

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

**ЗАТВЕРДЖЕНО**  
Вченою радою  
Інституту сорбції та проблем  
ендоекології НАН України  
протокол № 10  
від « 17 » вересня 2020 року

Голова Вченої ради  
Інституту сорбції та проблем  
ендоекології НАН України  
чл. кор. НАН України



В.В. Брей

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**Фізико-хімічні методи дослідження сорбентів та каталізаторів**  
(назва навчальної дисципліни)

галузі знань **10 «Природничі науки»**

спеціальності **102 «Хімія»**

спеціалізації **«Фізична хімія»**

Інститут сорбції та проблем ендоекології НАН України  
(назва інституту, факультету, відділення)

Робоча програма «**Фізико-хімічні методи дослідження сорбентів та каталізаторів**»

(назва навчальної дисципліни)

для аспірантів спеціальності **102 «Хімія»**, спеціалізація – **фізична хімія**

«17» вересня 2020 року, 21 стор.

Курс розроблено на підставі освітньо-наукової програми, затвердженої на Вченій раді Інституту сорбції та проблем ендоекології НАН України від «26» травня 2020 р., протокол № 5.

Розробники: д.х.н. проф., чл.-кор. НАН України Зажигалов Валерій Олексійович

## 1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	
Кількість кредитів - 4	<p>Галузь знань <u>10 «Природничі науки»</u> (шифр і назва)</p> <p>Спеціальність <u>102 «Хімія»</u> (шифр і назва)</p> <p>Спеціалізація <u>«Фізична хімія»</u></p>	Нормативна	
Модулів - 4		<b>Рік підготовки:</b>	
Змістових модулів - 4		2-й	
		<b>Семестр</b>	
Загальна кількість годин - 120		3-й	4-й
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних - 54, у т.ч. самостійної роботи аспіранта – 66 год.	Освітньо-кваліфікаційних рівень: доктор філософії	<b>Лекції</b>	
		18 год.	18 год.
		<b>Практичні, семінарські</b>	
		9 год.	9 год.
		<b>Самостійна робота</b>	
		33 год.	33 год.
		<b>Вид контролю: залік</b>	

## 2. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

**Метою вивчення дисципліни «Фізико-хімічні методи дослідження сорбентів та каталізаторів»** є оволодіння знаннями загальних концепцій і методологічних питань з фізико-хімічних методів дослідження твердих тіл, до кола яких входять сорбенти та каталізатори, формування та розвитку цих методів, глибоке розуміння фізичних основ методів, а також вміння застосовувати свої знання на практиці для розв'язання дослідницьких та прикладних задач.

### **Основні завдання дисципліни:**

- надати знання загальних концепцій і методологічних питань з фізико-хімічних методів дослідження твердих тіл;
- сформуванати глибоке розуміння фізичних основ методів дослідження сорбентів та каталізаторів;
- навчити застосовувати свої знання на практиці для розв'язання дослідницьких та прикладних задач;
- виробити навички використання методів дослідження сорбентів та каталізаторів у дисертаційних дослідженнях.

У результаті вивчення навчальної дисципліни аспіранти набувають таких компетентностей:

### **загальні вміння (компетенції):**

- здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу;
- здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях;
- здатність планувати та управляти часом;
- навички використання інформаційних і комунікаційних технологій;
- здатність генерувати нові ідеї;
- вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми;
- здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел;
- здатність працювати в міжнародному контексті.

### **спеціальні (фахові) вміння (компетенції):**

- здатність застосовувати одержані знання для вирішення якісних та кількісних проблем в хімії;
- здатність розпізнавати і аналізувати проблеми, застосовувати обґрунтовані методи вирішення проблем, приймати обґрунтовані рішення в області хімії;
- здатність визначити стратегію та методи проведення досліджень фізико-хімічних властивостей сорбентів і каталізаторів;
- здатність здійснювати фізико-хімічні дослідження твердих тіл, описувати їх;
- здатність здійснювати сучасні методи аналізу одержаних даних.

