

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

ЗАТВЕРДЖЕНО

Вченою радою Інституту загальної та неорганічної хімії
ім. В.І. Вернадського НАН України

протокол № 9

від « 4 » жовтня 2024 року

Голова Вченої ради Інституту

 Сергій СОЛОПАН



РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ (СИЛАБУС)

ОСНОВИ ТЕОРЕТИЧНОЇ ЕЛЕКТРОХІМІЇ

(назва навчальної дисципліни)

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

Галузь знань: **10 Природничі науки**

Спеціальність: **102 Хімія**

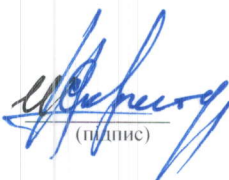
Освітньо- наукова програма: **Неорганічна і координаційна хімія, фізична хімія, електрохімія**

Київ
2024

Робоча програма навчальної дисципліни
«Основи теоретичної електрохімії» - Київ, 2024. – 18 с.

РОЗРОБНИКИ РОБОЧОЇ ПРОГРАМИ:

Скриптун Ігор Миколайович, завідувач відділу Хімічного та інформаційного аналізу Інституту загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України, кандидат хімічних наук



(підпис)

Погоджено із гарантом ОНП



Анатолій ОМЕЛЬЧУК

Програму затверджено на засіданні Вченої ради
Інституту загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України
протокол № 9
від «4» жовтня 2024 року

Вчений секретар Інституту



Людмила ЛИСЮК

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Характеристика навчальної дисципліни
Загальна кількість: кредитів – 2 годин – 60 змістових модулів – 2	Обов'язкова
	Рік підготовки: 2-й курс
	Лекції: 16 годин.
	Практичні: 8 годин.
	Лабораторні: —
	Консультації: 4 год
	Самостійна робота: 32 годин.
	Форма підсумкового контролю: <i>Іспит</i>

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета навчальної дисципліни «Основи теоретичної електрохімії:

- формування сучасного рівня знань в області теоретичної електрохімії, що дозволяє ефективно використовувати їх для всебічного дослідження найрізноманітніших електрохімічних явищ та процесів і створення на їх основі нових технологічних процесів та матеріалів;
- поглиблення знань про фізичний зміст електрохімічних явищ та процесів, отриманих із курсів фізичної хімії та електрохімії, інших навчальних дисциплін.

Завдання навчальної дисципліни є:

сформувати у аспірантів розуміння фізичного змісту та природи електрохімічних явищ та процесів, вміння правильно підбирати інформативні методи їх кількісного та якісного дослідження, а також узагальнювати та інтерпретувати отримані результати.

Предметом дисципліни: є закони взаємодії та взаємозв'язки хімічних та електричних явищ, закономірності перенесення заряду (електронів) через межу розділу фаз різних хімічних речовин та сполук, виявлення та аналіз функціональних залежностей між переносом заряду та електричними струмами, які використовують, або які виникають у таких процесах. Ця дисципліна є фундаментом та теоретичною базою підготовки фахівців з електрохімії різної спеціалізації. Вона сприяє формуванню у здобувачів третього освітньо-наукового рівня вищої освіти широкого наукового кругозору, спрямована на розширення знань в області природничих наук. Сучасна теоретична електрохімія охоплює такі взаємопов'язані наукові напрямки досліджень, як теорія розчинів, у тому числі твердих, розплавлених та неводних, будова межі розділу фаз електрод/електроліт, термодинаміка та кінетика електродних процесів, електрокаталіз, джерела струму, електрокристалізація, електрохімічний синтез, біоелектрохімія, тощо.

Процес вивчення дисципліни спрямований на формування елементів наступних компетентностей:

а) загальні компетенції:

ЗК1, ЗК3, ЗК4, ЗК6, ЗК8

б) спеціальні компетенції:

СК1, СК6, СК7.

Програмні результати навчання (ПРН): ПРН 2, ПРН 4, ПРН 9, ПРН 12, ПРН 14, ПРН 15, ПРН 16, ПРН 20.

Згідно з вимогами до освітньо-професійної програми підготовки докторів філософії, аспіранти після засвоєння даної навчальної дисципліни повинні **знати**:

- сучасний стан теорії електролітів її значення для аналізу та інтерпретації електрохімічних явищ;
- закономірності переносу заряду та природу електрохімічних процесів в розплавлених та твердих електролітах, їх роль та значення в сучасній науці та техніці;
- термодинаміку електрохімічних систем (оборотних, необоротних);
- сучасні уявлення про будову подвійного шару та адсорбційні явища на межі розділу фаз;
- основи електрохімічної кінетики;
- деякі актуальні проблеми сучасної електрохімії

та **вміти** використовувати набуті знання при вирішенні практичних задач сучасної електрохімії, а саме:

- планувати та вирішувати завдання власного професійного та особистого розвитку;
- самостійно здійснювати науково-дослідну діяльність в області електрохімії з використанням сучасних методів досліджень та інформаційно-комунікаційних технологій;
- виконувати критичний аналіз та оцінку сучасних наукових досягнень, генерувати нові ідеї при вирішенні дослідницьких та практичних задач в області електрохімії;
- приймати участь в роботі творчих колективів (у тому числі міжнародних) та/або вміти створювати такі колективи для вирішення актуальних проблем сучасної електрохімії.

