


**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. № 2 від «31» січня 2025 р.

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



ПРОГРАМА

навчальної дисципліни


“АДСОРБЦІЯ”

ГАЛУЗЬ ЗНАНЬ	10 - ПРИРОДНИЧІ НАУКИ
СПЕЦІАЛЬНІСТЬ	102 - ХІМІЯ
РІВЕНЬ ОСВІТИ	ТРЕТІЙ (ОСВІТНЬО-НАУКОВИЙ)
КВАЛІФІКАЦІЯ	ДОКТОР ФІЛОСОФІЇ

РОЗРОБНИК ПРОГРАМИ:

Д-р хім. наук, проф., завідувач відділу сорбції та біології очистки води
Інституту колоїдної хімії та хімії води
ім. А.В. Думанського НАН України

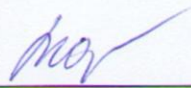
Мешкова-Клименко Наталія Аркадіївна



(підпис)

Програму затверджено на засіданні Вченої ради
Інституту колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України
протокол № 2
від «31» січня 2025 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.

Сформувані 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.

Сформувані знання 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 ЄКТС	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 модулів:

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. Prospects of development of fundamental and applied investigations in the field of water physics, chemistry and biology. Edited by V.V. Goncharuk, Academician of the National Academy of Sciences of Ukraine. Kyiv: Naukova dumka, 2011. 407 p.
2. Когановський А.М., Клименко Н.А., Левченко Т.М., Рода І.Г. Адсорбція органічних речовин з води. Л.: Хімія, 1990. 256 с.
3. Екологічні аспекти сучасних технологій охорони водного середовища. К.: Наукова думка, 2005. 395 с.
4. Запольський А.К., Мешкова-Клименко Н.А., Астрелін І.М. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод. К.: Лібра, 2000. 552 с.
5. Klimenko N., Winter-Nielsen M., Smolin S., Nevynna L., Sydorenko Yu. Role of the physic-chemical factors in the purification process of water from surf0active matter by biosorption. *Water Research*. 2002. Vol. 36. P. 5132–5140.
6. Klimenko N., Smolin S., Grechanyk S., Kofanov V., Nevynna L., Samoilenko L. Bioregeneration of activated carbon by bacterial degraders after adsorption of surfactants from aqueous solutions. *Colloids and Surfaces*. 2003. Vol. 23. P. 141–158.
7. Klimenko N., Nevynna L., Sydorenko Yu., Synelnikova A. Determination of rational conditions of preliminary ozonation with nonionic polyethoxylated surfactants before biosorption. *Ozone Sci. and Eng.* 2006. Vol. 28. P. 1–8.
8. Aktas O., Cecen F. Adsorption, desorption and bioregeneration in the treatment of 2-chlorophenol with activated carbon. *J. Hazard. Mater.* 2007. Vol. 141, № 3. P. 769-777.
9. Klimenko N., Synelnikova A., Nevynna L., Smolin S., Sydorenko Yu., Gvozdyak P. The impact of aromatic compounds on the efficiency of biofiltration through activated carbon. *J. Wat. Chem. Technol.* V. 30, № 2. P.92–99.
10. Клименко Н.А., Антонюк Н.Г., Невинна Л.В., Смолін С.К. Біосорбція в процесах очистки природних та стічних вод. *Хімія і технологія води*. 2000. Т. 22, № 1. С. 37–55.
11. Гумницький Я.М. Адсорбція: система природний адсорбент – рідка фаза. Львів: Львівська політехніка, 2022. 216 с.
12. Іваненко І.М., Донцова Т.А., Феденко Ю.М. Адсорбція, адсорбенти і каталізатори на їх основі. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 232 с.
13. Черненко Я.М., Волошин М.Д., Ларичева Л.П. Каталізатори та сорбенти. Кам'янське: ДДТУ, 2017. 316 с.
14. Мешкова-Клименко Н.А., Епоян С.М., Гомеля М.Д. та ін. Інтенсифікація технологічних процесів комплексного очищення стічних вод промислово-урбаністичних центрів. Київ: ТОВ «ТО Ексклюзив», 2013. 239 с.
15. Adsorption through Advanced Nanoscale Materials. Applications in Environmental Remediation / ed. by Verma S., Aslam J., Khan M. E. Elsevier, 2023. 705 p.
16. Chi Tien. Introduction to Adsorption. Basics, Analysis, and Applications. Elsevier, 2019. 206 p.
17. Bansal R. C., Goyal M. Activated Carbon Adsorption. CRC Press, 2005. 520 p.
18. Adsorption by Carbons / ed. by Bottani E.J., Tascón J.M.D. 2008. 742 p.
19. Ruthven D. M. Principles of Adsorption and Adsorption Processes. New York: Wiley-Interscience, 1984. 464 p.
20. Adsorption Processes for Water Treatment and Purification / ed. by A. Bonilla-Petriciolet, D.I.Mendoza-Castillo, H.E. Reynel-Ávila. Cham: Springer International Publishing, 2017. 256 p.
21. Worch E. Adsorption Technology in Water Treatment: Fundamentals, Processes, and Modeling. Berlin: De Gruyter, 2021. 363 p.
22. Sillanpää M. Advanced Water Treatment: Adsorption. Elsevier, 2020. 694 p.
23. Adsorbents for Water and Wastewater Treatment and Resource Recovery / ed. by S. Santos, B. Cidália, A. Pintor. 2022. 412 p.

