

АЦІОНАЛЬНА 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 № 8
від « 04 » вересня 2025 року

Голова Вченої ради Інституту



Сергій СОЛОПАН

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ(СИЛАБУС)

Мембранні матеріали і технології

(назва навчальної дисципліни)

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

Галузь знань: **10 Природничі науки**

Спеціальність: **102 Хімія**

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

Київ
2025



Робоча програма навчальної дисципліни «Мембранні матеріали і технології» -
Київ, 2025 р. – 13 с.

РОЗРОБНИКИ РОБОЧОЇ ПРОГРАМИ:

Дзязько Юлія Сергіївна, провідний науковий співробітник
ІЗНХ ім. В.І. Вернадського НАН України, доктор хімічних наук,
старший науковий співробітник

Рожественська Людмила Михайлівна, старший науковий
співробітник ІЗНХ ім. В.І. Вернадського НАН України, кандидат
хімічних наук,

старший науковий співробітник


(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 № 8
від «04» вересня 2025 року

Вчений секретар Інституту



Людмила ЛИСЮК

1.Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Характеристика навчальної дисципліни
Загальна кількість: кредитів – 1 годин – 30 змістових модулів – 1	<i>Обов'язкова дисципліна</i>
	<i>Рік підготовки – 2 курс</i>
	<i>Лекції - 8 год.</i>
	<i>Практичні 4 год</i>
	<i>Лабораторні заняття не передбаченні</i>
	<i>Консультації – 2 год.</i>
	<i>Самостійна робота - 16 год.</i>
	<i>Форма підсумкового контролю: згідно з навчальним планом - іспит</i>

2. Мета та завдання навчальної дисципліни «Мембранні матеріали і технології»

Мета навчальної дисципліни:

- підготовка фахівців високої кваліфікації, що володіють науково обґрунтованими методами та принципами створення мембранних матеріалів із заданими властивостями для потреб біотехнологій, медицини та екології;
- набуття знань про історію мембран та мембранних процесів, наукових основ модифікування мембран та процесів мембранного розділення із використанням інформації, отриманої з курсів фізичної хімії та інших навчальних дисциплін;
- формування сучасного рівня знань в області мембран та мембранного розділення, що дозволить ефективно використовувати їх для всебічного дослідження найрізноманітніших мембранних процесів, направлених на водоочищення та водопідготовку, переробку рідин біогенного походження тощо, та розробці нових технологічних процесів за участю мембран та нових матеріалів для мембранного розділення.

Завдання навчальної дисципліни:

Сформувати у аспірантів розуміння діалектичного розвитку науки про мембрани і мембранні процеси для розуміння взаємозв'язку між складом і

пористою структурою мембран зоднієї сторони та їх функціональними властивостями - з іншої, забезпечити чітке уявлення щодо доцільності застосування певного способу мембранного розділення до обробки рідин техногенного та біогенного походження, надати вміння застосовувати певні методи для запобігання забруднень мембран та їх очищення, сформувати вміння правильно підбирати інформативні методи дослідження мембранних матеріалів та мембранного розділення, а також узагальнювати та інтерпретувати отримані результати, забезпечити вміння самостійно працювати з літературними джерелами.

Предмет дисципліни:

Предметом вивчення даної навчальної дисципліни є функціональні властивості мембран, зокрема розділові, які визначаються способом їх синтезу та модифікування, та виділення за допомогою мембран небажаних та цінних компонентів із розчинів природного, техногенного та біогенного походження.

Сучасні наукові підходи до мембран та мембранного розділення включають елементи хімії полімерів, фізичної, неорганічної, органічної, колоїдної хімії, біохімії та електрохімії. Фактично, можна говорити про формування окремої галузі науки про мембрани – свідченням цього є численні колективи та наукові школи у провідних наукових закладах світу, які займаються цією тематикою. Результати їх діяльності висвітлюються у високорейтингових виданнях, які спеціалізуються саме на мембранній тематиці. Наука про мембрани і мембранне розділення – це система підходів до створення мембранних матеріалів та процесів розділення за їх участю, направлених на вирішення важливих прикладних задач водопідготовки, водоочищення, біотехнологій, харчової промисловості тощо.

Ця дисципліна є фундаментом для підготовки фахівців з фізичної хімії різної спеціалізації. Вона сприяє формуванню в аспірантів широкого наукового кругозору, спрямована на розширення знань в області природничих наук. Засвоєння курсу повинно сприяти ознайомленню аспірантів з пріоритетними здобутками в галузі сучасної науки та техніки.

