

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Київський національний університет будівництва і архітектури

## **Основи нанотехнологій функціональних та конструкційних матеріалів**

Завдання до виконання практичних робіт  
та завдання для самостійної роботи  
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

Київ 2024

УДК 547  
0-75

Укладачі: О. В. Присяжна, канд. хім. наук, доцент;  
В. О. Чорновол, канд. техн. наук, доцент;  
О. В. Маценко, канд. техн. наук, доцент

Рецензент: А. В. Козирєв, д-р хім. наук, професор

Відповідальний за випуск В. Г. Гречанюк, д-р хім. наук, професор

*Затверджено на засіданні кафедри хімії , протокол № 9 від  
11 грудня 2023 року.*

В авторській редакції

**Основи** нанотехнологій функціональних та конструкційних матеріалів:  
О-75 завдання до виконання практичних робіт та завдання для самостійної  
роботи / уклад. О. В. Присяжна, В. О. Чорновол, О. В. Маценко. –  
Київ: КНУБА, 2024. – 52 с.)

Містять завдання, теоретичні запитання, теми пропонованих доповідей за кожною темою курсу нанотехнологій, виконання яких враховується під час планування, організації, стимулюванні, обліку та контролі самостійної роботи студентів.

Призначені для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

## ЗМІСТ

Загальні положення.....	4
<i>Самостійна робота № 1.</i> Історія та етапи розвитку нанотехнологій та нанохімії. Наноглосарій.....	5
<i>Самостійна робота № 2.</i> Об'єкти нанохімії – наночастки та наноматеріали. Класифікації наноструктур та наноматеріалів.....	8
<i>Самостійна робота № 3.</i> Алотропні модифікації карбону. Нанокластери карбону ( фулерени, фулериди, карбонові нанотрубки та ін.). Отримання та застосування органічних і полімерних наноматеріалів. Розумні полімери.....	12
<i>Самостійна робота № 4.</i> Особливості фізичних та хімічних взаємодій в наноструктурах. Розмірні ефекти.....	17
<i>Самостійна робота № 5.</i> Методи діагностики та дослідження наноструктур і наноматеріалів. Зондові методи мікроскопії та спектроскопії.....	21
<i>Самостійна робота № 6</i> Методи та процеси отримання наночасток і наноматеріалів .....	25
<i>Самостійна робота № 7.</i> Нанотехнології у виробництві будівельних матеріалів. Актуальні проблеми нанотехнологій. Сучасні світові досягнення.....	30
Приклади типових задач, тестів та контрольних запитань до підсумкових модульних контрольних робіт.....	36
Список літератури.....	45

## Загальні положення

Курс «Основи нанотехнологій функціональних та конструкційних матеріалів» [1, 2] спрямований на підготовку висококваліфікованих інженерів-дослідників, інженерів-технологів, інженерів-конструкторів і керуючого персоналу для ефективного розвитку напряму галузі нанотехнологій у будівництві та виробництві будівельних матеріалів.

Метою курсу є ознайомити студентів-технологів з основними закономірностями, досягненнями та перспективами наук про наночастинки, наноструктуровані системи та наноматеріали, навчити розуміти фізико-хімічні особливості наноструктурованих матеріалів, зміни фізичних характеристик і параметрів матеріалу під час переходу від об'ємного стану до наноструктурованого.

У рамках курсу студенти дізнаються про особливості речовини в наноструктурованому стані, принципи нанотехнологій, хімічні та фізичні властивості нанооб'єктів, про стійкість нанооб'єктів, кінетику та квазірівновагу процесів в наносистемах. Нанотехнології відкривають нові можливості в створенні нових функціональних та конструкційних матеріалів для всіх галузей промисловості, для будівництва, електроніки, хімічної промисловості, енергетики, медицини, біотехнології тощо.

Засвоєння навчального курсу має на увазі участь студентів в семінарських, практичних заняттях під керівництвом викладача. Але їй потрібна наполеглива самостійна робота. Цей момент і є миттю справжнього пізнання, виникнення інтересу до нової дисципліни. Методичні вказівки надають можливість систематизувати велику кількість фактів та величезний потік інтернет – інформації за темою нанотехнологій, застосовувати й удосконалювати теоретичні знання в ході практичних занять, реалізувати себе у сфері новітніх наукоємних технологій, самостійно поповнювати, систематизувати і застосовувати знання в цій галузі для розв'язання завдань практично-професійно, з хіміко-нанотехнологічним підходом.

Вимоги до виконання завдань: 1) відповіді мають бути короткі, по суті запитання; 2) відповідь має бути проілюстрована (3-5) практичними прикладами; 3) усі назви хімічних сполук та мінералів мають бути розшифровані хімічними формулами; 4) будь-яка відповідь має містити «прив'язку» до будівельного матеріалознавства, або можливості використати ці речовини, явища, закони в будівництві, виробництві бетону, цементів, оздоблювальних матеріалів; 5) остання самостійна робота – творче, залікове завдання (№7). Ця робота (№7) повинна бути виконана у вигляді презентації та містити узагальнення знань по курсу та особисті, інноваційні пропозиції або, навіть, проєкт (start-up), напряму нанотехнологій.

## САМОСТІЙНА РОБОТА № 1

### Історія та етапи розвитку нанотехнологій та нанохімії.

#### Наноглосарій

Мета цієї самостійної роботи: вивчити, фактори що зумовили виділення нанотехнологій в окрему наукову дисципліну; історію розвитку цієї галузі, основні відкриття, що зумовили бурхливий розвиток нанотехнологій; ознайомитися з унікальними, специфічним властивостям наноматеріалів [4; 5; 6]; зрозуміти класифікацію нанооб'єктів; сфери використання.

Слід сказати про деякі термінологічні особливості, загальноприйнятні англійські терміни. Велике поширення набули такі терміни з префіксом «нано», як «нанотехнологія», «наноелектроніка», «нанохімія». В Єврокомісії створена спеціальна група (технічний комітет ISO / ТК 229 для розробки класифікації нанопродукції), що визначає поняття «нанотехнології» як:

✓ знання і керування процесами зазвичай у масштабі 1 нм ( $10^{-9}$  м) але не виключає масштаб менше за 100 нм в одному або більше вимірах, коли введення в дію розмірного ефекту (явища) призводить до можливості нових застосувань;

✓ використання властивостей об'єктів і матеріалів у нанометровому масштабі, які відрізняються від властивостей вільних атомів або молекул, а також від об'ємних властивостей речовини, що складається з цих атомів або молекул, для створення більш досконалих матеріалів, приладів, систем, що реалізують ці властивості.

Нанотехнологія визначається як сукупність методів і прийомів, що забезпечують можливість контрольованим чином створювати і модифікувати об'єкти, що включають компоненти з розмірами менше ніж 100 нм, хоча б в одному вимірі, і в результаті цього отримувати *принципово нові якості*, що дають змогу здійснювати їх інтеграцію в повноцінно функціонуючі системи більшого масштабу. З погляду хімії: нанотехнологія, нанохімія – це наука і технологія колоїдних систем.

Найвидатніші досягнення в сфері нанотехнологій відзначені Нобелівськими преміями:

**1985** – за відкриття квантового ефекту Холла;

**1986** – за створення методів електронної та тунельної мікроскопії високої роздільної здатності;

**1998** – за відкриття дробового квантового ефекту Холла;  
**2000** – за створення напівпровідникових гетероструктур та розробку напівпровідникових інтегральних схем.

**2010** – за дослідження графену.

**З хімії:**

**1996** – за відкриття фулеренів;

**1998** – за розвиток теорії функціоналу густини і розробку обчислювальних методів квантової хімії;

**2000** – за відкриття провідності в полімерах;

**2008** – за відкриття і розробку методів використання зеленого флуоресцентного білка.

**2016** – за розробку та синтез молекулярних машин

**2023 рік** – за відкриття та розробку квантових точок.

### **Загальні запитання та завдання для самостійної роботи № 1**

1. Опишіть історію виникнення та відкриттів нанотехнологій. Які відкриття, на вашу думку, найбільш вплинули на галузі матеріалознавства та виробництво будівельних матеріалів? Наведіть п'ять прикладів.

2. Один із засновників нанонауки, американський фізик Р. Фейнман, в темі про теоретичну можливість механічно маніпулювати окремими атомами, ще в 1959 р. сказав фразу, що стала знаменитою: «Там внизу багато місця» («There's plenty of room at the bottom»). Як Ви розумієте вислів вченого? Що називають нанонауками? Нанотехнологією?

3. Наведіть приклади товарів та матеріалів, створених з використанням нанотехнологій і причини їх унікальних властивостей.

4. Опишіть міждисциплінарність та мультидисциплінарність нанонаук. Наведіть приклади.

5. Прокоментуйте фразу «кожна речовина має нанорівень». Наведіть п'ять прикладів.

6. Опишіть місце хімії в нанонауках. Міждисциплінарність нанонауки.

7. Розкрийте поняття природні та синтетичні наночастки. Біоміметики. Запропонуйте три біоміметичних підходи до розробки нових матеріалів.

8. Розкрийте поняття інноваційності. Тенденції інноваційного розвитку високотехнологічних секторів економіки України. Академічна наука у генеруванні інноваційної, нанотехнологічної діяльності.

9. Як залежать фізико-хімічні властивості речовини та матеріалів від ступеню дисперсності та розмірів наночастинок? Опишіть особливості взаємодій в наномасштабі.

10. Дайте визначення терміну «наноматеріал». Наведіть приклади та сфери використання наноматеріалів.

11. Поясніть зміст поняття «розмірний ефект». У яких властивостях він проявляється? Що робить наноматеріали унікальними?

12. Як називається книга Еріка Дрекслера, що присвячена нанотехнологіям? Які основні дискусії відбувалися навколо неї? Поясніть ваш погляд та аргументуйте.

13. Що означає термін «нано»? Зробіть порівняльний аналіз розмірів та властивостей макро, мікро та нано-об'єктів. Наведіть по три приклади.

14. Проаналізуйте національну програму «Нанонауки та Нанотехнології України». Розгляньте пріоритетні напрями досліджень в галузях нанотехнологій в Україні та світі.

15. Історія нанотехнологій. Які відкриття зробили такі вчені (та їх вплив на розвиток цієї галузі): Річард Фейнман, Ерік Дрекслер, Норіо Танігучі, Біннінг, Рорер, Смоллі, Новосьолов?

16. Поясніть основну «формулу» нанотехнологій – зв'язок «структура-властивість». Наведіть декілька конкретних прикладів.

17. Розгляньте унікальні властивості наноструктур та наноматеріалів:

- чи колір макрооб'єкта залежить від розмірів часток на нанорівні?

- міцність матеріалів зростає чи ні?

- температура плавлення зменшується чи збільшується?

- реакційна здатність речовин зростає чи ні?

- чи з'являється здатність до самозбірки?

18. Дайте визначення поняттю «наноматеріали». Які види наноматеріалів ви знаєте?

19. Наведіть приклади інструментів нанотехнологій. В чому їх специфіка?

20. Розгляньте загальну класифікацію об'єктів, що належать до сфери нанотехнологій: штучні (синтетичні) низькорозмірні об'єкти (нанокристали, наночастки, нанотрубки); наноструктури; наноматеріали.

21. Зробіть загальну класифікацію методів отримання наноматеріалів та розгляньте історію розвитку впровадження цих технологій.

22. Який розділ хімії називається нанохімією? Що є предметом дослідження нанохімії?

23. Як пояснити вплив розміру наночастинок на магнітні, електричні та оптичні властивості наноматеріалів? Які інноваційні матеріали демонструють ці явища?

24. Наведіть приклади нанорозмірного ефекту в механічних властивостях наносистем.

25. Як потрібно зберігати і яким чином поводитися під час роботи з наноматеріалами? Наноекологія.

26. Назвіть основні методи дослідження наноматеріалів.

27. Наведіть приклади сучасних розробок керамічних наноматеріалів та області їх застосування.

28. Які нові наукові галузі виникли завдяки розвитку нанотехнологій? Наведіть приклади галузей застосування нанотехнологій.

29. Визначте економічні аспекти впровадження нанотехнологій в галузі будівельних матеріалів.

30. Визначте інноваційні напрямки використання керамічних наноматеріалів. Назвіть основні інновації у промисловому секторі України в аспекті виробництва та застосування керамічних матеріалів.

## САМОСТІЙНА РОБОТА № 2

### Об'єкти нанохімії – наночастки та наноматеріали.

#### Класифікації наноструктур та наноматеріалів

Існує багато різних способів класифікації нанооб'єктів: залежно від конструкційних або функціональних властивостей, згідно з методами отримання, відповідно до морфології або розмірів нанооб'єктів (по геометричних параметрах їх структури), типи наноструктур залежно від хімічного складу матеріалу (наприклад карбонові наноструктури, які будемо розглядати в окремому розділі курсу) тощо.

