

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ХІМІЇ ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНИХ СПОЛУК**

ЗАТВЕРДЖЕНО
Вченою радою Інституту хімії високомолекулярних
сполук НАН України
Протокол № 3
від «29» вересня 2022 року



Голова Вченої ради
Інституту хімії високомолекулярних
сполук НАН України
д.х.н. Олександр БРОВКО

«ГІБРИДНІ ОРГАНО-НЕОРГАНІЧНІ НАНОКОМПОЗИТИ»

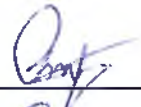
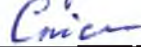
РОБОЧА ПРОГРАМА

Кредитного модуля

ГАЛУЗЬ ЗНАНЬ	10 – ПРИРОДНИЧІ НАУКИ
СПЕЦІАЛЬНІСТЬ	102 – ХІМІЯ
СПЕЦІАЛІЗАЦІЯ	ХІМІЯ ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНИХ СПОЛУК
РІВЕНЬ ОСВІТИ	ТРЕТІЙ (ОСВІТНЬО-НАУКОВИЙ)
ФОРМА НАВЧАННЯ	ДЕННА

Робоча навчальна програма з дисципліни «Гібридні органо-неорганічні
нанокомпозити»

Програма відповідає третьому (освітньо-науковому) рівню вищої освіти

Розробники: кандидат хімічних наук  Олександр СТРІУЦЬКИЙ
кандидат хімічних наук  Ольга СЛІСЕНКО

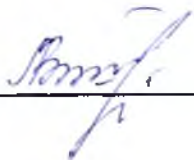
ЗАТВЕРДЖЕНО

Вченою радою Інституту хімії високомолекулярних
сполук НАН України

Протокол № 9

від «29» вересня 2022 року

Вчений секретар
БУДЗІНСЬКА

 Віра

1. ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Дисципліна «Гібридні органо-неорганічні нанокompозити» вивчає сучасні підходи до синтезу органо-неорганічних гібридних нанокompозитів з широкими можливостями регулювання їхньої хімічної будови, структури та властивостей. На відміну від «традиційних» композитів даний тип матеріалів характеризується більш розвинутою міжфазною поверхнею, обумовленою колоїдним станом неорганічного компоненту (розміри частинок складають від 1 до 100 нм), що дозволяє поєднувати органічну та неорганічну складові на молекулярному рівні. Останнє дає можливість отримувати матеріали з гнучкістю, легкістю, простотою механічної обробки полімерних матеріалів, високою термічною стабільністю і механічною міцністю неорганічної складової та рядом цінних властивостей, обумовлених як природою самих компонентів, так і особливостями їх взаємодії. Завдання дисципліни полягає в опануванні принципів синтезу органо-неорганічних нанокompозитних матеріалів, в тому числі гідрофільних, отримання фундаментальних знань, що дозволять передбачити базові властивості нанокompозитів і гідрогелів і їх чутливість до зміни факторів навколишнього середовища шляхом обрання складу і прецизійного контролю умов синтезу. Аналіз експериментальних даних, одержаних різними фізико-хімічними та фізико-механічними методами, для описання структури та властивостей гідрофільних нанокompозитів.

2. МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ВИВЧЕННЮ ДИСЦИПЛІНИ

Дисципліна «Гібридні органо-неорганічні нанокompозити» відноситься до вибіркового курсу спеціалізації «Хімія високомолекулярних сполук». Викладається в 4-му семестрі, на другому році навчання за освітньо-науковим рівнем «доктор філософії» в обсязі 240 годин, у тому числі 38 годин аудиторних занять (22 год. – лекційні заняття, 10 годин – семінари, 8 год. – консультацій), 202 год. самостійної роботи. Підсумковий контроль – екзамен.

Мета навчальної дисципліни «Гібридні органо-неорганічні нанокompозити»: формування сучасного рівня знань в області полімерної хімії, підходів і стратегій щодо синтезу нанокompозитних матеріалів, отримання фундаментальних знань, що дозволять передбачити базові властивості

нанокомпозитів, в тому числі, гідрофільних і їх чутливість до зміни факторів навколишнього середовища шляхом обрання складу і прецизійного контролю умов синтезу. Метою курсу є також ознайомлення і опанування методологічними підходами, що використовують в полімерній хімії, що ґрунтуються на новітніх досягненнях в цій галузі. Важливою метою курсу є також підготовка аспірантів як перспективних дослідників, здатних аналізувати експериментальні дані, одержані за допомогою фізико-хімічних та фізико-механічних методів.

В результаті вивчення даного курсу аспірант повинен:

знати:

- закони, принципи та правила з хімії високомолекулярних сполук, неорганічної, органічної та фізичної хімії.
- основні принципи формування орґано-неорґанічних нанокомпозитних матеріалів, сучасні технології проведення синтезу;
- основні закономірності формування гідрофільних орґано-неорґанічних нанокомпозитів, взаємозв'язку між складом, умовами синтезу та структурою і властивостями гібридних нанокомпозитів,
- стратегії прогнозування властивостей майбутніх гідрогелів виходячи з хімічної природи реагентів.

