

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ КОЛОЇДНОЇ ХІМІЇ ТА ХІМІЇ ВОДИ ім. А.В. ДУМАНСЬКОГО**

ЗАТВЕРДЖЕНО

Вченою радою
Інституту колоїдної хімії та хімії води
ім. А.В. Думанського НАН України
пр. № 10 від «23» жовтня 2023 р.

Голова Вченої ради
Інституту колоїдної хімії та хімії води
ім. А.В. Думанського НАН України
академік НАН України



Владислав Гончарук Владислав ГОНЧАРУК

ПРОГРАМА

навчальної дисципліни

“АДСОРБЦІЯ”

ГАЛУЗЬ ЗНАНЬ	10 - ПРИРОДНИЧІ НАУКИ
СПЕЦІАЛЬНІСТЬ	102 - ХІМІЯ
СПЕЦІАЛІЗАЦІЯ	КОЛОЇДНА ХІМІЯ ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА
РІВЕНЬ ОСВІТИ	ТРЕТІЙ (ОСВІТНЬО-НАУКОВИЙ)

Київ -2023 р.

РОЗРОБНИК ПРОГРАМИ:

Д.х.н., проф., зав. відділу Інституту колоїдної хімії та хімії води
ім. А.В. Думанського НАН України

Мешкова-Клименко Наталія Аркадіївна



(підпис)

Програму затверджено на засіданні Вченої ради
Інституту колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України
протокол № 10
від «23» жовтня 2023 року

Вчений секретар



Людмила ЮРЛОВА

ВСТУП

Програму вибіркової навчальної дисципліни «Адсорбція» складено відповідно до освітньо-наукової програми підготовки «доктор філософії» в галузі природничих наук за спеціальністю 102 - «Хімія».

Предметом вивчення навчальної дисципліни є знання в галузі поверхневих явищ та методологія організації науково-дослідницької діяльності для подальшої успішної самостійної експериментальної роботи за спеціалізацією «Колоїдна хімія». Вона забезпечує загальний та професійний розвиток аспіранта та спрямована на отримання поглиблених знань в хімії.

Міждисциплінарні зв'язки. Навчальна дисципліна «Адсорбція» згідно з навчальним планом належить до дисциплін циклу професійної підготовки (блоку дисциплін вільного вибору аспіранта) для спеціалізації «Колоїдна хімія».

Місце у структурно-логічній схемі: ДВА 2.2. Дисципліна викладається на III році навчання аспірантури. Кількість кредитів: 4 (120 год: 20 год – лекційні заняття, 4 год – практичні заняття, 96 год – самостійна робота).

Матеріал курсу слугує теоретичною основою для формування умінь та навичок, необхідних для проведення науково-дослідницької діяльності в галузі природничих наук, а саме хімії, формування системи знань про поверхневі явища, методи наукових досліджень в колоїдній хімії з подальшою розробкою проекту дисертаційної роботи.

1. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

1.1. Мета навчальної дисципліни.

Сформуванню у аспірантів цілісне уявлення про адсорбцію, адсорбційні сили, фізичну мономолекулярну та полімолекулярну адсорбцію, хемосорбцію та комплексоутворення, ізотерми адсорбції, газів та термодинаміку – адсорбції, адсорбції із розчинів та рівновагу адсорбції, кінетику та динаміку адсорбції, адсорбенти та їх структуру, а також організацію наукових досліджень, науку та відомості про стан сучасної науки.

Сформуванню знань та розвинути компетентності з розуміння процесів наукової діяльності та методологічних і методичних основ наукового дослідження, зокрема, в галузі хімії.

Оволодіння програмою курсу сприяє виконанню аспірантами завдань з інших дисциплін за навчальним планом, які пов'язані з науковим дослідженням, узагальненням теоретичного матеріалу і розробкою практичних рекомендацій щодо застосування результатів наукового дослідження. Матеріал курсу допоможе при аналізі інформаційних джерел, підготовці дисертаційної роботи, статей, доповідей на науково-практичних конференціях.

1.2. Основні завдання навчальної дисципліни.

Згідно з вимогами освітньо-наукової програми аспіранти після засвоєння навчальної дисципліни повинні

знати:

- зміст основних категорій у галузі адсорбції та адсорбційної технології;
- стан наукової діяльності в цьому напрямку в Україні та за кордоном;
- особливості проведення наукового дослідження;
- методологію сучасного наукового дослідження в галузі поверхневих явищ;
- основні види і джерела наукової інформації;

- загальні вимоги до оформлення наукового дослідження.

