонно-електронні провідники.

Дифузія в розчинах електролітів. Основні закони молекулярної дифузії. Закони Фіка. Характер міжіонних взаємодій при дифузії електролітів.

Дифузійний потенціал. Термодинамічна інтерпретація дифузійних потенціалів. Теорія Планка та Гендерсона.

РОЗПЛАВЛЕНІ (ІОННІ РІДИНИ) ТА ТВЕРДІ ЕЛЕКТРОЛІТИ. Загальна характеристика іонних рідин та твердих електролітів, області використання. Явища масопереносу в іонних рідинах та твердих електролітах. Будова іонних рідин та їхня електропровідність. Модельні уявлення про перенос в іонних рідинах та твердих електролітах.

ОСНОВИ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОЇ ТЕРМОДИНАМІКИ. Термодинаміка електрохімічних систем. Зв'язок термодинамічного потенціалу з тепловим ефектом та електричною енергією в оборотних та необоротних електрохімічних системах. Зв'язок між електричною та хімічною формами енергії. Термодинаміка гальванічного елементу; рівняння Гіббса-Гельмгольца.

Стрибки потенціалу на межі суміжних фаз. Гальвані-потенціал і потенціал Вольта. Електродний потенціал. Електрорушійна сила як сума гальвані-потенціалів і як сума вольта-потенціалів. Контактний потенціал на межі двох металів. Класифікація електродів. Електроди першого та другого роду. Газові електроди. Окисно-відновні електроди. Скляний електрод. Електроди порівняння для водних та розплавлених електролітів. Електрохімічні сенсори. Іон-селективні електроди.

Принципи класифікації електрохімічних кіл. Концентраційні кола. Фізичні кола. Хімічні кола.

Фізична та хімічна теорії виникнення електрорушійної сили в електрохімічних системах. Теорія виникнення електродного потенціалу. Осмотична теорія Нернста. Гідратаційна теорія електродного потенціалу. Подальший розвиток сольватаційної теорії

електродного потенціалу. Методи визначення коефіцієнтів активності, констант іонних рівноваг та чисел переносу на основі виміру електрорушійних сил.

ПОДВІЙНИЙ ЕЛЕКТРИЧНИЙ ШАР НА МІЖФАЗНІЙ ПОВЕРХНІ ЕЛЕКТРОД/ЕЛЕКТРОЛІТ. Електрокінетичні та електрокапілярні явища. Основи теорії електрокапілярних явищ. Поверхневий натяг і рівняння Гіббса. Загальне рівняння електрокапілярності. Потенціали нульового заряду і нульові точки, або стандартні потенціали нульового заряду, методи визначення. Абсолютна, умовна і наведена шкала потенціалів.

Теорія конденсованого подвійного шару. Ємність подвійного шару. Залежність ємності від потенціалу електрода, складу і концентрації розчину. Модельні уявлення про будову подвійного шару (моделі Гуї-Чапмена, Штерна і Грема, ефект Єсіна-Маркова). Сучасні уявлення про будову подвійного електричного шару.

Будова подвійного шару при адсорбції поверхнево-активних речовин. Фізична та хімічна адсорбції. Особливості будови подвійного електричного шару на межах напівпровідник-розчин та метал-розплав. Методи дослідження подвійного електричного шару. Подальший розвиток теорії будови подвійного електричного шару.

ЕЛЕКТРОЛІЗ. Хімічна дія електричного струму. Закони Фарадея. Електрохімічні еквіваленти. Вихід за струмом. Можливі випадки відхилення від законів Фарадея. Закони Фарадея та швидкість електрохімічних процесів. Електроаналіз і кулонометрія.

ЕЛЕКТРОХІМІЧНА КІНЕТИКА. Загальна характеристика електродних процесів і поняття сповільненої стадії. Стадійність електродних процесів. Електродна поляризація. Класифікація поляризаційних явищ.