вміти:

- синтезувати гібридні нанокомпозити різної структури;
- характеризувати, досліджувати структуру, фізико-хімічні та механічні властивості гібридних матеріалів;
- застосовувати методику оцінки експериментальних даних для складання стратегії синтезу матеріалів з заданими кінцевими характеристиками;
- застосовувати теоретичні знання про принципи формування орґано-неорґанічних нанокомпозитних матеріалів та наночасток для визначення реагентів та умов синтезу сприятливих для отримання матеріалів з заданими структурою та властивостями.

мати навички:

- отримання гібридних наночасток та нанокомпозитів, характеристика їх спектральними методами (ІЧ- та ^1H , ^{13}C , ^{29}Si ЯМР спектроскопії) та застосування

різних фізико-хімічних методів (MALDI ToF MS, ГПХ (для наночасток), функціональний аналіз, визначення гел-фракції, ТГА, ДСК, мало- та широко кутовий рентгенографічний аналіз, ДМА, ТМА, діелектрична релаксаційна спектроскопія (ДРС)) для дослідження структури та фізико-хімічних властивостей синтезованих гібридних матеріалів.

- синтезу гідрофільних органо-неорганічних нанокомпозитів зі специфічними властивостями (термо-, рН-, світло-чутливі і т.п.), вміти досліджувати їхню структуру за допомогою основних фізико-хімічних методів (ІЧ-спектроскопії, ДСК, ДМА), визначати та аналізувати різноманітні властивості, зокрема механічні, сорбційні, розраховувати молекулярні параметри зшитої структури композитів;

3. ВИМОГИ ДО РЕЗУЛЬТАТІВ ЗАСВОЄННЯ ДИСЦИПЛІНИ

В рамках даної дисципліни поглиблюються і розвиваються такі компетенції:

❖ *Універсальні компетенції*: здатність проектувати і здійснювати комплексні дослідження, в тому числі міждисциплінарні, на основі цілісного системного наукового світогляду з використанням знань в області історії і філософії науки;

❖ *Загальнопрофесійні компетенції*: здатність самостійно здійснювати науково-дослідницьку діяльність в хімії високомолекулярних сполук з використанням сучасних методів дослідження та інформаційно-комунікаційних технологій.

❖ *Професійні компетенції*: здатність організовувати проведення експериментів і випробувань, проводити їх обробку, аналізувати результати експериментальних досліджень, робити висновки та узагальнювати отримані дані у вигляді наукових публікацій для провідних профільних журналів.

4. СТРУКТУРА ТА ЗМІСТ ДИСЦИПЛІНИ

4.1. Структура дисципліни. Розділи дисципліни і види занять.

№	Розділи дисципліни	Кількість кредитів ЄКТС	Обсяг навчальної роботи (в годинах)					Самостійна робота	Вид підсумкового контролю
			Загальний обсяг	Всього аудиторних	лекції	семінари	консультації		
	Модуль 1	Методи отримання, структурні особливості та властивості гібридних органо-неорганічних нанокompatитних матеріалів і наночасток							
1	Гібридні органо-неорганічні нанокompatити: загальні відомості, основні поняття, методи отримання, структурні особливості, властивості та області застосування.				4	-	-	32	
2	Золь-гель технологія отримання гібридних наноструктурованих матеріалів: фізико-хімічні основи золь-гель процесу, вплив умов синтезу на перебіг реакцій та структуру і властивостей продуктів синтезу, їх класифікація.				3	3	-	16	
3	Отримання наночастинок, покриттів, порошків, плівкових та пористих матеріалів золь-гель методом.				3	-	-	10	

4	Функціоналізовані гібридні наноматеріали різного призначення: синтез, методи введення функції, характеристика, структура, властивості.				3	2	-	16	
	Модуль 2	Гідрофільні органо-неорганічні полімерні композити: від синтезу до застосування							
5	Органо-неорганічні гібридні гідрогелі: класифікація та основні принципи їх синтезу.				3	-	-	32	
6	Термодинамічний та кінетичний аспекти сорбції органо-неорганічних гідрогелів. Наповнені полімерні композитні гідрогелі.				3	2	2	32	
7	Органо-неорганічні гідрогелі зі структурою взаємопроникних полімерних сіток та гідрогелів з подвійною сітчастою структурою. Аномальні міцнісні та сорбційні характеристики гідрогелів. Гідрогелі – суперсорбенти.				3	3	4	32	
8	Індивідуальне завдання							32	
	Разом	8	240	38	22	10	6	202	екзамен

