

**Житомирський державний університет
імені Івана Франка**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ОРГАНІЗАЦІЇ
САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ
Обов'язкової освітньої компоненти**

***”НАНОХІМІЯ”*
для підготовки здобувачів
другого (магістерського) рівня вищої освіти**

Галузь знань	<i>Е Природничі науки</i>
Спеціальність	<i>ЕЗ Хімія</i>
Предметна спеціальність	-
Спеціалізація	-
Освітня програма	<i>Хімія з основами викладання</i>
Факультет	<i>Природничий</i>

Автори:

к.х.н., доцент **Кусяк Наталія**
к.х.н., доцент **Кичкирук Ольга**
к.х.н., доцент **Листван Віталій**
магістр **Ходюк Олександр**

Розглянуто та схвалено
на засіданні кафедри хімії
Протокол від «11» червня 2025 р. № 28
Завідувач кафедри Олена АНІЧКІНА

Житомир - 2025

*Рекомендовано до друку вченою радою
Житомирського державного університету імені Івана Франка
(протокол № 13 від 27 червня 2025 р.)*

Рецензенти:

Козакевич Роман – кандидат хімічних наук, старший дослідник, старший науковий співробітник відділу хемосорбції та гібридних матеріалів Інституту хімії поверхні ім.О.О.Чуйка НАН України

Гусакова Крістіна - кандидат хімічних наук, старший дослідник, старший науковий співробітник відділу термостійких полімерів і нанокompозитів Інституту хімії високомолекулярних сполук НАН України

Камінський Олександр – кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії ЖДУ імені Івана Франка

Методичні рекомендації до організації самостійної роботи з обов’язкової освітньої компоненти «Нанохімія» для підготовки здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти / Укладачі Н. В. Кусяк, О.Ю. Кичкирук, В. В. Листван, О.В. Ходюк Житомир: Вид-во ЖДУ ім.І. Франка, 2025. 32 с.

У посібнику наведені перелік запитань і завдань для самостійної підготовки до робіт з нанохімії, задачі відповідно до програми з нанохімії для студентів спеціальності “Хімія”.

УДК 546(072)

М 52

© Кусяк Н.В., 2025

© Кичкирук О.Ю., 2025

© Листван В.В., 2025

© Ходюк О.В., 2025

© Житомирський державний
університет ім. І. Франка

ЗМІСТ

ВСТУП	4
Завдання для самостійної роботи	
Об'єкти нанохімії.	5
Квантові уявлення в нанохімії.	8
Фізико-хімічні властивості наноматеріалів	12
Основні принципи хімічної технології одержання наночастинок	16
Нанотехнології типу «top-down»	19
Нанотехнології типу «bottom-up»	21
Карбонові наноматеріали	25
Неорганічні наноматеріали	27
Застосування наноматеріалів	30
Література для підготовки	32

ВСТУП

*«Розвиток і освіта ні одній людині не можуть бути надані або повідомлені.
Усяк, хто бажає до них долучитися, повинен досягти цього
власною діяльністю, власними силами, власним напруженням»
А. Дістервег*

Сучасна освіта передбачає підготовку фахівців, які могли б самостійно навчатися, виконувати складні завдання та творчо використовувати знання для формування системи навичок самоосвіти відповідно до концепції «навчання протягом усього життя». Фахівці, здатні нестандартно мислити та творчо застосовувати знання у складних виробничих та соціальних ситуаціях, користуються великим попитом на ринку праці. Навчання студентів самостійному навчанню, оволодінню новими знаннями, формування їхньої потреби в самоосвіті, розвиток високого рівня самоконтролю та самооцінки є основними завданнями вищої освіти. Самостійною роботою є навчальна діяльність здобувача, яка спрямована на вирішення завдань і має на меті розширення, закріплення та поглиблення набутих знань, а також опанування нових предметів без сторонньої допомоги. Самостійна робота студентів – це основний спосіб опанування навчального матеріалу вчасно, без обов'язкових курсів.

Сьогодні переважна більшість науковців розглядають самостійну роботу як особливу форму навчальної діяльності, яка є невід'ємною частиною засвоєння будь-якої дисципліни. У процесі такої роботи студент не лише здобуває знання та навички, а й формує власну активність та здатність до самостійних дій. Саме здатність до самостійної роботи є запорукою високого рівня професійної підготовки майбутнього спеціаліста, а також створює основу для подальшого наукового саморозвитку та здатності самостійно вирішувати складні завдання. Дослідження підтверджують: лише ті знання, які студент здобув власними зусиллями – через особистий досвід, рефлексію та практичну діяльність – стають справді стійкими. За даними ЮНЕСКО, під час слухового сприйняття навчального матеріалу засвоюється приблизно 15% інформації, а при поєднанні слуху та зору – до 65%. У випадку, коли студент самостійно опрацьовує матеріал та виконує завдання від початку до аналізу результатів, рівень засвоєння може сягати 90%.

Методичні рекомендації щодо організації самостійної роботи студента під час розроблення презентації

Під час створення мультимедійної презентації в PowerPoint студент має можливість самостійно визначити структуру та оформлення слайдів, але важливо дотримуватися наукового стилю та грамотності. Зображення та текст мають бути чіткими та легко помітними. Візуальний дизайн повинен сприяти кращому розумінню контенту та не відволікати увагу аудиторії. Рекомендується уникати слайдів, перевантажених текстом або що містять лише текстову інформацію.

Загальна кількість слайдів у презентації зазвичай не повинна перевищувати 20-30. Варто використовувати єдиний фон для всієї роботи – це забезпечить стилістичну цілісність. Ви можете скористатися шаблонами, що пропонуються програмою. Важливо, щоб кольори таблиць, зображень та графіків контрастували з фоном: оптимальним був би світлий фон з мінімальною кількістю декоративних деталей. Анімаційні ефекти повинні посилювати сприйняття інформації, а не відволікати слухачів.

Не рекомендується використовувати складні декоративні шрифти. Розмір шрифту має бути щонайменше 20-22 pt для забезпечення комфортного читання. Рекомендовано розміщувати на слайді не більше 12-15 рядків тексту.

• МОДУЛЬ 1

Завдання для самостійної роботи №1

Тема: Об'єкти нанохімії.

Опрацюйте тему відповідно до питань:

1. Поняття про наночастинки та наноматеріали.
2. Критерії визначення наноматеріалів: критичний розмір та функціональні властивості.
3. Об'єкти нанохімії: кластери, наночастинки, фулерени, карбонові нанотрубки, нанонитки та нанодротинки, наноплівки, об'ємні наноструктури (цеоліти), супрамолекулярні структури.
4. Класифікація наноб'єктів за геометричною ознакою: 0-, 1-, 2- і 3-х вимірні.
5. Основні етапи становлення нанохімії.
6. Розвиток нанонауки у світі та в Україні.

Приклади розв'язування задач

Приклад 1. НЧ Ag сферичної форми з діаметром 10 нм. Розрахуйте довжину ланцюга, якщо 1 г сферичних НЧ Ag розташувати один за одним? ρ (Ag) - 10,5 г/см³.

Розв'язування

Довжина ланцюга Ag розраховується як добуток кількості сферичних НЧ ($N_{\text{част.}}$) на діаметр однієї сферичної НЧ (d):

$$L = N_{\text{част.}} \cdot d$$

Число НЧ золю відповідно дорівнює загальному об'єму золю ($V_{\text{заг.}}$) поділеному на об'єм однієї НЧ Ag ($V_{\text{кулі}}$):

$$N_{\text{част.}} = \frac{V_{\text{заг.}}}{V_{\text{кулі}}}$$

1. Розрахуємо $V_{\text{заг.}}$:

$$V_{\text{заг.}} = \frac{m}{\rho} = \frac{1 \text{ г}}{10,5 \text{ г/см}^3} = 95,24 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3;$$

2. Об'єм однієї НЧ Ag $V_{\text{кулі}}$ рівний:

$$V_{\text{заг.}} = 4 / 3 \pi r^3 = 4 / 3 \cdot 3,14 \cdot (10 \cdot 10^{-7} \text{ см})^3 = 4,210 \cdot 10^{-18} \text{ см}^3;$$

3. $N_{\text{част}}$ дорівнює:

$$N_{\text{част.}} = \frac{V_{\text{заг.}}}{V_{\text{кулі}}} = \frac{95,24 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3}{4,19 \cdot 10^{-18} \text{ см}^3} = 2,3 \cdot 10^{16} \text{ частинок.}$$

4. Довжина ланцюга Ag буде рівна:

$$L = n_{\text{част.}} \cdot d = 2,3 \cdot 10^{16} \cdot 10 \cdot 10^{-9} \text{ м} = 2,3 \cdot 10^8 \text{ м} = 2,3 \cdot 10^5 \text{ км.}$$

Відповідь: $L(\text{Ag}) = 2,3 \cdot 10^5 \text{ км.}$

Приклад 2. Скільки атомів входить до НЧ Ag сферичної форми з $r = 5 \text{ нм}$.
 $\rho(\text{Ag}) = 10,5 \text{ г/см}^3$.

