**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ**
**ІНСТИТУТ СОРБЦІЇ ТА ПРОБЛЕМ ЕНДОЕКОЛОГІЇ**

ЗАТВЕРДЖЕНО
Вченою радою
Інституту сорбції та проблем ендоекології НАН України
04 вересня 2018 р., протокол № 10

Директор Інституту
Чл.-кор. НАН України
_____ В.В.Брей

# ПРОГРАМА
# ВСТУПНОГО ІСПИТУ
# ДО АСПІРАНТУРИ ІНСТИТУТУ

Рівень вищої освіти: **Третій (освітньо-науковий) рівень**

Ступінь вищої освіти: **Доктор філософії**

Галузь знань: **10 Природничі науки**

Спеціальність: **102 Хімія**

Спеціалізація: **Фізична хімія**

**Київ-2018**

Програма складена відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016р. №261 «Про затвердження Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у вищих навчальних закладах (наукових установах)», за якою передбачено проведення вступного іспиту зі спеціальності (спеціалізація «фізична хімія») в обсязі програми рівня вищої освіти магістра з відповідної спеціальності, а також згідно з Умовами прийому на навчання до закладів вищої освіти України в 2018 році затверджених наказом МОН України від 13.10.2017р. №1378 та зареєстрованими в Міністерстві юстиції 14.11.2017р. за №1397/31265; наказу МОН України від 06.11.2015р. №1151 та Правилами прийому до аспірантури Інституту сорбції та проблем ендоекології Національної академії наук України, затвердженими рішенням вченої ради Інституту (протокол від 04.09.2018р. №10).

Вступний іспит спрямовано на оцінку знань та розуміння абітурієнтом основних положень фізичної хімії, загальних закономірностей, які описують хімічні перетворення та фізичні процеси, які їх ініціюють або супроводжують, а також здатності абітурієнта до логічного мислення та аналізу.

Вимоги до абітурієнта:

- розуміння фізичного змісту величин, якими він/вона оперує;
- розуміння змісту законів і формул, які він/вона наводить;
- вміння аналізувати закономірності зміни хімічних властивостей елементів і їх сполук в рядах аналогів;
- вміння прогнозувати зміни, що будуть відбуватися в системі при зміні параметрів рівнянь, що описують такі системи;
- здатність ілюструвати відповідь прикладами.

## *1. ВСТУП*

Предмет та зміст курсу фізичної хімії. Місце фізичної хімії в системі хімічних дисциплін.

## *2. ОСНОВИ ХІМІЧНОЇ ТЕРМОДИНАМІКИ*

### 2.1. Предмет, задачі та основні поняття хімічної термодинаміки.

Термодинамічна система. Параметри стану системи. Стандартні та нормальні умови. Внутрішня енергія системи. Теплота та робота як форма обміну енергією. Термодинамічні процеси. Функції стану.

### 2.2. Застосування першого закону термодинаміки до хімічних процесів.

Формулювання та аналітичний вираз першого закону термодинаміки. Ентальпія. Теплові ефекти ізохорних та ізобарвних процесів, зв'язок між ними.

Теплоємність: середня, істинна, молярна, питома.Теплоємність газів, рідин та твердих речовин. Залежність теплоємності від температури.

Термохімія. Теплові ефекти реакції. Закон Гесса. Теплота утворення речовини. Розрахунок теплового ефекту хімічної реакції за теплотами утворення учасників реакції. Теплота згорання хімічної сполуки. Розрахунок теплового ефекту хімічної реакції за теплотами згорання її учасників. Теплота розчинення. Теплота нейтралізації.

Залежність теплового ефекту від температури. Зміна теплоємності системи в результаті хімічної реакції. Закон Кірхгофа.

### 2.3. Застосування другого закону термодинаміки до хімічних процесів.

Самовільні та несамовільні процеси. Інтенсивні та екстенсивні властивості. Формулювання та аналітичний вираз другого закону термодинаміки. Ентропія. Зміна ентропії як критерій напрямку самовільних процесів та стану рівноваги в ізольованих системах. Зміна ентропії в фізичних процесах ( при нагріванні, розширенні, при фазових перетвореннях). Постулат Планка.

Абсолютна та стандартна ентропія. Зміна ентропії в ізотермічному хімічному процесі. Ентропія утворення хімічної сполуки.