вміти:

- обґрунтувати наукову проблему;
- добирати інформаційні джерела наукових досліджень;
- розробляти методiku та план наукового дослідження;
- аналізувати результати експерименту;
- оформляти результати наукових досліджень;
- здійснювати апробацію результатів наукових досліджень.

В рамках даної дисципліни поглиблюються і розвиваються такі **загальні** компетенції:

- **Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.** Набуття гнучкості мислення, відкритого для застосування набутих хімічних знань для вирішення стратегічних та поточних завдань промислового розвитку, а також для застосування набутих знань у практичних ситуаціях;
- **Здатність до проведення самостійних наукових досліджень.** Набуття компетентностей ініціювання та виконання наукових досліджень, які дають можливість переосмислити наявні та отримати нові знання.
- **Творчість.** Здатність до генерування нових ідей, абстрактне мислення, досягнення наукових цілей, знаходити найкращі рішення в нових умовах та ситуаціях,

а також наступні **фахові** компетенції:

- **Глибинні знання зі спеціалізації.** Знання і розуміння поглибленого рівня в галузі колоїдної хімії і споріднених областях, включаючи методи проведення експериментів, рівень цих знань повинен бути достатнім для проведення наукових досліджень на рівні останніх світових досягнень і направленим на їх розширення і поглиблення.
- **Дослідницькі здатності.** Здатність формулювати наукову проблему, робочі гіпотези конкретної досліджуваної проблеми, виконувати оригінальні дослідження в галузі колоїдної хімії, досягати наукових результатів, які створюють нові цілісні знання, розв'язувати проблеми та задачі шляхом розуміння їх фундаментальних основ та використання засвоєних теоретичних і експериментальних методів колоїдної хімії.
- **Технологічні здатності.** Вміння вибирати та використовувати наукове обладнання, технології та процедури, які відносяться до хімічних та фізико-хімічних методів досліджень у галузі колоїдної хімії.
- **Здатність до критичного аналізу та оцінювання даних.** Вміння аналізувати дані проведених експериментів в галузі колоїдної хімії, в тому числі із застосуванням обчислювальної техніки, інтерпретувати, оформляти та обговорювати результати експериментів.
- **Здатність до саморозвитку та самовдосконалення.** Здатність шляхом самостійного навчання освоїти нові галузі науки, використовуючи здобуті фахові знання, уміння та навички.

2. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

На вивчення навчальної дисципліни відводиться 120 навчальних годин / 4 кредити ECTS.

Модулі дисципліни і види занять.

№	Модулі дисципліни	Кількість кредитів ECTS	Обсяг навчальної роботи (в годинах)						Вид підсумкового контролю
			загальний обсяг	всього аудиторних	лекції	практичні	семінари	Самостійна робота	
1.	Вступ до дисципліни «Адсорбція»	0,27	8	2	2	-	-	6	
2.	Явище адсорбції та адсорбційної хроматографії	1,07	32	6	6	-	-	26	
3.	Адсорбція із розчинів. Рівновага адсорбції	1,33	40	8	6	2	-	32	
4.	Кінетика та динаміка адсорбції. Структура адсорбенту	1,33	40	8	6	2	-	32	
Разом		4	120	24	20	4	-	96	Екзамен

Навчальна дисципліна містить чотири кредитних модулі:

МОДУЛЬ 1. ВСТУП ДО ДИСЦИПЛІНИ «АДСОРБЦІЯ»

Тема 1. Вступ.

Відкриття явища адсорбції та адсорбційної хроматографії. Роль вітчизняних вчених в галузі вивчення адсорбційних явищ. Значення адсорбції для технології. Роль адсорбційних явищ в біології.

МОДУЛЬ 2. ЯВИЩЕ АДСОРБЦІЇ ТА АДСОРБЦІЙНОЇ ХРОМАТОГРАФІЇ

Тема 2. Сутність явищ фізичної (молекулярної) адсорбції.

Адсорбційні сили. Роль дисперсійної, поляризаційної та орієнтаційної взаємодії молекул з поверхнею конденсованих фаз при адсорбції. Молекулярна та полімолекулярна адсорбція. Експериментальні та теоретичні докази мономолекулярності та полімолекулярності адсорбційних шарів. Уявлення про адсорбційний шар як про особливу фазу. Використання t-методу Де-Бура для оцінки товщини адсорбційного шару.

Тема 3. Хемосорбція та активована сорбція

Критерії виявлення хемосорбції, її відміна від фізичної адсорбції. Оборотноість, енергія активації, теплота хемосорбції. Поверхневі хімічні сполуки та методи їх вивчення. Комплексоутворення при хемосорбції.