Міждисциплінарні зв'язки.

Навчальна дисципліна «**Основи теоретичної електрохімії**» належить до циклу дисциплін професійної підготовки здобувачів третього освітньо-наукового рівня вищої освіти.

Необхідною умовою засвоєння даної дисципліни є володіння загальноосвітніми курсами з філософії та методології науки, фізики, хімії, фізичної хімії, хімії поверхневих явищ, колоїдної хімії, математики, інформатики, тощо, які вивчають у вищих навчальних закладах при підготовці бакалаврів, спеціалістів та магістрів по спеціальності «Хімія».

Дана дисципліна є основою для засвоєння поглиблених курсів, таких як, «Електрохімічна кінетика», «Вступ до електрохімічної кінетики», «Теоретичні

основи електрохімічного аналізу», «Прикладна електрохімія», «Теоретичні основи електрохімії іонних розплавів», а також спеціальних курсів з електрохімії:

- хімічні джерела струму, фотоелектрохімія та суперконденсатори;
- функціональна гальванотехніка та електрохімічна обробка поверхні;
- екологічні проблеми гальванічних виробництв та екологічна електрохімія;
- електрохімія мембран, пористих електродів та іонообмінних матеріалів;
- тонкошарова електрохімія;
- електрохімічний синтез та електрохімічне матеріалознавство;
- піроелектрометалургія;
- електрохімія твердих та іонних електролітів;
- електрохімічні аспекти водневої енергетики;
- біоелектрохімія

Освоєння даної дисципліни дає теоретичну підготовку, необхідну для розуміння та подальшого вивчення різноманітних електрохімічних процесів, необхідне для аналізу та узагальнення отриманих результатів експериментальних досліджень, є основою формування знань та навичок необхідних для ефективної дослідницької роботи.

3. Зміст навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. «СУЧАСНИЙ СТАН ТЕОРІЇ ЕЛЕКТРОЛІТІВ»

Тема 1. Теорія електролітичної дисоціації.

Основні положення класичної теорії електролітичної дисоціації електролітів. Водні та неводні розчини електролітів. Осмотичні властивості розчинів електролітів. Термохімічні ефекти в розчинах електролітів. Хімічні рівноваги. Електролітична дисоціація води. Буферні властивості розчинів. Іонні рівноваги. Недоліки класичної теорії електролітичної дисоціації.

Тема 2. Йон-дипольні та йон-йонні взаємодії в розчинах електролітів.

Міжйонні взаємодії в розчинах електролітів. Поняття про активність та коефіцієнт активності. Експериментальні методи визначення коефіцієнтів активності. Іонна сила розчину. Коефіцієнти активності розчинів електролітів малих та великих концентрацій. Термодинамічні основи теорії міжйонних взаємодій. Іонна асоціація в розчинах електролітів. Сучасний стан теорії розчинів електролітів.

Сучасні поняття про сольватацію та гідратацію іонів. Йон-дипольні взаємодії та причини стійкості розчинів електролітів. Енергетика процесів сольватації та гідратації. Емпіричні теплоти гідратації. Термодинамічні та модельні методи розрахунку енергії гідратації іонів. Кислотно-основні рівноваги в розчинах. Сучасні уявлення про кислоти та основи. Роль сольватації і асоціації в розчинах електролітів. Вплив йонної сили розчину на швидкість іонних реакцій

Тема 3. Нерівноважні явища в розчинах електролітів.

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. Теоретичне тлумачення чисел переносу. 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 міжйонних взаємодій при дифузії електролітів. Дифузійний потенціал. Термодинамічна інтерпретація дифузійних потенціалів. Теорія Планка та Гендерсона.

Тема 4. Розплавлені 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. Класифікація твердих електролітів. Багатокомпонентні розплави. Модельні уявлення про перенос в іонних рідинах та твердих електролітах. Тверді електроліти – аналоги рідких розчинів електролітів. Матеріали із змішаною провідністю. Подвійний електричний шар на межі електрод/розплав та електрод/твердий електроліт.

Змістовий модуль 2. «ТЕРМОДИНАМІКА ТА КІНЕТИКА ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ»

Тема 1. 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. Хімічний потенціал. Термодинаміка гальванічного елементу; рівняння Гіббса-Гельмгольца.