Розв'язування

1. Розрахуємо об'єм НЧ з $r = 5 \text{ нм}$ (або $5 \cdot 10^{-7} \text{ см}$):

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot (5 \cdot 10^{-7})^3 = 5,23 \cdot 10^{-19} \text{ см}^3.$$

2. Маса однієї НЧ:

$$m = \rho \cdot V = 10,5 \cdot 5,23 \cdot 10^{-19} = 5,5 \cdot 10^{-18} \text{ г.}$$

3. Обчислимо $n(\text{Ag})$, що міститься в одній НЧ:

$$n = 5,1 \cdot 10^{-20} \text{ моль.}$$

4. Розрахуємо кількість атомів, що міститься в одній НЧ:

$$N = n \cdot N_A = 5,1 \cdot 10^{-20} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 30658 \text{ атомів.}$$

Відповідь: $N = 30658 \text{ атомів.}$

Задачі :

- 1.1 При якому мінімальному розмірі Fe_n може потрапити до нанодіапазону з $r(\text{Fe}) = 132 \text{ пм}$. ($1 \text{ пм} = 10^{-12} \text{ м}$). ($n = 4$).
- 1.2 Скільки НЧ (Pt) з $r = 60 \text{ нм}$ може утворитися з 3 г Pt ? $\rho(\text{Pt}) = 21,45 \text{ г/см}^3$. (155 НЧ)
- 1.3 Розрахувати число НЧ Fe з $r(\text{Fe}) = 25 \text{ нм}$, яке можна отримати з $2,5 \text{ мг Fe}$. $\rho(\text{Fe}) = 7,87 \text{ г/см}^3$. ($5 \cdot 10^{12} \text{ НЧ}$)
- 1.4 Скільки НЧ міді з $r = 5 \cdot 10^{-7} \text{ см}$ можна отримати з 10 мг міді . $\rho(\text{Fe}) = 8,96 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. ($2 \cdot 10^{15} \text{ НЧ}$).
- 1.5 Скільки НЧ Pd з $d(\text{Pd}) = 50 \cdot 10^{-9} \text{ м}$ можна отримати з $1 \cdot 10^{-3} \text{ кг Pd}$. $\rho(\text{Pd}) = 12,02 \text{ г/см}^3$. ($1,6 \cdot 10^{14} \text{ НЧ}$).

Тести:

1. «Нано» це:
 1. 10^{-3}
 2. 10^{-6}
 3. 10^{-9}
 4. 10^{-12}
 5. 10^{-8}
2. Хто ввів в наукову літературу термін наноматеріали?
 1. Г. Глейтер
 2. Ж. І. Алфьоров
 3. Р. Фейнман
 4. Е. Дрекслер
 5. М.Кнолл
3. Розрахуйте число атомів у НЧ Au з $d = 3$ нм. $r(\text{Au}) = 0,144$ нм.
 1. 10^2
 2. 10^3
 3. 10^4
 4. 10^5
4. Розрахуйте частку (у %) атомів Au на поверхні НЧ Au:
 1. 20-30%
 2. 40-50%
 3. 60-70%
 4. 80-90%

Рекомендована література:

1. Донцова Т. А., Літинська М. І., Феденко Ю. М. Нанохімія і наноматеріали. КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2021. – 170 с.
2. Литвин В.А. Основи нанохімії / В.А. Литвин. – Черкаси: Дизайнерська група «8-й колір», 2015. – 268 с.
3. Литвин В.А. Наноструктурні системи і матеріали: збірник задач /В.А. Литвин. – Черкаси: «ФОП Белінська О. Б.», 2014. – 152 с.
4. Азаренков М. О., Неклюдов І. М., Береснєв В. М., Воєводін В. М., Погребняк О. Д., Ковтун Г. П., Соболев О. В., Удовиський В. Г., Литовченко С. В., Турбін П. В., Чишкала В. О. Наноматеріали і нанотехнології: навчальний посібник – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2014. – 316 с.
5. Куцова В.З., Котова Т.В., Аюпова Т.А. Наноматеріали та нанотехнології. Навч. посібник. У двох частинах. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2013. – 103 с.

Завдання для самостійної роботи №2

Тема: Квантові уявлення в нанохімії.

Опрацюйте тему відповідно до питань:

1. Корпускулярно-хвильовий дуалізм нанооб'єктів.
2. Хвильова функція.
3. Квантові межі точності вимірювань.
4. Принцип невизначеності.
5. Квантово-розмірні ефекти. Тунельний ефект, квантування рівнів енергії.
6. Потенціальна яма. Квантові точки, квантові дротинки. Області застосування квантових об'єктів.
7. Поняття про спектр та спектрофотометричні дослідження.
8. Спектр поглинання речовини. Теоретичні основи спектрофотометричного методу аналізу.

Приклади розв'язування задач

Приклад 1. Є 2 наноматеріали одного хім. складу з частинок сферичної форми. Середній r НЧ першого становить 200 нм, а другого 40 нм. Який та у скільки разів із двох матеріалів має більшу питому поверхню?

Розв'язування

Однакові маси двох матеріалів мають однакові об'єми. S / V для сферичних НЧ обернено пропорційно радіусу(r):

$$S / V = 4 \cdot r^2 / 4/3 \cdot r^3 = 3/r$$

Оскільки радіус НЧ другого матеріалу в 5 разів менший, тому питома поверхня другого матеріалу в 5 разів більша, ніж першого.

Приклад 2. Наночастинки Au кубічної форми (довжина ребра = 20 нм). Знайти загальну S поверхні НЧ масою 1 г. $\rho(\text{Au}) = 19,3 \text{ г/см}^3$.

Розв'язування

1. Знайдемо об'єм 1 г НЧ Au. Оскільки $m = \rho \cdot V$, то:

$$V_{\text{заг.}} = \frac{m}{\rho} = \frac{1 \text{ г}}{19,3 \text{ г/см}^3} = 51,81 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3;$$

2. Розрахуємо об'єм 1 частинки, виходячи з того, що вона має форму куба:

$$V_{\text{куб.}} = l^3 = (20 \cdot 10^{-7} \text{ см})^3 = 8 \cdot 10^{-18} \text{ см}^3;$$

3. Обчислимо кількість частинок в системі:

$$n_{\text{част.}} = \frac{V_{\text{заг.}}}{V_{\text{куб.}}} = \frac{51,81 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3}{8 \cdot 10^{-18} \text{ см}^3} = 6,48 \cdot 10^{15} \text{ частинок};$$

4. Знайдемо площу однієї частинки:

$$S_{\text{куб.}} = 6 \cdot l^2 = 6 \cdot (20 \cdot 10^{-9} \text{ м})^2 = 2,4 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2 ;$$

5. Розрахуємо сумарну площу поверхні наночастинок:

$$S = n_{\text{част.}} \cdot S_{\text{куб.}} = 6,48 \cdot 10^{15} \cdot 2,4 \cdot 10^{-15} = 15,6 \text{ м}^2 .$$

Відповідь: $15,6 \text{ м}^2$.

Приклад 3. Знайдіть питому поверхню 10 г сферичних НЧ Pd діаметром 50 нм. $\rho(\text{Pd}) = 12,02 \text{ г/см}^3$.

Розв'язування

1. Знайдемо число частинок в 10 г нанофази:

$$n = \frac{m_{\text{заг.}}}{m_{\text{кулі}}} = \frac{m_{\text{заг.}}}{\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho} = \frac{10 \text{ г}}{\frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot (25 \cdot 10^{-7} \text{ см})^3 \cdot 12,02 \text{ г/см}^3} = 1,27 \cdot 10^{16}.$$

2. Знайдемо сумарну площу поверхні:

$$S_{\text{заг.}} = n \cdot S_{\text{кулі}} = n \cdot 4 \cdot \pi \cdot r^2 = 1,27 \cdot 10^{16} \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot (25 \cdot 10^{-7} \text{ см})^2 = 9,97 \cdot 10^5 \text{ см}^2.$$

3. Знайдемо питому площу поверхні:

$$S_{\text{пит.}} = \frac{S_{\text{заг.}}}{m_{\text{заг.}}} = \frac{9,97 \cdot 10^5 \text{ см}^2}{10 \text{ г}} = 9,97 \cdot 10^4 \text{ см}^2/\text{г}.$$

Відповідь: $9,97 \cdot 10^4 \text{ см}^2/\text{г}$.