Вивчення дисципліни спрямовано на формування елементів наступних **компетентностей:**

а) загальних (ЗК):

ЗК4, ЗК5, ЗК8.

б) спеціальних/фахових (СК/ФК):

СК1, СК2, СК4, СК7, СК8.

Програмні результати навчання (ПРН): ПРН 2, ПРН 3, ПРН 4, ПРН 8, ПРН 16, ПРН 20.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми аспіранти після засвоєння даної навчальної дисципліни повинні **знати**:

- історію досліджень мембран та мембранного розділення, роль вітчизняних та зарубіжних науковців у здійсненні таких досліджень;
- термінологію та основні способи мембранного розділення;
- сучасні підходи до формування мембран та їх модифікування і дослідження, застосування новітніх матеріалів для модифікування мембран;
- сучасні підходи до мембранного вилучення небажаних, зокрема (токсичних), та цінних компонентів із рідин природного, техногенного та біогенного походження;
- новітні та конвенційні методи забезпечення безперервності та високої продуктивності мембранного розділення;
- основні напрямки практичного застосування широковживаних методів мембранного розділення (баромембранного розділення та газорозділення).

а також **уміти**: використовувати набуті знання при вирішенні практичних задач мембранного матеріалознавства і мембранного розділення, а саме:

- планувати та вирішувати завдання власного професійного та особистого розвитку;
- самостійно здійснювати науково-дослідну діяльність в області мембранного матеріалознавства і мембранного розділення 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 мембранного матеріалознавства і мембранного розділення;

– брати участь в роботі творчих колективів (у тому числі міжнародних) та/або вміти створювати такі колективи для вирішення актуальних проблем мембранного матеріалознавства і мембранного розділення.

Міждисциплінарні зв'язки: Навчальна дисципліна «Мембранні матеріали і технології» належить до циклу дисциплін професійної підготовки аспірантів.

Необхідною умовою засвоєння даної дисципліни є володіння загальноосвітніми курсами з методології науки, фізики, фізичної хімії, неорганічної хімії, органічної хімії, колоїдної хімії електрохімії тощо, які вивчають у вищих навчальних закладах при підготовці спеціалістів та магістрів по спеціальності «Хімія».

Матеріал курсу слугує основою для формування умінь і навичок, необхідних для ефективної дослідницької роботи, аналізу прикладних аспектів в галузі фізичної та колоїдної хімії зі застосуванням фундаментальних знань для розв'язання практичних задач.

3. Зміст навчальної дисципліни "Мембранні матеріали і технології"

Тема 1. Мембрани і мембранні технології: Історія, практичні аспекти.

Методи очищення води у Стародавньому світі, метод Аристотеля та його сучасна верифікація. Відкриття Ж.В. Нолле, Р. Дютроше та Я.Х. Вант-Гоффом законів осмосу, Синтез золів Т. Гремом, використання методу діалізу для їх очищення, перший закон Фіка, шляхи інтенсифікації діалізу, гемодіаліз. Розвиток теоретичної бази мембранних процесів у середні віки: закони Б.Кастеллі та Д. Бернуллі. Розробка інтегрального та диференціального числення І. Ньютоном та Г. Лейбніцем, його застосування для визначення потоку речовин через мембрани. Закон Дарсі. класифікація ювромембранних процесів, затримка мембранами частинок різних розмірів. Розробка ультра-, мікро-,нанофільтрації та зворотного осмосу. Газорозділення: експерименти Д.Мітчелла та Т. Грема. Ефузія та атмоліз, закони Грема та Кнудсена, їх практичне застосування.

Тема 2. Мембранна обробка рідин, що містять компоненти біогенного походження. Основна термінологія процесів баромембранного розділення:

продуктивність та селективності мембран, коефіцієнт концентрування. Забруднення мембран: неорганічне органічне та біозабруднення. Зворотне та незворотне забруднення, стадії забруднення, механізми переносу частинок до поверхні мембран. Особливості забруднень неорганічними та органічними речовинами. Формування біоплівки. Основні підходи до стратегії попередження забруднень. Попередня обробка рідин: ультразвукова активація, хімічна дезінфекція, електрохімічний метод, адсорбція і іонний обмін, антискаланти. Мембранний біореактор. Мембранні методи для очищення стічних вод деревообробної, харчової, текстильної та шкіряної промисловості. Мембранна дезінфекція води.