4.2. Зміст дисципліни

№	Розділи дисципліни	Зміст розділу (теми)	Форма проведення занять
1	Гібридні орґано-неорґанічні нанокомпозити: загальні відомості, основні поняття, методи отримання, структурні особливості, властивості та області застосування.	Розглянуто гібридні орґано-неорґанічні нанокомпозити в аспекті колоїдного стану неорґанічного компоненту (розміри частинок складають від 1 до 100 нм), що обумовлює поєднання їх орґанічної та неорґанічної складових на молекулярному рівні. Останнє надає гібридним матеріалам гнучкість, легкість, простоту механічної обробки полімерних матеріалів, високу термічну стабільність і механічну міцність неорґанічної складової та ряд цінних властивостей, обумовлених як природою самих компонентів, так і особливостями їх взаємодії. Розглянуто основні поняття, пов'язані з орґано-неорґанічними нанокомпозитними матеріалами та методи їх отримання як за технологією «згори - вниз» (диспергуванням неорґанічного компоненту в орґанічній матриці), так і «знизу - вгору» (хімічним формуванням неорґанічного компоненту («золь-гель метод»)). Показано вплив способу отримання нанокомпозитів на їх структуру та властивості. Розглянуто області застосування орґано-неорґанічних нанокомпозитних матеріалів в контексті комплексу їх властивостей.	Лекції, семінари, самостійна робота
2	Золь-гель технологія отримання гібридних наноструктурованих матеріалів: фізико-хімічні основи золь-гель процесу, вплив умов синтезу на перебіг реакцій та структуру і властивостей продуктів синтезу, їх класифікація.	Розглянуто основні закономірності гідролітичної конденсації вихідних для золь-гель процесу сполук, а саме алкоксидів і галогенідів таких елементів, як кремній, титан, цирконій та показано можливість керування цим процесом шляхом зміни температури, використововуваного розчинника, каталізу (кислотного, нейтрального та основного), кількості взятої для гідролізу води, концентрації тощо. Також показано залежність структури та властивостей отримуваних нанокомпозитів від вищевказаних факторів. Наведено перелік найпоширеніших вихідних сполук, здатних до золь-гель конденсації, та	Лекції, семінари, самостійна робота

		доцільність їх використання для отримання матеріалів з наперед заданими властивостями. Приведено класифікацію продуктів синтезу в залежності від характеру взаємодії органічного і неорганічного компонентів та їх структури.	
3	Отримання наночастинок, покриттів, порошків, плівкових та пористих матеріалів золь-гель методом.	Розглянуто можливості золь-гель технологія в аспекті отримання різноманітних гібридних наноструктурованих матеріалів промислового та науково-технічного значення з регульованими властивостями. Розглянуто принципи формування основних продуктів золь-гель синтезу, а саме монолітних матеріалів, таких як покриття та плівки, наночастинок (в тому числі з використанням золь-гель синтезу в гетерогенному середовищі), порошків та пористих (зокрема мезопористих нано- та мікрочастинок) матеріалів.	Лекції, семінари, самостійна робота
4	Функціоналізовані гібридні наноматеріали різного призначення: синтез, методи введення функції, характеристика, структура, властивості.	Розглянуто загальні підходи до функціоналізації гібридних органо-неорганічних наноматеріалів з використанням різних функційних добавок, в тому числі здатних до золь-гель конденсації, та шляхом полімераналогічних перетворень. На прикладі систем з різними фізичними функціями (йонними, оптичноактивними, магнітними тощо) показано реалізацію даних підходів на практиці, розглянуто їх основні властивості та вплив гібридної природи матеріалів і методу їх отримання на структуру та властивості.	Лекції, семінари, самостійна робота
5	Органо-неорганічні гібридні гідрогелі: класифікація та основні принципи їх синтезу.	Пропонується розглянути класифікацію, та основні принципи синтезу органо-неорганічних гібридних гідрогелів. А також теоретичні основи, які описують процес сорбції. Так, в загальному випадку, процес дифузії сорбату в полімерне середовище визначається швидкістю міграції молекул сорбату крізь полімерну сітку і швидкістю релаксації макроланцюгів матриці при їх перебудові в процесі сорбції.	Лекції, семінари, самостійна робота