Задачі :

- 2.1. Розрахуйте довжину н/нитки із молібдену, якщо 55 г сферичних НЧ молібдену розмістити один за одним? $r(\text{НЧ Mo}) = 6 \text{ нм}$. $\rho(\text{Mo}) = 10,22 \text{ г/см}^3$ ($7,1 \cdot 10^{10} \text{ м}$).
- 2.2. Якої довжини буде н/нитка міді, якщо 18 г кубиків міді розмістити один за одним? Довжина ребра кубика міді складає $1 \cdot 10^{-6} \text{ см}$. $\rho(\text{Cu}) = 8,96 \text{ г/см}^3$. ($2 \cdot 10^{10} \text{ м}$).
- 2.3. Розрахуйте сумарну площу поверхні 3 г золота, подрібненого на правильні кубики з довжиною ребра 5 нм. $\rho(\text{Au}) = 19,3 \text{ г/см}^3$. ($186,5 \text{ м}^2$).
- 2.4. Розрахуйте сумарну площу поверхні 2 г платини, подрібненої на правильні кубики з довжиною ребра $1 \cdot 10^{-8} \text{ м}$. $\rho(\text{Pt}) = 21,4 \text{ г/см}^3$. ($55,8 \text{ м}^2$).

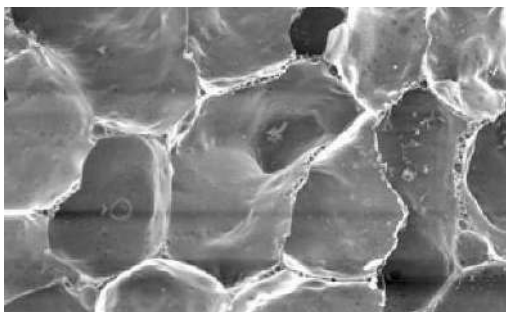
Тести:

1. Гіпотеза Луї де Бройля:

1. Вільний рух часток з масою m і швидкістю v можна уявити як монохроматичну хвилю;
2. Пов'язаний рух часток з масою m і швидкістю v можна уявити як монохроматичну хвилю;
3. Вільний рух часток з масою m і швидкістю v можна уявити як хвилю;

4. Частку у стані спокою масою m і швидкістю v можна уявити як монохроматичну хвилю.
 5. інша відповідь.
2. Енергетичні рівні, на яких може знаходитись електрон у атомі, приймають:
1. дискретні та безперервні значення;
 2. тільки безперервні значення;
 3. тільки дискретні значення;
 4. сталі значення;
 5. будь-які значення;
3. Квантово-розмірний ефект:
1. при зменшенні розмірів наночасток енергія між енергетичними переходами і енергія квантів випромінення збільшується;
 2. при зменшенні розмірів наночасток енергія між енергетичними переходами і енергія квантів випромінення зменшується;
 3. при збільшенні розмірів наночасток енергія між енергетичними переходами і енергія квантів випромінення збільшується;
 4. при збільшенні розмірів наночасток енергія між енергетичними переходами і енергія квантів випромінення збільшується;
 5. при збільшенні розмірів наночасток енергія між енергетичними переходами і енергія квантів випромінення зменшується;
4. Квантові точки являють собою:
1. Нерегулярні «острівки» напівпровідника на поверхні другого напівпровідника, близького за складом і структурою
 2. Регулярні «острівки» напівпровідника на поверхні другого напівпровідника, який сильно відрізняється за складом і структурі.
 3. Нерегулярні «острівки» напівпровідника на поверхні метала, близького за складом і структурою.
 4. Регулярні «острівки» напівпровідника на поверхні іншого напівпровідника, близького за складом і структурою.
 5. Регулярні «острівки» напівпровідника на поверхні другого напівпровідника, який не відрізняється за складом .
5. Квантові точки являють собою:
1. Двовимірні квантові ями для електронів.
 2. Трьохвимірні квантові ями для атомів.
 3. Трьохвимірні квантові ями для молекул.
 4. Трьохвимірні квантові ями для електронів.
 5. Одновимірні квантові ями для електронів.
6. Електрон випромінює чи поглинає квант світла:
1. при переході з будь-якого енергетичного рівня на інший;
 2. тільки при своєму русі в атомі;

3. тільки при переході з одного дозволеного енергетичного рівня на інший.
 4. тільки при своєму русі у атомі на дозволенному енергетичному рівні.
 5. при переході у атомі на дозволенному енергетичному рівні.
7. Напівпровідникові квантові точки мають розмір:
1. В декілька нанометрів і містять десятки і сотні атомів.
 2. В декілька десятків нанометрів і містять тисячі і сотні тисяч атомів.
 3. В декілька сотень нанометрів і містять сотні тисяч атомів.
 4. В декілька десятків нанометрів і містять мільйони атомів.
 5. В декілька міліметрів і містять тисячі і сотні тисяч атомів.
8. Квантові точки називаються «штучними атомами» через:
1. Дискретності енергетичного спектра електрона в квантовій ямі.
 2. Дискретності енергетичного спектра атома в кластері.
 3. Безперервності енергетичного спектра електрона в квантовій ямі.
 4. Дискретності енергетичного спектра електрона в атомі.
 5. Спектра атома в кластері
9. Яке визначення є правильним:
1. Енергетичні рівні в металах заповнені до певної енергії, яка називається рівнем Фермі, чи електричним потенціалом. В стані рівноваги ці рівні розміщені при одній енергії.
 2. Енергетичні рівні в металах заповнені до певної енергії яка називається рівнем Фермі, або хімічним потенціалом. В стані рівноваги ці рівні розміщені при різних енергіях.
 3. Енергетичні рівні в металах заповнені до певної енергії, яка називається рівнем Фермі, чи хімічним потенціалом. В стані рівноваги ці рівні розміщені при одній енергії.
 4. Енергетичні рівні в металах заповнені до певної енергії, яка називається рівнем Фермі, чи хімічним потенціалом. У всіх станах ці рівні розміщені при одній енергії.
 5. Енергетичні рівні в металах заповнені до певної енергії, яка називається рівнем Фермі, чи електричним потенціалом.
10. Що зображено на рис.



1. наночастинки;
2. нанокластер;
3. нанопороста речовина;
4. нанокристали;
5. наноплівка.

Рекомендована література:

1. Донцова Т. А., Літинська М. І., Феденко Ю. М. Нанохімія і наноматеріали. КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2021. – 170 с.
2. Литвин В.А. Основи нанохімії / В.А. Литвин. – Черкаси: Дизайнерська група «8-й колір», 2015. – 268 с.
3. Литвин В.А. Наноструктурні системи і матеріали: збірник задач /В.А. Литвин. – Черкаси: «ФОП Белінська О. Б.», 2014. – 152 с.
4. Азаренков М. О., Неклюдов І. М., Береснєв В. М., Воєводін В. М., Погребняк О. Д., Ковтун Г. П., Соболев О. В., Удовиський В. Г., Литовченко С. В., Турбін П. В., Чишкала В. О. Наноматеріали і нанотехнології: навчальний посібник – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2014. – 316 с.
5. Куцова В.З., Котова Т.В., Аюпова Т.А. Наноматеріали та нанотехнології. Навч. посібник. У двох частинах. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2013. – 103 с.

Завдання для самостійної роботи №3

Тема: Фізико-хімічні властивості наноматеріалів

Опрацюйте тему відповідно до питань:

1. Основні фізичні властивості наноматеріалів. Квантово-механічні ефекти, фізичні властивості наноматеріалів.
2. Температура плавлення НЧ. Залежність від розмірів. Формула В.Томсона.
3. Параметри кристалічної ґратки. Зміна міжатомних відстаней та параметрів кристалічної ґратки при переході від масивних кристалів до наночастинок.
4. Теплоємність. Зміна термодинамічних характеристик нанокристалів порівняно з основною масою речовини.
5. Магнітні, механічні та оптичні властивості наноматеріалів. Явище поверхневого плазмонного резонансу.

Приклад розв'язування задач:

Приклад 1. Оцініть розміри зародків критичного розміру кластерів води і ртуті та визначте, які з них утворюються з більшою термодинамічною імовірністю при $T = 20^\circ\text{C}$ і тиску 5000 Па. Поверхневий натяг води і ртуті при заданій T рівний $72,5 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^2$ і $470,9 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^2$ відповідно; густина води і ртуті $0,998 \text{ г/см}^3$ і $13,546 \text{ г/см}^3$ відповідно; тиск насичених парів води і ртуті 2336,8 Па і $162,66 \cdot 10^{-3} \text{ Па}$ відповідно.