Вивчивши курс аспіранти повинні **знати:**

- теоретичні та фізичні основи методу дослідження;
- особливості будови апаратури для реалізації методу,
- можливості методу та межі його застосування;
- перспективу застосування різних методів чи комплексу методів для одержання загальної картини впливу фізико-хімічних властивостей сорбентів і каталізаторів на їх функціональні характеристики;
- перспективи розвитку методів та їх застосування;
- стратегію проведення досліджень фізико-хімічних властивостей сорбентів і каталізаторів для одержання узагальнюючих параметрів, які визначають властивості та оптимізують методи синтезу ефективних сорбентів та каталізаторів.

Після завершення курсу аспіранти повинні **вміти:**

- визначити стратегію проведення досліджень фізико-хімічних властивостей сорбентів і каталізаторів та методи, які мають бути застосовані, в залежності від кінцевої мети та необхідних функціональних параметрів;
- підготувати проби зразків для проведення досліджень;
- інтерпретувати результати одержані кожним з використаних методів;
- оцінювати достовірність одержаних результатів та можливі помилки
- аналізувати результати одержані різними методами та створювати цілісну картину про структуру та властивості синтезованих матеріалів;
- визначати подальшу стратегію проведення досліджень та умов синтезу сорбентів і каталізаторів з покращеними функціональними характеристиками.

### 3. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

#### **Змістовий модуль 1. Порометрія. Методи дослідження поверхні.**

*Тема 1. Стратегія досліджень фізико-хімічних властивостей сорбентів і каталізаторів.*

Поняття поверхні та об'єму твердих тіл, якими є каталізатори та сорбенти. Класифікація методів дослідження фізико-хімічних властивостей твердих тіл, як методів дослідження поверхні та об'єму. Загальна характеристика цих методів та їх можливостей. Обмеження методів.

*Тема 2. Порометрія. Дослідження питомої поверхні сорбентів та каталізаторів.*

Теоретичні основи визначення питомої поверхні твердих тіл. Мономолекулярна та полімолекулярна адсорбція газів. Методи визначення питомої поверхні зразків, їх переваги та обмеження. Апаратура для дослідження питомої поверхні каталізаторів та сорбентів.

*Тема 3. Теоретичні аспекти визначення поруваної структури твердих тіл.*

Ізотерми адсорбції. Рівняння Ленгмюра. Рівняння Брунауєра-Емета-Теллера (БЕТ). Апаратура для визначення поруваної структури зразків. Практичні аспекти впливу поруваної структури твердих тіл на їх властивості при використанні їх як сорбентів і каталізаторів. Дифузія молекул в твердих тілах. Коефіцієнт дифузії. «Мертва» зона.

*Тема 4. Кислотні, основні, відновні властивості поверхні.*

Кислотність поверхні за Бренстедом та Льюїсом. Методи дослідження кислотних властивостей. Адсорбція молекул тестів. Хімічні реакції – тест на кислотні властивості поверхні каталізаторів та сорбентів. Метод індикаторів Гаммета. Каталітичні процеси з молекулами тестами. Інфрачервона спектроскопія, термопрограмована десорбція, хроматографія в дослідженні кислотних властивостей поверхні. Приклади практичного використання методів.

Методи дослідження при використанні молекул тестів. Інфрачервона спектроскопія, термодесорбція молекул тестів. Приклади практичного використання для аналізу сорбентів та каталізаторів.

Термодинамічні та кінетичні методи оцінки відновлювальних властивостей поверхні сорбентів та каталізаторів. Приклади практичного використання методу для оцінки властивостей сорбентів та каталізаторів.

*Тема 5. Термічний аналіз.*

Диференційно термічний аналіз та термогравіметрія. Теоретичні аспекти методу. Ендо- та екзо- термічні ефекти. Фазові перетворення. Термічна стійкість речовин. Приклади практичного застосування методу та аналіз можливих помилок.

#### **Змістовий модуль 2. Електронна мікроскопія.**

*Тема 1. Скануюча електронна мікроскопія (SEM)*

Історія методу. Теоретичні основи методу. Історія розвитку методу. Апаратура для реалізації методу. Приготування зразків для досліджень. Режими одержання зображення поверхні твердих тіл. Вторинна електронна емісія. Пружно відбиті електрони. Практичні приклади використання методу СЕМ для аналізу стану (морфології) поверхні сорбентів та каталізаторів.