Концентраційна поляризація. Поняття про дифузійну перенапругу. Дифузійна кінетика. Три основні рівняння дифузійної кінетики. Основні положення теорії конвективної дифузії. Закономірності дифузійної кінетики на обертовому дисковому електроді. Використання його в електрохімії та аналітичній хімії. Обертвий дисковий електрод з кільцем. Нестационарна дифузія до поверхні плоского електрода в потенціостатичних та потенціодинамічних умовах.

Фазова перенапруга. Загальна характеристика фазових перетворень. Фазові перетворення в електрохімічних процесах. Кристалохімічна теорія електрокристалізації. Особливості катодного утворення полікристалічних осадів. Види фазових перенапруг.

Електрохімічна перенапруга. Поняття про електрохімічну стадію. Основні теорії електрохімічної перенапруги. Модельні уявлення, що враховують будову подвійного шару.

Співвідношення Бренстеда. Формула Тафеля. Константи швидкості, коефіцієнт переносу і густина струму обміну - основні кінетичні характеристики електрохімічного процесу. Порядок електрохімічних реакцій та стехіометричні числа. Природа елементарного акту. Теоретичні уявлення про елементарний акт переносу електрона в гомогенних і гетерогенних редокс-процесах. Трагування елементарного акту на основі теорії Горіучі-Поляни і теорії реорганізації розчинника. Квантово-механічна теорія Левича-Догонадзе-Кузнєцова. Експериментальні підходи до перевірки цієї теорії. Звичайний, безбар'єрний і безактиваційний розряд. Робота виходу електрона в розчин. Роль роботи виходу електрона в кінетиці електродних процесів. Кінетичні та каталітичні струми. Вплив комплексоутворення на кінетику електродних реакцій. Вплив поверхнево-активних речовин на кінетику електродних процесів.

Накладання концентраційної поляризації на електрохімічну перенапругу. Закономірності змішаної кінетики: стадія дифузії та стадія розряду. Кінетика відновлення аніонів. Вплив матеріалу електрода та розчинника на швидкість стадії розряду-іонізації. Деякі особливості перебігу електрохімічних реакцій на напівпровідникових електродах.

Особливості електрохімічних процесів, що відбуваються в розплавлених та твердих електролітах (механізм та кінетика, електрокристалізація, електропровідність та її складові).

Поняття про реакційну перенапругу. Електрохімічні процеси в умовах сповільненої хімічної реакції. Сповільнена гетерогенна реакція. Електрохімічні процеси в умовах сповільненої гомогенної реакції. Електрохімічні процеси з послідовним перебігом стадій, на кожній з яких відбувається перенос одного електрона. Сумісний розряд іонів.

Електрокаталіз. Фотоелектрохімічні явища в розчинах електролітів. Фотоемісія електронів з металу в розчин.

КІНЕТИКА ТА МЕХАНІЗМ НАЙБІЛЬШ ВАЖЛИВИХ ЕЛЕКТРОДНИХ ПРОЦЕСІВ. Кінетика електролітичного виділення водню. Залежність перенапруги водню від густини струму і матеріалу електрода. Можливі стадії та шляхи перебігу процесу катодного виділення водню. Природа водневої перенапруги на різних металах.

Кінетика електролітичного виділення кисню. Сучасні уявлення про механізм анодного утворення кисню. Електрохімічні редокс процеси. Електровідновлення та електроокислення органічних речовин.

Електрохімічне виділення металів. Вплив різних факторів на процеси катодного виділення металів. Фактори, що визначають величину поляризації при катодному виділенні металів.

Електрохімічне розчинення і пасивність металів. Електрохімічна корозія металів. Загальна характеристика процесів корозії та їх класифікація. Умови виникнення корозійного процесу. Основи кінетичної теорії корозії та її застосування до корозії ідеально чистих металів. Методи захисту металів від корозії.

Хімічне розчинення металів. Саморозчинення металів.

Гальванотехніка та електрометалургія. Гідроелектрометалургія. Вплив комплексоутворення і поверхневоактивних речовин на структуру, властивості покриттів та технологічні характеристики процесу електролізу. Електрополірування металів та електрохімічні методи обробки.