Статистичний характер другого закону термодинаміки. Зв'язок між ентропією системи та її термодинамічною імовірністю.

## 2.4. Термодинамічні потенціали.

Вільна енергія. Енергія Гіббса та Гельмгольца. Максимальна корисна робота. Критерії напрямку самовільних процесів та рівноваги в хімічних системах.

Зв'язок вільної енергії з тепловим ефектом та зміною ентропії. Стандартний потенціал утворення хімічної сполуки, його зв'язок із хімічними властивостями сполук. Розрахунки зміни Гіббсової енергії в хімічній реакції.

Залежність вільної енергії від температури. Рівняння Гіббса-Гельмгольца. Розрахунки зміни енергії Гіббса в хімічному процесі при різних температурах.

Хімічниї потенціал. Зв'язок хімічного потенціалу ідеального газу з його тиском. Хімічний потенціал реального газу. Фугітивність та коефіцієнт фугітивності.

## 2.5. Хімічна рівновага.

Динамічна та термодинамічна характиристики хімічної рівноваги. Зміна стану рівноваги, як одна з найважливіших умов керування хімічним процесом.

Закон діючих мас. Термодинамічне обгрунтування закону діючих мас. Константа рівноваги та способи її виразу для газофазних ідеальних систем (Кр, Кс). Зв'язок між Кр та Кс. Залежність величини та розмірності константи рівноваги від форми запису рівняння хімічної реакції. Хімічна рівновага в гетерогенних системах.

Константа рівноваги для реальних систем. Активність учасників хімічної рівноваги. Вираз константи рівноваги через активності.

Рівняння ізотерми хімічної реакції.

Вплив зовнішніх умов (тиск, температура, додавання інертного газу) на хімічну рівновагу. Принцип Ле Шательє. Залежність константи рівноваги від температури, рівняння ізобари та ізохори хімічної реакції.

Методи розрахунку констант рівноваги.

Розрахунок складу рівноважних сумішей.

Вибір оптимальних умов проведення хімічного процесу. Способи керування хімічним процесом.

## *3. ТЕРМОДИНАМІКА ФАЗОВИХ РІВНОВАГ ТА РОЗЧИНІВ*

### 3.1. Агрегатні стани.

#### 3.1.1. Газ.

Властивості ідеального газу. Межі застосування рівняння Менделєєва-Клапейрона. Суміш ідеальних газів. Закон Дальтона. Зміна термодинамічних параметрів при утворенні суміші ідеальних газів.

Реальний газ. Рівняння Ван-дер-Ваальса. Приведене рівняння стану. Критичні температура та тиск. Властивості реального газу при високих тисках.

Основні положення кінетичної теорії газів. Розподіл молекул газу за швидкостями (енергіями) Максвелла-Больцмана.

#### 3.1.2. Рідина.

Основні властивості рідини: густина, в'язкість, їх залежність від температури. Асоційовані та неасоційовані рідини. Внутрішній тиск та стисливість рідин. Діелектична проникливість. Поверхневий натяг. Особливості будови та аномалії рідкої води.

#### 3.1.3. Твердий стан.

Кристалічні та аморфні речовини. Атомні, молекулярні та іонні кристали. Основні властивості кристалічного стану. Координація та упаковка в кристалах. Основні типи кристалічних структур. Температура плавлення твердих речовин.

Ізоморфізм, поліморфізм, алотропія.

### 3.2. Основні поняття фазових рівноваг.

Фаза, складова речовина, компонент, термодинамічні ступені свободи. Умови термодинамічної рівноваги між фазами. Правила фаз Гіббса.

### 3.3. Однокомпонентні системи.

Застосування правила фаз до однокомпонентних систем. Зміна термодинамічних параметрів при фазових перетвореннях. Рівняння Клаузіуса-Клапейрона. Теплоти фазових перетворень.

Залежність тиску насиченої пари від температури. Нормальна температура кипіння. Рівняння Клаузіуса-Клапейрона для процесів випарування та сумблімації. Розрахунки за цим рівнянням. Методи визначення теплот фазових перетворень.

Діаграми стану однокомпонентних систем. Р-Т діаграма для води, її особливості. Фазова діаграма сірки. Діаграма стану діоксиду вуглецю.

### 3.4. Двокомпонентні системи.

#### 3.4.1. Загальні властивості двокомпонентних систем.

Способи графічного зображення складу двокомпонентних систем. Зв'язок між різними способами виразу складу.