Об'єкти нанотехнологій, з одного боку, можуть мати *характеристичні* розміри зазначеного діапазону (зверніть увагу – не «характерні», а «характеристичні»! Ми вживаємо у нанотехнологіях термін – «характеристичний». Особливістю наноматеріалів є збіг розмірів

наночастинок з «характерними» (критичними) розмірами для багатьох фізичних явищ і властивостей. Якщо розмір часток *менше ніж певна* для кожної властивості характеристичної довжини, можлива поява нових фізичних та хімічних властивостей):

- ✓ наночастинки, нанопорошки (об'єкти, у яких три характеристичних розміри знаходяться в діапазоні до 100 нм);
- ✓ нанотрубки, нановолокна (об'єкти, у яких два характеристичних розміри знаходяться в діапазоні до 100 нм);
- ✓ наноплівки (об'єкти, у яких один характеристичний розмір знаходиться в діапазоні до 100 нм).

**З іншого боку**, об'єктами нанотехнологій можуть бути макроскопічні об'єкти, атомарна структура яких контрольовано створюється з дозволом на рівні окремих атомів.

Згідно з найпростішої класифікації: всі нанооб'єкти розділяють на два великі класи – суцільні («зовнішні») і пористі («внутрішні»).

Або, як на рис.1:



Рис.1. Класифікація наноматеріалів [10]

## Загальні запитання та завдання для самостійної роботи № 2

1. Наведіть класифікацію нанооб'єктів за розмірністю. Напишіть по три конкретних приклади (формули, сполуки) кожного з класів та охарактеризуйте їх унікальні властивості. Поясніть морфологію наноструктур, як сукупну характеристику нанооб'єктів, що включає в себе їх розмір, форму і просторову організацію (агрегатну структуру).

2. Поясніть значення термінів: «наночастинка», «кластер», «нанотрубка», «наноплівки», «нанопорошок», «квантова точка», «фрактальна структура», «супрамолекулярна сполука».

3. Які основні принципи класифікації наноматеріалів вам відомі? Наведіть приклади. Який бетон можна назвати «нанобетоном»?

4. Вкажіть групи наноматеріалів за геометричною ознакою. Наведіть приклади.

5. Нанотрубки та їх властивості. Використання нанотрубок як елементів нанокомпозитів. Які елементи та сполуки отримані у вигляді нанотрубок?

6. Вуглецеві наноструктури. Фулерен. Історія відкриття, структура, можливості модифікування, сфери застосування.

7. Порошкові наноматеріали. Основні методи отримання та напрями практичного використання. Нанопорошки яких матеріалів отримані і досліджені в даний час?

8. Наноматеріали на основі блок-кополімерів. Можливості практичного використання в будівництві.

9. Наноструктуровані матеріали. Основні методи отримання та напрями практичного використання в нанокомпозитних будівельних матеріалах.

10. Визначте поняття «наноасемблер», «наноактюатор». Опишіть пристрій наномотору, що перетворює світлову енергію в механічну роботу.

11. Назвіть кілька способів класифікації нанотрубок та їх властивості. Наведіть три приклади. Чи можна вважати фулерен карбоновою нанотрубкою?

12. Які матеріали відносять до полімерних нанокомпозитних матеріалів? Якими методами отримують полімерні нанокомпозити? Порівняйте властивості звичайних та нанокомпозитів.

13. Біологічні наноматеріали. Наведіть приклади в природі та створені наноструктури на основі біоміметичного підходу.

14. Пористі наноструктури. Цеоліти. Мезопористі матеріали. Методи отримання та можливості практичного використання.

15. Нанокомпозитні матеріали. Класифікація нанокомпозитів (за хімічною природою матриці, за формою і характером наповнювача з наночасток тощо).

16. Приклади конструкційних, інструментальних та функціональних матеріалів, виготовлених з використанням нанотехнологій. Наведіть п'ять прикладів з характеристиками унікальних властивостей.

17. Визначте терміни «супрамолекулярна сполука», «темплат», «процеси самоорганізації». Темплатний синтез наноматеріалів та наноструктур. Підходи, засновані на принципі самозбірки.

18. Застосування наноструктур в хімії та хімічної технології. Каталіз на наночастинках. Нанокаталізатори.

19. Порошкові наноматеріали. Основні методи отримання та напрями практичного використання. Які параметри нанопорошків використовують для оцінки їх якості?

20. Які властивості наночастинок дають змогу їм грати роль каталізаторів? Перерахуйте відомі вам типи, загальні властивості нанокаталізаторів. Поясніть суть принципів структурної та енергетичної відповідностей. Наведіть конкретні приклади та реакції.

21. Дайте визначення, опишіть властивості та принципи утворення кластерів погляду нанотехнологій. Обчисліть магічне число для третьої оболонки кластеру. Нанокластери молібдену одержують хімічним осадженням з газової фази, використовуючи як прекурсор карбоніл молібдену  $\text{Mo}(\text{CO})_6$ . Напишіть рівняння реакції, що відбувається в газовій фазі.

22. Варіанти класифікації методів отримання наночастинок і наноматеріалів.

23. Опишіть природні та синтетичні наночастки. Наведіть по три приклади та опишіть їх властивості.

24. Наноструктуровані 1D, 2D та 3D-матеріали. Наведіть по три приклади кожного типу матеріалів.

25. Дендримери – капсули нанорозмірів. Наведіть приклади та схеми синтезу дендримерів та фрактальних кластерів. Самоорганізація нанооб'єктів та її використання під час створення наноматеріалів.

26. Поясніть термін «нановіскер» (англ. nanowhisker). Наведіть конкретні приклади сполук, що утворюють віскери та їх застосування в технологіях.

27. Частинки Януси, (англ. Janus particles) – різновид поліфункціональних мікро-або нанорозмірних частинок, що складаються з двох та більше частин різного хімічного складу та / або форми, з відмінними властивостями поверхні та / або обсягу. До якої галузі

нанотехнологій відноситься вивчення, синтез та використання цих наночастинок? Наведіть приклади.

28. Клатрат, інакше сполука включення (англ. clathrate) – з'єднання, в якому молекули одного сорту («гості») укладені в порожнині, утворені молекулами іншого сорту «господарями»). Наведіть 3-5 прикладів молекулярних клатратів, кристалічних, в розчині тощо. Де вони використовуються?

29. Наведіть приклади масивних(об'ємних) наноматеріалів багатофазних (мікроструктурно неоднорідних – сплави та кераміка) та композитів з компонентами із наноматеріалів (наночастками, нановолокнами, нанотрубками, наноструктурними покриттями).

30. Наноплівки. В яких галузях найдоцільніше використання наноструктурних покриттів, зокрема багатофункціональних?

### САМОСТІЙНА РОБОТА № 3

#### **Алотропні модифікації карбону. Нанокластери карбону (фулерени, фулериди, карбонові нанотрубки та ін.). Отримання та застосування органічних і полімерних наноматеріалів. Розумні полімери**

Карбон (вуглець) є унікальним, поширеним елементом. У твердому стані в природі він присутній у вигляді графіту і алмазу. Карбон утворює декілька алотропних модифікацій: природні (рис. 2: алмаз, графіт, гексагональна різновид алмазу лонсдейліт, фулерен, карбонові нанотрубки); штучні ( карбін, графен, аморфний вуглець у різних виглядах).

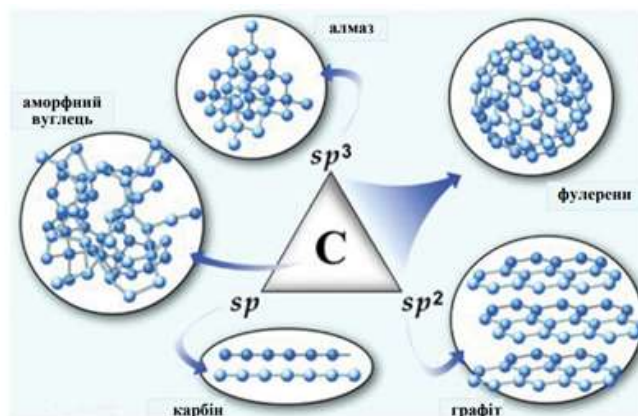


Рис. 2. Основні алотропні форми вуглецю [18]

Особлива роль серед різних груп наноматеріалів належить вуглецевим багатоатомним кластерним утворенням – фулеренам, нанотрубкам.

**Номенклатура.** Нині IUPAC запропоновані правила номенклатури тільки для фулеренів  $C_{60}$  і  $C_{70}$  та їх похідних. Гетерофулерени, норфулерени, гомофулерени, а також секофулерени називають фулероїдами.

За систематичною номенклатурою фулерен  $C_{60}$  рекомендується називати  $(C_{60}-Ih)$  [5,6] фулерен, а  $C_{70}$  -  $(C_{70}-D5h (6))$  [5,6] фулерен. У круглих дужках вказується вміст атомів карбону і символ точкової групи (симетрія) для даної молекули, а цифри в квадратних дужках означають розміри циклів у фулеренах. У другій сполуці позначення «6» в символі точкової групи пояснює, що п'ятичленний цикл, розташований навколо осі симетрії 5-го порядку, оточений шестичленними циклами. Такий запис дає змогу відрізнити цю сполуку від ізомерного  $(C_{70}-D5h (5))$  [5,6] фулерену, який містить п'ятичленні цикли навколо п'ятичленного кільця з віссю симетрії п'ятого порядку. Для  $(C_{60}-Ih)$  [5,6] фулерену і  $(C_{70}-D5h (6))$  [5,6] фулерену в літературі, крім того, зустрічаються застарілі неповні назви:  $[60-Ih]$  фулерен і  $[70-D5h]$  фулерен, які нині розглядаються як тривіальні.

**Отримання та застосування органічних і полімерних наноматеріалів. Розумні полімери.** Атом карбону є основою органічної хімії, яка вивчає вуглеводні та їх похідні, тобто хімію фулеренів та карбонових нанотрубок можна віднести до цієї галузі. Одне з найцікавіших і найперспективніших напрямів в науці про полімери та матеріалознавстві останніх років – розробка принципів отримання *полімерних наноконкомпозитів*.

### Загальні запитання та завдання для самостійної роботи № 3

1. Типи гібридизації атому карбону в органічних сполуках, в алмазі, графіті, карбоні, фулерені, графені та інших наноструктурах.

2. Алотропні сполуки карбону. Історія відкриття фулеренів та їх властивості. Скільки атомів Карбону міститься у гіперфулерені, що складається з трьох оболонок, якщо першу оболонку утворює фулерен  $C_{70}$ ?

3. Карбонові наноструктури. Фулерен. Історія відкриття, структура, можливості модифікування, галузь застосування. Які наноструктури виявлені в шунгітових породах?

4. Які методи використовують дослідники для отримання нанотрубок? Властивості нанотрубок. Який зміст аббревіатури SWNT?

5. Карбонові нанотрубки (електричні та механічні властивості, структура).

6. Перспективи використання фулеренів та нанотрубок. Які з хімічних сполук, окрім карбону, утворюють нанотрубки? За умов фторування фулерену  $C_{60}$  утворюються продукти складу  $C_{60}F_{20}$ ,  $C_{60}F_{30}$ ,  $C_{60}F_{60}$  у мольному співвідношенні 100:7:0,1. Визначте масові частки продуктів реакції у кінцевій суміші.

7. Наведіть приклади, що підтверджують відміну властивостей nanoалмазу від звичайного алмазу. Які властивості nanoалмазів забезпечують їм широке практичне застосування? Скільки атомів Карбону входить до складу nanoалмазу діаметром 10 нм? Який відсоток від загального об'єму алмазу займають атоми Карбону? Ковалентний радіус атома Карбону складає 0,077 нм (половина довжини зв'язку C–C). Густина алмазу –  $3,52 \text{ г/см}^3$

8. Одношарові карбонові нанотрубки отримують розкладом метану на Ni-катализаторі. Розрахуйте, який об'єм метану (н.у.) необхідно для отримання 12 г нанотрубок. Назвіть кілька способів класифікації нанотрубок. Чи можна вважати фулерен карбоновою нанотрубкою?

9. Перерахуйте основні способи синтезу карбонових нанотрубок. Що таке ентальпія утворення одностінною карбоновою нанотрубкою  $\Delta_f H^\circ$  (НТ)? Напишіть рівняння реакції. У яких одиницях можна виміряти  $\Delta_f H^\circ$  (НТ)? Який знак буде мати ця величина, позитивний чи негативний?

10. Перерахуйте та опишіть всі алотропні модифікації карбону. Що спільного є у всіх алотропних наноформ карбону? Скільки атомів Карбону міститься у гіперфулерені, що складається з чотирьох оболонок, якщо першу оболонку утворює фулерен  $C_{60}$ ?