Тема 3. Модифікування мембран для баромембранного розділення.

Полімери для виготовлення мембран. Метод інверсії фаз для отримання асиметричних мембран. Необхідність модифікування мембран, основні підходи до модифікування. Неорганічні модифікатори, застосування рівняння Оствальда-Фрейндліха для спрямованого контролю розміру частинок. Іоніти природного походження та новітні вуглецеві наноматеріали для модифікування мембран. МАХени та МХени, застосування МХенів для модифікування мембран. Методи синтезу наночастинок аргентуму. Механізм дезінфекційної дії наночастинок аргентуму, графену та МХенів. Модифікування мембран магнітними наночастинами, біоцидними сполуками, ферментами. Гідрофілізація мембран полімерами.

Тема 4. Мембранні процеси для біотехнологій та потреб харчової промисловості. Методи запобігання забруднень мембран речовинами біогенного походження. Очищення мембран. Метод видалення з розчинів баластних речовин - діафільтрація. Афінна хроматографія та афінна ультрафільтрація, поєднання афінної ультрафільтрації з діафільтрацією. Ультрафільтрація для концентрування плазмідної ДНК, імуноглобуліну, пептидів, антоціанів та рослинних білків. Мембранні методи для концентрування, освітлення та розкислення соків. Мембранні методи у виробництві вина та пива. Мембранна фільтрація для

переробки молока та молочної сироватки, застосування електродіалізу для знесолення сироватки.

4. Теми лекційних занять

№, з/п	Назва теми	Кількість годин
1	<p>Мембрани і мембранні технології: Історія, практичні аспекти. Методи очищення води у Стародавньому світі, метод Аристотеля та його сучасна верифікація. Відкриття Ж.В. Нолле, Р. Дютроше та Я.Х. Вант-Гоффом законів осмосу, Синтез золів Т. Гремом, використання методу діалізу для їх очищення, перший закон Фіка, шляхи інтенсифікації діалізу, гемодіаліз. Розвиток теоретичної бази мембранних процесів у середні віки: закони Б.Кастеллі та Д. Бернуллі. Розробка інтегрального та диференціального числення І. Ньютоном та Г. Лейбніцем, його застосування для визначення потоку речовин через мембрани. Закон Дарсі. Класифікація баромембранних процесів, затримка мембранами частинок різних розмірів. Розробка ультра-, мікро-, нанофільтрації та зворотного осмосу. Газорозділення: експерименти Д.Мітчелла та Т. Грема. Ефузія та атмоліз, закони Грема та Кнудсена, їх практичне застосування.</p>	2
2	<p>Мембранна обробка рідин, що містять компоненти біогенного походження. Основна термінологія процесів баромембранного розділення: продуктивність та селективності мембран, коефіцієнт концентрування. Забруднення мембран: неорганічне, органічне та біозабруднення. Зворотне та незворотне забруднення, стадії забруднення, механізми переносу частинок до поверхні мембран. Особливості забруднень неорганічними та органічними речовинами. Формування біоплівки. Основні підходи до стратегії попередження забруднень. Попередня обробка рідин: ультразвукова активація, хімічна дезінфекція, електрохімічний метод, адсорбція і іонний обмін, антискаланти. Мембранний біореактор. Мембранні методи для очищення стічних вод деревообробної, харчової, текстильної та шкіряної промисловості. Мембранна дезінфекція води.</p>	2
3	<p>Модифікування мембран для баромембранного розділення. Полімери для виготовлення мембран. Метод інверсії фаз для отримання асиметричних мембран. Необхідність модифікування мембран, основні підходи до модифікування. Неорганічні модифікатори, застосування рівняння Оствальда-Фрейндліха для спрямованого контролю розміру частинок. Іоніти природного походження та новітні вуглецеві</p>	2

	наноматеріали для модифікування мембран. МАХени та МХени, застосування МХенів для модифікування мембран. Методи синтезу наночастинок аргентуму. Механізм дезинфекційної дії наночастинок аргентуму, графену та МХенів. Модифікування мембран магнітними наночастинами, біоцидними сполуками, ферментами. Гідрофілізація мембран полімерами.	
4	Мембранні процеси для біотехнологій та потреб харчової промисловості. Методи запобігання забруднень мембран речовинами біогенного походження. Очищення мембран. Метод видалення з розчинів баластних речовин - діафільтрація. Афінна хроматографія та афінна ультрафільтрація, поєднання афінної ультрафільтрації з діафільтрацією. Ультрафільтрація для концентрування плазмідної ДНК, іммуноглобуліну, пептидів, антоціанів та рослинних білків. Мембранні методи для концентрування, освітлення та розкислення соків. Мембранні методи у виробництві вина та пива. Мембранна фільтрація для переробки молока та молочної сироватки, застосування електродіалізу для знесолення сироватки.	2

5. Теми семінарських занять
Семінарські заняття не передбачені.