Стрибки потенціалу на межі суміжних фаз. Електродний потенціал. Електрорушійна сила. Контактний потенціал на межі двох металів. Класифікація електродів. Електроди порівняння для водних та розплавлених електролітів. Електрохімічні сенсори. Іон-селективні електроди.

Принципи класифікації електрохімічних кіл. Концентраційні кола. Фізичні кола. Хімічні кола. Потенціометрія. Напруга розкладу електроліту. Явище

деполяризації при розряді іонів металів на катоді. Варіанти використання хімічних кіл як джерел електричної енергії.

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.

Тема 2. Подвійний електричний шар та явища адсорбції на межі розділу фаз електрод/розчин електроліту.

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. Проблеми потенціалу Вольта і абсолютного стрибка потенціалу. Абсолютна, умовна і наведена шкала потенціалів.

Теорія конденсованого подвійного шару. Ємність подвійного шару. 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.

Тема 3. Основи електрохімічної кінетики.

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

Концентраційна поляризація. Поняття про дифузійну перенапругу. Дифузійна кінетика. Три основні рівняння дифузійної кінетики. Закономірності дифузійної кінетики на обертовому дисковому електроді. Обертний дисковий електрод з кільцем. Роль дифузійних явищ в електрохімічних процесах.

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

Електрохімічна перенапруга. Поняття про електрохімічну стадію. Основні теорії електрохімічної перенапруги. Співвідношення Бренстеда. Формула Тафеля. Константи швидкості, коефіцієнт переносу і густина струму обміну - основні кінетичні характеристики електрохімічного процесу. Порядок електрохімічних реакцій та стехіометричні числа. Теорія електрохімічної перенапруги, яка враховує структуру подвійного шару (теорія перенапруги сповільненого розряду

О.Н. Фрумкіна). Природа елементарного акту. Теоретичні уявлення про елементарний акт переносу електрона в гомогенних і гетерогенних редокс-процесах.

Закономірності змішаної кінетики: стадія дифузії та стадія розряду. Кінетика відновлення аніонів. Вплив матеріалу електроду та розчинника на швидкість стадії розряду-іонізації. Деякі особливості перебігу електрохімічних реакцій на напівпровідникових електродах.

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

Тема 4. Деякі актуальні проблеми електрохімії сьогодення.

Корозія металів та методи захисту. Електрохімічні джерела струму. Паливні елементи. Суперконденсатори. Проблеми біоелектрохімії. Електрометалургія та гальванотехніка. Електрохімічний синтез функціональних матеріалів. Електрохімічні проблеми водневої енергетики. Екологічні аспекти електрохімічних технологій. Електрохімічні методи очищення води. Піроелектрометалургія.

4. Теми лекційних занять

№, з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Теорія електролітичної дисоціації. Основні положення класичної теорії електролітичної дисоціації електролітів. Водні та неводні розчини електролітів. Осмотичні властивості розчинів електролітів. Термохімічні ефекти в розчинах електролітів. Хімічні рівноваги. Електролітична дисоціація води. Буферні властивості розчинів. Іонні рівноваги. Недоліки класичної теорії електролітичної дисоціації.	2
2	Іон-дипольні та йон-йонні взаємодії в розчинах електролітів. Міжйонні взаємодії в розчинах електролітів. Поняття про активність та коефіцієнт активності. Експериментальні методи визначення коефіцієнтів активності. Іонна сила розчину. Коефіцієнти активності розчинів електролітів малих та великих концентрацій. Термодинамічні основи теорії міжйонних взаємодій. Іонна асоціація в розчинах електролітів. електролітів. Сучасний стан теорії розчинів електролітів. Сучасні поняття про сольватацію та гідратацію іонів. Іон-дипольні взаємодії та причини стійкості розчинів електролітів. Енергетика процесів сольватації та гідратації. Емпіричні теплоти гідратації. Термодинамічні та модельні методи розрахунку енергії гідратації іонів. Кислотно-основні рівноваги в розчинах. Сучасні уявлення про кислоти та основи. Роль сольватації і асоціації в розчинах електролітів. Вплив йонної сили розчину на швидкість йонних реакцій.	2
3	Нерівноважні явища в розчинах електролітів. 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	2