Фотоелектрохімія.

ХІМІЧНІ ДЖЕРЕЛА СТРУМУ. Перетворення хімічної енергії в електричну. Хімічні джерела струму. Електрохімічні характеристики хімічних джерел струму (ЕРС, внутрішній опір, напруга, питома потужність, ємність, саморозряд, коефіцієнт віддачі, строк служби). Види хімічних джерел струму.

Первинні джерела струму: цинк манганові елементи; метал-повітряні системи; літєві джерела струму. Механізм електродних процесів, катодні та анодні матеріали, електроліти.

Вторинні джерела струму: свинцеві; срібно-цинкові; кадмій(залізо)-нікелеві та їх аналоги; метал-гідридні системи та інші акумулятори.

Паливні елементи: принцип роботи, основні види. Термодинамічний коефіцієнт корисної дії.

Суперконденсатори.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ЕЛЕКТРОДНИХ РЕАКЦІЙ. Основи класичної полярографії. Полярографічні максимуми та їхня інтерпретація. Ртутний краплинний електрод. Обертний дисковий електрод. Дисковий електрод з кільцем. Осцилополярографічний метод дослідження та його різновидності.

Циклічна вольтамперометрія. Основні критерії діагностики електродного процесу.

Нестаціонарні (релаксаційні) методи дослідження кінетики електродних реакцій. Хронопотенціометрія. Рівняння Караогланова та Санда. Зміннострумова полярографія. Імпульсний потенціометричний метод. Фарадеївський імпеданс. Фарадеївське випрямлення.

Інші методи дослідження. Температурно-кінетичний метод. Електрохімічна імпедансна спектроскопія. Тонкошарові методи. Ультрамикроелектроди.

ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ ВИРОБНИЦТВА. Електролітичний розклад води. Основи теорії. Отримання водню.

Електроліз розплавлених сполук. Електрохімічне виробництво металів, які не можна отримати електролізом водних розчинів електролітів (алюміній, магній, лужні та лужноземельні метали). Специфіка електродних процесів при електролізі розплавлених електролітів.

Гальванотехніка. Типи гальванічних покриттів. Розсіювача здатність електролітів. Функціональна гальванотехніка. Електрохімічне оксидування металів і сплавів. Електрохімічне полірування. Електрохімічна розмірна обробка.

Гідроелектрометалургія. Загальні відомості. Електрохімічні методи вилучення металів із розчинів. Електрорафінування. Електроліз з твердими та рідкими електродами. Типи електролізерів. Електрохімічні процеси в металургії цинку, кадмію, хрому, міді, мангану, благородних металів.

Електрохімічний синтез неорганічних сполук. Синтез кисневих сполук сірки, хлору, мангану. Електрохімічний синтез органічних сполук.

Електрохімічні технології для мікроелектроніки. Синтез нанорозмірних матеріалів. Наноелектрохімія і нанотехнологія. Електрохромні пристрої.

Екологічні аспекти електрохімічних технологій. Електрохімічні методи очищення води.

ЗРАЗОК ЗАВДАНЬ

Білет №1

1. Основні поняття методу рентгенівської спектроскопії, частотний діапазон. Залежність рентгенівського випромінювання від будови атома, закон Мозлі. Рентгенівські спектри при якісному, кількісному аналізі речовин, при визначенні зарядів атомів. Рентгенодифракційний метод аналізу: якісний аналіз, структурні дослідження. Методи вирощування монокристалів та їх класифікація. Радіоспектроскопія – метод електронного парамагнітного та ядерного магнітного резонансу. Основні положення, основні методики дослідження та характер методів. Основи гама-спектроскопії. Ефект Мессбауера. Актиноїди. Характеристика елементів. Місце в періодичній системі. Добування і розділення. Фізичні та хімічні властивості простих речовин.
2. Перший закон термодинаміки. Внутрішня енергія та ентальпія як функції стану. Теплота та робота різноманітних процесів.
3. Основні положення класичної теорії електролітичної дисоціації. Хімічні рівноваги в розчинах електролітів. Буферні властивості розчинів. Осмотичні властивості розчинів. Термохімічні ефекти в розчинах електролітів. Водні та неводні розчини електролітів. Недоліки теорії електролітичної дисоціації.