6. Теми практичних занять

№, з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Баромембранне розділення та очищення рідин біогенного походження. Мембранний біореактор. Мембранна дезинфекція води.	2
2	Модифікація мембран та їх застосування в біотехнологіях та харчовій промисловості	2

7. Теми лабораторних занять
Лабораторні заняття не передбачені.

8. Самостійна робота

№, з/п	Назва теми	Кількість годин
--------	------------	-----------------

1.	Мембрани і мембранні технології: Історія, практичні аспекти	4
2.	Мембранна обробка рідин, що містять компоненти біогенного походження.	4
3.	Модифікування мембран для баромембранного розділення.	4
4.	Мембранні процеси для біотехнологій та потреб харчової промисловості.	4

9. Форми контролю і методи оцінювання

(у т.ч. критерії оцінювання результатів навчання)

Поточний контроль здійснюється під час проведення лекцій 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, з визначенням певної ділянки на схемі («розпізнавання»);
- б) індивідуальне усне опитування, співбесіда;
- в) розв'язання типових ситуаційних задач;
- д) контроль практичних навичок;

Комплексне оцінювання навчальної діяльності здійснюється виставленням традиційної оцінки, яка конвертується у бали відповідно у кожному з занять, аспірант отримує: 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 викладач виставляє набрану суму балів і традиційну оцінку в журналі успішності.

Самостійна робота аспіранта оцінюється на лекціях і є складовою підсумкової оцінки аспіранта.

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

10. Питання для підсумкового контролю дисципліни:

1. Методи очищення води у Стародавньому світі, метод Аристотеля та його сучасна верифікація. Відкриття Ж.В. Нолле, Р. Дютроше та Я.Х. Вант-Гоффом законів осмосу. Синтез золів Т. Гремом, використання методу діалізу для їх очищення, перший закон Фіка, шляхи інтенсифікації діалізу, гемодіаліз.
2. Розвиток теоретичної бази мембранних процесів у середні віки: закони Б.Кастеллі та Д. Бернуллі. Розробка інтегрального та диференціального числення І. Ньютоном та Г. Лейбніцем, його застосування для визначення потоку речовин через мембрани. Закон Дарсі.
3. Класифікація баромембранних процесів, затримка мембранами частинок різних розмірів. Розробка ультра-, мікро-, нанофільтрації та зворотного осмосу.
4. Газорозділення: експерименти Д.Мітчелла та Т. Грема. Ефузія та атмоліз, закони Грема та Кнудсена, їх практичне застосування.
5. Основна термінологія процесів баромембранного розділення: продуктивність та селективності мембран, коефіцієнт концентрування.
6. Забруднення мембран: неорганічне органічне та біозабруднення. Зворотне та незворотне забруднення, стадії забруднення, механізми переносу частинок до поверхні мембран.
7. Особливості забруднень неорганічними та органічними речовинами. Формування біоплівки. Основні підходи до стратегії попередження забруднень. Попередня обробка рідин: ультразвукова активація, хімічна дезінфекція, електрохімічний метод, адсорбція і іонний обмін, антискаланти.
8. Мембранний біореактор. Мембранна дезінфекція води.
9. Полімери для виготовлення мембран. Метод інверсії фаз для отримання асиметричних мембран.
10. Необхідність модифікування мембран, основні підходи до модифікування.
11. Неорганічні модифікатори, застосування рівняння Оствальда-Фрейндліха для спрямованого контролю розміру частинок. Іоніти природного походження та новітні вуглецеві наноматеріали для модифікування мембран.
12. МАХени та МХени, застосування МХенів для модифікування мембран.
13. Методи синтезу наночастинок аргентуму. Механізм дезінфекційної дії наночастинок аргентуму, графену та МХенів.
14. Модифікування мембран магнітними наночастинами, біоцидними сполуками, ферментами.
15. Гідрофілізація мембран полімерами.
16. Методи запобігання забруднень мембран речовинами біогенного походження. Очищення мембран.
17. Метод видалення з розчинів баластних речовин - діафільтрація.
18. Афінна хроматографія та афінна ультрафільтрація, поєднання афінної ультрафільтрації з діафільтрацією.
19. Ультрафільтрація для концентрування плазмідної ДНК, імуноглобуліну, пептидів, антоціанів та рослинних білків.