Розв'язування

1. Для розрахунку критичних розмірів зародків використовуємо рівняння (2.4):

а) для води:

$$r_{кр} = \frac{2V_m \sigma}{RT \ln \gamma_n} = \frac{2 \cdot 18 \cdot 10^{-3} \cdot 72.5 \cdot 10^{-3}}{0.998 \cdot 10^3 \cdot 8.314 \cdot 293 \cdot \ln \frac{5000}{2336.8}} = 1.41 \cdot 10^{-9} \text{ м}$$

б) для ртуті:

$$r_{кр} = \frac{2V_m \sigma}{RT \ln \gamma_n} = \frac{2 \cdot 200 \cdot 10^{-3} \cdot 470.9 \cdot 10^{-3}}{13.546 \cdot 10^3 \cdot 8.314 \cdot 293 \cdot \ln \frac{5000}{162.66 \cdot 10^{-3}}} = 5.5 \cdot 10^{-10} \text{ м}$$

2. Розрахуємо енергію Гіббса утворення зародків критичного розміру за рівнянням (2.5):

а) для води:

$$\Delta G = \frac{16\pi V_m^2 \sigma^3}{3(RT \ln \gamma_n)^2} = \frac{16 \cdot 3.14 \cdot (18 \cdot 10^{-3} / 0.998 \cdot 10^3)^2 (72.5 \cdot 10^{-3})^3}{3 \cdot (8.314 \cdot 293 \cdot \ln \frac{5000}{2336.8})^2} = 6.04 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

б) для ртуті:

$$\Delta G = \frac{16\pi V_m^2 \sigma^3}{3(RT \ln \gamma_n)^2} = \frac{16 \cdot 3.14 \cdot (200 \cdot 10^{-3} / 13.546 \cdot 10^3)^2 (470.9 \cdot 10^{-3})^3}{3 \cdot (8.314 \cdot 293 \cdot \ln \frac{5000}{0.16266})^2} = 6.01 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

Порівнюючи отримані величини, бачимо, що енергетичні бар'єри утворення зародків критичного розміру ртуті і води близькі. Тому ймовірності утворення зародків однакові при заданих умовах, однак розміри зародків води більші, ніж ртуті.

Відповідь: $1,41 \cdot 10^{-9} \text{ м}$, $5,52 \cdot 10^{-10} \text{ м}$.

Приклад 2. Тиск насиченої водяної пари при $T = 298 \text{ К}$ дорівнює $3,15 \cdot 10^{-2} \text{ бар}$. Розрахуйте тиск насиченої водяної пари над сферичними краплями води r : а) 1 мкм , б) 1 нм . Поверхневий натяг води на межі розділу вода – насичена пара при 298 К дорівнює $0,072 \text{ Дж/м}^2$.

Розв'язування:

1. Молярний об'єм води рівний:

$$V_m = \frac{M}{\rho} = \frac{18 \text{ г/моль}}{1 \text{ г/см}^3} = 18 \frac{\text{см}^3}{\text{моль}} = 18 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^3}{\text{моль}}$$

2. Для краплі радіусом 1 мкм тиск парів можна визначити використовуючи формулу:

$$p_D = p \cdot \exp\left(\frac{2\sigma V_m}{rRT}\right) = 3.15 \cdot 10^{-2} \exp\left(\frac{2 \cdot 0.072 \cdot 18 \cdot 10^{-6}}{10^{-6} \cdot 8.314 \cdot 298}\right) = 3.15 \cdot 10^{-2} \text{ бар.}$$

Він практично не відрізняється від тиску парів над макрофазою води.

3. Для краплі радіусом 1 нм відмінність тиску дуже суттєва:

$$p_D = 3.15 \cdot 10^{-2} \exp\left(\frac{2 \cdot 0.072 \cdot 18 \cdot 10^{-6}}{10^{-9} \cdot 8.314 \cdot 298}\right) = 8.97 \cdot 10^{-2} \text{ бар.}$$

Відповідь: а) $3,15 \cdot 10^{-2}$ бар; б) $8,97 \cdot 10^{-2}$ бар.

Задачі :

- 3.1. Розрахувати розмір зародку критичного розміру при кластеризації Ni та Cu в парах при $t = 1600^\circ\text{C}$ і $p = 1$ мм. рт. ст. та визначте, які з них утворюються з більшою термодинамічною ймовірністю. Густина рідких металів дорівнює: для Ni – 7800 кг/м^3 ; Cu – 8030 кг/м^3 . Залежність тиску насичених парів металів від температури описується рівнянням:

$$\lg ps = A - B/T \text{ (мм рт. ст.)},$$

де T – абс. температура, коефіцієнти $A = 9,55$ (для Ni), $8,5$ (для Cu); $B = 20600$ (для Ni), 16600 (для Cu). Поверхневий натяг рідких металів: Ni – $1,7 \text{ Н/м}$; Cu – $11,2 \text{ Н/м}$. ($4,92 \cdot 10^{-10} \text{ м}$, $1,35 \cdot 10^{-8} \text{ м}$.)

- 3.2. Оцініть розмір частинок ZnO, знаючи, що їх розчинність у воді на 7 мас. % більша розчинності масивних кристалів. Міжфазний натяг (298 K) = 960 мДж/м^2 , густина ZnO = $5,60 \text{ г/см}^3$. ($1,66 \cdot 10^{-7} \text{ м}$).

Задачі:

1. Тиск насиченої водяної пари при $t = 298 \text{ K} = 3,15 \cdot 10^{-2}$ бар. Розрахуйте тиск насиченої водяної пари над сферичними краплями води r : а) 65 мкм, б) 100 Å. Поверхневий натяг води на межі розділу вода – насичена пара при 298 K дорівнює $0,072 \text{ Дж/м}^2$. (а) $3,15 \cdot 10^{-2}$ бар; б) $3,50 \cdot 10^{-2}$ бар).
2. Розрахувати сталу ґратки НЧ Со $r = 5$ нм, якщо кут падіння рентгенівського променя θ з довжиною хвилі $0,07093 \text{ нм}$, при якому спостерігається поява максимуму (222), становить $20,81^\circ$. ($0,3458 \text{ нм}$).

Тести:

1. Покриття для скла складається з полімерних шарів і НЧ кварцу. Коли вода потрапляє?
1. Вода покриває скло великими краплями.
 2. Вода покриває скло рівним прозорим шаром.
 3. Вода повністю стікає зі скла.
 4. Вода покриває скло середніми краплями.
 5. Вода повністю не стікає зі скла.

2. Наведіть приклади одномірних надградек.
 1. багатошарові діалектичні покриття;
 2. штрихова дифракційна ґратка;
 3. система квантових ям, роздільних бар'єрними шарами з тунельним типом провідності, на поверхні напівпровідника;
 4. конструкція із тонких паралельних шарів двох матеріалів з різними оптичними властивостями.
 5. Всі відповіді правильні.
3. Нанодисперсії – це:
 1. системи, що складаються з рідкої фази з рівномірно розчиненими в ній наночастинками;
 2. системи, які складаються із нанокластерів;
 3. системи, які складаються із нанопористих речовин;
 4. системи, які складаються із нанопористої речовини;
 5. системи, які складаються із дисперсної фази та дисперсного середовища.
4. Як змінюється внесок межфазної області в загальні властивості об'єкта при зменшенні його розміру?
 1. При зменшенні розміру об'єкта внесок міжфазної області в загальні властивості об'єкта зменшується
 2. При зменшенні розміру об'єкта внесок міжфазної області в загальні властивості об'єкта збільшується
 3. При зменшенні розміру об'єкта внесок міжфазної області в загальні властивості об'єкта проходить через максимум при 100 нм
 4. При зменшенні розміру об'єкта внесок міжфазної області в загальні властивості об'єкта проходить через мінімум при 100 нм
 5. При зменшенні розміру об'єкта внесок міжфазної області в загальні властивості об'єкта не змінюється

Рекомендована література:

1. Донцова Т. А., Літинська М. І., Феденко Ю. М. Нанохімія і наноматеріали. КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2021. – 170 с.
2. Литвин В.А. Основи нанохімії / В.А. Литвин. – Черкаси: Дизайнерська група «8-й колір», 2015. – 268 с.
3. Литвин В.А. Наноструктурні системи і матеріали: збірник задач /В.А. Литвин. – Черкаси: «ФОП Белінська О. Б.», 2014. – 152 с.
4. Азаренков М. О., Неклюдов І. М., Береснев В. М., Воєводін В. М., Погребняк О. Д., Ковтун Г. П., Соболев О. В., Удовіцький В. Г., Литовченко С. В., Турбін П. В., Чишкала В. О. Наноматеріали і нанотехнології: навчальний посібник – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2014. – 316 с.
5. Куцова В.З., Котова Т.В., Аюпова Т.А. Наноматеріали та нанотехнології. Навч. посібник. У двох частинах. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2013. – 103 с.

Завдання для самостійної роботи №4

Тема: Основні принципи хімічної технології одержання наночастинок

Опрацюйте тему відповідно до питань:

1. Основні способи одержання наночастинок і наноматеріалів.
2. Диспергаційні методи.
3. Конденсаційні методи.
4. Механізми стабілізації наночастинок.
5. Механохімічний синтез.
6. Поняття про спектрофотометричні дослідження.
7. Обрахунки в спектрографії.