Білет №2

1. Інфрачервоні спектри. Силова константа. Використання інфрачервоних спектрів для визначення будови сполук. Основні поняття методу оптичної спектроскопії, частотний діапазон коливальних, обертальних та електронних спектрів. Підгрупа титану. Характеристика елементів. Фізичні та хімічні властивості простих речовин. Відношення до кисню, води, кислот і лугів. Оксиди та гідроксиди. Особливості будови та властивості. Солі: титанати, цирконати, гафнати. Властивості солей. Сполуки з неметалами. Галогеніди. Оксогалогеніди. Галогенокомплекси. Халькогеніди. Порівняння властивостей елементів підгрупи титану та їх сполук з властивостями елементів підгрупи вуглецю.
2. Фотохімічні і хімічні реакції. Закони поглинання світла. Молекулярна екстинкція. Закон фотохімічної еквівалентності Ейнштейна. Квантовий вихід фотохімічних та фотоелектрохімічних реакцій.
3. Термодинаміка електрохімічних систем. Взаємозв'язок електричної енергії, термодинамічного потенціалу та теплового ефекту в зворотних електрохімічних системах. Рівняння Гібса–Гельмгольца. Незворотні електрохімічні системи.

Білет №3

1. Метод молекулярних орбіталей, основна ідея та положення. Зв'язуючі та антизв'язуючі молекулярні орбіталі. Порівняння методу валентних зв'язків та молекулярних орбіталей. Підгрупа міді. Характеристика елементів, фізичні та хімічні властивості металів. Відношення до кисню, кислот і лугів. Принципи добування. Кислотно-основні властивості. Відношення до води, кислот, лугів. Галогеніди, нітрати, сульфати, карбонати. Здатність до утворення катіонної та аніонної форм, комплексоутворення. Галогено-, ціано-, аміно-, аквакомплекси. Порівняльна характеристика елементів головної та побічної підгруп.

2. Адсорбція. Види адсорбції. Ізотерма, ізобара адсорбції. Рівняння Ленгмюра.
3. Сучасні поняття про сольватацію та гідратацію іонів. Енергетика процесів сольватації та гідратації. Емпіричні теплоти гідратації. Термодинамічні та модельні методи розрахунку енергії гідратації іонів. Хімічна та реальна енергії гідратації. Числа гідратації іонів.

Білет №4

1. Окисно-відновні реакції. Характеристики окисно-відновних реакцій, процеси окислення, відновлення. Важливіші окисники, відновники. Окисно-відновний механізм речовин. Внутрішньо-молекулярні окислення та відновлення, самоокислення-самовідновлення. Лантаноїди. Характеристика елементів. Місце в періодичній системі. Фізичні та хімічні властивості простих речовин. Відношення до кисню, води, кислот. Добування й розділення. Найважливіші сполуки. Оксиди. Гідроксиди, зміна їх кислотно-основних властивостей у родині. Солі. Сполуки з неметалами та металами. Застосування лантаноїдів та їх сполук.
2. Другий закон термодинаміки. Ентропія як функція стану. Різноманітні формулювання і обґрунтування другого закону термодинаміки (Карно-Клаузіус, Каратеодорі).
3. Класифікація електродів. Електроди першого та другого роду. Газові електроди. Окисно-відновні електроди. Скляний електрод. Електроди порівняння для водних та розплавлених електролітів. Електрохімічні сенсори. Іон-селективні електроди.