		Розглянуто кінетичні моделі які були розроблені для прогнозування швидкості та вивчення механізму набухання гідрогелю, які цілком відрізняються вище і нижче температури склування $T_{ск}$. Дифузійні моделі Фіка, колективні дифузійні моделі та криві сигмоїдального набухання - відомі математичні моделі, запропоновані для опису кінетики набухання гідрогелю.	
6	Термодинамічний та кінетичний аспекти сорбції органо-неорганічних гідрогелів. Наповнені полімерні композитні гідрогелі.	Термодинаміку рівноважного набухання гідрогелів розглянуто за допомогою моделей. Моделі рівноваги були розроблені для прогнозування ступеня набухання гідрогелів. Теоретичний опис набухання гідрогелів в умовах рівноваги базується на мінімізації вільної енергії Гіббса гелю. Найчастіше для поліпшення механічних, термічних, оптичних, електричних властивостей гідрогелів на основі індивідуальних полімерів їх замінюють на аналоги, що складаються з суміші полімерів (композити) або містять нанонаповнювачі (нанокompозити). Просторова цілісність гідрогелю в набряклому стані забезпечується наявністю фізичних або хімічних зшивок між макромолекулами (ланцюгами) полімерної матриці. Фізичні зшивки, на відміну від хімічних, виникають в результаті переплетень полімерних ланцюгів, або за рахунок слабких фізичних взаємодій з наповнювачем.	Лекції, семінари, самостійна робота, консультації
7	Органо-неорганічні гідрогелі зі структурою взаємопроникних полімерних сіток та гідрогелів з подвійною сітчастою структурою. Аномальні міцнісні та сорбційні характеристики гідрогелів. Гідрогелі – суперсорбенти.	Розглянуто сучасні досягнення в області створення та дослідження властивостей органо-неорганічних гідрогелів з сітчастою структурою органічного та неорганічного компонентів, включаючи основні принципи їх синтезу і вивчення феномена екстремально високих механічних показників гідрогелів з подвійною сітчастою структурою. Гідрогелі з подвійною сітчастою структурою є окремим класом в групі гідрогелів зі структурою взаємопроникних полімерних сіток (ВПС), які, при вмісті води близько 80 мас.%, демонструють аномально високі механічні характеристики. Такі гідрогелі характеризуються модулем пружності 0,1-1 МПа, напругою	Лекції, семінари, самостійна робота, консультації

		руйнування при стисканні 20-60 МПа, відносним подовженням при розриві 1000-2000% і роботою руйнування в межах 100 - 1000 Дж/м ² . Наведені значення механічних властивостей в 10-20 разів перевищують аналогічні показники традиційних органічних гідрогелів.	
--	--	--	--

4.3. Зміст семінарських занять

№	Тема курсу	Тема семінарського заняття
1.	Гібридні органо-неорганічні нанокompозити: загальні відомості, основні поняття, методи отримання. Фізико-хімічні основи золь-гель процесу, вплив умов синтезу на перебіг реакцій та структуру і властивостей продуктів синтезу, їх класифікація.	Семінарське заняття № 1. Основні поняття пов'язані з органо-неорганічними нанокompозитними матеріалами та методи їх отримання як за технологією «згори - вниз» (диспергуванням неорганічного компоненту в органічній матриці), так і «знизу - вгору» (хімічним формуванням неорганічного компоненту («золь-гель метод»)). Вплив способу отримання нанокompозитів на їх структуру та властивості. Області застосування органо-неорганічних нанокompозитних матеріалів в контексті комплексу їх властивостей. Основні закономірності гідролітичної конденсації вихідних для золь-гель процесу вихідних сполук, а саме алкоксидів і галогенідів таких елементів, як кремній, титан, цирконій та можливості керування цим процесом шляхом зміни температури, використовуваного розчинника, каталізу (кислотного, нейтрального та основного), кількості взятої для гідролізу води, концентрації тощо. Залежності структури та властивостей отримуваних нанокompозитів від вищевказаних факторів з метою їх прогнозування. Перелік найпоширеніших вихідних сполук, здатних до золь-гель конденсації, та доцільність їх використання для отримання матеріалів з наперед заданими властивостями. Класифікація продуктів синтезу в залежності від характеру взаємодії органічного і неорганічного компонентів та їх структури.
2.	Отримання наночастинок, покриттів, порошків, плівкових та пористих матеріалів золь-гель методом. Функціоналізовані гібридні наноматеріали різного призначення: синтез, методи введення функцій, характеристика, структура, властивості.	Семінарське заняття № 2. Принципи формування основних продуктів золь-гель синтезу, а саме монолітних матеріалів, таких як покриття, плівки, наночастинок (в тому числі з використанням золь-гель синтезу в гетерогенному середовищі), порошків та пористих (в тому числі мезопористих нано- та мікрочастинок) матеріалів. Загальні підходи до функціоналізації гібридних органо-неорганічних наноматеріалів з використанням різних функційних добавок, в тому числі здатних до золь-гель конденсації, та шляхом полімераналогічних перетворень. На прикладі систем з різними фізичними функціями (йонними, оптичноактивними, магнітними тощо) буде показано реалізацію даних підходів на практиці, розглянуто їх основні властивості та вплив гібридної природи матеріалів і методу їх отримання на структуру та властивості.
3.	Органо-неорганічні гібридні гідрогелі:	Семінарське заняття № 3. Обговорення основних принципів синтезу органо-неорганічних