Загальна характеристика розчинів. Зміна енергії Гіббса при утворенні розчину. Класифікація розчинів: ідеальні, гранично розведені та реальні. Закон Рауля. Хімічний потенціал компонентів в ідеальних та реальних речовинах. Активність та коефіцієнт активності комонентів розчину. Рівняння Гіббса-Дюгема.

#### 3.4.2. Рівновага рідина-газ.

Розчинність газів в рідинах. Залежність розчинності від температури та тиску. Закон Генрі. Константа Генрі. Коіфіцієнт абсорбції газу.

#### 3.4.3. Рівновага між розведеним розчином нелеткої речовини та насиченою парою розчинника.

Температура кипіння розведених розчинів, її залежність від концентрації розчину. Ебуліоскопія. Ебуліоскопічна константа. Визначення молекулярної маси та їх молекулярного стану у розчинах.

#### 3.4.4. Рівновага рідина-пара в системах із двох рідин.

Тиск насиченої пари над реальними розчинами. Розрахунки складу пари. Тиск насиченої пари над реальними речовинами. Позитивне та негативне відхилення від закону Рауля, їх причини. Діаграми "тиск насиченої пари – склад" та "температура кипіння – склад" подвійних рідких систем. Закони Коновалова та їх термодинамічне обгрунтування. Азеотропні суміші. Правила Вревського. Визначення складу рівноважних фаз.

Поділ розчинів із двох рідин, що необмежно змішуються. Перегонка та ректифікація.

Тиск та склад пари над сумішшю двох взаємно нерозчинних рідин. Перегонка з водяною парою.

3.4.5. Рівновага рідина-рідина.

Система із двох рідин, що обмежено змішуються. Діаграми взаємної розчинності рідини. Критична температура розчинення. Правило Алєксєєва.

Розподіл розчинної рідини між двома рідкими фазами. Закон розподілу, його термодинамічне обгрунтування. Коефіцієнт розподілу. Фізико-хімічні основи екстракції.

3.4.6. Рівновага рідина-кристали.

Температура замерзання розведених розчинів нелетких речовин. Залежність зниження температури замерзання від концентрації розчинів. Кріоскопія визначення молекулярної маси, ступеню дисоціації та ступеню асоціації розчинених речовин кріоскопічним методом. Ізотонічний коефіцієнт. Колігативні властивості.

Розчинність твердих тіл у рідинах. Ідеальна та реальна розчинність. Залежність розчинності від температури. Рівняння Шредера.

Діаграма плавкості двохкомпонентних систем. Термічний аналіз. Криві охолодження та криві нагрівання.

Системи, компоненти яких необмежено розчиняються в рідкому і не розчиняються в твердому стані (діаграми з евтевтикою, дистектикою та з перитектикою). Діаграми розчинності твердих речовин в рідинах.

Системи з необмеженою розчинністю компонентів в рідкому та з обмеженою розчинністю в твердому стані. Діаграми плавкості систем, компоненти яких необмежно розчиняються в рідкому та твердому станах. Дальтоніди та бертоліди.

3.5. Трикомпонентні системи.

Застосування правила фаз до трикомпонентних систем. Графічне зображення складу трикомпонентної системи: методи Гіббса та Розебома. Діаграми плавкості трикомпонентних систем без хімічної взаємодії та з утворенням хімічних сполук.

## *4. ХІМІЧНА КІНЕТИКА, ПОВЕРХНЕВІ ЯВИЩА, КАТАЛІЗ*

4.1. Основні поняття хімічної кінетики.

Термодинамічний та кінетичні критерії реакційної здатності хімічної системи. Прості та складні реакції. Лімітуюча стадія.

## 4.2. Формальна кінетика.

Зв'язок між швидкістю хімічної реакції та концентраціями реагуючих речовин. Закон діючих мас. Кінетичне рівняння реакції. Константа швидкості хімічної реакції. Порядок реакції.

Кінетично необоротні реакції нульового, першого, другого та третього порядків. Кінетичні рівняння реакції, розмірність констант швидкості та формули для їх розрахунків. Час (період) напівперетворення, його залежність від концентрації в реакціях різних порядків.

Методи визначення порядку реакції (метод підстановки, графічний метод, визначення порядку реакції за часом напівперетворення, метод надлишку компонента, метод Вант-Гоффа, метод початкових швидкостей).