4. ФОРМА ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ УСПІШНОСТІ НАВЧАННЯ:

Екзамен.

5. КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ НАВЧАЛЬНИХ ЗДОБУТКІВ АСПРАНТА З ДИСЦИПЛІНИ

Контроль навчальних досягнень аспірантів реалізується за наступною схемою.

Оцінюються наступні складники:

- Аудиторна робота аспіранта (письмова модульна контрольна робота МКР по лекційному матеріалу) – 20 б;
- Робота на практичних заняттях (усне опитування, участь в обговоренні дискусійних питань) – 20 б;
- Самостійна робота (реферат) – 20 б;
- Екзамен – 40 б.

МКР виконується звичайно в середині навчального курсу, якщо підсумковий контроль передбачає екзамен. МКР оцінюється наступним чином:

- «відмінно» (20 б) - відповіді на питання чіткі та правильні, повні, обґрунтовані, завдання розв'язані вірно, з поясненнями;
- «добре» (15 б) – відповіді правильні, обґрунтовані, але не вичерпні (містять не менше 75% потрібної інформації), є несуттєві помилки у формулах, термінології, технічних характеристиках;
- «задовільно» (10 б) – відповіді неповні (містять менше 60% необхідної інформації);
- «незадовільно» (5 б) – відповіді носять загальний поверхневий характер, завдання не розв'язані, є помилки у формулах, термінології, технічних характеристиках;
- неявка на МКР – 0 балів.

Усне опитування оцінюється за наступними критеріями (на першому занятті викладач повинен озвучити кількість опитувань та максимальну кількість балів, які можна отримати за кожне опитування, наприклад, 5 опитувань по 2 бали):

- відповідність змісту відповіді поставленим питанням;
- повнота і ґрунтовність викладення матеріалу;
- коректність у формулах, термінології, технічних характеристиках;
- здатність на основі викладеного матеріалу зробити висновки та прогнозування проблеми.

Участь в обговоренні дискусійних питань має продемонструвати знання матеріалів лекцій, практичних занять, обов'язкової літератури та точку зору аспіранта з дискусійного питання й аргументацію щодо неї. Вона оцінюється за наступними критеріями (на

першому занятті викладач повинен озвучити кількість обговорень та можливі бали за кожне з них, наприклад, 2 дискусії по 5 балів):

- знання матеріалу теми (поняття, концепції, методи, світова практика);
- певні практичні навички (знання відповідних методик та методів наукових досліджень);
- грамотність та самостійність у формулювання тверджень, висновків та прогнозів;
- аргументованість та вміння відстояти свою точку зору.

Самостійна робота аспіранта, результатом якої є написання реферату – 20 балів. Реферат – розробка теми на основі поглибленого вивчення літературних джерел до неї. Реферат оцінюється за наступними критеріями:

- чіткість і послідовність викладення матеріалу відповідно до самостійно складеного плану (у текстовій частині кожне питання плану має бути виділено окремо);
- правильність та логічність цитувань, ґрунтовність їх узагальнення та висновків, зроблених на основі вивчення літератури загалом;
- наявність і правильне оформлення списку літератури (з точними бібліографічними даними), яку аспірант вивчив і використав при написанні реферату.

У рефераті мають бути відображені головні питання теми і показано вміння відбирати найважливіший та актуальний матеріал, що стосується теми (4 б); переконливо обґрунтовувати і аргументувати головні положення роботи (4 б); викладати питання грамотно, стисло, ясно, послідовно (4 б); робити правильні логічні висновки, узагальнення, прогнозування проблеми (4 б); правильно оформлювати реферат та список використаної літератури, відповідно до вимог викладача дисципліни (4 б). Якщо передбачається публічний захист реферату, викладач повідомляє про це на першому занятті.

Аспірант вважається допущеним до підсумкового контролю – екзамену, якщо він виконав усі види робіт, що передбачені робочою програмою навчальної дисципліни.

Загальна оцінка за екзамен по білету підраховується як сумарна кількість оцінок, отриманих за кожне питання білета (в тому числі й додаткове). Кількість питань в білеті – 4.