11. Фулерен – сильно ендотермічна речовина: в процесі його утворення з графіту поглинається  $2350 \text{ кДж / моль}$ . У той же час, в процесі синтезу фулерену з окремих атомів карбону, що знаходяться в газовій фазі, виділяється велика кількість теплоти. Поясніть ці факти. Як можна перевести фулерен у водорозчинну форму? Запропонуйте два способи.

12. Які існують методи очищення й обробки нанотрубок? Якими механічними властивостями володіють одно- та багатошарові нанотрубки? Запропонуйте методи використання нанотрубок в цементних, полімерцементних та бетонних сумішах.

13. Історія відкриття нанотрубок. Поясніть їх будову. Де можна застосовувати нанотрубки?

14. Поясніть принципи номенклатури, класифікації фулеренів та нанотрубок. Наведіть приклади. Поясніть будову сполук, що мають за номенклатурою ЮПАК позначаються символами ( $C_{70}$ -I5h) [5; 6];  $Sc@C_{60}@MWNT$ ;  $La@C_{70}@SWNT$ .

15. Сполуки фулеренів, у яких атоми, іони або молекули, що приєдналися, знаходяться ззовні карбонової оболонки, називаються (виберіть правильну відповідь): 1) екзоєдральні; 2) ендоедральні; 3) норфулерени; 4) секофулерени. Відомо, що при хлоруванні фулерену  $C_{60}$  може приєднатися 24 атоми Хлору. Напишіть рівняння реакції і визначте об'єм хлору, необхідний для хлорування 14,4 г фулерену.

16. Поясніть будову, властивості, використання та отримання фулеритів та фулеридів. До якого класу відноситься сполука  $Cs_3C_{60}$ ? Що таке інтеркальований фулерен? За умов введення у фулерен  $C_{60}$  лантану утворюється аддукт фулерену складу  $C_{60}La_5$ . Розрахуйте число атомів лантану, яке можна ввести в 2 моля фулерену. Яка маса утвореного продукту реакції?

17. Поясніть історію відкриття, будову та властивості наступних структур: а) нанотрубка, б) графен, в) фулерен. Реакція заміщення хлору у фулерені відбувається за рівнянням:  $C_{60}Cl_{24} + 24C_6H_6 \rightarrow C_{60}(C_6H_5)_{24} + 24HCl$ . Розрахуйте масу хлороводню, який виділиться, якщо в реакцію вступило 3,744 г бензену

18. Яка наноструктура описується таким чином: площинний шар  $sp^2$  гібридизованих атомів карбону завтовшки в один атом з гексагональною ґраткою (двовимірна форма карбону). Перспективи використання подібних структур.

19. Поясніть унікальні властивості нанотрубок: теплопровідність електропровідність, пружні властивості нанотрубок, можливість вільного руху шарів багатопошарових нанотрубок. Використання.

20. Наведіть хімічні властивості фулеренів. Фулерен  $C_{60}$  масою 24 г помістили в чистий бром за температури 50 °C на декілька днів, в

результаті чого утворилася речовина яскраво помаранчевого кольору масою 98,6 г. Скільки атомів бромів приєднала молекула фулерену? [7].

21. Напишіть схеми методів отримання наноалмазів – хімічне осадження з газової фази (CVD) та детонаційним синтезом. Поясніть їх структуру та властивості.

22. Один з механізмів поглинання водню нанотрубками - хемосорбція, тобто адсорбція водню  $H_2$  на поверхні трубки з наступною дисоціацією і утворенням хімічних зв'язків C-H. Чому дорівнює максимально можлива масова частка водню в нанотрубках, яка може бути отримана шляхом хемосорбції? Запропонуйте галузь використання цього явища.

23. Хімічні властивості фулеренів. Ендо- та екзоподібні фулеренів. Фулерен  $C_{60}$  за рахунок введення Калію в його кристалічну ґратку утворює сполуку (інтеркалят) з масовою часткою Калію 14 %. За умов випаровування фулерену з цезієм одержується аналогічна сполука, що містить 67,2 % (по масі) Карбону. Встановіть формули інтеркалятів [7].

24. На основі яких матеріалів можуть бути отримані нанотрубки? Якими властивостями володіють неуглецеві нанотрубки?

25. Які методи нанотехнологій використовуються для отримання та модифікації органічних «розумних» полімерів? Наведіть два конкретних приклади.

26. Наноструктури полімерів з пам'яттю форми. Отримання та використання.

27. Якби в наносвіті в футбол грали бакмінстерфулереном, то з якої відстані пробивався б пенальті? Розрахуйте в нанометрах.

28. Наведіть приклади «розумних» наносистем, нанокомпозитних матеріалів. Які принципи та методи нанотехнологій використовувалися у ваших прикладах?

29. Зробіть доповідь «Карбон – унікальні властивості. Органічні, неорганічні та гібридні наноматеріали». Надайте інформацію про алотропні наномодифікації карбону та різноманітні органічні сполуки в нанотехнологіях.

30. Функціональні та конструкційні матеріали (або композити), що модифіковані нанотрубками, фулеренами, наночастками карбону.

## САМОСТІЙНА РОБОТА № 4

### Особливості фізичних та хімічних взаємодій в наноструктурах. Розмірні ефекти

Формула нанотехнологій: «Зв'язок: «структура – властивість» стає сильнішим та більш вагомим ніж в макротехнологіях. Наноматеріали характеризуються декількома основними рисами, що робить їх поза конкуренцією порівняно з іншими речовинами, тому вони знаходять практичне використання в діяльності людини.

*Причинами особливостей* наноструктурованих матеріалів є:

1. Зміна внеску в різні процеси поверхні частинки по відношенню до обсягу матеріалу під час переходу до нанорозмірних систем.

2. Енергетична, польова і «речова» нерівноважності поверхні, що охоплює значні об'єми наночастинок.

3. Посилення ролі різних видів розмірних ефектів через значні площі кордонів розділу в умовах нанокомпозицій.

4. Виникнення в умовах великої кількості енергетично активних наночастинок нетрадиційних механізмів упорядкування, перенесення енергії і заряду.

4. Малі характеристичні розміри часток і особливий характер їх впорядкування, що забезпечують енергетичну і просторову доступність транспорту заряду, енергії і конформаційних змін.

Найбільш сильні зміни властивостей наноматеріалів і наночастинок настають в діапазоні розмірів кристалітів порядку 10...100 нм.

Залежно від розмірів досліджуваного зразка *розрізняють класичні і квантові розмірні ефекти*, які можуть впливати практично на будь-які властивості речовини.

### Загальні запитання та завдання для самостійної роботи № 4

1. Опишіть розмірні ефекти в наносистемах. Особливі властивості речовини в нанометровому діапазоні розмірів. Причини їх виникнення.

2. Причини зміни фізичних властивостей (температури плавлення, параметрів кристалічної решітки, теплоємності, температури Дебая) наноматеріалів порівняно з макросистемами. Квантомеханічні ефекти.

3. Залежність температури фазових переходів від розміру часток речовини. Розрахувати температуру плавлення наночастинок цинку

діаметром 12 нм, якщо значення поверхневого натягу на межі з вакуумом рівні  $\sigma_{\text{тв.}} = 830$  мН/м і  $\sigma_{\text{рід.}} = 767$  мН/м. Теплота плавлення одиниці об'єму цинку становить  $0,78 \cdot 10^9$  Дж/м<sup>3</sup>. Температура плавлення масивного металу дорівнює 692 К. Густина цинку становить  $7,13 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

4. Магнітні властивості матеріалів. Ефект Мейснера. Магнітні наноматеріали. Приклади.

5. Особливі властивості речовини в нанометровому діапазоні розмірів. Розмірні ефекти в наносистемах. Їх вплив на фізичні і хімічні властивості речовин.

6. Оптичні властивості колоїдних систем і наноматеріалів (приклади залежності «колір речовини-розмір наночасток»). Світлорозсіювання, формула Релея, Ефект Тиндаля. Що таке метаматеріали з погляду оптичних властивостей?

7. Вплив дисперсності на величину хімічного та електродного потенціалу. Для вирішення яких технологічних завдань це можна використати? Запропонуйте декілька процесів та рішень.

8. Яка властивість наночастинок використовується під час створення ефективних каталізаторів? Яким чином розмір часток може впливати на особливості хімічних властивостей речовини і на реакційну здатність?

9. Чим обумовлюється мала стійкість нанорозмірних систем? Якими способами може бути забезпечена їх стабільність? Чим пояснити надлишкову поверхневу енергію наночастинок?

10. Вплив дисперсності на параметри кристалічної ґратки. Розрахуйте міжфазний натяг у системі CaF<sub>2</sub> – вода, знаючи, що розчинність частинок фториду кальцію діаметром 30 нм перевищує розчинність масивних кристалів (при 293 К) на 18 мас. %. Густина фториду кальцію становить 2,5 г/см<sup>3</sup> (відповідь  $\sigma = 0,0968$  Дж/м<sup>2</sup>).

11. Охарактеризуйте особливі властивості наноматеріалів. «Розумні» властивості наноматеріалів. «Розумні матеріали» як база для створення програмно-апаратних комплексів з сенсорами, мініатюрних комп'ютерів і виконавчих нанопристроїв.

12. Опишіть причини зміни фізичних властивостей наноматеріалів. Температура плавлення. Зв'язок між температурою плавлення наночастинки та її розміром.

13. Температурна залежність теплоємності нанокристалічного паладію розміром 8 нм за температури 20 К описується степеневою

функцією (див. в теоретичному матеріалі). У скільки разів теплоємність нанокристалічного паладію більша за теплоємність масивного паладію?

14. Опишіть механічні, магнітні та оптичні властивості наноматеріалів. Фотонні кристали. Що таке метаматеріали? Які існують сучасні виклики по створенню таких матеріалів?

15. Велике співвідношення поверхні наноматеріалів до об'єму – основна властивість нанооб'єктів. Розгляньте фізико-хімічні аспекти поверхневих явищ в наноструктурах.

16. Розгляньте залежність температури плавлення наночасток алюмінію від їх радіусу. Поясніть це явище. Яким рівнянням описується ця закономірність? (рис. 3).

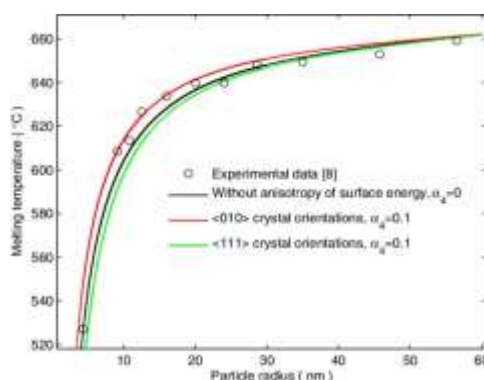


Рис. 3. Розмірна залежність температури плавлення для наночастинок [22]

17. Теплоємність. Основна причина зміни термодинамічних характеристик нанокристалів порівняно з масивною речовиною. Температура Дебая. Залежність молярної теплоємності від середнього радіусу частинки  $r$  та температури Дебая.

18. Корпускулярно-хвильовий дуалізм нанооб'єктів. Принцип невизначеності Гейзенберга. Квантові розмірні ефекти. Надпровідність та надплинність. Тунельний ефект. Прилади на основі тунельного ефекту.

19. Ефект Мейснера. Магнітні властивості наноматеріалів. Використання.

20. Як розвиток нанотехнологій створює умови для реалізації фантастичних проєктів – космічний ліфт, телепортація, невидимі матеріали, смарт-матеріали?

21. Відсутність дислокацій – причина колосальної міцності нанодротів і нанотрубок. Поясніть цей тезис на конкретних прикладах. Наведіть приклади надміцних матеріалів. Запропонуйте нанодобавки для підвищення міцності.

22. Принцип створення поверхонь з «ефектом лотосу». Надгідрофобність. Запропонуйте оздоблювальні матеріали з таким ефектом.

23. Капілярні явища. Змочування і розтікання, крайовий кут, змочування, формула Юнга. Нанопористі речовини, їх унікальні властивості. Використання в будівельних сумішах та матеріалах.

24. Чому температура плавлення металевих наноб'єктів зменшується на сотні градусів? Поясніть на конкретних прикладах та наведіть формули, які це підтверджують.

25. Використовуючи яке рівняння, можна оцінити, починаючи з якого розміру властивості нанофази почнуть відрізнятися від властивостей звичайного матеріалу? Розрахуйте на прикладі срібла та його температури плавлення. На які властивості впливає нанодисперсність структурних елементів матеріалів?