МОДУЛЬ 3. АДСОРБЦІЯ ІЗ РОЗЧИНІВ. РІВНОВАГА АДСОРБЦІЇ

Тема 4. Ізотерми адсорбції газів та парів.

Ізотерма мономолекулярної адсорбції Ленгмюра, її кінетичний висновок. Ізотерма Хілла та рівняння стану реальних газів. Теорія полімолекулярної адсорбції: потенційна теорія адсорбції БЕТ; адсорбція в мікропористих тілах.

Теорія об'ємного заповнення мікропор Дубініна-Радушкевича та її подальший розвиток в роботах Дубініна та Серпінського.

Експериментальні методи вимірювання адсорбційної рівноваги при адсорбції газів та парів твердими тілами.

Тема 5. Термодинаміка адсорбції газів та парів

Адсорбція газів та парів та зменшення числа ступенів свободи у адсорбованих молекул. Максимальна робота адсорбції. Теплові ефекти адсорбції. Диференціальне та інтегральне зменшення вільної енергії. Диференціальні та інтегральні теплоти адсорбції.

Характеристичні криві адсорбції в теорії Поляні та Дубініна. Стандартна зміна диференціальної молекулярно вільної енергії в ізотермічних умовах та константа адсорбційної рівноваги.

Зміна енергії при адсорбції та інших термодинамічних функцій системи адсорбції. Явище капілярної конденсації парів в пористих адсорбентах. Вплив поверхневого натягу рідини, кута змочування, форм та радіусу капіляру.

Тема 6. Адсорбція із розчинів. Рівновага адсорбції

Адсорбція на поверхні розділу фаз газ-рідина та рідина-рідина. Міжфазовий поверхневий натяг. Поверхнева енергія. Абсолютна та надлишкова сорбція. Ізотерма адсорбції Гіббса. Формула Шишковського. Орієнтація молекул на поверхні розділу газ-розчин або двох розчинів. Вплив довжини вуглецевих ланцюгів адсорбованих молекул на величину адсорбції. Правило Траубе.

Концентрація молекул в адсорбційному шарі на межі фаз газ-рідина. Структура двомірної адсорбційної плівки. Мономолекулярність та полімолекулярність адсорбційних

шарів при адсорбції із розчинів на поверхні розділу розчин-твердий сорбент.

Особливості адсорбції із водних розчинів. Вибірковість та витіснювальний характер адсорбції органічних речовин з водних розчинів на вуглецевих сорбентах. Вплив структури рідкої води та водних розчинів на адсорбцію розчинених речовин. Роль водневих зв'язків. Роль гідратації і функціональних груп молекул. Вплив розчинності на адсорбцію.

Зміна термодинамічних функцій при адсорбції із розчинів. Стандартне зменшення диференціальної молярної вільної енергії при адсорбції з розчинів та константа адсорбційної рівноваги. Вибори стандартного стану. Ізотерми адсорбції із розчинів. Вплив міжмолекулярних взаємодій в адсорбційному шарі на ізотерми адсорбції.

Рівняння ізотерми мономолекулярної адсорбції із розчинів на непористих та мікропористих адсорбентах. Поняття про поверхневу концентрацію та активність компонентів розчину в адсорбційному шарі при адсорбції із розчинів. Орієнтація молекул в адсорбційному шарі.

Співвідношення між проекцією розміру молекул та їх «посадочною площадкою». Поняття адсорбційного об'єму.

Адитивність стандартного зменшення диференціальної молярної вільної енергії адсорбції та вплив структури адсорбованих молекул на константу адсорбційної рівноваги. Концентраційні межі застосування адсорбційної технології для очищення природних і стчних вод. Розрахунок констант адсорбційної рівноваги із експериментальних даних і по таблицям інкрементів стандартного зменшення вільної енергії адсорбції.

Вплив дисоціації слабких електролітів та асоціації колоїдних електролітів (ПАР, барвників, інше) на активність в адсорбційному шарі та в рівноважному розчині. Оптимальний рН адсорбції слабких електролітів та константа їх іонізації. Міцелярна адсорбція ПАР із розчинів при концентрації \geq ККМ (критичної концентрації міцелоутворення).

Ізотерми адсорбції сумішей із розчинів. Парціальні ізотерми адсорбції компонентів суміші. Умови подолання адсорбції одного із компонентів. Вплив температури на адсорбцію із розчинів.