	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. Числа переносу та методи їх визначення. Теоретичне тлумачення чисел переносу. Дифузія в розчинах електролітів. Основні закони молекулярної дифузії. Закони Фіка. Характер міжйонних взаємодій при дифузії електролітів. Дифузійний потенціал. Термодинамічна інтерпретація дифузійних потенціалів. Теорія Планка та Гендерсона.	
4	Розплавлені та тверді електроліти. Загальна характеристика іонних рідин та твердих електролітів, галузі використання. Явища масопереносу в іонних рідинах та твердих електролітах. Будова іонних рідин та їх електропровідність. Класифікація твердих електролітів. Багатокомпонентні розплави. Модельні уявлення про перенос в іонних рідинах та твердих електролітах. Тверді електроліти – аналоги рідких розчинів електролітів. Матеріали із змішаною провідністю. Подвійний електричний шар на межі електрод/розплав та електрод/твердий електроліт.	2
5	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. Хімічний потенціал. Термодинаміка гальванічного елементу. Стрибки потенціалу на межі суміжних фаз. Електродний потенціал. Електрорушійна сила. Контактний потенціал на межі двох металів. Класифікація електродів. Електроди порівняння для водних та розплавлених електролітів. Електрохімічні сенсори. Іон-селективні електроди. Принципи класифікації електрохімічних кіл. Концентраційні кола. Фізичні кола. Хімічні кола. Потенціометрія. Напруга розкладу електроліту. Явище деполяризації при розряді іонів металів на катоді. Варіанти використання хімічних кіл як джерел електричної енергії. 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.	2
6	Подвійний електричний шар та явища адсорбції на межі розділу фаз електрод/розчин електроліту. 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. Проблеми потенціалу Вольта і абсолютного стрибка потенціалу. Абсолютна, умовна і наведена шкала потенціалів. Теорія конденсованого подвійного шару. Ємність подвійного шару. Залежність ємності від потенціалу електрода, складу і концентрації розчину. Модельні теорії іонного подвійного шару. Виведення рівнянь для заряду	2

	електрода за теоріями Гуї-Чапмена, Штерна і Грема. Ефект Єсіна-Маркова. Сучасні уявлення про будову подвійного електричного шару. Будова подвійного шару при адсорбції поверхнево-активних речовин. Ізотерми адсорбції Ленгмюра, Фрумкіна, Тьомкіна. Фізична та хімічна адсорбції. Особливості будови подвійного електричного шару на межах напівпровідник-розчин та метал-розплав.	
7	Основи електрохімічної кінетики. Загальна характеристика електродних процесів і поняття сповільненої стадії. Електродна поляризація. Класифікація поляризаційних явищ. Концентраційна поляризація. Поняття про дифузійну перенапругу. Дифузійна кінетика. Три основні рівняння дифузійної кінетики. Закономірності дифузійної кінетики на обертовому дисковому електроді. Обертний дисковий електрод з кільцем. Роль дифузійних явищ в електрохімічних процесах. Фазова перенапруга. Види фазових перенапруг. Фазові перетворення в електрохімічних процесах. Кристалохімічна теорія електрокристалізації. Особливості катодного утворення полікристалічних осадів. Електрохімічна перенапруга. Поняття про електрохімічну стадію. Сумісний розряд іонів. Електрокаталіз. Фотоелектрохімічні явища в розчинах електролітів. Фотоемісія електронів з металу в розчин. Закономірності змішаної кінетики: стадія дифузії та стадія розряду. Кінетика відновлення аніонів. Вплив матеріалу електроду та розчинника на швидкість стадії розряду-іонізації. Деякі особливості перебігу електрохімічних реакцій на напівпровідникових електродах. Кінетика електрохімічного виділення водню. Загальна характеристика процесу. Залежність перенапруги виділення водню від густини струму та матеріалу електроду.	2
8	Деякі актуальні проблеми електрохімії. Корозія металів та методи захисту. Електрохімічні джерела струму. Паливні комірки. Проблеми біоелектрохімії. Електрометалургія та гальванотехніка. Електрохімічний синтез функціональних матеріалів. Електрохімічні проблеми водневої енергетики. Екологічні аспекти електрохімічних технологій. Електрохімічні методи очищення води. Піроелектрометалургія.	2

5. Теми практичних занять

№, з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Теорія електролітичної дисоціації. Класична теорія електролітичної дисоціації. Експериментальні докази існування іонів у розчинах. Основні положення теорії Арреніуса. Недоліки класичної теорії. Сучасні уявлення про електролітичну дисоціацію. Електролітична дисоціація води. Буферні властивості розчинів. Термохімічні ефекти в розчинах. Осмотичні властивості розчинів електролітів.	1
2	Йон-дипольні та йон-йонні взаємодії в розчинах електролітів. Механізми утворення розчинів електролітів. Енергія сольватації. Енергія кристалічної ґратки. Реальна та хімічна енергія сольватації. Ентропія та числа сольватації іонів. Термодинамічний опис рівноваг в розчинах електролітів. Теорія Дебая-Гюккеля та коефіцієнти активності. Розчинність та теорія Дебая-Гюккеля. Сучасні підходи до опису термодинамічних властивостей розчинів електролітів. Поліелектроліти. Вплив іонної сили розчину на швидкість іонних реакцій.	1