*Тема 2. Рентгенівський енергодисперсний аналіз (ЕДС).*

Теоретична база реалізації методу. Аналіз варіантів застосування методу (точковий аналіз, розподіл елементів по фрагменту зразка). Практичні приклади застосування методу. Аналіз одержаних результатів та можливі помилки при використанні методу.

*Тема 3. Просвічуюча (трансмісійна) електронна мікроскопія (ТЕМ).*

Теоретичні основи методу. Апаратура для використання методу. Приготування зразків для досліджень. Варіанти застосування методу (морфологія зразків, електроннографія, електронна мікроскопія високого розрізнення). Практичні приклади використання ТЕМ пр. дослідженні структури сорбентів та каталізаторів. Аналіз одержаних результатів та можливі помилки.

*Тема 4. Електронографія.*

Теоретичні аспекти методу та його можливості для аналізу структури кристалічних сполук. Практичні приклади застосування методу.

*Тема 5. Електронна мікроскопія високого розрізнення.*

Теоретична база використання методу. Апаратура для одержання даних при нанорозмірну структуру твердих тіл. Можливості методу. Приготування зразків для досліджень. Приклади практичного використання методу та його можливості при визначенні структури твердого тіла, дефектів структури, активних центрів на яких протікає адсорбція та каталіз.

*Тема 6. Скануюча тунельна мікроскопія, атомно-силова мікроскопія (СТМ, АСМ).*

Історія методу. Теоретичні аспекти застосування методу. Тунелювання електрону. Основи будови апаратури для використання методу (конструкції сканеру, типу і т.д), варіанти сканування поверхні. Можливості методу. Варіанти застосування методу (2D-, 3D-зображення поверхні, профіль та шорсткість поверхні) Приготування зразків для досліджень. Приклади практичного використання методу для аналізу поверхні сорбентів і каталізаторів, адсорбованих речовин та можливі помилки.

### **Змістовий модуль 3. Рентгенівська та оптична спектроскопія.**

*Тема 1. Рентгенофазовий та рентгеноструктурний аналіз.*

Теоретичні основи методу. Кристалічна ґратка та кристалічна структура. Симетрія кристалів. Кристалографічні точкові групи симетрії, типи ґраток, сингонії. Індекси кристалографічних граней. Реальні кристали. Типи дефектів у реальних кристалах. Кристали з неповною впорядкованістю. Аморфні речовини. Апаратура для використання методу. Можливості методу та аналіз одержаних результатів при дослідженні сорбентів та каталізаторів. Рентгенофазовий аналіз при малокутовому розсіюванні. Особливості методу

та його можливості. Рентгеноструктурний аналіз. Особливості застосування методу для аналізу монокристалів та полікристалів.

#### *Тема 2. Рентгенофотоелектронна спектроскопія.*

Теоретичні аспекти методу. Апаратура реалізації методу. Приготування зразків для проведення досліджень. Аналіз спектрів оже- та остовних електронів елементів. Якісний склад поверхні. Кількісний склад поверхні. Валентний стан елементів в поверхневому шарі зразка. Комплексне застосування енергії зв'язку остовних електронів елементів та значень розщеплення енергії для різних рівнів. Приклади практичного застосування методу при аналізі стану поверхні сорбентів та каталізаторів. Можливості методу для дослідження хемосорбованих молекул. Перспективи розвитку метода.

#### *Тема 3. Протягнена тонка структура рентгенівського поглинання.*

Теоретичні основи методу. Аналіз близького оточення атому елементу та структури ближнього оточення в складних сполуках (сорбентах та каталізаторах). Можливості методу при аналізі поверхневого шару композитів. Апаратура для застосування методу. Приклади практичного застосування методу.

#### *Тема 4. Ближній край тонкої структури рентгенівського поглинання.*

Основи застосування методу та його можливості. Аналіз валентного стану елементу в складних сполуках. Приклади практичного застосування методу.