Приклад розв'язування задач:

Приклад 1. При дослідженні гідрозолу срібла за допомогою ультрамікроскопу у видимому об'ємі підраховано 10 частинок. S поля зору складає $4,5 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2$, глибина пучка $8 \cdot 10^{-6} \text{ м}$. Приймаючи форму частинок за сферичну, розрахуйте їх середній r . Масова концентрація золю складає $3 \cdot 10^{-5} \text{ кг/м}^3$, густина срібла рівна $10,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Розв'язування:

1. Розрахуємо об'єм розчину, який потрапляє в поле зору мікроскопа:

$$V = S \cdot h = 4,5 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2 \cdot 8 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 3,6 \cdot 10^{-13} \text{ м}^3 .$$

2. Визначимо масу дисперсної фази m у видимому об'ємі V :

$$m = c \cdot V = 3 \cdot 10^{-5} \text{ кг/м}^3 \cdot 3,6 \cdot 10^{-13} \text{ м}^3 = 10,8 \cdot 10^{-18} \text{ кг}.$$

3. Знайдемо масу однієї частинки m_0 :

$$m_0 = \frac{m}{n} = \frac{10,8 \cdot 10^{-18} \text{ кг}}{10 \text{ частинок}} = 1,08 \cdot 10^{-18} \text{ кг}$$

де n – число частинок дисперсної фази видимих у мікроскоп.

4. Знайдемо об'єм однієї частинки дисперсної фази:

$$V_0 = \frac{m_0}{\rho} = \frac{1,08 \cdot 10^{-18} \text{ кг}}{10,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3} = 1,03 \cdot 10^{-22} \text{ м}^3$$

5. Розрахуємо радіус частинки. Оскільки частинки сферичні, а об'єм кулі визначається за формулою $V_0 = 4/3 \cdot \pi \cdot r^3$, звідки:

$$r = \sqrt[3]{\frac{3V_0}{4\pi}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 1.03 \cdot 10^{-22} \text{ м}^3}{4 \cdot 3.14}} = 2,9 \cdot 10^{-8}$$

Відповідь: $2,9 \cdot 10^{-8} \text{ м}$.

Приклад 2. Одержані наступні значення відсотків проходження променів світла І через шар золю різних концентрацій С і товщини І:

Концентрація С, %	0,8	0,4	0,1
Товщина шару $l \cdot 10^3 \text{ м}$	2,5	2,5	5,0
Відсоток світла, що пройшло крізь розчин, %	1,3	9	30

Для перевірки можливості застосування закону Бугера-Ламберта-Бера розрахуйте коефіцієнт поглинання ε для кожної концентрації золю.

Розв'язування:

Виразимо величину коефіцієнта поглинання ε :

$$\varepsilon = \frac{2,3 \cdot (\log_{10} I_0 - \log_{10} I)}{cl}$$

З врахуванням, що $I_0 = 100 \%$, розрахуємо значення ε для кожної концентрації золю:

$$\varepsilon = \frac{2,3 \cdot (\log_{10} I_0 - \log_{10} I)}{cl} = \frac{2,3 \cdot (\log_{10} 100 - \log_{10} 1,3)}{0,8 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3}} = 2,2 \cdot 10^3$$

$$\varepsilon = \frac{2,3 \cdot (\log_{10} I_0 - \log_{10} I)}{cl} = \frac{2,3 \cdot (\log_{10} 100 - \log_{10} 9)}{0,4 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3}} = 2,4 \cdot 10^3$$

$$\varepsilon = \frac{2,3 \cdot (\log_{10} I_0 - \log_{10} I)}{cl} = \frac{2,3 \cdot (\log_{10} 100 - \log_{10} 30)}{0,1 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3}} = 2,4 \cdot 10^3$$

Розраховані чисельні значення коефіцієнту поглинання ε для різних концентрацій золю мають близькі значення, відповідно, закон Бугера-Ламберта-Бера може бути застосований.

Задачі:

4.1. При ультрамікроскопічному дослідженні гідрозолу золота методом проточної ультрамікроскопії в об'ємі $1,6 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3$ підраховано 70 частинок. Визначити середній r частинок золю, прийнявши їх форму

сферичною. Масова концентрація золю $7 \cdot 10^{-6}$ кг/м³, густина $19,3 \cdot 10^3$ кг/м³. ($2,7 \cdot 10^{-8}$ м)

- 4.2. За допомогою методу проточної ультрамікроскопії в об'ємі $2 \cdot 10^{-4}$ м³ підраховано 80 частинок срібла. Концентрація гідрозолу становить $10 \cdot 10^{-5}$ кг/м³. Густина срібла становить $10,5 \cdot 10^3$ кг/м³. Розрахуйте середню довжину ребра частинок 1, вважаючи їх форму кубічною. ($2,88 \cdot 10^{-5}$ м)
- 4.3. При ультрамікроскопічному дослідженні гідрозолу срібла в кюветі S $5,4 \cdot 10^{-12}$ м² і довжиною $2,5 \cdot 10^{-4}$ м підраховано 2 частинки. Розрахуйте середню довжину ребра частинок, приймаючи їх форму кубічною. Концентрація золю $20 \cdot 10^{-2}$ кг/м³, густина срібла $10,5 \cdot 10^3$ кг/м³. ($2,34 \cdot 10^{-7}$ м)
- 4.4. При ультрамікроскопічному дослідженні золю Fe₂O₃ в кюветі площею $5,4 \cdot 10^{-8}$ см² та при глибині пучка $2,5 \cdot 10^{-4}$ м визначено, що г частинок складає $23,4 \cdot 10^{-9}$ м. С золю $20 \cdot 10^{-2}$ кг/м³, густина Fe₂O₃ рівна $5,25 \cdot 10^3$ кг/м³. Визначте число частинок гідрозолу Fe₂O₃. (10 частинок)

Тести:

1. Вводячи в кластер атоми інших елементів, можна змінювати:
1. Нічого.
 2. Тільки хімічні властивості.
 3. Тільки фізичні властивості.
 4. Фізичні і хімічні властивості.
 5. Електронно-фотонні властивості.
2. Знайдіть відповідність:
- | | |
|-----------------|---|
| 1 наночастинки; | А частинки, розміри яких менше 5-10 нм; |
| 2 нанокластери; | Б частинки, розміри яких менше 100 нм; |
| 3 наноплівки; | В кристалічні речовини розмір яких менше 100 нм; |
| 4 нанокристали. | Г речовини, що складаються із одного і більше атомних шарів |

Рекомендована література:

1. Донцова Т. А., Літинська М. І., Феденко Ю. М. Нанохімія і наноматеріали. КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2021. – 170 с.
2. Литвин В.А. Основи нанохімії / В.А. Литвин. – Черкаси: Дизайнерська група «8-й колір», 2015. – 268 с.
3. Литвин В.А. Наноструктурні системи і матеріали: збірник задач /В.А. Литвин. – Черкаси: «ФОП Белінська О. Б.», 2014. – 152 с.
4. Азаренков М. О., Неклюдов І. М., Береснев В. М., Воєводін В. М., Погребняк О. Д., Ковтун Г. П., Соболев О. В., Удовіцький В. Г., Литовченко С. В., Турбін П. В., Чишкала В. О. Наноматеріали і нанотехнології: навчальний посібник – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2014. – 316 с.
5. Куцова В.З., Котова Т.В., Аюпова Т.А. Наноматеріали та нанотехнології. Навч. посібник. У двох частинах. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2013. – 103 с.

Завдання для самостійної роботи №5

Тема: Нанотехнології типу «top-down»

Опрацюйте тему відповідно до питань:

1. Гідродинамічний спосіб.
2. Вібраційний спосіб.
3. Подрібнення ультразвуком.
4. Спосіб ударної хвилі або детонаційний синтез.
5. Конденсаційні методи.

Приклад розв'язування задач:

Приклад 1. Потік світла з довжиною хвилі $\lambda = 528$ нм, проходячи через емульсію CCl_4 у воді товщиною шару $l = 5$ см, послаблюється в результаті світлорозсіювання в два рази. Розрахуйте r частинок дисперсної фази, якщо її об'ємний вміст $C_V = 0,8 \%$, показники заломлення CCl_4 $n_1 = 1,460$, води $n_0 = 1,333$. Світло розсіюється у відповідності з рівнянням Релея і послаблюється за законом Бугера-Ламберта-Бера.

Розв'язування:

1. Інтенсивність світла при проходженні через емульсію зменшується у відповідності з рівнянням Бугера-Ламберта-Бера, тому можна розрахувати коефіцієнт мутності на основі рівняння:

$$\tau = \frac{\ln \frac{I_0}{I_n}}{l} = \frac{\ln 2}{0.05} = 13.85 \text{ м}^{-1}$$

2. Використовуючи рівняння Релея, отримаємо:

$$\tau = \frac{24\pi^3 C_V}{\lambda^4} \left(\frac{n_1^2 - n_0^2}{n_1^2 + 2n_0^2} \right)^2$$

Так як об'єм сферичної частинки розраховується за формулою:

$V = 4/3\pi r^3$, то, підставляючи його в попереднє рівняння і виражаючи радіус крапель емульсії отримаємо:

$$r = \sqrt[3]{\frac{\tau \lambda^4}{32\pi^4 C_V} \left(\frac{n_1^2 + 2n_0^2}{n_1^2 - n_0^2} \right)^2} = \sqrt[3]{\frac{13.85 \cdot (5.28 \cdot 10^{-7})^4}{32 \cdot 3.14^4 \cdot 8 \cdot 10^{-3}} \left(\frac{1.460^2 + 2 \cdot 1.333^2}{1.460^2 - 1.333^2} \right)^2} = 2.23 \cdot 10^{-8} \text{ м} = 22,3 \text{ нм}$$

Відповідь: 22,3 нм.