Білет №5

1. Квантовий характер випромінювання та поглинання енергії. Хвильовий характер руху мікрочастинок, співвідношення де-Бройля. Принцип невизначеності (Гейзенберг). Підгрупа бору. Загальна характеристика. Будова атомів. Валентність і ступені окислення. Характеристика елементів. Зміна в підгрупі атомних та іонних радіусів, іонізаційних потенціалів і електронегативності. Зміна металічного та неметалічного характеру. Фізичні та хімічні властивості бору. Відношення до кисню, води, кислот і лугів. Добування і застосування. Сполуки бору, особливості хімічних зв'язків, стійкість і реакційна здатність.
2. Основні поняття хімічної кінетики. Прості та комплексні реакції, молекулярність та швидкість простої реакції. Порядок і молекулярність реакцій. Основний постулат хімічної кінетики. Способи визначення швидкості реакції. Кінетичні криві. Кінетичні рівняння. Константа швидкості та порядок реакції. Реакції змінного порядку.
3. Теорія конденсованого подвійного шару. Ємність подвійного шару. Залежність ємності від потенціалу електрода, складу і концентрації розчину. Модельні уявлення про будову подвійного шару (моделі Гуї-Чапмена, Штерна і Грема, ефект Єсіна-Маркова). Сучасні уявлення про будову подвійного електричного шару.

Білет №6

1. Поняття про геохімію (Вернадський). Хімічний склад земної кори, розповсюдженість основних елементів (атмосфера, гідросфера, літосфера). Зв'язок розповсюдження хімічних елементів з будовою атомних ядер та електронною оболонкою атомів. Правило Менделєєва, Оддон Гаркінса, закон Гольдшмідта. Підгрупа мангану. Зміна в підгрупі атомних та іонних радіусів, іонізаційних потенціалів і електронегативності. Зміна хімічних властивостей. Фізичні та хімічні властивості простих речовин. Добування і застосування. Оксиди і гідроксиди. Стійкість, кислотно-основні та окисно-відновні властивості. Солі мангану. Манганіти.
2. Закон діючих мас. Ізотерма рівноваги Вант-Гоффа і її застосування для гомогенних і гетерогенних систем. Залежність константи рівноваги від температури.
3. Стадійність електрохімічного акту. Основні кінетичні характеристики електрохімічної стадії. Стум обміну та коефіцієнт переносу. Порядок електрохімічних реакцій та стехіометричні числа. Теоретичні уявлення про елементарний акт переносу електрона в гомогенних і гетерогенних редокс-процесах.

Білет №7

1. Кристалічний стан. Елементи симетрії кристалів. Елементарна ґратка. Класи симетрії. Точкові групи симетрії. Ґратки Браве. Просторові групи симетрії. Основні структурні типи неорганічних речовин. Поліморфні модифікації. Зонна теорія кристалів. Діелектрики лінійні, нелінійні, напівпровідники n- та p-типів. Силіцій. Поширеність силіцію. Основні силіційвмісні мінерали - кварц, силікати. Кристалічна будова силіцію. Одержання силіцію. Фізичні та хімічні властивості силіцію. Напівпровідникові властивості силіцію. Сполуки силіцію з металами та неметалами. Силіциди. Сполуки силіцію з вуглецем, сіркою та азотом. Силани, їх будова та властивості. Оксиди силіцію. Силікатна кислота та її солі. Колоїди, гелі. Силікагель. Гетерополікислоти силіцію та їх солі.
2. Фазові переходи другого роду. P-T діаграма стану гелію. Зміна ентропії, теплоємності та ентальпії при переході II роду. Рівняння Еренфеста.
3. Електропровідність розчинів електролітів. Методи визначення електропровідності. Питома та молярна електропровідність. Закони Кольрауша. Взаємозв'язок електропровідності з властивостями електролітів та природою розчинника. Вплив концентрації, температури та тиску на електропровідність розчинів електролітів. Інтерпретація явищ електропровідності електролітів. Класична теорія.