#### *Тема 5. Інфрачервона спектроскопія (ІЧС).*

Теоретичні основи методу. Апаратура для застосування методу. Можливості методу інфрачервоної спектроскопії для аналізу твердих тіл. Приготування зразків. Аналіз спектрів поглинання твердих тіл. Комплексний аналіз ІЧ-спектрів та даних РФА. Приклади досліджень структури сорбентів та каталізаторів. Основи методу інфрачервоної спектроскопії адсорбованих молекул та його можливості. Застосування методу для аналізу властивостей поверхні сорбентів і каталізаторів та активних центрів поверхні. Прикладні аспекти застосування методу ІЧС.

#### *Тема 6. Раман спектроскопія (ЛРС).*

Можливості методу лазерної Раман спектроскопії та приклади його застосування для аналізу структури твердих тіл, сорбентів та каталізаторів. Можливості методу мікролазерної Раман спектроскопії та його застосування для аналізу структури сорбентів та каталізаторів.

### **Змістовий модуль 4. Магнітний резонанс.**

#### *Тема 1. Електронний (спіновий) магнітний резонанс (ЕПР).*

Теоретичні основи методу ЕПР. Апаратурне оформлення методу. Застосування методу для аналізу валентного стану елементів, їх координації. Надтонка структура спектрів ЕПР. Можливості методу для дослідженні адсорбованих молекул (спін-мітка) та проміжних сполук в хімічних реакціях. Практичні приклади застосування методу та можливі помилки при його використанні.



*Тема 2. Ядерний магнітний резонанс.*

Основи методу. Хімічний зсув. Використання методу для аналізу структури твердих тіл та адсорбованих молекул. Приклади практичного використання методу та його можливості.

*Тема 3. Гамма резонансна спектроскопія (Мессбауєрська спектроскопія).*

Теоретичні основи методу та можливості його практичного використання. Приклади використання для дослідження сорбентів та каталізаторів.

#### 4. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Назва тем	Кількість годин					Індивідуальна робота
	Всього	Аудиторна робота				
		Всього	Лекції	Семіна рських	Практи чних	
<b>Змістовий модуль 1. Порометрія. Методи дослідження поверхні.</b>						
Тема 1. Стратегія досліджень фізико-хімічних властивостей сорбентів і каталізаторів.			2			3
Тема 2. Порометрія. Дослідження питомої поверхні сорбентів та каталізаторів.			2	1	10	3
Тема 3. Теоретичні аспекти визначення поруватої структури твердих тіл.			2			3
Тема 4. Кислотні, основні, відновні властивості поверхні.			2	1	10	3
Тема 5. Термічний аналіз.			2	1	5	3
Разом за змістовим модулем 1.			10	3	25	15
<b>Змістовий модуль 2. Електронна мікроскопія.</b>						
Тема 1. Скануюча електронна мікроскопія (СЕМ).			1	1	5	3
Тема 2. Рентгенівський енергодисперсний аналіз (ЕДС).			1	1	5	3
Тема 3. Просвічуюча (трансмісійна) електронна мікроскопія (ТЕМ).			1	1	5	3
Тема 4. Електронографія.			1	1	5	3
Тема 5. Електронна мікроскопія високого розрізнення.			2	1		3
Тема 6. Скануюча тунельна мікроскопія, атомно-силова мікроскопія (СТМ, АСМ).			2	1	5	3
Разом за змістовим модулем 2.			8	6	25	18
<b>Змістовий модуль 3. Рентгенівська та оптична спектроскопія.</b>						
Тема 1. Рентгенофазовий та рентгеноструктурний аналіз.			2	1		4

Тема 2. Рентгенофотоелектронна спектроскопія.			2	1		4
Тема 3. Протягнена тонка структура рентгенівського поглинання.			2	1		4
Тема 4. Близький край тонкої структури рентгенівського поглинання.			2	1		4
Тема 5. Інфрачервона спектроскопія (ІЧС).			2	1		4
Тема 6. Раман спектроскопія (ЛРС).			2	1		4
Разом за змістовим модулем 3.			12	6		24
<b>Змістовий модуль 4. Магнітний резонанс.</b>						
Тема 1. Електронний (спіновий) магнітний резонанс (ЕПР).			2	1		3
Тема 2. Ядерний магнітний резонанс.			2	1		3
Тема 3. Гамма резонансна спектроскопія (Мессбауєрська спектроскопія).			2	1		3
Разом за змістовим модулем 4.			6	3		9
Всього:	120	54	36	18	50	66