26. Добре відомо, що звичайне срібло не розчинне в розбавлених кислотах (крім нітратної). Чи будуть розчинятися з виділенням водню у слабких кислотах (типу оцтової) наночастки (кластери) аргентуму. Поясніть з погляду розмірного ефекту. Розмірний ефект в хімічних процесах.

27. Як змінюються каталітична активність наночасток металів та інших речовин? Наведіть п'ять реакцій або технологічних процесів, які це демонструють. Як проявляється хімічний нанорозмірний ефект? Вплив дисперсності на величину хімічного потенціалу.

28. У чому проявляється «інтелектуальність» наноматеріалів з погляду виростання «розмірного» ефекту і де її використовують?

29. Які властивості наноматеріалів забезпечують можливість їх використання в якості нового класу конструкційних матеріалів? Наведіть приклади з останніх 5 років досліджень та впроваджень.

30. Для дослідження електрохімічних властивостей нанокластерів срібла були побудовані наступні гальванічні елементи:

(I)  $\text{Ag(тв)} | \text{AgCl (насич. р-н)} || \text{Ag}^+ (0,01 \text{ M}) | \text{Ag(тв)}$   $E_1 = 0,170 \text{ В}$

(II)  $\text{Pt} | \text{Ag}_n \text{ (тв, нанокластери), Ag}^+ (0,01 \text{ M}) || \text{AgCl (насич. р-н)} | \text{Ag(тв)}$  Нанокластери  $\text{Ag}_5$  і  $\text{Ag}_{10}$  складаються із звичайних атомів срібла, однак їх стандартні електродні потенціали відрізняються від потенціалу металічного срібла: а)  $E_2 = 0,430 \text{ В}$  для нанокластерів  $\text{Ag}_{10}$ ; б)  $E_3 = 1,030 \text{ В}$  для нанокластерів  $\text{Ag}_5$ ;  $E^0 (\text{Ag}^+ / \text{Ag}) = 0,800 \text{ В}$ ,  $T = 298,15 \text{ К}$ . Розрахуйте

стандартні електродні потенціали нанокластерів Ag5 і Ag10. Поясніть, чому стандартний потенціал нанокластерів залежить від розміру частинок.

31. Вченими-нанотехнологами створений скотч, який імітує лапки ящірки-гекона. Його поверхня покрита великою кількістю дуже маленьких ворсинок (густина щетинок на лапці гекона складає 1,5 млн на 1 см<sup>2</sup> поверхні підошви гекона). Якої площі потрібний скотч для утримання на стелі людини масою 75 кг, якщо відомо, що: а) кожна така волосинка має середню площу контакту з поверхнею  $S_1 = 1300 \text{ мкм}^2$ ; б) на 1 см<sup>2</sup> липкої стрічки припадає  $n = 29100$  волосинок; в) питома сила «прилипання» волосинки до поверхні складає  $F = 45 \text{ кН/м}^2$ . ( $F = S_{\text{лапки}} \cdot F_{\text{пит}}$  та

$$m = S_{\text{лапки}} \cdot F_{\text{пит}} \cdot \frac{n \cdot \text{ефективність}}{g}$$

## САМОСТІЙНА РОБОТА № 5

### Методи діагностики та дослідження наноструктур наноматеріалів.

#### Зондові методи мікроскопії та спектроскопії.

Діагностика наноструктур дуже важлива для розвитку галузі та виготовлення наноматеріалів, оскільки на функції наноматеріалів впливають їхні розміри, форми та структури. У цій темі розглянемо найсучасніші методи визначення характеристик наноматеріалів, принципи та методології «традиційних» методів, що використовуються для характеристики кристалічних структур, таких як метод рентгенівської дифракції (XRD), метод малокутового рентгенівського розсіювання (SAXS) і методи комбінаційного розсіювання та методів, що (деякі, навіть, виникли завдяки розвитку нанотехнологій) використовуються для зображення структури поверхні наноматеріалів, таких як атомно-силова мікроскопія (АСМ), скануючий тунельний мікроскоп (СТМ), ІЧ-спектроскопія з перетворенням Фур'є (FT-IR) та рентгенівська спектроскопія, променева фотоелектронна спектроскопія (XPS).

Наноструктуровані матеріали з різними морфологіями, такі як наночастинки, нанокластери, нанотрубки, нанодроти, наноплівки тощо, були ретельно вивчені та показали значну технологічну цінність у багатьох застосуваннях. Мікроструктурна характеристика дає інформацію про

морфологію різних фаз, кількість фаз, хімічний склад і кристалографічні дефекти.

**Як можна охарактеризувати наноматеріали?** Структура стандартів в галузі нанотехнологій:

ISO/TC 229/JWG 1 Термінологія та номенклатура,

ISO/TC 229/JWG 2 Вимірювання та характеристика.

**Фізичні** властивості досліджуються наступними мікроскопами:

Трансмисійна електронна мікроскопія (ТЕМ),

скануюча електронна мікроскопія (СЕМ),

динамічне розсіювання світла (ДРС, DLS,

рентгенівська дифракція (ХRD).

**Хімічні властивості :**

енергодисперсійна спектроскопія (ЕДС, EDS),

інфрачервона спектроскопія з перетворенням Фур'є (ІЧ, FTIR),

рентгенівська фотоелектронна спектроскопія (ХPS),

мас-спектрометрія з індуктивно зв'язаною плазмою (ІСР-MS).

Для засвоєння цієї теми необхідно чітко розуміти такі **терміни**:

Кантилевер, дифракційний межа, хвиля де Бройля; критерій Релея, СТМ, АСМ, тунельний струм, наноіндентор, нанотерези, нанотехнологічні САD-програми, п'єзосканер, п'єзоманіпулятори, гексапод, платформи Стюарта, нанолітографія, ультрамікротом, п'єзоелектричний ефект.

## **Загальні запитання та завдання для самостійної роботи № 5**

1. Зондова мікроскопія. Використання скануючого тунельного мікроскопа (СТМ) і скануючого атомно-силового мікроскопу для вивчення структурних властивостей порошкових матеріалів.

2. Квантові розмірні ефекти. Тунельний ефект. Прилади, що працюють на основі тунельного ефекту.

3. Фізичні передумови до створення електронного мікроскопа. Межа дозволу оптичного мікроскопа. Критерій Релея. Дуалізм «хвиля – частинка».

4. Атомно-силовий мікроскоп (АСМ), принцип дії АСМ і його можливості.

5. Які переваги і недоліки атомно-силової мікроскопії в порівнянні з скануючою електронною мікроскопією? Наведіть приклади задач для дослідників у матеріалознавстві.

6. Робота атомно-силового мікроскопу (АСМ). Сили взаємодії зонда з поверхнею в АСМ. Режими роботи АСМ.

7. Вимірювання тунельного струму як принцип дії скануючого тунельного мікроскопа (СТМ). Робота СТМ в режимі постійної висоти і в режимі постійного струму.

8. Принцип дії магнітної лінзи, електронного просвічувального мікроскопу та електронного скануючого мікроскопу.

9. П'єзоелектричний ефект в скануючій тунельній мікроскопії. Опишіть типи, принцип дії та матеріали, з яких виготовляють п'єзоманіпулятори.

10. Які наноінструменти дають змогу безпосередньо вимірювати динамічні характеристики молекул? Принципи дії п'єзоманіпуляторів, кантилеверів, наноінденторів, мікротомів.

11. Чому скануючі мікроскопи називають «очами та пальцями» нанотехнології? Які типи скануючих мікроскопів ви знаєте? В чому загальний принцип цих методів? Технологічні використання зондової мікроскопії (СЗМ).

12. Перерахуйте основні характеристики зондів кантилеверного типу. Поясніть властивості матеріалів, з яких вони зроблені.

13. Опишіть основні режими роботи атомно-силового мікроскопу: контактний, безконтактний і «напівконтактний». Наведіть конкретний приклад та поясніть, в якому режимі Ви будете досліджувати матеріал?

14. Які конструкції сканерів використовуються в скануючій зондової мікроскопії окрім трубочатих? Які їх переваги та недоліки?

15. Магнітна силова мікроскопія (МСМ). Принцип роботи у напівконтактному та неконтактному режимі. Приклади.

16. Перерахуйте джерела побічної інформації, що спотворюють дані про морфологію та властивості наноструктур, одержувані методом атомно-силової мікроскопії.

17. Додаткові можливості методу зондової мікроскопії: атомні маніпуляції і нанолітографія. Вплив цих методів на розвиток нанотехнологій (яка галузь особливо широко використовує нанолітографію?).

18. Визначення дисперсності наноматеріалів. Навіщо ці дослідження проводять? Гранулометричний склад наноматеріалів. Функції розподілу часток за розмірами. Питома поверхня та методи її визначення.

19. Яку інформацію про наноречовини можна отримати, використовуючи метод рентгенівської дифракції? Приклади (за Вашою спеціалізацією)

20. Оптичні властивості колоїдних та наносистем. Метаматеріали. Світлорозсіювання, формула Релея, Ефект Тиндаля. Кількісні оптичні методи дослідження колоїдних систем: ультрамікроскопія, нефелометрія, фотокалориметром.

21. Спектроскопічні методи дослідження наноматеріалів. Атомна і молекулярна спектроскопія.

22. Оберіть наноматеріал та запропонуйте мікроскопічні методи дослідження нанооб'єкту. Типи мікроскопів та їх можливості.

23. Яку інформацію про властивості частинок нанопорошків дає метод газової адсорбції? У чому його сутність?

24. Скануюча зондова мікроскопія, як метод дослідження наноматеріалів. Принцип роботи скануючого тунельного мікроскопа.

25. Які види модифікації поверхні (нанолітографія) дозволяє здійснювати СТМ? Наведіть приклади.

26. Сучасні інструменти візуалізації об'єктів наносвіту. Яка різниця між наноінструментами та звичайними лабораторними приладами?.

27. Спектроскопічні методи дослідження наноматеріалів. Спектроскопія комбінаційного розсіювання. Месбауерівська спектроскопія. Метод ядерного магнітного резонансу. Можливості та обмеження методів.

28. Використання методу малокутового розсіяння нейтронів і рентгенівських променів для дослідження нанооб'єктів. Можливості та обмеження методу.

29. Приклади використання СЗМ для вирішення задач в матеріалознавстві та нанотехнологіях. Дослідження кінетики зростання самоорганізованих моношарів, визначення діаметру пір в анодованому оксиді алюмінію, дослідження поверхні фотонних кристалів для визначення періоду кристалу, розподіл магнітних полів на поверхні жорсткого диску тощо.

30. Принцип дії та використання скануючого оптичного мікроскопу ближнього поля.

## САМОСТІЙНА РОБОТА № 6

### Методи та процеси отримання наночасток і наноматеріалів

Існує два основних підходи до синтезу наночастинок (тому в цій темі треба виконати два типи завдань):

1. «знизу вгору» («bottom-up method») – з окремих атомів і молекул, використовуючи переважно хімічні реакції

2. «зверху-вниз» (top-down): – механічним або іншим диспергуванням більш великих часток.

Всі методи «знизу вгору» можна розділити на два великі класи: 1) *осадження наночасток з газової фази*; 2) *утворення наночасток в колоїдному розчині*. Якщо осадження з газової фази відбувається зі зміною складу речовини, його називають хімічним (**CVD** – chemical vapor deposition), якщо хімічної реакції при осадженні немає, його іменують фізичним (**PVD** – physical vapor deposition).

Нині існують три напрями отримання *об'ємних* наноструктурних матеріалів:

1. Контрольована кристалізація аморфних матеріалів.
2. Компактування ультрадисперсних порошків та диспергування.
3. Інтенсивна пластична деформація матеріалів із звичайним розміром зерна.

**Хімічні методи** [3] синтезу включають процеси осадження, термічного розкладання або піролізу, газозфазних хімічних реакцій, відновлення, гідролізу, електроосадження т.щ.

**Золь-гель процес** (англ. sol-gel process) – технологія матеріалів зокрема наноматеріалів, що включає отримання золю з подальшим переведенням його в гель, тобто в колоїдну систему. Загальна назва «золь-гель процес» об'єднує велику групу методів отримання (синтезу) матеріалів з розчинів, суттєвим елементом яких є утворення гелю на одній зі стадій процесу.

Цікаві для будівельного матеріалознавства методи формування наноматеріалів, наступні: золь-гель-технології, механохімія, кріохімія, темплатні техніки в рідких середовищах, електрофорез, керамічні методи (спікання, пресування, синтез, що саморозповсюджується тощо).