Білет №8

1. Основні положення теорії кристалічного поля. Енергетична діаграма розщеплення d-орбіталей комплексоутворювача в кристалічному полі октаедричного комплексу. Параметр розщеплення і його співвідношення з енергією спаровування електронів на орбіталах центрального іона. Германій, олово, свинець. Поширеність, знаходження у природі. Мінерали олова та свинцю. Одержання германію, його фізичні та хімічні властивості. Германій у напівпровідниковій техніці. Одержання олова та свинцю. Практичне значення їх сполук. Хімічні властивості елементів підгрупи германію.

2. Каталіз. Основні поняття. Механізми кислотного та основного каталізу. Функція кислотності Гаммета. Рівняння Бренстеда.
3. Будова подвійного шару при адсорбції поверхнево-активних речовин. Фізична та хімічна адсорбції. Особливості будови подвійного електричного шару на межах напівпровідник-розчин та метал-розплав. Методи дослідження подвійного електричного шару. Подальший розвиток теорії будови подвійного електричного шару.

Білет №9

1. Підгрупа азоту. Загальна характеристика. Будова атомів. Валентність і ступені окислення. Характеристика елементів. Зміна в підгрупі атомних та іонних радіусів, іонізаційних потенціалів, спорідненості до електрона і електронегативності. Зміна металічного характеру. Особливості азоту. Прості речовини, особливості будови. Схильність фосфору, арсену і стибію до утворення полімерних структур. Хімічний зв'язок у молекулі азоту. Поліморфні модифікації аналогів азоту і особливості їх будови. Хімічні властивості. Водневі сполуки. Будова молекул. Зміна стійкості, реакційної здатності та відновних властивостей. Іони амонію і фосфонію. Аміак. Амінокомплекси. Солі амонію. Аміді, іміді, нітриди. Реакції окислення, застосування амоніаку. Хімічні властивості.
2. Випромінювання і поглинання світла атомами та молекулами. Електронна, коливальна та оберտальна складові рівнів енергії. Основні поняття про молекулярну спектроскопію. Ймовірність переходів та правила відбору при переходах між різними квантовими станами молекул. Взаємозв'язок спектрів молекул з їх будовою. Визначення структурних характеристик молекул із спектроскопічних даних.
3. Електрокінетичні та електрокапілярні явища. Основи теорії електрокапілярних явищ. Поверхневий натяг і рівняння Гіббса. Загальне рівняння електрокапілярності.

Білет №10

1. Вуглець. Знаходження у природі, поширеність у органічному та неорганічному світі. Особливість електронної будови атома вуглецю, що зумовлює здатність утворення зв'язків вуглець-вуглець різної кратності та зв'язків його з іншими елементами. Алотропія (алмаз, графіт, карбін). Аморфний вуглець. Застосування алмазів, графіту й сажі. Хімічні властивості вуглецю. Сполуки вуглецю з воднем, сіркою, азотом. Ціан. Ціано-водень та ціанідна кислота. Ціаніди. Галогено- й аміноціани. Халькогенціани та їх похідні. Ціанатна, тіоціанатна та селеноціанатна кислоти, їх солі. Оксиди вуглецю. Одержання, властивості, застосування. Карбоніли. Карбонатна кислота та її солі.
2. Гетерогенний каталіз. Визначення швидкості гетерогенної каталітичної реакції. Селективність каталізаторів. Роль адсорбції в кинетиці гетерогенних каталітичних реакції. Енергія активації гетерогенних каталітичних реакції.
3. Дифузія в розчинах електролітів. Основні закони молекулярної дифузії. Закони Фіка. Характер міжіонних взаємодій при дифузії електролітів. Дифузійний потенціал. Термодинамічна інтерпретація дифузійних потенціалів. Теорія Планка та Гендерсона.