	класифікація та основні принципи їх синтезу. Термодинамічний та кінетичний аспекти сорбції органо-неорганічних гідрогелів. Наповнені полімерні композитні гідрогелі.	гібридних гідрогелів. А також теоретичних основ процесу сорбції. Розглянути кінетичні моделі які були розроблені для прогнозування швидкості та вивчення механізму набухання гідрогелю, які цілком відрізняються вище і нижче температури склування $T_{ск}$. Дифузійні моделі Фіка, колективні дифузійні моделі та криві сигмоїдального набухання - відомі математичні моделі, запропоновані для опису кінетики набухання гідрогелю. Термодинаміку рівноважного набухання гідрогелів розглянуто за допомогою моделей.
4.	Органо-неорганічні гідрогелі зі структурою взаємопроникних полімерних сіток та гідрогелів з подвійною сітчастою структурою. Аномальні міцнісні та сорбційні характеристики гідрогелів. Гідрогелі – суперсорбенти.	Семінарське заняття № 4. Розглянути сучасні досягнення в області створення та дослідження властивостей органо-неорганічних гідрогелів з сітчастою структурою органічного та неорганічного компонентів, включаючи основні принципи їх синтезу і вивчення феномена екстремально високих механічних показників гідрогелів з подвійною сітчастою структурою. А також гідрогелі з подвійною сітчастою структурою, які є окремим класом в групі гідрогелів зі структурою взаємопроникних полімерних сіток (ВПС), і при вмісті води близько 80 мас.%, демонструють аномально високі механічні характеристики. Обговорити галузі застосування гідрогелевих матеріалів, а саме тканинна інженерія, штучні м'язи, перев'язувальні матеріали, (біо)сенсори, контактні лінзи, засоби доставки ліків, сільського господарства - контрольоване вивільнення добрив або пестицидів, промислового виробництва - високотехнологічний синтез, сорбенти для очищення стічних вод, фільтруючі матеріали, каталізatori, оптичні матеріали.

4.4. Індивідуальні завдання

Вид індивідуальних завдань	Тематика індивідуальних завдань	Всього годин
Підготовка презентації за тематикою індивідуальних завдань.	1. Гелеутворення в золях кремнієвої кислоти. 2. Лужні силікати - прекурсори нанодисперсного кремнезему. 3. Синтез, концентрування та модифікація золів кремнієвої кислоти. 4. Агрегативна стійкість колоїдного кремнезему. 5. Гібридні органо-неорганічні нанокомпозитні літійпровідні електроліти. 6. Нанонаповнювачі: представники, їх властивості та використання для	32

	отримання гібридних нанокомпозитів. 7. Функціоналізовані золь-гель покриття. 8. Методи одержання гідрофільних гібридних нанокомпозитів за рахунок фізичних взаємодій між органічним полімером та неорганічним компонентом (Гібридні матеріали класу I). 9. Методи синтезу органо-неорганічних полімерних гібридів з ковалентно зв'язаною органічною та неорганічною фазами (Гібридні матеріали класу II). 10. Явище сорбції/десорбції в органо-неорганічних гідрогелях. Теоретичний підхід (рівноважна та кінетична моделі). 11. Синтез та структура наповнених органо-неорганічних гідрогелів. Механічні властивості та особливості сорбції наповнених гідрогелів.	
Всього		32

5. ОСВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

- Активні освітні технології: лекції, семінари.

- Методи навчання: словесні – лекція, пояснення, бесіда, консультація;

наочні – презентації;

практичні - лабораторні роботи, виконання практичних завдань;

проблемно-пошукові методи – дискусія та колективне обговорення можливих підходів до вирішення задач чи експериментальних завдань;

- Методи стимулювання і мотивації навчально-пізнавальної діяльності – ознайомлення з наявними в цій галузі презентаціями, відео матеріалами.

6. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ АСПІРАНТІВ. ФОРМА КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ.

Види самостійної роботи:

Підготовка до лекційних занять;

Підготовка до семінарських занять.

Інформаційні ресурси:

Електронні ресурси Національної бібліотеки України імені В. І. Вернадського; Електронні бази Web of Science, Scopus; Ресурси відкритого доступу Chemexpress, ABC Chemistry.

Методи контролю:

Поточний контроль – обговорення запитань за темами лекційного курсу, тестування знань студентів, усне опитування, виконання завдань;

Підсумковий контроль – екзамен.

7. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНЕ ТА ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Список літератури до модуля 1

1. Гібридні органо-неорганічні наноккомпозити: загальні відомості, основні поняття, методи отримання, структурні особливості, властивості та області застосування.

1. Kim C.S. Hybrid and hierarchical composite materials Chapter 2. Organic-inorganic polymer hybrids: Synthetic strategies and applications / C.S. Kim, C. Randow, T. Sano. - Switzerland: Springer International Publishing, 2015, P.11-63.

2. Brinker C.J., Scherer G.W. Sol-gel science: the physics and chemistry of sol-gel processing / London: Academic Press., Inc., 1990, 908 p.

3. Шилова О.А., Шилов В.В. Наноккомпозитные оксидные и гибридные органо-неорганические материалы, получаемые золь-гель методом. Синтез. Свойства. Применение. – Збірник наукових праць «Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології», Т.1, Вип.1. –Київ: Академперіодика, 2003. – С.9-84.