Кінетика складних реакцій. Принцип незалежного проходження окремих елементних стадій складного хімічного процесу. Паралельні, оборотні, послідовні, супряжені реакції.

Залежність швидкості хімічної реакції від температури. Правило Вант-Гоффа. Температурний коефіцієнт швидкості реакції. Рівняння Арреніуса. Енергія активації та методи її визначення. Енергетичні діаграми хімічних реакцій.

## 4.3. Теоретичні уявлення хімічної кінетики.

Сучасні уявлення про механізм елементарного хімічного акту. Теорія активних зіткнень. Визначення енергії активації у межах теорії активних зіткнень, її зв'язок з енергією активації Арреніуса. Стеричний фактор.

Теорія перехідного стану або активного комплексу. Рівняння залежності швидкості реакції від температури. Ентальпія та ентропія активації, їх зв'язок з енергією активації за Арреніусом та стеричним фактором.

## 4.4. Кінетика ланцюгових реакцій.

Природа ланцюгових реакцій та їх стадії: зародження, розвиток та обрив ланцюга. Нерозгалуджені та розгалуджені лацюгові реакції. Залежність швидкості ланцюгових процесів від тиску. Вплив температури на межі займання. Роботи М.М. Семенова. Ланцюгові реакції у хімічній технології.

## 4.5. Кінетика фотохімічних та радіаційно-хімічних реакцій.

Природа фотохімічних процесів. Первинні та вторинні процеси. Основні закони фотохімії. Квантовий вихід. Кінетика фотохімічних процесів. Закон Ламберта-Бера. Основні типи фотохімічних реацій (ізомеризація, приєднання, фотоліз).

Природа та механізм радіаційно-хімічних процесів. Стадія та типи цих реакцій, їх особливості. Для випромінювання високих енергій на хімічні системи та її використання в хімічній технології. Радіоліз газів, води та водних розчинів, органічних сполук. Радіаційно-хімічна полімерізація

4.6. Фізико-хімія поверхневих явищ.

4.6.1. Поверхневі явища на межі " тверде тіло –газ".

Молекулярна адсорбція газів на однорідній поверхні. Рівняння Ленгмюра. Константа рівноваги адсорбції. Полімолекулярна адсорбція на однорідній поверхні. Теорія Брунауера-Еммета-Теллера (БЕТ).

4.6.2. Термодинаміка адсорбції на неоднорідній поверхні. Причини неоднорідності поверхні. Кінетика адсорбції та десорбції газів на однорідних поверхнях. Константи швидкості та енергія активації адсорбції – десорбції.

Кінетика адсорбції на неоднорідних поверхнях.

4.6.3. Поверхневі явища на межі розподілу "рідина –газ".

Адсорбційне рівняння Гіббса. Поверхневий натиск розчинів. Поверхнево-активні речовини (ПАР).

Ізотерми адсорбції. Рівняння Генрі, Шишковського, Ленгмюра. Будова адсорбційного шару.

Поверхня розподілу " тверде тіло – рідина".

Явище та теплота змочування. Методи визначення крайового кута.

Адсорбція із розчинів неелектролітів та електролітів. Правило Паннета-Фалиса. Первинна та вторинна адсорбція проти іонів. Іонний обмін. Рівняння Нікольського.

Практичне застосування поверхневих явищ і адсорбції.

4.7. Кінетика гетерогенних процесів.

Специфіка та основні стадії гетерогенних процесів. Дифузія. Закон Фіка. Коефіцієнт дифузії, його залежність від температури. Стаціонарний та нестаціонарний режим гетерогенних процесів. Дифузійна та кінетична області гетерогенних хімічних процесів. Вплив температури та перемішування на швидкість гетерогенного

процесу. Експериментальне визначення твердих тіл у рідинах, металів у кислотах.

Топохімічні реакції. Ступінь перетворення. Кінетика топохімічних реакцій. Зміна ступеню перетворення та швидкості реакції впродовж часу.

4.8. Каталіз.

Загальні особливості каталізу та властивості каталізаторів (каталіз та хімічна рівновага, активність, селективність каталізаторів). Вплив каталізаторів на кінетичні параметри реакцій. Типи каталізу (гомогенний, гетерогенний, автокаталіз).