20. Мембранні методи для концентрування, освітлення та розкислення соків. Мембранні методи у виробництві вина та пива.
21. Мембранна фільтрація для переробки молока та молочної сироватки, застосування електродіалізу для знесолення сироватки.

11. Розподіл балів

Форма для іспиту

Поточний та періодичний контроль	Підсумковий контроль (іспит)	Сума балів
Змістовий модуль №1		
60	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. A.F. Izmail, T. Matsuura. Membrane Separation Processes: Theories, Problems, and Solutions. Elsevier, Amsterdam, 2022.
2. E. Goldberg (Ed.). Handbook of downstream processing, Springer Science and Business Media, London, Weinheim, Ney York, Tokio, Melbourn, Madras, 2012,
3. N. Kaushik. Membrane separation processes. Second edition, PHI learning, Delhi, 2017.

4. Z.F. H.S. Cui, Muralidhara (Eds.) Membrane Technology. A Practical Guide to Membrane Technology and Applications in Food and Bioprocessing. Elsevier, Amsterdam, 2010.
5. A. Basile, C. Charcosset (Eds.) Integrated Membrane Systems and Processes. Wiley, Chichester, 2016.

Додаткова

1. R.D. Noble, S.A. Stern. Membrane Separation Technology: Principles and Applications. Elsevier Science, 1995.
2. K. Scott. Handbook of Industrial Membranes, 1st ed. Elsevier Science Publishers Ltd., 1995.
3. R.W. Baker, E.F. Cussler, W. Eykcamp, W.J. Koros, R.L. Riley, H. Strathmann. Membrane Separation Process - Recent Developments and Future Directions. Noyes Data Corporation, 1991.
4. W.S. Winston Ho, K. K. Sirkar. Membrane Handbook. Van Nostrand Reinhold, 1992
5. M. Mulder. Basic Principles of Membrane Technology. Klumer Academic Publisher, 1991.
6. R. Rautenbach and R. Albrecht. Membrane Processes. John Wiley & Sons, 1989

Інформаційні ресурси

1. L. Rozhdestvenska, K. Kudelko, Y. Kolomiets, Yu. Dzyazko, V. Ogenko. Membranes functionalized with 1d, 2d and 3d carbon materials. Ukrainian Chemistry Journal. 2021. 87(4): 79-110. doi: 10.33609/2708-129X.87.04.2021.79-110
2. Yu. Dzyazko, Yu. Volkovich, O. Perlova, L. Ponomaryova, N. Perlova, E. Kolomiets. Effect of porosity on ion transport through polymers and polymer-based composites containing inorganic nanoparticles (Review). Springer Proc. Phys., Switzerland, 2019. 222: 235-253. https://doi.org/10.1007/978-3-030-17755-3_16
3. A.C. Mecha, M.N. Chollom, B.F. Babatunde, E.K. Tetteh, S. Rathilal. Versatile silver-nanoparticle-impregnated membranes for water treatment: a review. Membranes. 2023. 13: 432. <https://doi.org/10.3390/membranes13040432>
4. Yu-Ke Cen, Yu-Xiao Liu, Ya-Ping Xue, Yu-Guo Zheng. Immobilization of enzymes in/on membranes and their applications. Advanced Synthesis & Catalysis. 2019. 361(24): 5500-5515. DOI: 10.1002/adsc.201900439
5. Y. Subasi, B. Cicek. Recent advances in hydrophilic modification of PVDF ultrafiltration membranes – a review: part I. Membrane Technol. 2017. 10: 7-12. [https://doi.org/10.1016/S0958-2118\(17\)30191-X](https://doi.org/10.1016/S0958-2118(17)30191-X)
6. C. Charcosset. Classical and recent applications of membrane processes in the food industry. Food Engineering Reviews. 2021. 13: 322–343. <https://doi.org/10.1007/s12393-020-09262-9>
7. W. Guo, H.-H. Ngo, J. Li. A mini-review on membrane fouling. Bioresource Technology. 2012. 122: 27–34. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.04.089>