## 5. ТЕМИ СЕМІНАРСЬКИХ ЗАНЯТЬ

№	Назва теми	Кількість годин
<b>Змістовий модуль 1. Порометрія. Методи дослідження поверхні.</b>		
1.	Порометрія. Дослідження питомої поверхні сорбентів та каталізаторів.	1
2.	Кислотні, основні, відновні властивості поверхні.	1
3.	Термічний аналіз.	1
<b>Змістовий модуль 2. Електронна мікроскопія.</b>		
4.	Скануюча електронна мікроскопія (СЕМ).	1
5.	Рентгенівський енергодисперсний аналіз (ЕДС).	1
6.	Просвічуюча (трансмісійна) електронна мікроскопія (ТЕМ).	1
7.	Електронографія.	1
8.	Електронна мікроскопія високого розрізнення.	1
9.	Скануюча тунельна мікроскопія, атомно-силова мікроскопія (СТМ, АСМ).	1
<b>Змістовий модуль 3. Рентгенівська та оптична спектроскопія.</b>		
10.	Рентгенофазовий та рентгеноструктурний аналіз.	1
11.	Рентгенофотоелектронна спектроскопія.	1
12.	Протягнена тонка структура рентгенівського поглинання.	1
13.	Ближній край тонкої структури рентгенівського поглинання.	1
14.	Інфрачервона спектроскопія (ІЧС).	1
15.	Раман спектроскопія (ЛРС).	1
<b>Змістовий модуль 4. Магнітний резонанс.</b>		
16.	Електронний (спіновий) магнітний резонанс (ЕПР).	1
17.	Ядерний магнітний резонанс.	1
18.	Гамма резонансна спектроскопія (Мессбауерська спектроскопія).	
Всього годин:		18

## 6. ТЕМИ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

№	Назва теми	Кількість годин
<b>Змістовий модуль 1. Порометрія. Методи дослідження поверхні.</b>		
1.	Порометрія. Дослідження питомої поверхні сорбентів та каталізаторів.	10
2.	Кислотні, основні, відновні властивості поверхні.	10
3.	Термічний аналіз.	5
<b>Змістовий модуль 2. Електронна мікроскопія.</b>		
4.	Скануюча електронна мікроскопія (СЕМ).	5
5.	Рентгенівський енергодисперсний аналіз (ЕДС).	5
6.	Просвічуюча (трансмісійна) електронна мікроскопія (ТЕМ).	5
7.	Електронографія.	5
8.	Скануюча тунельна мікроскопія, атомно-силова мікроскопія (СТМ, АСМ).	5
Всього годин:		50

## 7. САМОСТІЙНА РОБОТА

№	Назва теми	Кількість годин
<b>Змістовий модуль 1. Порометрія. Методи дослідження поверхні.</b>		
1.	Стратегія досліджень фізико-хімічних властивостей сорбентів і каталізаторів.	3
2.	Порометрія. Дослідження питомої поверхні сорбентів та каталізаторів.	3
3.	Теоретичні аспекти визначення поруватої структури твердих тіл.	3
4.	Кислотні, основні, відновні властивості поверхні.	3
5.	Термічний аналіз.	3
<b>Змістовий модуль 2. Електронна мікроскопія.</b>		
6.	Скануюча електронна мікроскопія (СЕМ).	3
7.	Рентгенівський енергодисперсний аналіз (ЕДС).	3
8.	Просвічуюча (трансмісійна) електронна мікроскопія (ТЕМ).	3
9.	Електронографія.	3
10.	Електронна мікроскопія високого розрізнення.	3
11.	Скануюча тунельна мікроскопія, атомно-силова мікроскопія (СТМ, АСМ).	3
<b>Змістовий модуль 3. Рентгенівська та оптична спектроскопія.</b>		
12.	Рентгенофазовий та рентгеноструктурний аналіз.	4
13.	Рентгенофотоелектронна спектроскопія.	4
14.	Протягнена тонка структура рентгенівського поглинання.	4
15.	Ближній край тонкої структури рентгенівського поглинання.	4
16.	Інфрачервона спектроскопія (ІЧС).	4
17.	Раман спектроскопія (ЛРС).	4
<b>Змістовий модуль 4. Магнітний резонанс.</b>		
18.	Електронний (спіновий) магнітний резонанс (ЕПР).	3
19.	Ядерний магнітний резонанс.	3
20.	Гамма резонансна спектроскопія (Мессбауєрська спектроскопія).	3
Всього годин:		66