Механізм та енергетичні діаграми гомогенного каталізу. Види гомогенного каталізу. Кислотно-основний каталіз.

Особливості гетерогенно-каталітичних процесів. Стадії гетерогенного каталізу. Роль хемосорбції у каталітичному акті. Природа активних центрів та поверхневих проміжних сполук. Промотування та отруєння каталізаторів. Механізм та енергетичні діаграми гетерогенного каталізу.

Мультиплетна теорія Баландіна.

## *5. ЕЛЕКТРОХІМІЯ.*

5.1. Рівновага у розчинах електролітів.

Основні положення теорії електролітичної дисоціації. Класифікація електролітів. Константа та ступінь електролітичної дисоціації. Закон розведення Освальда. Електролітична дисоціація води, pH розчинів. Гідроліз, константи гідролізу. Буферні розчини.

Іон-іонні взаємодії у рочинах електролітів. Механізми утворення іонів у розчинах. Загальна схема рівноваг у розчинах електролітів. Вплив хімічних та фізичних властивостей розчинника на силу електроліту.

Іон-іонні взаємодії у розчинах електролітів. Активність та коефіцієнт активності електроліту. Іонна сила розчину. Правило іонної сили. Зв'язок коефіцієнта активності електроліту з іонною силою розчину. Теорія сильних електролітів Дебая-Хюккеля. Іонна атмосфера. Зв'язок середнього іонного коефіцієнта активності сильних електролітів з іонною силою розчинів. Іон-іонна взаємодія у концентрованих розчинах, асоціація іонів.

5.2. Електрична провідність (електропровідність) розчинів електролітів.

Питома та молярна електропровідність. Залежність питомої та молярної електропровідності слабких та сильних електролітів від концентрації та температури. Гранична молярна електропровідність, методи її визначення. Рухливість іонів, її залежність від температури, природи іонів та в'язкості розчинника. Закон незалежного руху іонів Кольрауша. Число переносу та методи їх визначення. Аномальні числа переносу.

Теорія електропровідності сильних електролітів Дебая-Хюккеля-Онзагера. Коефіцієнт електропровідності. Електрофоретичний та релаксаційний ефекти, їх вплив на електропровідність. Рівняння Дебая-Хюккеля-Онгазера. Естафетний (прототропний) та електро-іонний механізм переносу струму в розчинах.

Кондуктометрія. Методи вимірювання електропровідності розчинів електролітів. Кондуктометричний метод визначення ступеню дисоціації та константи дисоціації. Експериментальне визначення іонних рухливостей. Визначення розчинності важкорозчинних речовин за кондуктометричними данними. Кондуктометричне титрування.

## 5.3. Електрорушійні сили (ЕРС) та електродні потенціали.

Механізм виникнення електродних потенціалів. Подвійний електричний шар. Потенціал ЕРС електрохімічної системи.

Стандартні електродні потенціали. Електрохімічний ряд напруг. Класифікація електродів. Електроди – першого та другого ряду (газові, окислювально-відновні, хінгідронний електрод, скляний електрод). Залежність електродних потенціалів від активності іонів, що визначають потенціал.

Основні типи гальванічних ланцюгів (хімічні та концентраційні). Дифузійний потенціал, механізм його виконання та залежність від активності та природи електролітів. Методи врахування та усунення дифузійних потенціалів. Ланцюг без переносу та з переносом.

Методи вимірювання РЕС гальванічних елементів та електродних потенціалів. Електроди порівняння. Елемент Вестона. Термодинаміка гальванічного елемента. Визначення напрямку та термодинамічних параметрів хімічної реакції, що проходять у гальванічному елементі. Розрахунок констант рівноваги електрохімічних процесів.

Потенціомерія. Визначення добутку розчинності важкорозчинних речовин потенціометричним методом.

Потенціометричне визначення pH розчинів. Потенціометричне титрування.

5.4. Нерівноважні електродні процеси.

Електродні процеси при електролізі. Закони електролізу Фарадея. Вихід продуктів електролізу за струмом. Порізні порушення законів електролізу, їх причини.

Електродна поляризація, її види. Перенапруга, застосування цього явища в електролізі. Рівняння Тафеля. Напруга розкладу електроліту.

Застосування електролізу в промисловості (гідроелектрометалургія, рафінування металів, електролітичне отримання хлору та лугів, неорганічний та органічний електросинтез).