## Загальні запитання та завдання для самостійної роботи № 6

1. Дайте визначення терміну «наноструктуровані матеріали». Поясніть основні методи отримання і напями практичного використання.
2. Дайте визначення та характеристики методів отримання наночасток: «знизу-вверх» (bottom-up method) і «зверху-вниз» (top-down).
3. Що називають фізичними методами синтезу нанопорошків (метод електро-вибуху, механічне та ультразвукове диспергування тощо)?
4. Охарактеризуйте хімічні методи синтезу наноструктурованих матеріалів, їх класифікацію. Наведіть три-п'ять конкретних реакцій та технологій.
5. Які методи синтезу нанопорошків і консолідованих наноматеріалів можуть бути віднесені до диспергаційних методів? Які - до методів конденсаційних? Наведіть три-п'ять прикладів.
6. Опишіть процес високоенергетичного подрібнення та механохімічного синтезу.
7. Наведіть основні методи отримання консолідованих наноматеріалів. Опишіть конденсаційний метод одержання матеріалів.
8. Опишіть основні методи отримання порошків для виготовлення наноматеріалів. Які параметри нанопорошків використовують для оцінки їх якості?.
9. Охарактеризуйте методи для отримання наноматеріалів та вимоги до них.
10. Що таке конструкційний наноматеріал? Назвіть види конструкційних наноматеріалів. Які методи одержання наноструктурних матеріалів ви знаєте?
11. Поясніть особливість фізичних і хімічних методів отримання наноматеріалів? Визначити вплив розміру структурних елементів наноматеріалів на їх властивості.
12. Опишіть метод отримання нанопорошку з газової фази.
13. Які існують методи отримання наноплівки/нанопокриттів?
14. Назвіть хімічні методи отримання нанопорошків. Що передбачає метод розкладання нестабільних сполук?
15. Опишіть будову та склад метало-матричних наноструктурних композитів.

16. Що таке темплатний синтез наноматеріалів та наноструктур? Поясніть підходи, засновані на принципі самозбірки, процеси самоорганізація нанорозмірних структур у природі і техніці.

17. Поясніть принципи плівкових технологій отримання наноматеріалів (хімічне осадження з газової фази фізичне осадження з газової фази, електроосадження, іонно-променева епітаксія, золь-гель).

18. Які основні стадії включає процес отримання плівок Ленгмюра-Блоджетт?

19. Чи можна отримати диспергаційними методами композит з частинками нанорозміру? Якщо так, то яким способом?

20. Які речовини в нанодисперсному стані зазвичай отримують методом розкладання? Які речовини використовують як вихідні матеріали в цьому методі?

21. В чому сутність методу швидкого термічного розкладання прекурсорів в розчині (RTDS)? Яка апаратура необхідна для цього методу? Що таке надкритичний флюїдний розчин? Як перевести його в докритичний розчин? Які явища в розчині при цьому відбуваються?

22. У чому сутність методу розпилювальної сушки? Яка апаратура необхідна для цього методу? Які недоліки цього методу?

23. Якими методами можна отримувати наноплівки та нановолокна простих і складних оксидів?

24. Поясніть вплив складу вихідного розчину і технологічних параметрів процесу на розмір та морфологію синтезованих наночастинок.

25. Охарактеризуйте електрохімічний метод отримання наноматеріалів, катодні і анодні процеси, що призводять до синтезу наноматеріалів.

26. Зробіть повідомлення на тему «Отримання наноструктурованих покриттів. Електроосадження наночасток».

27. В чому важливість, необхідність розробки методів отримання мезопористих силікатів та їх використання?

28. Надайте три-п'ять прикладів наноматеріалів на основі блок-сополімерів та можливості практичного використання, методів одержання.

29. Які ви знаєте пористі наноструктури. Опишіть методи отримання та можливості їх практичного використання.

30. Що таке технологія отримання наночасток у рідкій фазі. Надайте приклади осадження в розчинах і розплавах, основні фази технології одержання нанопорошків осадженням у водних і неводних розчинах.

31. Наведіть приклади синтезів, методів отримання наночасток металів у міцелах, емульсіях, дендримерах .

32. Які причини низької стійкості речовин в нанокристалічному стані? Які існують технології стабілізації форми і розмірів нанокристалітів?

33. Що таке кріопомол? Які неорганічні речовини можна отримати у вигляді нанопорошків кріопомолом?

34. Які методи осадження, використовуються для отримання нанопорошків? Які вимоги висуваються до речовини? Наведіть приклад отримання нанопорошків: а) простого оксиду; б) складного оксиду методом хімічного осадження.

35. У чому сутність золь-гель методу? Що таке міцелярний гель та полімерний гель і як їх можна отримати? Який гель використовують для отримання нановолокон?

36. У чому сутність гідротермального методу? Чому під час проведення процесу осадження в автоклаві виходить більш дисперсний порошок, ніж за звичайних умов?

37. У чому сутність методу комплексонатної гомогенізації? Які речовини називають комплексонатами? Чому використання в якості прекурсорів комплексів металів з органічними полідентантними лігандами дозволяє отримати нанопорошок?

38. Поясніть сутність методу заміни розчинника. Які вимоги пред'являються до розчинника, що заміняє вихідний розчинник (воду)?

39. У чому сутність методів спалювання? Які прекурсори використовують в цьому методі? Які різновиди цього методу вам відомі?

40. Чому додавання в розчин гліцину або лимонної кислоти призводить, після відповідної термообробки, до отримання дрібніших частинок синтезованої речовини, ніж в методі хімічного осадження? Поясніть на прикладах цей метод.

41. Охарактеризуйте метод Печінні. Які речовини в наностані можна отримувати цим методом? Чи є обмеження у цьому методі?

42. Опишіть целюлозну технологію отримання нанопорошків. У чому плюси і мінуси цього методу? Які речовини (крім целюлози) використовують в якості вихідних для отримання оксидних матеріалів цим методом?

43. В чому сутність методу піролізу полімерно-сольових плівок? Які солі і які полімери використовують в цьому методі? Які переваги цього методу?

44. Охарактеризуйте плазмохімічний метод отримання нанопорошків. Які його різновиди ви знаєте? Який з плазмохімічних методів (переробка газоподібних сполук, переробка крапельно-рідкої сировини, переробка твердих частинок, зважених у потоці плазми) дозволяє отримати найбільш дисперсний порошок? Чому?

45. Що таке механосинтез? Які речовини в нанодисперсному стані можна отримати механосинтезом?

46. Особливості отримання наноматеріалів у рідких середовищах. Основи процесу кристалізації в рідких середовищах. Стадії процесу кристалізації - одержання центрів нуклеації, зростання наночасток. Гомогенне і гетерогенне зародкоутворення. Критичний зародок. Основні теорії росту кристалів.

47. Поясніть наступні терміни та процеси : золь-гель метод (основні стадії процесу); особливості гідролізу та поліконденсації в лужному і кислому середовищі. Наведіть методи отримання нанокремнезему.

48. У чому суть гелеутворення та синерезису. Поясніть метод видалення розчинника – одержання ксерогелів та аерогелів, вплив складу реакційного середовища і умов протікання процесу на морфологію синтезованого наноматеріалу.

49. Напишіть хімічну технологію отримання золь-гель методом наноматеріалів на основі оксидів кремнію та титану.

50. В чому суть синтезу золь-гель методом нанокompозитів типу «неорганіка-неорганіка» і «органіка-неорганіка»?

51. Опишіть синтез наночастинок в надкритичних рідинах.

52. Охарактеризуйте гідротермальний синтез наночастинок цеолітів і цеолітів з нанопористою структурою.

53. У чому суть механізму синтезу наночастинок при дії різних видів випромінювання?

54. Як пояснити ультразвуковий вплив на синтез наночастинок з аморфною та нанокристалічною структурою?

55. Опишіть методи випарювання і піроліз аерозолію. Наведіть приклади. Поясніть терміни.

56. Якими основними факторами визначаються властивості тонких плівок, отриманих нанотехнологічними методами? Наведіть приклади.

57. Якими методами отримують полімерні нанокompозити? Які характеристики визначають їх властивості?

58. Що таке віскер? Як отримують віскери оксиду алюмінію? Які теплоізоляційні вироби виробляють з високотемпературних оксидних волокон та за якими нанотехнологіями?

59. Наведіть приклади конструкційних та інструментальних матеріалів, виготовлених з використанням методів нанотехнологій.

60. Що класифікують як нанокompозитні матеріали? Наведіть класифікацію нанокompозитів (по хімічній природі матриці, за формою і характером наповнювача з наночасток та ін.) та опишіть загальні методи отримання нанокompозитів, можливості практичного використання.

61. Яким чином можна синтезувати: а) наноксид титану, б) наноксид алюмінію, в) карбід бору. Яке обладнання потрібно для синтезу? Який мінімальний розмір часток порошку, який можна отримати запропонованим Вами способом.

62. Якими методами можна отримати порожнисті частинки оксидів зі стінками нанометрової товщини? Які речовини використовують як вихідні для отримання порожнистих частинок оксидів металів? Запропонуйте методу отримання порожніх частинок оксиду феруму (III), використовуючи як вихідну речовину хлорне залізо.

## САМОСТІЙНА РОБОТА № 7

### **Нанотехнології у виробництві будівельних матеріалів. Актуальні проблеми нанотехнологій та наноіндустрії. Сучасні світові досягнення**

Тема «Нанотехнології та будівельна промисловість» є сферою професійних інтересів в нашому університеті. Тому, виконання цієї самостійної роботи потребує творчого, самостійного підходу. Бажано оформити відповідь у вигляді презентації, з обов'язковими іноваціями, індивідуальними пропозиціями та проєктами (можливо, навіть, запропонувати start-up, бізнес проєкт).

Основна мета застосування наносистем (чи нанотехнологій) в будівельному матеріалознавстві – розробка промислово прийнятних технологічних прийомів створення будівельних (конструкційних, функціональних, декоративних тощо) матеріалів з будь-якими, наперед заданими властивостями, за умови зведення до теоретично досяжного мінімуму техногенного пресингу на екосферу планети.

Основні завдання напряму «Наносистеми в будівельному матеріалознавстві» :

1. Розробка каталізаторів для низькотемпературного синтезу клінкерних мінералів і прискореної гідратації стандартних цементів .

2. Створення технологічних основ золь-гель синтезу нанорозмірних мінеральних індивідуальних клінкерних компонент

3. Підвищення ефективності традиційних класів будівельних матеріалів (цемент, бетон, асфальтобетон тощо) шляхом модифікування структури.

4. Використання наноструктурованої мінеральної сировини для отримання високо-ефективних будівельних композитів.

5. Розробка нового покоління гіперпластифікаторів для оптимізації реологічних характеристик бетонних сумішей і максимального зменшення водоцементного відношення.

6. Створення системи теоретичних уявлень про явища (взаємодіях, процесах) на нанорівні (гідратація в'язучих та формування наноструктурних гідратних фаз, природа та джерела адгезії, механізми і процеси подрібнення і т.д.).

7. Розробка теоретичних і прикладних аспектів модифікації в'язучих речовин синтетичними продуктами наноінженерної діяльності суміжних галузей.

8. Модифікування в'язучих речовин нанорозмірними частками полімерів, їх емульсіями або полімерними наноплівками.

9. Створення «біоімітуючих» матеріалів (імітування структури кісткової тканини, енергозберігаючі рішення, камуфляж і т.п.).

10. Розробка сучасної родини неорганічних наноструктурованих клейових матеріалів будівельного призначення з керованими параметрами.

11. Створення високоефективних покриттів, фарб, тонких плівок (зносостійкі покриття, довговічні фарби, що самоочищаються термостійкі, антиблискові, анти-бактеріальні, антивандальні, антирадарні та інші покриття) [8,9].

12. Створення нових багатофункціональних наноматеріалів і виробів на їх основі (ізолятори на основі аерогелю, ефективні мембранні фільтри, каталізатори, самовідновлювальні матеріали тощо).

13. Створення концептуальних «інтелектуальних» матеріалів (використання мікро/нано-сенсорів: наприклад, наноелектромеханічні системи, біоподібні датчики, структури, що самоактивуються тощо).

14. Розробка методів і систем загального контролю та діагностики (контроль дефектів структури і корозії арматури, оцінка ризиків руйнування матеріалів та конструкцій при зміні умов навколишнього середовища і т.д.).

15. Розробка енергозберігаючих опалювальних елементів, заснованих на наноструктурованих композиціях та обладнання їх комунікації.

16. Створення диспергуючого обладнання для надтонкого подрібнення і механохімічної активації різних в'язучих, в тому числі цементу.

17. Створення системи метрологічного забезпечення робіт у галузі будівельних нанотехнологій

18. Адитивне виробництво (3D-друк) у будівництві (дизайн високопродуктивних бетонних сумішей для 3д друку).