## **8. МЕТОДИ НАВЧАННЯ**

Словесні методи (лекція, розповідь-пояснення, бесіда), наочні методи (ілюстрація, демонстрація), практичні методи та семінарські заняття, самостійна робота з джерелами, консультації.

## 9. РОЗПОДІЛ БАЛІВ, ЯКІ ОТРИМУЮТЬ АСПІРАНТИ

Поточне тестування та самостійна робота																			Підсумковий тест (залік)	Сума	
Змістовий модуль 1					Змістовий модуль 2						Змістовий модуль 3						Змістовий модуль 4			100	100
Т 1	Т 2	Т 3	Т 4	Т 5	Т 1	Т 2	Т 3	Т 4	Т 5	Т 6	Т 1	Т 2	Т 3	Т 4	Т 5	Т 6	Т 1	Т 2	Т 3		
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		

## ШКАЛА ОЦІНЮВАННЯ: НАЦІОНАЛЬНА ТА ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінки ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для іспиту	для заліку
90-100	A	відмінно	зараховано
80-89	B	добре	
70-79	C	задовільно	
65-69	D		
60-64	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



## **10. МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**

Навчально-методичний комплекс вивчення дисципліни вміщує робочу програму навчальної дисципліни, програму навчальної дисципліни, конспект лекцій з курсу, презентації, навчальну та наукову літературу, інтернет ресурси, програми для аналізу експериментальних даних, тестові дані.

Для методичного забезпечення лекційного процесу використовуються дошки із записом крейдою та фломастером, ноутбук, мультимедійний проектор, лазерна вказівка.

### **БІЛЕТИ ДЛЯ ЗАЛІКУ**

#### **БІЛЕТ № 1**

1. Поняття поверхні та об'єму твердих тіл, якими є каталізатори та сорбенти. Класифікація методів дослідження фізико-хімічних властивостей твердих тіл, як методів дослідження поверхні та об'єму. Загальна характеристика цих методів та їх можливостей. Обмеження методів.

2. Рентгеноструктурний аналіз. Особливості застосування методу для аналізу монокристалів та полікристалів.

3. Основи методу Ядерного магнітного резонансу. Хімічний зсув. Використання методу для аналізу структури твердих тіл та адсорбованих молекул. Приклади практичного використання методу та його можливості.

#### **БІЛЕТ № 2**

1. Теоретичні основи методу Мессбауерської спектроскопії та можливості його практичного використання. Приклади використання для дослідження сорбентів та каталізаторів.

2. Ближній край тонкої структури рентгенівського поглинання. Основи застосування методу та його можливості. Аналіз валентного стану елементу в складних сполуках. Приклади практичного застосування методу.

3. Ізотерми адсорбції. Рівняння Ленгмюра. Рівняння Брунауєра-Емета-Теллера (БЕТ).

#### **БІЛЕТ № 3**

1. Методи дослідження при використанні молекул тестів. Інфрачервона спектроскопія, термодесорбція молекул тестів. Приклади практичного використання для аналізу сорбентів та каталізаторів.

2. Протягнена тонка структура рентгенівського поглинання. Теоретичні основи методу. Аналіз близького оточення атому елементу та структури ближнього оточення в складних сполуках (сорбентах та каталізаторах). Можливості методу при аналізі поверхневого шару композитів. Апаратура для застосування методу. Приклади практичного застосування методу.

3. Теоретичні основи методу ЕПР. Апаратурне оформлення методу. Застосування методу для аналізу валентного стану елементів, їх координації. Надтонка структура спектрів ЕПР.