3	Нерівноважні явища в розчинах електролітів. Загальна характеристика нерівноважних явищ в розчинах електролітів. Дифузія та міграція іонів. Питома та еквівалентна електропровідність розчинів електролітів. Числа переносу та методи їх визначення. Гранична рухливість іонів. Залежність рухливості, електропровідності та чисел переносу від концентрації електроліту. Основні закони дифузії. Дифузійний потенціал. Термодинамічна інтерпретація дифузійних потенціалів. Теоретична інтерпретація електропровідності електролітів. Закони Фарадея. Кулонометричний аналіз. 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, вторинні джерела струму	1
4	Розплавлені 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. Класифікація твердих електролітів. Багатокомпонентні розплави. Модельні уявлення про перенос в іонних рідинах та твердих електролітах. Тверді електроліти – аналоги рідких розчинів електролітів. Термодинаміка іонних розплавів. Гальванічні елементи з іонними розплавами. Електродні потенціали в іонних розплавах. Рівноваги: метал-йонний розплав, розчинність металів та оксидів в йонних розплавах. Кінетика електродних процесів в іонних розплавах. Електроліз іонних розплавів. Фактори, що впливають на транспортні властивості твердих електролітів. Методи визначення провідності твердих електролітів. Використання електрохімічних комірок з твердими електролітами, принцип дії. Джерела струму. Сенсори. Термодинамічні дослідження. Електродні процеси в електрохімічних комірках з твердими електролітами. Основні типи поляризації. Електродні реакції. Анодне окиснення металів. Подвійний електричний шар. Власна та домішкова розупорядкованість.	1
5	Основи електрохімічної термодинаміки. Поняття електродного потенціалу. Механізм утворення електрорушійної сили та природа електродного потенціалу. Природа стрибків потенціалу на межі розділу фаз. Теоретичні уявлення про виникнення електродного потенціалу. Осмотична теорія Нернста, сольватацій на теорія. Електрохімічний потенціал, зв'язок з хімічним потенціалом. Електрохімічні системи та рівноваги в електрохімічних ланцюгах. Принципи класифікації електрохімічних систем	1
6	Подвійний елек-тричний шар та явища адсорбції на межі розділу фаз електрод/розчин електроліту. Електрокінетичні та електрокапілярні явища. Теоретичні уявлення про електрокапілярні явища. Нульові точки металів. Поняття «потенціал незарядженої поверхні» та «нульова точка металу». Будова електричного шару на межі розділу фаз: електрод/розчин електроліту. Теоретичні моделі будови подвійного шару. Зв'язок електричних та адсорбційних явищ на межі розділу фаз.	1
7	Основи електрохімічної кінетики. Загальна характеристика електрохімічних процесів. Класифікація поляризаційних явищ. Концентраційна перенапруга. Дифузійна перенапруга, врахування природної та вимушеної конвекції розчину. Метод обертового дискового електроду. Хімічна перенапруга. Основи теорії хімічної перенапруги. Фазова перенапруга. Види фазових перенапруг. Електрохімічна перенапруга. Електрохімічна перенапруга з врахуванням структури подвійного шару. Стадійність електрохімічного акту. Основні кінетичні характеристики	1

	електрохімічної стадії. Струм обміну та коефіцієнт переносу. Порядок електрохімічної реакції та стехіометричні числа. Накладення концентраційної перенапруги на електрохімічну. Поляризаційні явища в умовах сумісного розряду декількох електроактивних часток. Методи дослідження кінетики електродних реакцій. Теорія сповільненого розряду та її сучасне обґрунтування.	
8	Деякі актуальні проблеми електрохімії. Корозія металів та методи захисту. Електрохімічні джерела струму. Проблеми біоелектрохімії. Електрометалургія та гальванотехніка, Електрохімічний синтез функціональних матеріалів. Електрохімічні проблеми водневої енергетики. Екологічні аспекти електрохімічних технологій. Електрохімічні методи очищення води. Піроелектрометалургія. Електрохімічна обробка металевих поверхонь (фінішна обробка, полірування, дезактивація). Сучасні методи дослідження електродних реакцій. Циклічна вольтамперометрія. Основні критерії діагностики електродного процесу. Нестационарні (релаксаційні) методи дослідження кінетики електродних реакцій. Хронопотенціометрія. Рівняння Караогланова та Санда. Зміннострумова полярографія. Імпульсний потенціометричний метод. Фарадєївський імпеданс.	1

6. Теми семінарських занять

Семінарські заняття не передбачені.

7. Теми лабораторних занять

Лабораторні заняття не передбачені.