Білет №11

1. Розвиток уяви про будову атома (Демокрит, Праут, Менделєєв). Радіоактивність (Беккерель, Марія Кюрі-Склодовська, Резерфорд). Поняття про електрон, протон, нейтрон. Теорія будови атома по Томсону, Резерфорду, Бору. Постулати Бора. Спектр атома водню, енергетична діаграма та переходи електрону атома водню. Підгрупа цинку. Характеристика елементів. Зміна атомних та іонних радіусів, іонізаційних потенціалів і електронегативності. Схильність до комплексоутворення. Фізичні і хімічні властивості простих речовин. Відношення до кисню, води, кислот і лугів. Амальгами. Знаходження в природі, добування і застосування. Оксиди і гідроксиди. Властивості.
2. Гомогенний каталіз. Властивості каталізаторів. Каталітична активність та селективність. Основні типи гомогенного каталізу. Металокомплексний та кислотно-основний каталіз.
3. Перетворення хімічної енергії в електричну. Хімічні джерела струму. Електрохімічні характеристики хімічних джерел струму (ЕРС, внутрішній опір, напруга, питома потужність, ємність, саморозряд, коефіцієнт віддачі, строк служби). Види хімічних джерел струму.

Білет №12

1. Предмет хімії, її місце серед природничих наук. Основні етапи розвитку неорганічної хімії та екологічні наслідки для довкілля. Значення неорганічної хімії для господарства, економіки України. Халькогеніди. Будова молекул. Термічна стійкість. Фізичні і хімічні властивості, Зміна відновної активності і кислотного характеру. Сірководень і сірководнева кислота. Халькогеніди: середні і кислі. Добування і застосування халькогенідів. Поліхалькогеніди. Халькогеніди як напівпровідники. Сульфідні неметалів і металів. Кисневмісні сполуки халькогенів. Оксиди халькогенів та їх похідні, особливості будови оксидів. Відношення до води, кислот і лугів. Окисно-відновні властивості. Застосування сіркового газу і його вплив на довкілля.
2. Розчини електролітів. Іон-дипольна взаємодія як основний процес, який визначає стійкість розчинів електролітів. Коефіцієнти активності в розчинах електролітів. Середня активність та середній коефіцієнт активності, їх взаємозв'язок з активністю окремих іонів.
3. Загальна характеристика іонних рідин та твердих електролітів, області використання. Явища масопереносу в іонних рідинах та твердих електролітах. Будова іонних рідин та їхня електропровідність. Модельні уявлення про перенос в іонних рідинах та твердих електролітах

Білет №13

1. Основні положення координаційної теорії Вернера, центральний атом та ліганди, зовнішня та внутрішня сфери, координаційне число центрального атома, координаційна ємність лігандів. Просторова інтерпретація координаційного числа. Природа хімічного зв'язку в комплексних сполуках. Будова координаційних сполук. Ізомерія комплексних сполук. Уявлення про теорію кристалічного поля та поля лігандів. Типи координаційних сполук. Підгрупа галогенів. Загальна характеристика. Будова атомів. Валентність і ступені окислення. Характеристика елементів. Фізичні та хімічні властивості простих речовин.

- Відношення до води, лугів, металів і неметалів. Токсичність галогенів. Форми знаходження галогенів у природі. Способи добування. Застосування галогенів
2. Метали та напівпровідники. Зонна структура енергетичного спектра кристаллів. Поверхня Ферми. Різні види провідності, електронна і діркова провідність.
 3. Електроліз розплавлених сполук. Електрохімічне виробництво металів, які не можна отримати електролізом водних розчинів електролітів (алюміній, магній, лужні та лужноземельні метали). Специфіка електродних процесів при електролізі розплавлених електролітів. Електроди порівняння для водних та розплавлених електролітів.