#### **БІЛЕТ № 4**

1. Інфрачервона спектроскопія (ІЧС). Теоретичні основи методу. Апаратура для застосування методу. Можливості методу інфрачервоної спектроскопії для аналізу твердих тіл. Приготування зразків. Аналіз спектрів поглинання твердих тіл. Комплексний аналіз ІЧ-спектрів та даних РФА. Приклади досліджень структури сорбентів та каталізаторів.

2. Можливості методу лазерної Раман спектроскопії та приклади його застосування для аналізу структури твердих тіл, сорбентів та каталізаторів.

3. Термодинамічні та кінетичні методи оцінки відновлювальних властивостей поверхні сорбентів та каталізаторів. Приклади практичного використання методу для оцінки властивостей сорбентів та каталізаторів.

#### **БІЛЕТ № 5**

1. Теоретичні основи визначення питомої поверхні твердих тіл. Мономолекулярна та полімолекулярна адсорбція газів. Методи визначення питомої поверхні зразків, їх переваги та обмеження.

2. Основи методу інфрачервоної спектроскопії адсорбованих молекул та його можливості. Застосування методу для аналізу властивостей поверхні сорбентів і каталізаторів та активних центрів поверхні. Прикладні аспекти застосування методу ІЧС.

3. Диференційно термічний аналіз та термогравіметрія. Теоретичні аспекти методу. Ендо- та екзо- термічні ефекти. Фазові перетворення. Термічна стійкість речовин. Приклади практичного застосування методу та аналіз можливих помилок.

#### **БІЛЕТ № 6**

1. Скануюча електронна мікроскопія (СЕМ). Історія методу. Теоретичні основи методу. Історія розвитку методу. Апаратура для реалізації методу. Приготування зразків для досліджень. Режим одержання зображення поверхні твердих тіл. Вторинна електронна емісія. Пружно відбиті електрони. Практичні приклади використання методу СЕМ для аналізу стану (морфології) поверхні сорбентів та каталізаторів.

2. Апаратура для дослідження питомої поверхні каталізаторів та сорбентів.

3. Можливості методу мікролазерної Раман спектроскопії та його застосування для аналізу структури сорбентів та каталізаторів.

#### **БІЛЕТ № 7**

1. Апаратура для визначення поруватої структури зразків. Практичні аспекти впливу поруватої структури твердих тіл на їх властивості при використанні їх як сорбентів і каталізаторів. Дифузія молекул в твердих тілах. Коефіцієнт дифузії. «Мертва» зона.

2. Кислотність поверхні за Бренстедом та Льюїсом. Методи дослідження кислотних властивостей. Адсорбція молекул тестів. Хімічні

реакції – тест на кислотні властивості поверхні каталізаторів та сорбентів. Метод індикаторів Гаммета. Каталітичні процеси з молекулами тестами.

3. Рентгенівський енергодисперсний аналіз (ЕДС). Теоретична база реалізації методу. Аналіз варіантів застосування методу (точковий аналіз, розподіл елементів по фрагменту зразка). Практичні приклади застосування методу. Аналіз одержаних результатів та можливі помилки при використанні методу.

### **БІЛЕТ № 8**

1. Теоретичні основи методу рентгенофазового аналізу. Кристалічна ґратка та кристалічна структура. Симетрія кристалів. Кристалографічні точкові групи симетрії, типи ґраток, сингонії. Індекси кристалографічних граней. Реальні кристали. Типи дефектів у реальних кристалах. Кристали з неповною впорядкованістю. Аморфні речовини.

2. Теоретичні аспекти методу електроннографії та його можливості для аналізу структури кристалічних сполук. Практичні приклади застосування методу.

3. Інфрачервона спектроскопія, термопрограмована десорбція, хроматографія в дослідженні кислотних властивостей поверхні. Приклади практичного використання методів.

### **БІЛЕТ № 9**

1. Просвічуюча (трансмісійна) електронна мікроскопія (ТЕМ). Теоретичні основи методу. Апаратура для використання методу. Приготування зразків для досліджень.

2. Апаратура для використання методу рентгенофазового аналізу. Можливості методу та аналіз одержаних результатів при дослідженні сорбентів та каталізаторів.