8. Самостійна робота

№, з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Йон-дипольні та йон-йонні взаємодії в розчинах електролітів. Термодинамічний опис рівноваг в розчинах електролітів. Теорія Дебая-Гюккеля та коефіцієнти активності. Розчинність та теорія Дебая-Гюккеля. Сучасні підходи до опису термодинамічних властивостей розчинів електролітів.	8
2	Розплавлені та тверді електроліти. Загальна характеристика іонних рідин. Явища масопереносу в іонних рідинах. Будова іонних рідин та їх електропровідність. Багатоконпонентні розплави. Модельні уявлення про перенос в іонних рідинах.	8
3	Основи електрохімічної кінетики. Кінетика електрохімічного виділення водню. Залежність перенапруги виділення водню від густини струму та матеріалу електроду.	8
4	Деякі актуальні проблеми електрохімії сьогодення. Електрохімічний синтез функціональних матеріалів. Електрохімічні проблеми водневої енергетики. Екологічні аспекти електрохімічних технологій.	8
Разом		32

9. Форми контролю і методи оцінювання (у т.ч. критерії оцінювання результатів навчання)

Поточний контроль здійснюється під час проведення практичних занять і має на меті перевірку засвоєння аспірантами навчального матеріалу. Формами поточного контролю є:

- а) тестові завдання з вибором однієї правильної відповіді, з визначенням правильної послідовності дій, з визначенням відповідності;
- б) індивідуальне усне опитування, співбесіда;
- в) розв'язання типових ситуаційних задач;

Комплексне оцінювання навчальної діяльності здійснюється виставленням балів, які конвертуються у традиційну оцінку, аспірант отримує на семінарських заняттях: оцінку «відмінно» - якщо він виконав правильно не менше 90% навчальних завдань; оцінку «добре» - якщо він виконав правильно не менше 80% навчальних завдань; оцінку «задовільно» - якщо він виконав правильно не менше 60% навчальних завдань; оцінку «незадовільно» - якщо він виконав правильно менше 60% навчальних завдань; На кінцевому етапі заняття виставляється набрану суму балів і традиційна оцінка в журналі успішності.

Самостійна робота аспіранта оцінюється на семінарських заняттях і є складовою підсумкової оцінки аспіранта.

Підсумковий контроль. Загальна система оцінювання проводиться по завершенню вивчення дисципліни у вигляді екзамену. Шкали оцінювання національна та ECTS.

10. Питання для підсумкового контролю

1. Основні положення теорії електролітичної дисоціації електролітів. Осмотичні властивості розчинів електролітів. Термохімічні ефекти. Електролітична дисоціація води. Буферні властивості.
2. Міжіонні взаємодії в розчинах електролітів. Поняття про коефіцієнт активності. Іонна сила розчину електролітів. Модельні уявлення про розподіл іонів у розчинах.
3. Сольватація та гідратація іонів. теплоти гідратації іонів, модельні методи розрахунку енергії гідратації. Числа гідратації. Вплив сольватації на коефіцієнти активності. Протолітична теорія кислот та основ. Рівняння Бренстеда.
4. Електропровідність розчинів електролітів. Зв'язок електропровідності з властивостями електроліту та природою розчинника. Теоретична інтерпретація електропровідності розчинів електролітів.
5. Дифузія в розчинах електролітів, основні закони. Дифузійний потенціал. Теоретична інтерпретація дифузійного потенціалу.
6. Основи електрохімічної термодинаміки електрохімічних систем. Зворотні та не зворотні процеси. Термодинамічний вираз для рівноважного електродного потенціалу.

7. Механізм утворення та природа електродного потенціалу. Природа стрибків потенціалу на межі розділу фаз, теорія виникнення потенціалу. Осмотична теорія Нернста. Сольватаційна теорія.
8. Загальна характеристика іонних рідин та твердих електролітів, області використання. Явища масопереносу в іонних рідинах та твердих електролітах. Будова іонних рідин та їхня електропровідність.
9. Рівноваги: метал-йонний розплав, розчинність металів та оксидів в йонних розплавах. Кінетика електродних процесів в іонних розплавах.
10. Електроліз іонних розплавів. Електроліз на рідких та твердих електродах. Вихід за струмом. Перенесення металів з аноду на катод.
11. Класифікація електродів. Електроди першого та другого роду. Газові електроди. Окисно-відновні електроди. Скляний електрод.
12. Принципи класифікації електрохімічних систем. Фізичні ланцюги. Хімічні ланцюги. Концентраційні ланцюги.
13. Електрокінетичні та електрокапілярні явища. Теоретичні основи електрокапілярних явищ.
14. Нульові точки металів. Визначення поняття «потенціал незарядженої поверхні» нульова точка металу», «приведена» та «раціональна шкала металів». Експериментальні методи визначення та розрахунку нульових точок.
15. Закони Фарадея. Електрохімічний еквівалент. Кулонометричний аналіз. Причини відхилення від законів Фарадея.
16. Будова подвійного електричного шару. Концепція конденсованого подвійного шару. Дифузний подвійний шар. Концепція адсорбційного подвійного шару. Сучасні уявлення про будову подвійного шару.
17. Концентраційна поляризація. Дифузійна перенапруга. Вплив природної та вимушеної конвекції на швидкість електрохімічної реакції. Три основні рівняння дифузійної кінетики.
18. Перетворення хімічної енергії в електричну. Хімічні джерела струму. Електрохімічні характеристики хімічних джерел струму (ЕРС, внутрішній опір, напруга, питома потужність, ємність, саморозряд). Види хімічних джерел струму. Первинні, вторинні джерела струму.
19. Хімічна перенапруга. Роль хімічних стадій в кінетиці електрохімічних реакцій. Теоретичні основи хімічної перенапруги.
20. Циклічна вольтамперометрія. Основні критерії діагностики електродного процесу. Нестационарні (релаксаційні) методи дослідження кінетики електродних реакцій.
21. Фазова перенапруга. Загальна характеристика фазових перетворень. Фазові перетворення в електрохімічних процесах. Особливості утворення полікристалічних осадів на катоді.
22. Електрохімічна перенапруга. Поняття про електрохімічну стадію. Основи теорії електрохімічної перенапруги.
23. Теорія сповільненого розряду та її сучасне обґрунтування.
24. Природа елементарного акту. Теоретичні уявлення про елементарний акт переносу електрона в гомогенних і гетерогенних редокс-процесах. Трамбування