4. Hench L.L., West J.K. The Sol-gel process // Chem. Rev. – 1990. – V.90. – P. 33-72.

5. Zou H., Wu S., Shen J. Polymer/silica nanocomposites: preparation, characterization, properties, and applications // Chem. Rev. – 2008. – V.108. – P.3893–3957.

6. Sanchez C., Julia'n B., Belleville P., Popall M. Applications of hybrid organic–inorganic nanocomposites // J. Mater. Chem. – 2005. – V.15. – P.3559–3592.

7. Kumar A., Yadav N., Bhatt M., Mishra N.K., Chaudhary P., Singh R. Sol-gel derived nanomaterials and it's applications: A review // Res. J. Chem. Sci. – 2015. - V.5, N12. – P.98-105.

8. Pandey S., Mishra S.B. Sol–gel derived organic–inorganic hybrid materials: synthesis, characterizations and applications // J. Sol-Gel Sci. Technol. – 2011. - V.59. - P.73–94.

2. Золь-гель технологія отримання гібридних наноструктурованих матеріалів: фізико-хімічні основи золь-гель процесу, вплив умов синтезу на перебіг реакцій та структуру і властивості продуктів синтезу, їх класифікація.

1. Kim C.S. Hybrid and hierarchical composite materials Chapter 2. Organic-inorganic polymer hybrids: Synthetic strategies and applications / C.S. Kim, C. Randow, T. Sano. - Switzerland: Springer International Publishing, 2015, P.11-63.

2. Brinker C.J., Scherer G.W. Sol-gel science: the physics and chemistry of sol-gel processing / London: Academic Press., Inc., 1990, 908 p.

3. Шилова О.А., Шилов В.В. Наноккомпозитные оксидные и гибридные органо-неорганические материалы, получаемые золь-гель методом. Синтез. Свойства. Применение. – Збірник наукових праць «Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології», Т.1, Вип.1. –Київ: Академперіодика, 2003. – С.9-84.

4. Hench L.L., West J.K. The Sol-gel process // Chem. Rev. – 1990. – V.90. – P. 33-72.

5. Zou H., Wu S., Shen J. Polymer/silica nanocomposites: preparation, characterization, properties, and applications // Chem. Rev. – 2008. – V.108. – P.3893–3957.

6. Sanchez C., Julia'n B., Belleville P., Popall M. Applications of hybrid organic–inorganic nanocomposites // J. Mater. Chem. – 2005. – V.15. – P.3559–3592.

7. Kumar A., Yadav N., Bhatt M., Mishra N.K., Chaudhary P., Singh R. Sol-gel derived nanomaterials and it's applications: A review // Res. J. Chem. Sci. – 2015. - V.5, N12. – P.98-105.

8. Pandey S., Mishra S.B. Sol–gel derived organic–inorganic hybrid materials: synthesis, characterizations and applications // J. Sol-Gel Sci. Technol. – 2011. - V.59. - P.73–94.

9. Danks A.E., Hall S.R., Schnepf Z. The evolution of 'sol-gel' chemistry as a technique for materials synthesis // Mater. Horiz. - 2016 - V.3. - P.91-112.

10. Помогайло А.Д. Гибридные полимер-неорганические нанокомпозиты // Успехи химии. - 2000. - Т. 69. - С. 60-89.

3. Отримання наночастинок, покриттів, порошків, плівкових та пористих матеріалів золь-гель методом.

1. Brinker C.J., Scherer G.W. Sol-gel science: the physics and chemistry of sol-gel processing / London: Academic Press., Inc., 1990, 908 p.

2. Шилова О.А., Шилов В.В. Нанокомпозитные оксидные и гибридные органо-неорганические материалы, получаемые золь-гель методом. Синтез. Свойства. Применение. – Збірник наукових праць «Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології», Т.1, Вип.1. –Київ: Академперіодика, 2003. – С.9-84.

3. Hench L.L., West J.K. The Sol-gel process // Chem. Rev. – 1990. – V.90. – P. 33-72.

4. Zou H., Wu S., Shen J. Polymer/silica nanocomposites: preparation, characterization, properties, and applications // Chem. Rev. – 2008. – V.108. – P.3893–3957.

5. Sanchez C., Julia'n B., Belleville P., Popall M. Applications of hybrid organic-inorganic nanocomposites // J. Mater. Chem. – 2005. – V.15. – P.3559–3592.

6. Kumar A., Yadav N, Bhatt M., Mishra N.K., Chaudhary P., Singh R. Sol-gel derived nanomaterials and it's applications: A review // Res. J. Chem. Sci. – 2015. - V.5, N12. – P.98-105.

7. Pandey S., Mishra S.B. Sol-gel derived organic-inorganic hybrid materials: synthesis, characterizations and applications // J. Sol-Gel Sci. Technol. – 2011. - V.59. - P.73–94.