Нанотехнології інтенсивно змінюють військове майбутнє. Військові дослідження у світі ведуться в наступних основних сферах: енергетичні ресурси; технології створення і протидії «невидимості», антирадарні покриття (нанопорошки використовуються у складі ряду радіопоглинаючих покриттів, відомі літаки-невидимки, створені на основі технології stealth); камуфляжні рішення; системи (наприклад, що дозволяють автоматично лагодити пошкоджену поверхню танка або літака), що самовідновлюються; радіоелектронний зв'язок; надміцні матеріали (бронезахист); антирадіаційні матеріали та конструкції; в перспективних видах вибухових речовин і запальних сумішей (вуглецеві нановолокна використовуються в спеціальних боєприпасах («графітова бомба»)); а також сенсори для виявлення хімічних і біологічних забруднень та наноадсорбенти, для знешкодження (екологія).

**Екологія.** Структура стандартів в галузі нанотехнологій:

ISO/TC 229/TG 2 Сталість, споживчі та соціальні виміри нанотехнологій,

ISO/TC 229/WG 3 Аспекти здоров'я, безпеки та навколишнього середовища нанотехнологій,

ISO/TC 229/WG 4 Специфікації матеріалів,

ISO/TC 229/WG 5 Продукти та добавки.

## Загальні запитання та завдання для самостійної роботи № 7

1. Які існують проблеми та варіанти їх вирішення, щодо застосування наноматеріалів і нанотехнологій в будівництві і будівельних матеріалах?

2. У чому полягають технологічні принципи створення наноструктур (розплави, золь-гелевий синтез та ін.), створення нових функціональних матеріалів в будівництві?

3. В яких випадках потрібна діагностика наноструктур і наноматеріалів будівельних систем методами нанотехнологій?

4. У чому суть задач отримання високощільних і високоміцних будівельних матеріалів (бетони, кераміка та ін.) з використанням наномодифікації?

5. Чи можете ви продемонструвати технології подрібнення мінеральних частинок до нанорозмірних рівнів та технології перемішування сумішей з нанодисперсними частинками і методи їх активації?

6. Як використовуються гідродинамічні та інші методи активації водних суспензій і розчинів; модифікація водних розчинів різних нанорозмірних добавок у будівництві?

7. Чи розроблені теоретичні основи та проведені дослідження в області токсичності порошкових наноматеріалів (наведіть приклади)?

8. Які нанотехнологічні підходи до створення високоефективних покриттів, фарб, тонких плівок (зносостійкі покриття, довговічні фарби, що самоочищаються; термостійкі, антиблискові, антибактеріальні, антивандальні та інші покриття)? Навести конкретні приклади.

9. Чи можете описати нові багатофункціональні матеріали та вироби на їх основі (ізолятори на основі аерогелю, ефективні мембранні фільтри, каталізатори, самовідновлювальні матеріали тощо)?

10. Які галузі використовують: волокна карбонові, базальтові, арамідні та інші малих діаметрів з нанорозмірними структурними характеристиками; металеву арматуру, модифіковану в процесі виготовлення, нанорозмірними матеріалами?

11. Зробіть презентацію за темою: «Цементні та інші в'язучі з мінеральними і органічними нанодобавками».

12. Які є досягнення в темі досліджень: «Бетони і розчини, модифіковані нанорозмірними добавками»?

13. Які суспензії мінеральних наночасток, використовуються для лаків, фарб, а також модифікаторів до бетонів та розчинів, властивості, технологія їх приготування?

14. Опишіть органічні матеріали, які використовуються для виготовлення лаків і фарб, смарт- та наномодифікованих покриттів, а також нанодобавок для бетонів і розчинів, методи їх активації.

15. Зробіть доповідь за темою: «Нанопорошки різної природи для модифікації властивостей будівельних матеріалів».

16. Наведіть 5 -7 прикладів унікальних властивостей будівельних матеріалів на основі наносистем.

17. Як застосовуються синтетичні полімерні гідрогелі, 3D-друковані гідрогелі, нанокмпозитні та самовідновлювальні гідрогелі? ( на допомогу посилання <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/app.50376>

18. Навіщо проводять модифікування будівельних матеріалів нановолокнами та нанокремнеземом? Зробіть доповідь «Дизайн високопродуктивних бетонних сумішей та їх властивості для 3-D друку у будівництві».

19. Запропонуйте або наведіть приклади використання наномодифікованих реологічних добавок, наповнювачів, мікросфер в сфері конструкційних будівельних матеріалів.

20. Проаналізуйте використання нанопродуктів для виробництва (три на вибір) : клеїв на основі цементу (клеїв для кахлю), будівельних розчинів, що самовирівнюються, гідроізоляційних та ремонтних розчинів, клеїв на основі смол, зовнішніх систем теплоізоляції, акрилових штукатурок, заповнювачів швів, добавок до бетону.

21. Розгляньте виробництво спеціалізованих мінеральних нанопродуктів: загусників, тиксотропних матеріалів, органоглин, суспендуючих добавок або наповнювачів з високою здатністю поглинання ( наприклад, компанія Tolsa Group, на основі сепіолітів; бентонітів; атапульгітів).

22. Як використовується ефект самоочищення в нанотехнологічних матеріалах, покриттях тощо?

23. Наведіть приклади конструкційних та інструментальних матеріалів, виготовлених з використанням нанотехнологій.

24. Що таке нанокмпозитні матеріали? Опишіть класифікацію нанокмпозитів (за хімічною природою матрици, за формою і характером наповнювача з наночасток).

25. Поясніть поліпшення фізико-механічних властивостей композитів на основі цементу з додаванням наноструктурованих добавок (наприклад – карбонові нанотрубки, наноцелюлозні волокна, керамічні нанопорошки, оксиди, карбіди, нітриди (BN–Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) як армуючого матеріалу.

26. Які загальні методи отримання нанокомпозитів, можливості практичного використання?

27. Як використовуються наноматеріали для захисту навколишнього середовища (опишіть: фотокаталітичні покриття, каталітичні нейтралізатори, наносорбенти)?

28. Наведіть приклади застосування наноматеріалів у процесах переробки та знешкодження промислових відходів.

29. Поясніть: методи одержання, властивості і застосування нанокераміки та нанокомпозитів.

30. Що називають наноенергетикою? Поясніть можливості використання нанотехнологій для створення паливних елементів і пристроїв для зберігання енергії. Запропонуйте нанотехнологічний підхід для удосконалення сонячних батарей.

31. Які сучасні виклики вирішую наномедицина? Наведіть приклади застосування наноматеріалів у медицині та фармацевтиці.

32. Що таке метаматеріали? Опишіть їх дивовижні оптичні властивості. Наведіть приклади: матеріали «невидимки», структурна оптика, можливість створення «корисних» пігментів та барвників, речовин, колір яких змінюється від температури, вологи тощо.

33. Як застосовуються нанотехнологічні методи для отримання надтвердих матеріалів? Як нанотехнології впливають на ефективність та властивості захисних конструкцій?

34. У чому суть біоміметичного підходу для створення та впровадження наноматеріалів та принципів містобудування?

35. Продемонструвати потенціал наноматеріалів для заміни традиційних матеріалів у цивільному будівництві для оптимізації будівельних проектів,

36. Запропонуйте нанотехнологічний, біоміметичний підхід для вирішення актуальних (нетрадиційних, воєнних) задач та вимог до містобудування (антирадіаційні, антирадарні, протипожежні, камуфляжні, енергозберігаючі, надміцні, смарт-матеріали та нанопокриття тощо)

37. Розгляньте нанотехнологічні матеріали для 3-D будівельних принтерів (відновлення інфраструктури міст України та будівництво тимчасових конструкцій).

### **Приклади типових тестів до підсумкових модульних контрольних робіт**

**№ 1.** Закон Мура вказує:

1. Залежність властивостей наночасток від долі поверхневих атомів;
2. Залежність міцності наноматеріалів від дисперсності;
3. Збільшення кількості елементів в інтегральній мікросхемі за рік;
4. Залежність температури плавлення наноматеріалу від розмірів кластерів.

**№ 2.** Закон Холу –Петчу вказує:

1. Залежність властивостей наночасток від долі поверхневих атомів
2. Залежність міцності наноматеріалів від дисперсності
3. Збільшення кількості транзисторів на площину поверхні мікрочіпу
4. Залежність температури плавлення наноматеріалу від розмірів кластерів

**№ 3.** Термін «Нано» – застосував Ейнштейн для розмірів:

1. Молекули цукру;
2. Фейнман для квантової фізики;
3. Для кластерів;
4. Для фракталів.

**№ 4.** Скануючий туннельний мікроскоп (СТМ) розробили

1. 1974 -Норіо Танігучі, Японія;
2. 1981 –Біннінг, Рорер – ІВМ;
3. 1988-Жорес Алфьоров;
4. 1986- Річард Смоллі, Крото.

**№ 5.** Фулерени відкрили:

1. 1974 - Норіо Танігучі, Японія;
2. 1981 - Біннінг, Рорер ІВМ швейц.відділення;
3. 1988 - Жорес Алфьоров;
4. 1986 - Річард Смоллі, Крото.

**№ 6.** Перші нанотрубки були синтезовані

1. Для оксиду титану, Смоллі;
2. Карбонові, Іджіма;
3. Для органічних полімерів, Лен;
4. Знайдені в спектрі зірок, Бакмінстер Фулер.

**№ 7** Ідея нанофабрик, концепція «сірого слизу» була сформульована:

1. Річардом Фейнманом в лекції «Там внизу багато місця»;
2. Еріком Дрекслером у книзі «Машини творення»;
3. Стівеном Хоккінгом в книзі «Історія часу»;
4. Жоресом Алфьоровим при синтезі квантових крапок.

**№ 8.** Дендример інакше арборол (англ. dendrimer) це:

1. Біологічна молекул;
2. Макромолекула із симетричною деревоподібною структурою, з регулярними розгалуженнями;
3. Кластер атомів золоту;
4. Молекулярний асемблер.

**№ 9.** Квантова точка (крапка) скор., КТ (англ. quantum dot або nano-dot скор., QD; ND) це:

1. Структура з заборною руху електронів в одному з трьох напрямів.
2. Частка матеріалу з розміром, близьким до довжини хвилі електрона в цьому матеріалі (зазвичай розміром 1-10 нм), всередині якої потенційна енергія електрона нижче, ніж за його межами, таким чином, рух електрона обмежений у всіх трьох вимірах.
3. Частка матеріалу з розміром, близьким до довжини хвилі електрона, в якій рух електрона обмежений у двох вимірах.
4. Немає правильної відповіді.

**№ 10.** Фулерен  $C_{60}$  проявляє біологічну активність, що обумовлює його використання в медицині. Нижче перелічені фізичні та хімічні властивості фулерену, на яких може базуватися його застосування в медицині:

- 1) висока температура плавлення;
- 2) зовнішній розмір молекули (діаметр – близько 1 нм);
- 3) висока (порівняно з графітом!) леткість;
- 4) фотофізичні властивості;

5) особлива будова молекули: висока симетричність, наявність внутрішньої площини;

6) розчинність в ароматичних сполуках;

7) наявність в структурі п'ятичленних кілець із атомів Карбону;

8) наявність в структурі шестичленних кілець із атомів Карбону;

9) схильність до реакцій нуклеофільного приєднання;

10) адсорбційні властивості;

11) гідрофобність;

12) каталітична активність;

13) кислотно-основні властивості;

14) електрохімічні властивості.

**№ 11.** Тунельний ефект можливий для:

1. Класичної елементарної частки;

2. Тільки для квантової частинки;

3. Тільки в напівпровідниках;

4. Тільки в провідниках.

**№ 12.** Фулерен, це:

1. Колоїдний кластер;

2. Квантова крапка;

3. Дендрімер;

4. Прилад, для отримання графену.

**№ 13.** Фулерид  $Cs_3C_{60}$ , це:

1. Інтеркальований фулерен;

2. Солі (комплекси з переносом заряду), катіонами в яких є фулерени;

3. Солі (комплекси з переносом заряду), аніонами в яких є цезій;

4. Міцелла.

**№ 14.** Нанотрубки карбонові мають:

1. Високу питому поверхню –  $600 \text{ м}^2$  на 1г одношарової НТ, міцність.

2. Низька питома поверхня, легко руйнуються.

3. Висока питома поверхня  $6 \text{ м}^2$  на 1г, міцність.

4. Вони не існують у вільному стані.

**№ 15.** Графен, це

1. Площинний шар  $sp$ -гібр. атомів карбону завтовшки в один атом з гексагон. граткою, двовимірна форма карбону.
2. Площинний шар  $sp^2$ - гібр. атомів карбону завтовшки в один атом з гексагональною граткою, двовимірна форма карбону.
3. Площинний шар  $sp^2$  гібр. атомів карбону завтовшки в один атом з гексагон. граткою, тривимірна форма карбону.
4. Сферична форма карбону.