- елементарного акту на основі теорії Горіучі-Поляни і теорії реорганізації розчинника.
25. Вплив структури подвійного шару та природи металу на перенапругу виділення водню та електрохімічне відновлення аніонів.
 26. Основні кінетичні характеристики електрохімічної стадії. Струм обміну та коефіцієнт переносу. Порядок електрохімічних реакцій та стехіометричні числа.
 27. Поляризаційні явища при одночасному протіканні декількох електродних реакцій. Основні положення теорії сумісного розряду. Рівняння поляризаційної кривої. Розклад результуючої вольт-амперної характеристики на парціальні.
 28. Природа елементарного акту. Теоретичні уявлення про елементарний акт переносу електрона в гомогенних і гетерогенних редокс-процесах. Трамбування елементарного акту на основі теорії Горіучі-Поляни і теорії реорганізації розчинника.
 29. Кінетика електрохімічного виділення водню. Загальна характеристика процесу. Залежність перенапруги виділення водню від густини струму та матеріалу електроду.
 30. Корозія металів та методи захисту від корозії.
 31. Електрохімічні методи аналізу.
 32. Полярографія. Класична полярографія. Зміннострумова полярографія. Квадратно-хвильова вольтамперометрія. Імпульсна полярографія. Векторна полярографія. Осцилографічна полярографія. Інверсійна полярографія.
 33. Йон-йонні та йон-дипольні взаємодії в розчинах електролітів. Механізм утворення розчинів електролітів. Енергія сольватації.
 34. Термодинамічний опис рівноваг в розчинах електролітів.
 35. Біологічні мембрани та біоелектрохімія.
 36. Емпіричні теплоти гідратації електролітів. Теплоти гідратації окремих йонів. Вплив сольватації на коефіцієнти активності.
 37. Методи дослідження кінетики електродних процесів.

11. Розподіл балів

Форма для іспиту

Поточний та періодичний контроль		Підсумковий контроль (іспит)	Сума балів
Змістовий модуль №1	Змістовий модуль №2		
30	30	40	100

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для іспиту	для заліку
90-100	A	відмінно	зараховано
82-89	B	добре	

74-81	C		
64-73	D	задовільно	
60-63	E		
35-59	Fx	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
0-34	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

12. Рекомендована література

Основна

1. Антропов Л.І. Теоретична електрохімія. К., Либідь, 1993.
2. Тульський Г. Г. Теоретична електрохімія. Частина 1 : навч. посібник / Г. Г. Тульський, В. М. Артеменко, С. Г. Дерібо ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Харків : Іванченко І. С., 2019. – 182 с.
3. Electrochemistry: The basics, with examples. Electrochemistry: The Basics, with Examples. / Lefrou C., Fabry P., Poignet J. C.: Springer Berlin Heidelberg, 2012. Electrochemistry: The Basics, with Examples. – 1-353 с.
4. Applied electrochemistry. / Jackowska K., Krysiński P.: Walter de Gruyter GmbH & Co KG, 2020.
5. Principles and applications of electrochemistry, fourth edition. / Crow D. R.: CRC Press, 2017. Principles and Applications of Electrochemistry, Fourth Edition. – 1-282 с.
6. Interfacial electrochemistry: Theory: Experiment, and applications. Interfacial Electrochemistry: Theory: Experiment, and Applications. / Wieckowski A.: CRC Press, 2017. Interfacial Electrochemistry: Theory: Experiment, and Applications. – 1-966 с.
7. Делимарский Ю.К. Электрохимия ионных расплавов. М., 1978.
8. Сахненко М.Д., Артеменко В.М. Кінетика електродних процесів. – Харків : НТУ "ХПІ", 2014. - 205 с.
9. Кунтій О.І., Зозуля Г.І Електроліз іонних солей.-К.:Наукова думка,1984.- 224с

Додаткова

1. The Fundamentals of Electrochemistry. / Gamburg Y. D.: Cambridge Scholars Publishing, 2023.
2. Electrochemistry for Bioanalysis. Electrochemistry for Bioanalysis. / Patel B. A.: Elsevier, 2021. – 1-320 с.
3. Electrochemistry of porous materials. / Carbó A. D.: CRC press, 2021.