Задачі:

- 5.1.** Розчин золю Ag з масовою концентрацією частинок $5 \cdot 10^{-5} \text{ кг/м}^3$ дослідили під ультрамікроскопом. Середнє число частинок в полі зору площею $1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ і глибиною пучка $2 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ дорівнює 65. Приймаючи, що частинки золю мають сферичну форму, розрахуйте їх середній r . Густина золота $19,3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. ($9,84 \cdot 10^{-8} \text{ м}$)
- 5.2.** Радіус сферичних частинок нікелю, визначений методом проточної ультрамікроскопії, рівний 85 нм. Розрахуйте кількість частинок нікелю в об'ємі $1,5 \cdot 10^{11} \text{ м}^3$ при концентрації золю $21 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$ і густині $8,91 \text{ г/см}^3$. ($1,38 \cdot 10^{23}$ частинок)
- 5.3.** За допомогою методу проточної ультрамікроскопії в об'ємі $3 \cdot 10^{-12} \text{ м}^3$ підраховано 55 частинок паладію. Частинки мають кубічну форму з довжиною ребра куба 92 нм, густина $12,02 \text{ г/см}^3$. Визначте концентрацію наночастинок золю. ($1,72 \cdot 10^{-4} \text{ кг/м}^3$)

Тест:

1. Які технологій відносяться до технологій «зверху-вниз»?
1. темплатний синтез;
 2. золь-гель метод;
 3. плазмове напилення;
 4. матричний синтез;
 5. радіоліз.

Рекомендована література:

1. Донцова Т. А., Літинська М. І., Феденко Ю. М. Нанохімія і наноматеріали. КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2021. – 170 с.
2. Литвин В.А. Основи нанохімії / В.А. Литвин. – Черкаси: Дизайнерська група «8-й колір», 2015. – 268 с.
3. Литвин В.А. Наноструктурні системи і матеріали: збірник задач /В.А. Литвин. – Черкаси: «ФОП Белінська О. Б.», 2014. – 152 с.
4. Азаренков М. О., Неклюдов І. М., Береснев В. М., Воєводін В. М., Погребняк О. Д., Ковтун Г. П., Соболь О. В., Удовиський В. Г., Литовченко С. В., Турбін П. В., Чишкала В. О. Наноматеріали і нанотехнології: навчальний посібник – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2014. – 316 с.
5. Куцова В.З., Котова Т.В., Аюпова Т.А. Наноматеріали та нанотехнології. Навч. посібник. У двох частинах. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2013. – 103 с.

Завдання для самостійної роботи №6

Тема: Нанотехнології типу «bottom-up»

Опрацюйте тему відповідно до питань:

1. Хімічні методи одержання наночастинок та наноматеріалів: осадження, відновлення, гідролізу.
2. Синтез у двофазних водно-органічних системах.
3. Матричний (темплатний) синтез наночастинок та наноматеріалів.
4. Одержання наночастинок металів у міцелах, дендримерах, у порах цеолітів.
5. Золь-гель метод та його основні технологічні процеси. Аерогелі. Ксерогелі.
6. Термічне розкладання і відновлення.
7. Кріохімічний синтез.
8. Метод лазерної абляції.
9. Осадження із газової фази: CVD та PVD методи.
10. Плазмохімічний метод синтезу.
11. Електрохімічний метод одержання наночастинок та його різновиди.
12. Біохімічні методи одержання наноматеріалів.

Приклад розв'язування задач:

Приклад 1. У скільки разів зменшиться початкове число наночастинок срібла v_0 через 1, 10 і 100 с після початку коагуляції? Середній r частинок $r = 20$ нм, масова концентрація наночастинок в 1 м³ становить $1 \cdot 10^{-3}$ кг, густина частинок $\rho = 10,5$ г/см³. Константа коагуляції $k = 3 \cdot 10^{-16}$ м³/с.

Розв'язування:

1. Знайдемо об'єм дисперсної фази:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{1 \cdot 10^{-3} \text{ кг}}{10,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3} = 9,52 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3$$

2. Розрахуємо об'єм однієї частинки, припускаючи, що частинки мають форму кулі:

$$V_0 = \frac{4}{3\pi} \cdot r^3 = \frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot (20 \cdot 10^{-9})^3 = 3,35 \cdot 10^{-23} \text{ м}^3$$

3. Розрахуємо початкове число частинок в 1 м³ до коагуляції:

$$v_0 = \frac{V}{V_0} = \frac{9,52 \cdot 10^{-8}}{3,35 \cdot 10^{-23}} = 2,84 \cdot 10^{15} \text{ частинок}$$

4. Загальне число частинок v до моменту часу t_i зменшується в v_i раз:

$$v_i = \frac{v_0}{v} = 1 + k \cdot t \cdot v_0$$

$$v_{1c} = 1 + k \cdot t_1 \cdot v_0 = 1 + 3 \cdot \frac{10^{-16} \text{ м}^3}{\text{с}} \cdot 1\text{с} \cdot 2,84 \cdot 10^{15} \text{ м}^{-3} = 1,85 \approx 2;$$

$$v_{10c} = 1 + k \cdot t_2 \cdot v_0 = 1 + 3 \cdot \frac{10^{-16} \text{ м}^3}{\text{с}} \cdot 10\text{с} \cdot 2,84 \cdot 10^{15} \text{ м}^{-3} = 9,52 \approx 10;$$

$$v_{100c} = 1 + k \cdot t_3 \cdot v_0 = 1 + 3 \cdot \frac{10^{-16} \text{ м}^3}{\text{с}} \cdot 100\text{с} \cdot 2,84 \cdot 10^{15} \text{ м}^{-3} = 86,2 \approx 86;$$

Відповідь: Початкове число наночастинок срібла через 1 с зменшиться в 2 рази, через 10 с – в 10 разів, через 100 с – в 86 разів.

Приклад 2. Початкове число частинок золю n_0 складає $5 \cdot 10^8$ частинок. Час половинної коагуляції $\eta = 335$ с. Розрахуйте загальне число частинок n через: 100; 200; 250; 350 і 400 с після початку коагуляції. Побудуйте графік зміни загального числа частинок від часу коагуляції в координатах $n = f(t)$.

Розв'язування:

Розрахуємо загальне число частинок за рівнянням:

$$v = v_0 \cdot \frac{1}{1 + \frac{t}{\tau}} = \frac{v_0 \cdot \tau}{\tau + t}$$

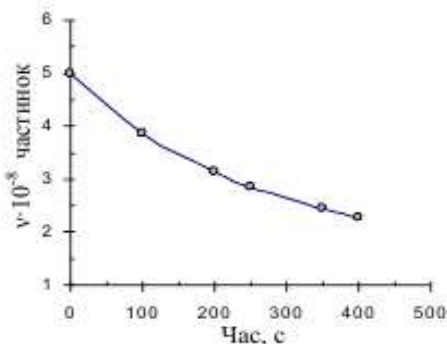
$$v_{100} = \frac{v_0 \cdot \tau}{\tau + t} = \frac{5 \cdot 10^8 \cdot 335\text{с}}{335\text{с} + 100\text{с}} = 3.85 \cdot 10^8 \text{ частинок};$$

$$v_{200} = \frac{v_0 \cdot \tau}{\tau + t} = \frac{5 \cdot 10^8 \cdot 335\text{с}}{335\text{с} + 200\text{с}} = 3.13 \cdot 10^8 \text{ частинок};$$

$$v_{250} = \frac{v_0 \cdot \tau}{\tau + t} = \frac{5 \cdot 10^8 \cdot 335\text{с}}{335\text{с} + 250\text{с}} = 2.86 \cdot 10^8 \text{ частинок};$$

$$v_{350} = \frac{v_0 \cdot \tau}{\tau + t} = \frac{5 \cdot 10^8 \cdot 335\text{с}}{335\text{с} + 350\text{с}} = 2.44 \cdot 10^8 \text{ частинок};$$

$$v_{400} = \frac{v_0 \cdot \tau}{\tau + t} = \frac{5 \cdot 10^8 \cdot 335\text{с}}{335\text{с} + 400\text{с}} = 2,28 \cdot 10^8 \text{ частинок};$$



Будуємо графік залежності загального числа частинок від часу коагуляції в координатах $v = f(t)$.