**№ 16.** У чому унікальні властивості нанотрубок?

1. Висока провідність, порівняно з металевою; пружні властивості-модуль Юнга більший ніж у сталі; теплопровідність нанотрубок в 20 разів вища, ніж у міді.
2. Низька провідність, порівняно з металевою; пружні властивості – модуль Юнга  $-1\text{ТПа}$ , що в п'ять разів більший ніж у сталі; Теплопровідність нанотрубок в 20 разів нижча, ніж у міді.
3. Висока провідність, порівняно з металевою; Пружні властивості – модуль Юнга  $-1\text{ТПа}$ , що в п'ять разів нижчий ніж у сталі; Теплопровідність нанотрубок у 20 разів вища, ніж у міді.
4. Їх унікальність, бо вони є метаматеріалами.

**№ 17.** Множина Мандельброта, описує:

1. Нанопорошки.
2. Магічні числа.
3. Фрактальні структури.
4. Немає правильної відповіді.

**№ 18.** Які терміни пропущені в таких тезисах (допишіть та коротко поясніть):

1. Методи отримання наночастинок шляхом подрібнення звичайного макрозразку відносять до ..... методів.
2. Методи «вирощування» наночастинок з окремих атомів називають ...
3. Перехід речовини з газоподібного стану в конденсований (твердий або рідкий) внаслідок його охолодження називається ...
4. Існують декілька механізмів росту кристалів, вони мають назви...
5. Теорія нуклеації ґрунтується на припущенні, що кластери, які зароджуються, наночастки нової фази, описуються моделлю...

**№ 19.** Приклад дисипативних структур - комірки Бенара, це:

1. Структуровані нанопористі речовини.
2. Структурована рідина під дією градієнту температур.
3. Квантові комірки.
4. Бджолині комірки.

**№ 20.** Зразки колоїдних квантових крапок CdSe (золь в УФ) мають:

1. Однаковий колір незалежно від розміру наночастинок.
2. Різний колір залежно від розміру наночастинок.
3. Перетворюються в невидимі об'єкти.
4. Властивості наночастинок не залежать від розміру.

**№ 21.** Віскери – це:

1. Тип наноплівки з товщиною 1-100 нм і співвідношенням довжини до товщини більше ніж 1000.
2. Різновид нитевидного кристалу з діаметром поперечного перерізу 1-100 нм і співвідношенням довжини до діаметру понад 1000.
3. Різновид нанопорошків з діаметром 1-100 нм.
4. Нанотерези.

**№ 22** Частилки Януси – це:

1. Різновид нитковидних кристалів, що мають різний склад у середині та на поверхні.
2. Різновид поліфункціональних нанорозмірних часток, що складаються з двох та більше частин різного хімічного складу та /або форми, з 3
3. Різновид поліфункціональних нанорозмірних часток, що мають однаковий хімічний склад та /або форми, але з відмінними властивостями поверхні та /або об'єму.
4. Міфологічні герої.

**№ 23.** Поняття «Темплатний метод» описує:

1. Створення бетонних плит.
2. Створення чогось за строго заданим шаблоном (нанолітографія).
3. Створення нанопорошків, за умов відпалу за надвисоких температур.
4. Не використовується в нанотехнологіях.

**№ 24.** Клатрати – це:

1. Сполуки неорганічні (молекули гості укладені в порожнини молекул господарів).
2. Сполуки включення (молекули гості укладені в порожнини молекул господарів).
3. Прилади для створення наноплівки.
4. Спеціальність в галузі нанотехнологій.

**№ 25.** Структура супрамолекулярних сполук описується за принципом:

1. Ключ- замок. Гість (субстрат) і господар (рецептор).
2. Принцип некомплементарності: геометрична, топологічна і зарядова відповідність гостя і господаря.
3. Не можливості синергізму властивостей гостя і господаря.
4. Сильної взаємодії: гість-господар

**№ 26.** Наноактюатор – це:

1. В перекладі щось дуже маленьке, що може діяти. Йдеться, зазвичай про механічні дії – наприклад, про лінійне переміщення або обертання чого-небудь.
2. Пристрій нанорозмірів, здатний збирати з окремих атомів або молекул складні конструкції за планом, що вводиться в них.
3. Скануючий тунельний мікроскоп.
4. Мікротом.

**№ 27.** Фактори, що визначають специфіку нанооб'єктів:

1. Зміна основних характеристик обумовлена квантово-механічними ефектами при відсутності ролі поверхонь.
2. Велика площа поверхні.
3. Велика кількість точкових дефектів.
4. Відсутність класичного розмірного квантового ефекту.

**№ 28.** За класифікацією до 2D матеріалів можна віднести:

1. Плівки та покриття.
2. Нанотрубки, нанодроти, нановолокна.
3. Об'ємні наноструктуровані матеріали, нанокераміка, метали та сплави з ультра зернистою структурою.
4. Нанопорошки, нанокристали, квантові крапки.

**№ 29.** Фотонні кристали – оптичні фільтри, що зустрічаються в природі, це:

1. Алмаз;
2. Натуральний опал;
3. Срібло;
4. Вода.

**№ 30** Залежність температури плавлення наночасток золота від розміру існує коли:

1. Розмір НЧ менше ніж 5 нм.
2. Розмір НЧ біля 100 нм.
3. Температура дуже зростає, коли НЧ менше ніж 5 нм.
4. Не залежить від розміру.

**№ 31** Властивість рідини взаємодіяти з твердою поверхнею; визначається кутом змочування  $\Theta$  в системі трьох фаз (твердої, рідкої і газової). Які висновки правильні?

1. Коли  $\Theta > 90^\circ$ , рідина не розливається по поверхні твердого тіла або практично не змочує його.
2. Коли  $\Theta < 90^\circ$ , рідина не розливається по поверхні твердого тіла або практично не змочує його.
3. Надгідрофобність спостерігається в ефекті лотосу.
4. Над гідрофобність, коли  $150 < \Theta < 180^\circ$ .

**№ 32.** Каталізатори на наночастках ефективні завдяки:

1. Великої питомої поверхні.
2. За рахунок розмірного ефекту – маніпулювання активністю та селективністю.
3. Задовольняють вимогам до каталізаторів – селективність, активність, стійкість.
4. Немає правильної відповіді.

**№ 33.** Високоселективні каталізатори – цеоліти, це:

1. Фулерени;
2. Мікропористі кристалічні алюмосилікати;
3. Щільні аморфні алюмосилікати;
4. Оксиди титану та стануму.

**№38.** Сучасні нанофотокаталізатори – це:

1. Оксиди срібла та золота;
2. Оксиди титану та стануму;
3. Графени;
4. Клатрати.

**№ 34.** Що таке «кантилевер»?

1. Крихітна балка, консоль, товщина якої становить від 0,1 до 5 мкм, ширина – від 10 до 40 мкм, а довжина – від 100 до 200 мкм.
2. Пірамідальний зонд в атомно-силовому мікроскопі.
3. П'єзосканер.
4. П'єзоманіпулятор.

**№ 35.** Які існують різновиди контактної АСМ:

1. а) метод постійної висоти, б) метод постійної взаємодії.
2. а) метод зміни висоти, б) метод постійної взаємодії.
3. а) метод постійної висоти, б) метод зміни взаємодії.
4. тільки один вид – постійної взаємодії.

**№ 36.** Якщо опромінювати об'єкт червоним лазером з довжиною хвилі 650 нм, то яка межа дозволу такого мікроскопу?

1. 650 нм;
2. 325 нм;
3. 1300 нм;
4. Не залежить.

**№ 37.** В методах визначення мікроміцності речовини використовують:

1. Мікротом;
2. Наноіндентор;
3. Нанолітографію;
4. Тунельний мікроскоп.

**№ 38.** Комп'ютерне моделювання відіграє ключову роль в розробці наносистем. Які програми використовують?

1. RasMol – візуальне моделювання, NanoXplorer-інженерне, Chem3D-обчислювальне.

2. RasMol – інженерне моделювання, NanoXplorer-візуальне, Chem3D-обчислювальне

3. RasMol - обчислювальне моделювання, NanoXplorer-візуальне, Chem3D-інженерне

4. Інші програми

**№ 39.** Що таке CVD-метод?

1. Хімічне осадження з розчинів.
2. Електроосадження.
3. Хімічне випаровування – осадження з газової фази.
4. Технологія Ленгмюра-Блоджетт.

**№ 40.** Яке магічне число відповідає кластеру з двома оболонками навколо центрального атому?

1. 13.
2. 56.
3. 42.
4. 55.

**№ 41.** До методів спалювання відносяться:

1. Гліцин-нітратний метод та метод Печінні.
2. Целюлозна (тканинна, паперова) технологія.
3. Піроліз полімерно-сольових плівок.
4. Всі вказані методи.

**№ 42.** Основні типи *методів хімічного осадження* (співосадження):

1. Гідроксидний, оксалатний і карбонатний методи.
2. Гідроксидний, нітратний та алкоголятний методи.
3. Сульфатний, полімерний та карбонатний методи.
4. Немає правильною відповіді.

**№ 43.** Що таке нанодисперсії?

1. Системи, що складаються з рідкої фази з рівномірно розчиненими в ній наночастинками.
2. Системи, що складаються з нанокластерів.
3. Системи, що складаються з нанопористих речовин.
4. Системи, що складаються з нанокристалічних речовини.

**№ 44.** Які технології відносяться до технології «зверху-вниз»?

1. Літографія.
2. Епітаксія.
3. PVD.
4. Механічна обробка (подрібнення).

**№ 45.** У чому полягає технологія «знизу-вверх»?

1. Заснована на зменшенні розмірів тіл механічною або іншою обробкою, аж до отримання об'єктів нанометрового розміру.
2. Зводиться до отримання нанорозмірного об'єкта шляхом складання наноматеріалів з готельних атомів і молекул.

**№ 46.** Що таке епітаксія?

1. Нарощування оксидної плівки на кристалі.
2. Орієнтований зростання одного кристала на поверхні іншого.
3. Отримання наночастинок шляхом випаровування з макроскопічного тіла.
4. Створення наноструктур на поверхні твердого тіла.

**№ 47.** Що таке синергетика?

1. Наука про самоорганізовані системи.
2. Наука про нанокристалічні матеріали.
3. Наука про хаос.
4. Наука про економію енергії.

**№ 48.** Фактори , що визначають специфіку нанооб'єктів:

1. Зміна основних характеристик обумовлена квантово-механічними ефектами при відсутності ролі поверхонь.
2. Велика площа поверхні
3. Велика кількість точкових дефектів.
4. Відсутність класичного розмірного квантового ефекту.

**№ 49.** За класифікацією до 2D матеріалів можна віднести:

1. Плівки та покриття.
2. Нанотрубки, нанодроти, нановолокна.
3. Об'ємні наноструктуровані матеріали, нанокераміка, метали та сплави з ультра зернистою структурою.
4. Нанопорошки, нанокристали, квантові крапки.

№ 50. Фотонні кристали – оптичні фільтри, що зустрічаються в природі, –це:

1. Алмаз.
2. Натуральний опал.
3. Срібло.
4. Вода.

## Список літератури

### *Основний*

1. Присяжна О.В. Основи нанотехнологій функціональних та конструкційних матеріалів: навч. посіб. / О. В.Присяжна.– Київ : КНУБА, 2014. – 180с.

2. Методичні вказівки до практичних робіт і контрольні завдання для самостійної роботи студентів денної та заочної форми навчання з курсу «Основи нанотехнологій функціональних та конструкційних матеріалів (для студентів спеціальностей напряму « Будівництво») /уклад. О. В. Присяжна. – Київ : КНУБА, 2013. – 62 с.

3. Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу «Основи нанотехнологій функціональних та конструкційних матеріалів» для студентів будівельно-технологічного факультету, які навчаються за напрямком підготовки 6.060101 «Будівництво» / уклад. : Ю. І. Ковальчук, О. В. Маценко, В. Г. Гречанюк, О. В. Присяжна. – Київ: КНУБА, 2019. – 21 с.

4. Основи нанотехнологій: навчально-методичний посібник для вчителів та студентів педагогічних університетів / О. М. Завражна, О. О. Пасько, А. І. Салтикова. – Суми: Вид-во СумДПУ ім. А. С. Макаренка, 2016. – 184 с.

5. Савченко І.О. Нанохімія та нанотехнології: підручник / І. О. Савченко. – Київ : ВПЦ Київський ун-т, 2019. – 448 с.

6. Нанохімія: підруч. / Т. І. Хорошилова, В. О. Хромишев, С. В. Рябов, О. О. Хромишева. – Мелітополь, 2014. – 206 с.

7. Литвин В. А. Наноструктурні системи і матеріали: збірник задач. – Черкаси: Вид. від. ЧНУ імені Богдана Хмельницького, 2014. – 152 с.