4. Electrochemistry Crash Course for Engineers. / Petrovic S.: Springer International Publishing, 2020. – 1-108 c.
5. Solid-State Electrochemistry: Essential Course Notes and Solved Exercises. Solid-State Electrochemistry: Essential Course Notes and Solved Exercises. / Hammou A., Georges S.: Springer International Publishing, 2020. Solid-State Electrochemistry: Essential Course Notes and Solved Exercises. – 1-325 c.
6. Inorganic electrochemistry: theory, practice and application. / Zanello P., Nervi C., De Biani F. F.: Royal Society of Chemistry, 2019.
7. Nanocarbon Electrochemistry. Nanocarbon Electrochemistry. / Yang N., Zhao G., Foord J. S.: Wiley, 2019. Nanocarbon Electrochemistry. – 1-363 c.
8. Experimental electrochemistry: a laboratory textbook. / Holze R.: John Wiley & Sons, 2019.
9. Handbook of solid state electrochemistry. / Gellings P. J.: CRC press, 2019.
10. Physical electrochemistry: fundamentals, techniques, and applications. / Eliaz N., Gileadi E.: John Wiley & Sons, 2019.
11. Electrochemistry: A Guide for Newcomers. Electrochemistry: A Guide for Newcomers. / Baumgärtel H.: De Gruyter, 2019. Electrochemistry: A Guide for Newcomers. – 1-230 c.
12. Encyclopedia of interfacial chemistry: Surface science and electrochemistry. Encyclopedia of Interfacial Chemistry: Surface Science and Electrochemistry. / Wandelt K.: Elsevier, 2018. Encyclopedia of Interfacial Chemistry: Surface Science and Electrochemistry. – 1-550 c.
13. Electrochemistry for corrosion fundamentals. / Ohtsuka T., Nishikata A., Sakairi M., Fushimi K.: Springer, 2018.
14. Ionic Liquids: Electrochemistry, Uses and Challenges. Ionic Liquids: Electrochemistry, Uses and Challenges. / Xuân B.: Nova Science Publishers, Inc., 2017. Ionic Liquids: Electrochemistry, Uses and Challenges. – 1-162 c.
15. Luminescence in electrochemistry: Applications in analytical chemistry, physics and biology. Luminescence in Electrochemistry: Applications in Analytical Chemistry, Physics and Biology. / Miomandre F., Audebert P.: Springer International Publishing, 2016. Luminescence in Electrochemistry: Applications in Analytical Chemistry, Physics and Biology. – 1-361 c.
16. Electrochemistry in ionic liquids: Volume 1: Fundamentals. Electrochemistry in Ionic Liquids: Volume 1: Fundamentals. / Torriero A. A. J.: Springer International Publishing, 2015. Electrochemistry in Ionic Liquids: Volume 1: Fundamentals. – 1-351 c.
17. Electrochemistry in ionic liquids: Volume 2: Applications. Electrochemistry in Ionic Liquids: Volume 2: Applications. / Torriero A. A. J.: Springer International Publishing, 2015. Electrochemistry in Ionic Liquids: Volume 2: Applications. – 1-623 c.
18. Organic electrochemistry, fifth edition: Revised and expanded. Organic Electrochemistry, Fifth Edition: Revised and Expanded. / Hammerich O., Speiser B.: CRC Press, 2015. Organic Electrochemistry, Fifth Edition: Revised and Expanded. – 1-1685 c.

19. Batteries for electric vehicles: Materials and electrochemistry. Batteries for Electric Vehicles: Materials and Electrochemistry. / Berg H.: Cambridge University Press, 2015. Batteries for Electric Vehicles: Materials and Electrochemistry. – 1-240 с.
20. Developments in Electrochemistry: Science Inspired by Martin Fleischmann. Developments in Electrochemistry: Science Inspired by Martin Fleischmann. / Pletcher D., Tian Z. Q., Williams D. E.: Wiley Blackwell, 2014. Developments in Electrochemistry: Science Inspired by Martin Fleischmann. – 1-377 с.

Інформаційні ресурси

1. <https://www.coursera.org/learn/chemtherm1>
2. <https://www.coursera.org/learn/chemtherm2>
3. <https://www.coursera.org/learn/corrosion>