8. Shevchenko V.V., Stryutsii A.V., Klimenko N.S. Polymeric organic-inorganic proton-exchange membranes for fuel cells produced by the sol-gel method // Teor. Exp. Chem. - 2011. - Vol.47, №2. - P. 67 - 92.

4. Функціоналізовані гібридні наноматеріали різного призначення: синтез, методи введення функцій, характеристика, структура, властивості.

1. Froehlich J.D., Young R., Nakamura T., Ohmori Y., Li S., Mochizuki A. Synthesis of multi-functional POSS emitters for OLED applications // Chem. Mater. - 2007. - Vol. 19. - P. 4991-4997.

2. Photoresponsive hybrid materials: synthesis and characterization of coumarin-dimer-bridged polysilsesquioxanes / Zhao L., Vaupel M., Loy D.A., Shea K.J. // Chem. Mater. - 2008. - Vol. 20. - P.1870-1876.

3. Schmidt H., Jonschker G., Goedicke S., Mennig M. The sol-gel process as a basic technology for nanoparticle-dispersed inorganic-organic composites // Journal of Sol-Gel Science and Technology. - 2000. - V.19. - P.39-51.

4. Sanchez C., Ribot F., Lebeau B. Molecular design of hybrid organic-inorganic nanocomposites synthesized via sol-gel chemistry // J. Mater. Chem. - 1999. - V. 9. - P. 35-44.

5. Shevchenko V.V., Stryutsii A.V., Klimenko N.S. Polymeric organic-inorganic proton-exchange membranes for fuel cells produced by the sol-gel method // Teor. Exp. Chem. - 2011. - Vol.47, №2. - P. 67 - 92.

6. Shevchenko V.V., Gumennaya M.A. Synthesis and properties of anion-exchange membranes for fuel cells // Teor. Exp. Chem. - 2010. - Vol. 46. - P. 139-152.

7. Tanaka K., Ishiguro F., Chujo Y. POSS Ionic Liquid // J. Am. Chem. Soc. - 2010. - Vol. 132. - P. 17649–17651.

8. Sanchez C., Soler-Illia G.J. de A.A., Lalot T., Mayer C.R., Cabuil V. Designed hybrid organic-inorganic nanocomposites from functional nanobuilding blocks // Chem. Mater. - 2001. - V.13. - P. 3061-3083.

9. Wang X., Wang L., He X., Zhang Y., Chen L. A molecularly imprinted polymer-coated nanocomposite of magnetic nanoparticles for estrone recognition // Talanta. - 2009. - Vol.78. - P. 327–332.

10. Magnetic ionogels (MagIGs) based on iron oxide nanoparticles, poly(n-isopropylacrylamide), and the ionic liquid trihexyl(tetradecyl)phosphonium dicyanamide / Ziolkowski B., Bleek K., Twamley B., Fraser K.J., Byrne R., Diamond D., Taubert A. // Eur. J. Inorg. Chem. - 2012. - P. 5245–5251. DOI:10.1002/ejic.201200597.

Список літератури до модуля 2

1. Класифікація органо-неорганічних гібридних гідрогелів та основні принципи їх синтезу.

1. Ahmed E.M. Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review // Journal of Advanced Research – 2015. – Vol. 6. – P. 105–121.

2. P. Schexnailder, G. Schmidt Nanocomposite polymer hydrogels // Colloid Polym Sci. – 2009. – Vol. 287. – P.1–11.

3. Chujo Y., Tamaki R. New preparation methods for organic–inorganic polymer hybrids // www.mrs.org/publications/bulletin. - 2001. - P. 389-392.

4. Ogoshi T., Chujo Y. Organic–inorganic polymer hybrids prepared by the sol-gel method // Composite Interfaces – 2005. - Vol. 11, No. 8-9, P. 539–566.

5. Du J., Guo P., Xu S., Zhang C., Feng S., Cao L., Wu R., Wang J. Organic/inorganic nanocomposite hydrogels // Fillers and reinforcements for advanced nanocomposites, <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100079-3.00021-1>.

6. Akhtar M.F., Hanif M., Ranjha N.M. Methods of synthesis of hydrogelsA review <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsps.2015.03.022>

2. Термодинаміка процесу сорбції гідрогелів. Теоретичні основи процесу сорбції - десорбції органо-неорганічних гідрогелів.

1. Ganji F., Vasheghani-Farahani S., Vasheghani-Farahani E. Theoretical description of hydrogel swelling: a review // Iranian Polymer Journal – 2010. – Vol. 19 (5). – P. 375-398.

2. De S.K., Aluru N.R., Johnson B., Crone W.C., Beebe D.J., Moore J. Equilibrium swelling and kinetics of pH-responsive hydrogels: models, experiments, and simulations // Journal of microelectromechanical systems – 2002. - Vol. 11, N. 5. – P.544-555.

3. Peppas N.A., Hilt J.Z., Khademhosseini A., Langer R. Hydrogels in biology and medicine: from molecular principles to bionanotechnology // Adv. Mater. – 2006. – Vol. 18. – P. 1345–1360.