Шкала та критерії оцінювання відповіді аспіранта на екзамені:

- «відмінно» (10 б) – аспірант глибоко і всебічно знає зміст запитання, орієнтується в актуальній науковій літературі; логічно мислить і будує відповідь, вільно використовує набуті теоретичні знання при аналізі та відповіді на питання; пов'язує матеріал дисципліни з сучасними науковими проблемами; демонструє високий рівень компетентності; здатний передбачати, прогнозувати, вирішувати проблемні завдання;

- «дуже добре» (9-8 б) – аспірант правильно, логічно відтворює навчальний матеріал, розуміє основоположні теорії і факти; вміє наводити окремі власні приклади на підтвердження певних думок, застосовує вивчений матеріал у стандартних ситуаціях, вміє робити висновки та частково прогнози;

- «добре» (7-5 б) – аспірант знає навчальний матеріал; послідовно викладає основні положення та висловлює свої міркування по тематиці питання, але припускається певних неточностей, помилок та похибок;

- «задовільно» (4-3 б) – аспірант в основному знає зміст питання, але не досить переконливо відповідає, плутає поняття; не впевнений у відповіді, допускає неточності; не достатньо чітко вміє оцінювати факти та явища, встановлювати взаємозв'язок теорії та практики;

- «незадовільно» (2-1 б) – аспірант не може розкрити суть питання; відповідає лише з допомогою екзаменатора; слабо орієнтується в теорії та сучасному стані проблеми;

- 0 б – неявка на екзамен.

Максимальний бал аспіранта за навчальну дисципліну становить 100 балів. До індивідуального плану вноситься сумарна кількість балів, отримана аспірантом за навчальну дисципліну у графу «Сума балів».

6. ПИТАННЯ ЕКЗАМЕНАЦІЙНИХ БІЛЕТІВ

1. Відкриття явища адсорбції та адсорбційної хроматографії. Значення адсорбції для технологічних процесів. Роль адсорбційних явищ в біології.
2. Сутність явищ фізичної (молекулярної) адсорбції.
3. Уявлення про адсорбційний шар як про особливу фазу. Використання t-методу Де-Бура для оцінки товщини адсорбційного шару.
4. Хемосорбція та активована сорбція.
5. Ізотерма мономолекулярної адсорбції Ленгмюра.
6. Теорія полімолекулярної адсорбції газів та парів Брунауера, Еммета та Теллера. Ізотерма адсорбції БЕТ.
7. Теорія об'ємного заповнення мікропор Дубініна-Радускевича та її подальший розвиток в роботах Дубініна та Серпінського.
8. Адсорбція в мікропористих матеріалах і теорія об'ємного заповнення мікропор.
9. Адсорбція газів та парів та зменшення числа ступенів свободи у адсорбованих молекул. Максимальна робота адсорбції.
10. Явище капілярної конденсації парів в пористих адсорбентах. Вплив поверхневого натягу рідини, кута змочування, форм та радіусу капіляру.

11. Ізотерма адсорбції Гіббса. Формула Шишковського. Вплив довжини вуглецевих ланцюгів адсорбованих молекул на величину адсорбції. Правило Траубе.
12. Концентрація молекул в адсорбційному шарі на межі фаз газ-рідина. Структура двомірної адсорбційної плівки.
13. Адсорбційні сили та вибірковість адсорбції органічних молекул з водних розчинів на твердих сорбентах.
14. Природа фізичної адсорбції молекул на вуглецевих сорбентах.
15. Взаємодія неполярних молекул з неполярним адсорбентом.
16. Особлива роль вуглецевих матеріалів при адсорбції органічних речовин з водних розчинів.
17. Хімічна природа поверхні вуглецевих адсорбентів та її значення для молекулярної адсорбції органічних речовин з водних розчинів.
18. Вплив розчинності органічних речовин на їх адсорбцію з водних розчинів.
19. Константа адсорбційної рівноваги і вплив розчинності речовини на рівновагу при адсорбції з розчинів.
20. Будова адсорбентів та їх різноманітність. Поверхневі функціональні групи та адсорбційні центри на поверхні адсорбентів різної хімічної та кристалохімічної будови.
21. Непористі та пористі вуглецеві адсорбенти. Питома поверхня та об'єм пор.
22. Методи визначення питомої поверхні та параметрів пористої структури вуглецевих адсорбентів по адсорбції органічних речовин з водних розчинів.
23. Методи визначення питомої поверхні та параметрів пористої структури вуглецевих адсорбентів по адсорбції органічних речовин з водних розчинів.
24. Вплив дисоціації слабких електролітів та асоціації колоїдних електролітів (ПАР, барвників, інше) на активність в адсорбційному шарі та в рівноважному розчині.
25. Ізотерми адсорбції сумішей із розчинів. Парціальні ізотерми адсорбції компонентів суміші. Умови подолання адсорбції одного із компонентів.
26. Вплив температури на адсорбцію із розчинів.
27. Вплив умов масопереносу на кінетику адсорбції. Внутрішньодифузійна та зовнішньодифузійна кінетика адсорбції пористими адсорбентами.
28. Функціональні групи, що утворюють водневі зв'язки з молекулами адсорбтива. Методи визначення поверхневих функціональних груп.
29. Визначення питомої поверхні вуглецевих адсорбентів, які не містять мікропор, по абсорбції n-хлораніліна з водних розчинів.
30. Поняття про формування біоплівки на поверхні сорбента в динамічних умовах при фільтрування розчинів органічних речовин через твердий сорбент. Біосорбція.