3. Електронна мікроскопія високого розрізнення. Теоретична база використання методу. Апаратура для одержання даних при нанорозмірну структуру твердих тіл. Можливості методу. Приготування зразків для досліджень. Приклади практичного використання методу та його можливості при визначенні структури твердого тіла, дефектів структури, активних центрів на яких протікає адсорбція та каталіз.

### **БІЛЕТ № 10**

1. Скануюча тунельна мікроскопія, атомно-силова мікроскопія (СТМ, АСМ).

Історія методу. Теоретичні аспекти застосування методу. Тунелювання електрону. Основи будови апаратури для використання методу (конструкції сканеру, типу і т.д), варіанти сканування поверхні. Можливості методу. Варіанти застосування методу (2D-, 3D-зображення поверхні, профіль та шорсткість поверхні) Приготування зразків для досліджень. Приклади практичного використання методу для аналізу поверхні сорбентів і каталізаторів, адсорбованих речовин та можливі помилки.

2. Рентгенофазовий аналіз при малокутовому розсіюванні. Особливості методу та його можливості.

3. Рентгенофотоелектронна спектроскопія. Теоретичні аспекти методу. Апаратура реалізації методу. Приготування зразків для проведення досліджень. Аналіз спектрів оже- та остовних електронів елементів. Якісний склад поверхні. Кількісний склад поверхні. Валентний стан елементів в поверхневому шарі зразка. Комплексне застосування енергії зв'язку остовних електронів елементів та значень розщеплення енергії для різних рівнів.

### **БІЛЕТ № 11**

1. Варіанти застосування методу ТЕМ (морфологія зразків, електронографія, електронна мікроскопія високого розрізнення). Практичні приклади використання ТЕМ при дослідженні структури сорбентів та каталізаторів. Аналіз одержаних результатів та можливі помилки.

2. Можливості методу ЕПР для дослідженні адсорбованих молекул (спін-мітка) та проміжних сполук у хімічних реакціях. Практичні приклади застосування методу та можливі помилки при його використанні.

3. Приклади практичного застосування методу РФЕС при аналізі стану поверхні сорбентів та каталізаторів. Можливості методу для дослідження хемосорбованих молекул. Перспективи розвитку метода.

## 11. РЕКОМЕНДОВАНА ЛИТЕРАТУРА

1. Литтл Л. Инфракрасные спектры адсорбированных молекул. М.: Мир, 1969.
2. Эткинс П., Саймонс М. Спектры ЭПР и строения неорганических радикалов. М.: Мир, 1970.
3. Зигбан К. и др. Электронная спектроскопия. М.: Мир, 1971.
4. Куска Х., Роджерс М. ЭПР комплексов переходных металлов. М.: Мир, 1970.
5. Керрингтон А., Мак-Лечлан Э. Магнитный резонанс и его применение в химии. М.: Мир, 1970.
6. Немошкаленко В.В., Алешин В.Г. Электронная спектроскопия кристаллов. К.: Наукова думка, 1976.
7. Томас Дж., Лемберт Р. Методы исследования катализаторов. М.: Мир, 1983.
8. Вертц Дж., Болтон Дж. Теория и практические приложения метода ЭПР. М.: Мир, 1975.
9. Накамото К. ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений. М.: Мир, 1991.
10. Грег Г., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. М.: Мир, 1984.
11. Танабе К. Твердые кислоты и основания. М.: Мир, 1973.
12. Гоулдстейн Дж., Яковица Х. Практическая растровая электронная микроскопия. М.: Мир, 1978.
13. Синдо Д., Оикава Т. Аналитическая просвечивающая электронная микроскопия. М.: Техносфера, 2006.
14. Горелик С.С., Скаков Ю.А., Расторгуев Л.Н. Рентгенографический и электронно-оптический анализ. М.: МИСИС, 1994.
15. Берг Л.Г. Введение в термографию. М.: Наука. 1969.
16. Яминский И.В., Багров Д.В. Основы атомно-силовой микроскопии. М.: НОУДПО «Институт АйТи», 2011.
17. Вест А. Химия твердого тела. Теория и приложения. М.: Мир, 1988.