Білет №14

1. Водень та його сполуки. Особливості будови атома водню. Водень у природі. Його одержання та властивості. Оводні та їх класифікація. Гідриди. Вода - одержання, властивості та застосування. Пероксодень. Одержання пероксодню, фізичні та хімічні властивості застосування.
2. Швидкість хімічної реакції та її визначення. Константа швидкості хімічної реакції та її залежність від концентрації реагентів і температури. Рівняння Арреніуса, його класичне та сучасне трактування.
3. Сучасні поняття про сольватацію та гідратацію іонів. Енергетика процесів сольватації та гідратації. Емпіричні теплоти гідратації. Термодинамічні та модельні методи розрахунку енергії гідратації іонів. Хімічна та реальна енергії гідратації. Числа гідратації іонів. Ентропії сольватації іонів. Протолітична теорія кислот і основ. Кислотно-основні рівноваги в розчинах.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Загальна хімія: Підручник/ Панасенко О. І., Голуб А. М., Андрійко О. О., Василега-Дерибас М. Д., Панасенко Т.В. та ін. – Запоріжжя 2016. - 462с.
2. Каменська Т.А., Рудницька Г.А., Пономарьов М.Є. Фізична хімія, Хімічна термодинаміка, - Київ, КПІ ім.Ігоря Сікорського, 2021. - 257с.
3. Самойленко С.О., Отрошко Н.О., Аксьонова О.Ф., Добровольська В.О.Фізична та колоїдна хімія,- Львів, 2018, -340с.
4. Брускова Д.-М.Я., Кущевська Н.Ф., Малишев В.В. Фізична та колоїдна хімія,- Університет «Україна», 2020,-530с
5. Чундак С.Ю., Барчій І.Є. Основи хімії комплексних сполук: навчальний посібник. Ужгород: Вид-во УжНУ «Говерла», 2019. 133 с. ISBN 978-617-7333-93-6
6. General and Inorganic Chemistry: textbook / V.O. Kalibabchuk, V.V. Ohurtsov, V.I. Halynska et al. 2019 – 456.
7. Волошинець Ст. А. Фізична та колоїдна хімія. Фізико-хімія дисперсних систем та полімерів. Львівська політехніка, 2017, - 260с.
8. Яцимирський В. К. Фізична хімія / В. К. Яцимирський. К.: Перун, 2007.
9. Алексеев С.О. Хімія координаційних сполук / С.О. Алексеев. – К.: ВПЦ Київський університет, 2010 – 159 с.
10. Хімія координаційних сполук / В.О. Стародуб, О.В. Берзеніна, Т.М. Стародуб, О.В. Штеменко. – Д.: ДВНЗ УДХТУ, 2016 – 286 с.
11. Загальна та неорганічна хімія : підруч. для студентів вищ. навч. закл. / Є.Я. Левітін, А.М. Бризицька, Р.Г. Ключова ; за заг. ред. Є.Я. Левітіна. — 3-тє вид. — Харків : НФаУ : Золоті сторінки, 2017. — 512 с.
12. Яворський В.Т. Неорганічна хімія: підручник. Львів: Видавництво Львівської політехніки. 2016. С. 324.
13. Ковальчук Є. П. Фізична хімія / Є. П. Ковальчук, О. В. Решетняк. Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2007.
14. Гомонай В. І. Фізична хімія / В. І. Гомонай, О. В. Гомонай. Ужгород: Патент, 2004.
15. Лебедь В. І. Фізична хімія / В. І. Лебедь. Харків: Фоліо, 2007.
16. Телегус В.С., Бодак О.І., Заречнюк О.С., Кінжибало В.В. Основи загальної хімії. Львів, Світ, 2000, 423 с.
17. Зінчук В.К., Левицька Г.Д., Дубенська Л.О. Фізико-хімічні методи аналізу. Львів.: Видавн. центр ЛНУ ім. І. Франка, 2008, 363 с.
18. Ковальчук Є.П., Решетняк О.В. Фізична хімія: Підручник. Львів:Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007, 800 с.
19. Миронюк І. Ф., Микитин І. М. Електрохімія та її практичні аспекти: навчальний посібник. – Івано-Франківськ: Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, 2016. - 174 с.
20. Lawrance, Geoffrey A. *Introduction to coordination chemistry*. John Wiley & Sons, 2013.
21. McCleverty, Jon A. *Comprehensive coordination chemistry II*. Amsterdam: Elsevier, 2003.