8. Нанохімія і нанотехнології: навч. посіб./ І. В. Коваленко, В. І. Лисін, О. О. Андрійко. – Київ : НТУУ «КПІ», 2014. – 63 с.

9. Функціональні матеріали та покриття: навч. посіб. / М. О. Азаренков, В. М. Береснєв, С. В. Литовченко та ін. – Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2013. – 202 с.

10. Наноматеріали і нанотехнології: навч. посіб. / М. О. Азаренков, І. М. Неклюдов, В. М. Береснєв. – Х. : ХНУ імени В. Н. Каразіна, 2014. – 323 с.

11. Нанотехнологія та її інноваційний розвиток: монографія / В. С. Пономаренко, Ю. Ф. Назаров, В. П. Свідерський, І. М. Ібрагімов. – Х. : ІНЖЕК, 2008. – 280 с.

12. Петрук В. Г. Хімія та основи матеріалознавства: курс лекцій. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 145 с.

13. Заячук Д. М. Нанотехнології і наноструктури: навч. посіб. / Д. М. Заячук. – Вид-во Національного університету «Львівська політехніка», 2009. – 580 с.

14. Ткач О. П. Наноматеріали і нанотехнології в приладобудуванні: навч. посіб. / О. П. Ткач. – Суми: Сумський державний університет, 2014. – 127 с.

15. Афтанділянц Є. Г. Наноматеріалознавство: підручник / Є. Г. Афтанділянц, О. В. Зазимко, К. Г. Лопатько. – Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2015. – 550 с.

16. Габ. А. І. Наноматеріали: класифікація, технології одержання, особливі властивості, основні методи досліджень та напрями застосування: навч. посіб. / А. І. Габ, Д. Б. Шахнін, В. В. Малишев. – Київ : Університет «Україна», 2020. – 235 с

#### *Допоміжний*

17. Колосов О. Є. Формування полімерних композиційних матеріалів із застосуванням фізико-хімічної модифікації (у двох частинах). – Ч. 2. Ефективні режими та обладнання для здійснення фізико-хімічної модифікації / О. Є. Колосов, В. І. Сівецький. – К.: НТУУ «КПІ», 2006. – 196 с.

18. Колосов О. Є. Технологія одержання багатокомпонентних епоксиполімерів із застосуванням направленої фізико-хімічної модифікації / О. Є. Колосов, В. І. Сівецький, Є. М. Панов– К: НТУУ «КПІ», 2010. – 220 с

19. Колосов О. Є. Композиційні та наноматеріали: навч. посіб. (електронне видання, для підготовки аспірантів, які навчаються за спеціальністю «Галузеве машинобудування») / О. Є. Колосов. – К.: КПІ імені Ігоря Сікорського, 2017. – 224 с.

20. Фулерени – основа матеріалів майбутнього /В. І Трефілов, Д. В Щур, Б. П. Тарасов та ін. – Київ: ІПМ НАНУ і ІПХФ РАН, 2001. – 148 с.
21. Nanocrystalline Materials / A. I. Gusev, A. A. Rempel. Cambridge :Cambridge International Science Publishing, 2004. 351 p.
22. K. Bogdanov. Nanotechnology: when size matters // J. Quant. 3 (2008), 6-12. Al. Yang, C.M., Chen, M.W., Zheng, G.J. et al. Melting of micro/nanoparticles considering anisotropy of surface energy. Sci Rep 11, 19297 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98704-3>
23. Mann S. Nanotechnology and Construction. European Nanotechnology Gateway-Nanoforum Report, Institute of Nanotechnology, 2006.
24. .S. M. Norhasri et al. Applications of using nano material in concrete: A review / Construction and Building Materials 133 (2017) 91–97
25. Applications of nanotechnology in construction: A Short Review Faezeh Ghafari, , Mohammad Hossein Bozorgi, , Marjan Salari\* J. Adv. Appl. NanoBio Tech.
26. Заячук L/ V/ Нанотехнології і наноструктури : навч. посібник / Д. М. Заячук/ – Львів : Нац. унт «Львів. політехніка», 2009. – 580 с.
27. Нанохімія, наносистеми, наноматеріали : навч. посіб./ С. В. Волков, Є. П. Ковальчук, В. М. Огенко, О. В. Решетняк. – Київ : Наукова думка, 2008. – 424 с.
28. Нові матеріали та композити : навч. посіб. / Ю. А. Буренніков, І. О. Сивак, С. І. Сухоруков. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 158 с.
29. Терміни та визначення в галузі наноматеріалів і нанотехнологій у стандартах міжнародної організації зі стандартизації / Павлиго Т. М., Сердюк Г. Г., Баглюк Г. А. // Наноструктурне матеріалознавство. – 2012. – № 3. С. 70–77.
30. Нанотехнології та доля цивілізації / В. Лук'янець // Науковий світ. – 2007. – № 7. – С. 12–15.
31. Наноструктури та нанотехнології: навч. посіб. / О. М. Назаров, М. М. Нищенко. – Київ : НАУ, 2012. – 248 с.
32. Еволюція розвитку стандартизації і сертифікації: тенденції, наукове обґрунтування та перспективи нанотехнології / П. М. Скрипчук, Г. М. Шевчук, М. П. Скрипчук // Екологічний вісник.– 2011. – № 1. – С. 23–24.
33. Стандартизація в галузі нанотехнологій та наноматеріалів: напрямки розвитку, характеристика стандартів, термінологія / В. Малишев,

Н. Кущевська, Т. Гладка, О. Заблоцька // Строительные материалы и изделия. – 2013. – № 3. – С. 22-25.

34. Розпорядження про схвалення концепції Державної цільової науково-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010-2014 роки від 2 квіт. 2009 р. №331-р.: / Кабінет Міністрів України // Київ: Урядовий кур'єр. – 2009. – С.11-12.

35. Наноматеріали та нанотехнології: методи аналізу та контролю : конспект лекцій / Н. Ф. Кущевська та ін.. – Київ : Університет «Україна», 2018. – 81 с.

36. Professional English: Education and ecology, bio- and nanotechnologies = Професійна англійська: освіта та екологія, біо- та нанотехнології: посіб. / V. V. Malyshev et al.. – Kyiv : University «Ukraine», 2016. – 244 p.

37. ISO/TS 80004-4:2011. Nanotechnologies – Vocabulary – Part 4: Nanostructured materials. Ed. 2011-12. ISO, 2011. 7 p.

38. І. В. Овсієнко. Вуглецеві матеріали та інтеркальовані сполуки на їх основі / І. В. Овсієнко, Л. Л. Вовченко, Мацуй Л. Ю..– К.: Наукова думка, 2009.– 129 с.

39. Taniguchi N. (1974) On the Basic Concept of Nanotechnology. Proceedings of the International Conference on Production Engineering, Tokyo, 18-23.

40. Madkour, L.H. (2019). Introduction to Nanotechnology (NT) and Nanomaterials (NMs). In: Nanoelectronic Materials. Advanced Structured Materials, vol 116. Springer, Cham

41. Introduction to Nanotechnology. Charles P. Poole, Jr., and Frank J. Owens. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2003, 400 pp.,. ISBN 0-471-07935-9

42. Bayda S.; Adeel M.; Tuccinardi T.; Cordani M.; Rizzolio F. The History of Nanoscience and Nanotechnology: From Chemical–Physical Applications to Nanomedicine. *Molecules* 2020, 25, 112

43. Zhu S., Meng H., Gu Z., Zhao Y. (2021). Research trend of nanoscience and nanotechnology – A bibliometric analysis of Nano Today. *Nano Today*, 39, 101233.

44. Baig N., Kammakakam I., & Falath W. (2021). Nanomaterials: A review of synthesis methods, properties, recent progress, and challenges. *Materials Advances*, 2(6), 1821-1871.

45. Anshida Mayeen, Leyana K. Shaji, Anju K. Nair, Nandakumar Kalarikkal, Chapter 12 - Morphological Characterization of Nanomaterials, In

Micro and Nano Technologies, Characterization of Nanomaterials, Woodhead Publishing, 2018, P. 335-364

46. Горячко А. М. Основи скануючої зондової мікроскопії та спектроскопії (Ч. 2): навч. посіб. / за ред. С. П. Кулика та О. В. Прокопенка. – К.: Радіофізичний факультет Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 2012. – 170 с.

47. Нанотехнології. Українсько-англійський словник-довідник концептуальних понять / Л. О. Комарова, Є. М. Залеський; за ред. В. В. Балабіна. – К.: ВІКНУ, 2011. – 416 с.

48. Дослідження наномодифікованих портландцементних композицій з високою ранньою прочністю / У. Марущак, М. Саницький, Т. Мазурак, Ю. Олевич // ВЕЖПТ. – 2016. – №6 (84)

49. Kanchanason, V. C-S-H – PCE Nanocomposites for Enhancement of Early Strength of Cement [Text] / V. Kanchanason, J. Plank // IBAUSIL. – 2015. – Vol. 19. – P. 759–766.

50. Hydration of cementitious materials, present and future / K. L. Scrivener, A. Nonat // Cement and Concrete Research. – 2011. – Vol. 41, Issue 7. – P. 651–665. doi: 10.1016/j.cemconres.2011.03.026

51. Ding F., Liu J., Zeng S., Xia Y., Wells K., Nieh M., & Sun, L. (2017). Biomimetic nanocoatings with exceptional mechanical, barrier, and flame-retardant properties from large-scale one-step coassembly. Science advances, 3(7), e1701212. DOI: [10.1126/sciadv.1701212](https://doi.org/10.1126/sciadv.1701212)

#### **Посилання на інформаційні ресурси:**

52. База даних наноматеріалів. Каталог Nano Company & Labs <https://www.nanowerk.com/nanotechnology-in-construction-industry.php>

53. Наноматеріали, що використовуються у будівельних матеріалах. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6804222/table/materials-12-03052-t001/?report=objectonly>.

54. Застосування нанотехнологій у будівництві <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02483294>.

55. Нанотехнології в будівництві. Науковий інтернет-журнал [https://www.researchgate.net/journal/2075-8545\\_Nanotechnologies\\_in\\_Construction](https://www.researchgate.net/journal/2075-8545_Nanotechnologies_in_Construction)

56. Хімія фулеренів <https://www.britannica.com/science/fullerene>

57. Номенклатура фулеренів [www.chem.qmul.ac.uk/iupac/fullerene/](http://www.chem.qmul.ac.uk/iupac/fullerene/)

58. Дивовижні типи, властивості та застосування волокон у будівельних матеріалах <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31394815/>
59. Словник нанотехнологій <http://www.nanotech-now.com/nanotechnology-glossary-N.htm>
60. Нанохімія <https://www.nist.gov/nanochemistry>
61. AZoNano є провідним онлайн-виданням для спільноти нанотехнологій. <https://www.azonano.com/aboutus.aspx>
62. Наноматеріали: огляд методів синтезу, властивостей, останніх досягнень і проблем <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2021/ma/d0ma00807a>
63. Гідрогелі <https://www.intechopen.com/chapters/51535>
64. Довідник з нанонауки та нанотехнологій з відкритим кодом [https://en.wikibooks.org/wiki/Nanotechnology/Print\\_version](https://en.wikibooks.org/wiki/Nanotechnology/Print_version)
65. Збірник задач [https://eprints.cdu.edu.ua/40/1/%D0%97%D0%B0%D0%B4%D0%B0%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%BA\\_%D0%9B%D0%B8%D1%82%D0%B2%D0%B8%D0%BD\\_2014.pdf](https://eprints.cdu.edu.ua/40/1/%D0%97%D0%B0%D0%B4%D0%B0%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%BA_%D0%9B%D0%B8%D1%82%D0%B2%D0%B8%D0%BD_2014.pdf)
66. Огляд: вплив потенційних наноматеріалів на проекти цивільного будівництва <https://link.springer.com/article/10.1007/s40996-020-00474-x>

Навчально-методичне видання

## **Основи нанотехнологій функціональних та конструкційних матеріалів**

Завдання до виконання практичних робіт  
та завдання для самостійної роботи  
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

Укладачі: **Присяжна** Олена Володимирівна;  
**Чорновол** Вікторія Олександрівна;  
**Маценко** Олександра В'ячеславівна

Випусковий редактор *Ю. М. Долгополова*  
Комп'ютерне верстання *Ю. М. Долгополової*

Підписано до друку 10. 04. 2024. Формат 60 × 84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Ум. друк. арк. 3,02. Обл.-вид. арк. 3,25.

Електронний документ. Вид. № 79/III-24

Видавець і виготовлювач

Київський національний університет будівництва і архітектури

Пр-т Повітряних Сил, 31, Київ, Україна, 03037

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів  
видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002