МОДУЛЬ 4. КІНЕТИКА ТА ДИНАМІКА АДСОРБЦІЇ. СТРУКТУРА АДСОРБЕНТУ

Тема 7. Кінетика та динаміка адсорбції

Вплив умов масопереносу на кінетику адсорбції. Внутрішньодифузійна та зовнішньодифузійна кінетика адсорбції пористими адсорбентами, опис їх за допомогою диференціальних рівнянь. Умови їх вирішення.

Динаміка адсорбції із потоку газу носія або розведеного розчину, що фільтрується через шар зернистого адсорбенту. Фронт адсорбційної хвилі. Теорія руху фронту адсорбційної хвилі Шилова.

Основи адсорбційної хроматографії. Принцип роботи адсорбційних апаратів в промисловості.

Тема 8. Структура адсорбенту

Будова адсорбентів та їх різноманітність. Поверхневі функціональні групи та адсорбційні центри на поверхні адсорбентів різної хімічної та кристалохімічної будови.

Функціональні групи, що утворюють водневі зв'язки з молекулами адсорбтива. Методи визначення поверхневих функціональних груп.

Пориста структура адсорбентів, поняття питомої поверхні. Класифікація пористих адсорбентів по Дубініну. Характеристика пористої структури. Цеоліти та молекулярні сита. Оцінка розміру мікропор, характер пористості та первинна структура сорбентів. Ефективна питома поверхня мікропористих адсорбентів, відносна її величина та залежність від структури мікропор.

3. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА:

1. Н.В. Кельцев. Основы адсорбционной техники. М.: Химия, 1984. 592 с.
2. С. Грег, К. Синг. Адсорбция. Удельная поверхность. Пористость. М.: Мир, 1984. 306 с.
3. Е.В. Венецианов, Р.Н. Рубинштейн. Динамика сорбции из жидких сред. М.: Наука, 1983. 238 с.
4. Ю.А. Кокотов, В.А. Пасечник. Равновесие и кинетика ионного обмена. Л.: Химия, 1970. 336 с.
5. Р. Айлер. Химия кремнезема. М.: Мир, 1982. Ч.1. 416 с. Ч. 2. 712 с.
6. Сорбенты на основе силикагеля в радиохимии; под ред. Б.Н. Ласкорина. М.: Атомиздат. 1977. 304 с.
7. Модифицированные кремнеземы в сорбции, катализе и хроматографии; под ред. Г.В. Лисичкина. М.: Химия, 1986. 248 с.
8. К.М.Салдадзе, В.Д. Копылова-Валова. Комплексообразующие иониты. М.: Химия, 1980. 336 с.
9. Р. Херинг. Хелатообразующие ионообменники. М.: Мир, 1971. 280 с.
10. Д. Брек. Цеолитовые молекулярные сита. М.: Мир. 1976. 780 с.
11. Химия цеолитов и катализ на цеолитах; под ред. Дж. Рабо. М.: Мир, 1980. Т. 1. 506 с. Т. 2. 422 с.
12. Г.Дж. Кассиди, К.А. Кун. Окислительно-восстановительные полимеры. Л.: Химия, 1967. 270 с.
13. А.В. Кожевников. Электрообменники. Л.: Химия, 1972. 128 с.
14. Т.А. Кравченко, Н.И. Николаев. Кинетика и динамика процессов в редокситах. М.: Химия, 1982. 144 с.
15. Л.Б.Зубанова, А.С.Тевлина, А.Б.Давамнов.Синтетические ионообменные материалы. М.: Химия, 1978. 184 с.
16. Иониты в химической технологи; под ред. Б.Д. Никольского и П.Г. Романова. М.: Химия, 1982, 416 с.
17. Тарасевич Ю.И. Строение и химия поверхности слоистых силикатов. К.: Наук. думка, 1988. 248 с.
18. Ю.И. Тарасевич. Поверхностные явления на дисперсных материалах. К.: Наук. думка, 2011. 390 с.
19. А.М. Когановский, Н.А. Клименко, Т.М. Левченко та інш. Адсорбция органических веществ из воды. Л.: Химия, 1990. 256 с.
20. А.М.Когановский,Т.М.Левченко,И.Г.Рода,Р.М..Марутовский. Адсорбционная технология очистки сточных вод. К.; Техніка, 1981. 175 с.

4. ФОРМА ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ УСПІШНОСТІ НАВЧАННЯ:

Екзамен.

5. ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ УСПІШНОСТІ НАВЧАННЯ:

Діагностика успішності навчання аспірантів під час проведення **лекційних занять:**

- відповіді на питання за лекційним курсом;
- усні завдання.

Діагностика успішності навчання аспірантів під час проведення **практичних та індивідуальних занять:**

- усне опитування;
- участь в обговоренні дискусійних питань.