Приклад 3. Для того, щоб викликати коагуляцію 10,0 мл гідрозолу $\text{Fe}(\text{OH})_3$, отриманого гідролізом ферум (III) хлориду, прилили розчини наступних електролітів:

Електроліт	NaNO_3	Na_2SO_4	Na_3PO_4
$V, \text{мл}$	8,0	12,0	1,0
$c, \text{моль/л}$	1,0	0,01	0,01

Розрахуйте пороги коагуляції, визначте знак заряду колоїдної частинки.

Розв'язування:

1. Розрахуємо поріг коагуляції кожного електроліту за формулою:

$$\gamma_{\text{NaNO}_3} = \frac{V_{\text{ел}} \cdot c_{\text{ел}}}{V_{\text{золю}}} = \frac{8,0 \text{ мл} \cdot 1,0 \text{ моль/л}}{10,0 \text{ мл}} = 0,8 \text{ моль/л}$$

$$\gamma_{\text{Na}_2\text{SO}_4} = \frac{V_{\text{ел}} \cdot c_{\text{ел}}}{V_{\text{золю}}} = \frac{12 \text{ мл} \cdot 0,01 \text{ моль/л}}{10,0 \text{ мл}} = 0,012 \text{ моль/л}$$

$$\gamma_{\text{Na}_3\text{PO}_4} = \frac{V_{\text{ел}} \cdot c_{\text{ел}}}{V_{\text{золю}}} = \frac{1,0 \text{ мл} \cdot 0,01 \text{ моль/л}}{10,0 \text{ мл}} = 0,001 \text{ моль/л}$$

2. Визначимо знак заряду частинок золю:

Оскільки катіони всіх електролітів-коагуляторів одновалентні, а їх коагуляції різні, що не відповідає правилу Шульце-Гарді, відповідно, коагуляцію золю викликають не катіони, а аніони електролітів. В даному випадку виходить: чим вищий заряд аніона, тим менший поріг коагуляції (справедливо правилу Шульце-Гарді). Відповідно, заряд колоїдної частинки позитивний.

Відповідь: $\gamma_{\text{NaNO}_3} = 0,8 \text{ моль/л}$; $\gamma_{\text{Na}_2\text{SO}_4} = 0,012 \text{ моль/л}$;
 $\gamma_{\text{Na}_3\text{PO}_4} = 0,001 \text{ моль/л}$; заряд частинки позитивний.

Задачі :

- 6.1. Час половинної коагуляції золю AgI при початковому вмісті частинок в 1 м^3 рівному $3,2 \cdot 10^{14}$, становить 11,5 с. Визначте константу швидкості коагуляції. ($2,7 \cdot 10^{-16} \text{ м}^3/\text{с}$)
- 6.2. Середнє значення напівкоагуляції золю золота розчином натрій хлориду складає 81 с при вихідному числі частинок $20 \cdot 10^{11}$ в 1 л. Чому буде рівний час напівкоагуляції, якщо вихідне число частинок в 1 л у 10 разів більше? (8,1 с)
- 6.3. Для коагуляції 1 л гідрозолу платини витратилось 280 см^3 розчину NaCl (поріг коагуляції 2,24 моль/л) і 12 см^3 розчину $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (поріг коагуляції 0,018 моль/л). Які концентрації розчинів цих електролітів? ($c(\text{NaCl}) = 8 \text{ моль/л}$; $c(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = 1,5 \text{ моль/л}$)

- 6.4. Для того, щоб викликати коагуляцію 10,0 мл гідрозолу $\text{Fe}(\text{OH})_3$, одержаного гідролізом феруму(III) хлориду, до гідрозолу прилили розчини наступних електролітів:

Електроліт	KCl	Na_2SO_4	Na_3PO_4
V , мл	8.0	1.0	0.6
C , моль/л	3.0	0.4	0.05

(2,4 моль/л; 0,04 моль/л; 0,003 моль/л; частинки позитивно заряджені)
Розрахуйте пороги коагуляції, визначте знак заряду колоїдної частинки.

Тести:

- Поняття «Темплатний метод» описує:
 - Створення бетонних плит.
 - Створення чогось за строго заданим шаблоном (нанолітографія).
 - Створення нанопорошків, за умов відпалу за надвисоких температур.
 - Не використовується в нанотехнологіях.
- Що таке CVD-метод?
 - Хімічне осадження з розчинів.
 - Електроосадження.
 - Хімічне випаровування – осадження з газової фази.
 - Технологія Ленгмюра-Блоджетт
- Основні типи методів хімічного осадження (співосадження):
 - Гідроксидний, оксалатний і карбонатний методи.
 - Гідроксидний, нітратний та алкоголятний методи.
 - Сульфатний, полімерний та карбонатний методи.
 - Немає правильною відповіді.

Рекомендована література:

- Донцова Т. А., Літинська М. І., Феденко Ю. М. Нанохімія і наноматеріали. КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2021. – 170 с.
- Литвин В.А. Основи нанохімії / В.А. Литвин. – Черкаси: Дизайнерська група «8-й колір», 2015. – 268 с.
- Литвин В.А. Наноструктурні системи і матеріали: збірник задач /В.А. Литвин. – Черкаси: «ФОП Белінська О. Б.», 2014. – 152 с.
- Азаренков М. О., Неклюдов І. М., Береснев В. М., Воєводін В. М., Погребняк О. Д., Ковтун Г. П., Соболев О. В., Удовиський В. Г., Литовченко С. В., Турбін П. В., Чишкала В. О. Наноматеріали і нанотехнології: навчальний посібник – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2014. – 316 с.
- Куцова В.З., Котова Т.В., Аюпова Т.А. Наноматеріали та нанотехнології. Навч. посібник. У двох частинах. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2013. – 103 с.

Завдання для самостійної роботи №7

Тема: Карбонові наноматеріали

Опрацюйте тему відповідно до питань:

1. Основні фізико-хімічні властивості Карбону. Алотропні форми Карбону: графіт, алмаз. Карбін, графен, аморфний карбон, фулерени, нанотрубки.
2. Графен. Історія відкриття графену.
3. Методи одержання. Фізикохімічні властивості графену: електричні, механічні, теплопровідні властивості. Застосування графену.
4. Фулерени. Структура фулеренів C₆₀ і C₇₀. Методи синтезу та очистки фулеренів. Основні фізико-хімічні властивості фулеренів. Сполуки на основі фулеренів. Оксиди фулерена. Фулерени з частинками металу всередині.
5. Дефекти в структурі нанотрубок і їх вплив на геометрію та провідність нанотрубок. Одержання карбонових нанотрубок. Методи очистки та розкриття нанотрубок. Основні механічні, електричні та магнітні властивості нанотрубок.
6. Інші карбонові наноструктури, карбонові наноцибулини. Нанотрубки інших матеріалів: дисульфід вольфраму, хризотил.

Задачі :

1. Під час фторування фулерену C₆₀ утворюються продукти C₆₀F₂₀, C₆₀F₃₀, C₆₀F₆₀ у співвідношенні мольному 100:7:0,1. Визначте масові частки продуктів реакції.
2. Які відмінності властивостей наноалмазу від звичайного алмазу.
3. Розрахуйте об'єм метану (н.у.), який необхідно використати для отримання 12 г нанотрубок на Ni-каталізаторі.
4. Які способи класифікації нанотрубок. Чи є фулерен карбоновою нанотрубною?
5. Гіперфулерен.
6. Чому в процесі синтезу фулерену, що знаходяться в газовій фазі, виділяється велика кількість теплоти, тоді як при утворенні його з графіту поглинається 2350 кДж / моль.
7. Фулерен C₆₀ за рахунок введення Калію в його кристалічну ґратку утворює інтеркалят з масовою часткою Калію 14 %. За умов випаровування фулерену з цезієм утворюється аналогічний інтеркалят, що містить 67,2 % (по масі) Карбону. Встановіть формули інтеркалятів.

Тести:

1. Карбонові нанотрубка можуть бути:
 1. одностінними, багатостінними, прямими, трикутниками.
 2. одностінними, прямими, кулястими, спіральними.
 3. багатостінними, прямим, спіральними, квадратними.
 4. багатостінними, одностінними, прямими, спіральними.
 5. спіральними.

2. Нанотрубку можна отримати:

1. випаровуючи металічний електрод з каталізатором променем лазера в потоці інертного газу.
2. випаровуючи графітовий електрод з каталізатором променем лазера в потоці інертного газу.
3. випаровуючи металічний електрод з каталізатором променем лазера в потоці повітря
4. випаровуючи графітовий електрод з каталізатором променем світла в потоці повітря.
5. Випаровуючи нікелевий електрод.

3. Що таке фуллерени ?