Хімічне джерело струму; вимоги, що до них висуваються. Елемени та акумулятори.

Корозія. Механізм електрохімічної корозії. Способи захисту від корозії: захисні покриття, катодний та протекторний захист, пасивування металів. Інгібітори корозії.

## *6. ЕЛЕМЕНТИ ВЧЕННЯ ПРО БУДОВУ РЕЧОВИНИ.*

6.1. Деякі питання будови атома та атомного ядра.

Енергія зв'язку нуклонів в ядрі. Оболонкова модель ядра. Принципи класифікації стабільних ізотопів. Розповсюдженність стабільних ізотопів. Закон сталості ізотопного складу.

Природна радіоактивність. Природні радіоктивні елементи в періодичній системі хімічних елементів. Легкі, середні та важкі природні радіоактивні елементи. Природна радіоактивність – загальна властивість матеріального світу.

Штучна радіоактивність. Основні типи ядерних реакцій, схеми їх запису. Термоядерні процеси.

6.2. Хімічний звязок.

Електронні конфігурації атомів. Атомні радіуси. Потенціали іонізації та спорідненість до електрона, їх залежність від порядкового номера елемента. Електронегативність.

Ковалентний зв'язок. Полярний зв'язок. Донорно-ацепторний зв'язок.

Іонний зв'язок. Іонні радіуси; їх зміна в групах та періодах. Іонний в'язок, його енергія. Рівняння Капустинського.

Металічний зв'язок. Водневий зв'язок. Катенановий та клатратний зв'язок.

6.3. Полярні властивості молекул.

Електричний дипольний момент, його зв'язок з будовою молекули та ступенем полярності. Поляризація: орієнтаційна, деформаційна, молярна. Здатність до поляризації. Зв'язок поляризації з дипольним моментом. Рефракція – питома та молекулярна. Адитивність рефракції. Застосування методу рефракції у хімії.

6.4. Спектроскопія.

Спектр електромагнітних коливань. Типи взаємодії випромінювання з речовиною: заломлення, розсіяння, поляризація, поглинання.

6.4.1. Спектроскопія в видимій та ультрафіолетовій областях спектру.

Атомно-адсорбційна спектроскопія. Елементний аналіз. Спектри дзеркального та дифузійного відображення. Фазовий аналіз за спектрами дифузійного відображення. Люмінісцентний аналіз.

Молекулярні спектри поглинання. Основні типи спектральних приладів оптичного діапазону: полум'яні спектрометри, спектрометри з дифраційною решіткою, лазерні спектрографи.

6.4.2. ІЧ-спектроскопія.

Валентні та деформаційні коливання атомів в молекулі. Коливальні спектри. Спектроскопія комбінованого розсіяння світла.

6.4.3. Радіоспектроскопія.

Обертальні спектри.

Магнітні моменти електрона та ядра.

Електронний парамагнітний резонанс. ЕПР-спектроскопія. Діагностика вільних радикалів.

Ядерний магнітний резонанс (ЯМР). ЯМР-спектроскопія.

6.4.4. Ренгенівська спектроскопія.

Електронна спектроскопія для хімічного аналізу (ЕСХА). Ренгенівські спектрометри та спектрометри ЕСХА. Елементний аналіз. Визначення валентного стану атомів.

6.4.5. Мас-спектроскопія.

Природа мас-спектрів. Застосування мас-спектроскопії: визначення ізотопного складу речовини, складу сумішей, будови органічних речовин.

***ЛІТЕРАТУРА***


1. Стромбрерг А.Г., Семченко Д.И., Физическая химия. М., 1988.
2. Эткинс П. Физическая химия. – Т. 1-2. – М.: Мир, 1980.
3. Физическая химия / Под ред. К. С. Краснова – М.: Высшая школа, 1982.
4. Яцимирський В. К. Фізична хімія рівноважних систем. К., 1992.
5. Яцимирський В. К. Фізична хімія. К.: Перун, 2007.
6. Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии. М., 1975.
7. Воюцкий С.В. курс коллоидной химии. М., 1975.
8. Панченков Г. М., Лебедев В. П. Химическая кинетика и катализ. М.: Химия, 1985.
9. Дамаскин Б. Б., Петрий О. А., Цирлина Г. А. Электрохимия. М.: Химия, 2001.
10. Антропов Л. І. Теоретична електрохімія. К.: Вища школа, 1993.