3. Нановнені полімерні композитні гідрогелі.

1. Haraguchi K. Nanocomposite hydrogels // Current Opinion in Solid State and Materials Science – 2007. – Vol. 11. – P. 47–54.

2. Du J., Guo P., Xu S., Zhang C., Feng S., Cao L., Wu R., Wang J. Organic/inorganic nanocomposite hydrogels // Fillers and reinforcements for advanced nanocomposites, <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100079-3.00021-1>.

3. Zhao L.Z., Zhou C.H., Wang J., Tong D.S., Yu W.H., Wang H. Recent advances in clay mineral-containing nanocomposite hydrogels // Soft matter – 2015. – Iss.48.

4. Karimi A., Daud W.M.A.W. Materials, preparation, and characterization of PVA/MMT nanocomposite hydrogels: A review // Polymer Composites – 2017. – Vol. 38, Iss. 6. – P. 1086–1102.

5. Zhao F., Yao D., Guo R., Deng L., Dong A., Zhang J. Composites of polymer hydrogels and nanoparticulate systems for biomedical and pharmaceutical applications // Nanomaterials 2015, 5, 2054-2130; doi:10.3390/nano5042054

4. Органо-неорганічні гідрогелі зі структурою взаємопроникних полімерних сіток та гідрогелів з подвійною сітчастою структурою. Аномальні міцнісні та сорбційні характеристики гідрогелів. Гідрогелі – суперсорбенти.

1. Chen Y., Xu W., Zeng G. The preparation and characteristic of robust inorganic/organic IPN nanocomposite hydrogels with fast response rate // J Mater Sci. – 2014. – Vol. 49. – P. 7360–7370.
 2. Dragan E.S., Cazacu M., Nistor A. Ionic organic/inorganic materials. III. stimuli responsive hybrid hydrogels based on oligo(N,N-dimethylaminoethylmethacrylate) and chloroalkyl-functionalized siloxanes // Journal of Polymer Science: Part A: Polymer Chemistry – 2009. - Vol. 47. – P. 6801–6813.
 3. Peak C.W., Wilker J.J., Schmidt G. A review on tough and sticky hydrogels // Colloid Polym Sci. – 2013. – Vol. 291. – P. 2031–2047.
 4. Kabiri K., Omidian H., Zohuriaan-Mehr M. J., Doroudiani S. Superabsorbent Hydrogel Composites and Nanocomposites: A Review // Polymer Composites — 2011. – p. 277-289.
 5. Chen Q., Chen H., Zhua L., Zheng J. Fundamentals of double network hydrogels // J. Mater. Chem. B Cite this: DOI: 10.1039/c5tb00123d
 6. Sun J.-Y., Zhao X., Illeperuma W.R.K., Chaudhuri O., Oh K.H., Mooney D.J., Vlassak J.J., Suo Z. Highly stretchable and tough hydrogels // doi:10.1038/nature11409
 7. Tirumala V.R., Tominaga T., Lee S., Butler P.D., Lin E.K., Gong J.P., Wu W. Molecular model for toughening in double-network hydrogels // J. Phys. Chem. B. – 2008. – Vol. 112. – P. 8024–8031.
 8. Nonoyama T., Gong J.P. Double-network hydrogel and its potential biomedical application: a review // J Engineering in Medicine - 2015, Vol. 229(12). – P. 853–863.
 9. Brown H.R. A model of the fracture of double network gels // Macromolecules – 2007. – Vol. 40. – P. 3815-3818.
 10. Nakajima T., Gong J.P. Double-Network Hydrogels: Soft and Tough IPN // Encyclopedia of Polymeric Nanomaterials DOI 10.1007/978-3-642-36199-9_67-1
 11. Gong J.P. Why are double network hydrogels so tough? // DOI: 10.1039/b924290b
- 5. Застосування органо-неорганічних гідрогелів. Гідрогелі біомедичного призначення.**
1. Peppas N.A., Hilt J.Z., Khademhosseini A., Langer R. Hydrogels in biology and medicine: from molecular principles to bionanotechnology // Adv. Mater. – 2006. – Vol. 18. – P. 1345–1360.
 2. Ogoshi T., Chujo Y. Organic–inorganic polymer hybrids prepared by the sol-gel method // Composite Interfaces – 2005. - Vol. 11, No. 8-9, P. 539–566.
 3. Qiu Y., Park K. Environment-sensitive hydrogels for drug delivery // Advanced Drug Delivery Reviews – 2012. – Vol. 64. – P. 49–60.
 4. Hoffman A.S. Hydrogels for biomedical applications // Advanced Drug Delivery Reviews - 2002. – Vol. 43. – P. 3–12.
 5. Biondi M., Borzacchiello A., Mayol L., Ambrosio L. Nanoparticle-integrated hydrogels as multifunctional composite materials for biomedical applications // Gels – 2015. – Vol. 1. – P. 162-178; doi:10.3390/gels1020162