1. довгі вуглеводні структури;
 2. кластери з більш ніж 40 атомів Карбону, по формі - шароподібні каркасні структури;
 3. наночастинки , розчинені в рідкій фазі;
 4. шароподібні молекули, які утримують атоми, розміром менше 100 нм;
 5. короткі вуглеводні структури.
- 4. Який метод не відноситься до основних методів отримання вуглецевих нанотрубок і нановолокон?**
1. Дуговий
 2. Лазернотермічеський
 3. Піролітичний
 4. Біотехнологічний
 5. Дуговий піролітичний
- 5. Швейцарська компанія виготовила для змагань Tour de France-2005 спортивний велосипед з рамою з композиційного матеріалу на основі вуглецевих нанотрубок. Його вага становила:**
1. 2 кг.
 2. 5 кг.
 3. 4 кг.
 4. 1 кг.
 5. 10 кг.

6. Ідеальна нанотрубка являє собою:

1. згорнуту в циліндр графенову площину, викладена правильними восьмикутниками, в вершинах яких розміщені атоми Карбону.
2. згорнуту в циліндр графенову площину, викладену правильними трикутниками, в вершинах яких розміщені атоми Гідрогена.
3. згорнуту в циліндр графенову площину, викладену правильними шестикутниками, в вершинах яких розміщені атоми Гідрогена.
4. згорнуту в циліндр графенову площину, викладену правильними шестикутниками, в вершинах яких лежать атоми Карбону.
5. згорнуту в циліндр графенову площину, викладену правильними шестикутниками, в яких розміщені атоми Оксигену

7. Графен, це:

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

Рекомендована література:

1. Донцова Т. А., Літинська М. І., Феденко Ю. М. Нанохімія і наноматеріали. КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2021. – 170 с.
2. Литвин В.А. Основи нанохімії / В.А. Литвин. – Черкаси: Дизайнерська група «8-й колір», 2015. – 268 с.
3. Литвин В.А. Наноструктурні системи і матеріали: збірник задач /В.А. Литвин. – Черкаси: «ФОП Белінська О. Б.», 2014. – 152 с.
4. Азаренков М. О., Неклюдов І. М., Береснєв В. М., Воєводін В. М., Погребняк О. Д., Ковтун Г. П., Соболев О. В., Удовиський В. Г., Литовченко С. В., Турбін П. В., Чишкала В. О. Наноматеріали і нанотехнології: навчальний посібник – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2014. – 316 с.
5. Куцова В.З., Котова Т.В., Аюпова Т.А. Наноматеріали та нанотехнології. Навч. посібник. У двох частинах. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2013. – 103 с.

Завдання для самостійної роботи №8

Тема: Неорганічні наноматеріали

Опрацюйте тему відповідно до питань:

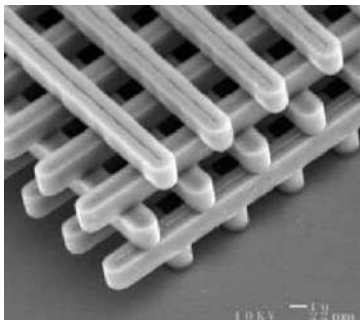
1. Віскери. Унікальні властивості. Застосування віскерів.
2. Магнітні наноматеріали. Феромагнітні, парамагнітні, діамагнітні матеріали. Магнітні наноматеріали. Феромагнітні рідини. Властивості магнітних рідин. Способи одержання магнітних рідин. Області застосування магнітних рідин. Ефект «колоссального магнетоопору».
3. Високотемпературні надпровідники. Ефект Мейснера. Фотонні кристали. Механізм формування фононної зони структури. Оптичні особливості фотонних кристалів. Класифікація фотонних кристалів. 1D-, 2D- і 3D-фотонні кристали. Приклади природних фотонних кристалів. Методи створення фотонних кристалів.
4. Біокераміки.

Задачі :

- 8.1. При дослідженні гідрозолу Fe_2O_3 за допомогою ультрамікроскопу у видимому об'ємі $4 \cdot 10^{-15} \text{ м}^3$ було підраховано три частинки. Приймаючи, що частинки золу сферичні і густина рівна $5,2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, визначте середній радіус частинок гідрозолу. Масова концентрація гідрозолу рівна $8,5 \cdot 10^{-4} \text{ кг/м}^3$. ($3,73 \cdot 10^{-8} \text{ м}$)
- 8.2. Яку кількість 1-% розчину CaCl_2 необхідно додати до 1 м^3 золу Al_2O_3 , щоб викликати коагуляцію, якщо поріг коагуляції рівний $0,63 \cdot 10^3 \text{ моль/л}$? ($0,63 \text{ л}$)

Тести:

1. Наведіть приклади природних фотонних кристалів.
1. рубін;
 2. гранат;
 3. опал;
 4. сапфір;
 5. квазікристали.
2. Яким чином була отримана структура фотонного кристала типу «дров'яний стіс»



1. самозбірка під впливом капілярних сил;
 2. оптична літографія;
 3. голографічна літографія;
 4. нанолітографія;
 5. інша відповідь.
3. Чому в ідеальних фотонних ізоляторах світлова енергія не переходить в теплову?
1. фотонні ізолятори володіють широкою забороненою зоною;
 2. фотонні ізолятори не поглинають світло;
 3. фотонні ізолятори володіють малою електропровідністю;
 4. фотонні ізолятори володіють суворою періодичністю показника заломлення по всім напрямках.
 5. фотонні ізолятори поглинають світло;
4. Зіставте типи фотонних кристалів і характерні особливості структури їх зон
- | | |
|---------------------|-----------------------------|
| 1) провідники; | а) широкі забороненні зони; |
| 2) ізолятори; | б) широкі розширенні зони; |
| 3) напівпровідники; | в) вузькі забороненні зони; |

5. Які об'єкти називаються кластерами?

1. кластерами називаються нанооб'єкти, які складаються з великого числа атомів чи молекул. Кластери мають нанорозміри по трьом напрямках.
2. кластерами називаються нанооб'єкти, які складаються з невеликого числа атомів чи молекул. Кластери мають нанорозміри по трьох напрямках.
3. кластерами називаються нанооб'єкти, які складаються з невеликого числа атомів чи молекул. Кластери мають нанорозміри по двох напрямках.
4. Кластерами називаються нанооб'єкти, які складаються з великого числа атомів чи молекул. Кластери мають нанорозміри по двох напрямках.
5. Кластерами називаються нанооб'єкти, які складаються з великого числа атомів чи молекул. Кластери мають нанорозміри по двох напрямках.

6. До віскерів належать:

1. Наноплівки з товщиною 1-100 нм і співвідношенням довжини до товщини більше ніж 1000.
2. Різновид кристалу нитевидного з d *поперечного перерізу* 1-100 нм і співвідношенням довжини l до діаметру d понад 1000.
3. Різновид нанопорошків з d 1-100нм.
4. Нанотерези.

7. Частинки Януса – 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.

Рекомендована література:

1. Донцова Т. А., Літинська М. І., Феденко Ю. М. Нанохімія і наноматеріали. КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2021. – 170 с.
2. Литвин В.А. Основи нанохімії / В.А. Литвин. – Черкаси: Дизайнерська група «8-й колір», 2015. – 268 с.
3. Литвин В.А. Наноструктурні системи і матеріали: збірник задач /В.А. Литвин. – Черкаси: «ФОП Белінська О. Б.», 2014. – 152 с.
4. Азаренков М. О., Неклюдов І. М., Береснев В. М., Воєводін В. М., Погребняк О. Д., Ковтун Г. П., Соболев О. В., Удовіцький В. Г., Литовченко С. В., Турбін П. В., Чишкала В. О. Наноматеріали і нанотехнології: навчальний посібник – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2014. – 316 с.
5. Куцова В.З., Котова Т.В., Аюпова Т.А. Наноматеріали та нанотехнології. Навч. посібник. У двох частинах. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2013. – 103 с.

Завдання для самостійної роботи №9

Тема: Застосування наноматеріалів

Опрацюйте тему відповідно до питань:

1. Нанотехнології в медицині. Нанобіосенсиори, їх застосування в діагностиці захворювань. Сенсори рН. Експрес-аналізатори. Квантові точки, їх роль у діагностиці.
2. Нанобіотехнології для направленого транспорту речовин. Адресна доставка ліків.
3. Нанороботи для ремонту пошкоджених клітин. Створення біосумісних поверхонь контакту, імплантів та штучних органів. Використання нанотехнологій та наноматеріалів для покращення хірургічного та стоматологічного інструментарію.
4. Безпечність наноматеріалів.
5. Нанoeлектромеханічні системи. Спінтроніка. Наноактюатори.

Задачі:

- 9.1. Знайти число НЧ кремнію N , якщо відома їх маса $m = 2$ мг, радіус $r = 50$ нм і густина кремнію $\rho = 2,3$ г/см³. ($1,7 \cdot 10^{12}$ НЧ).
- 9.2. Для дослідження електрохімічних властивостей нанокластерів срібла були побудовані наступні гальванічні елементи:

(I) $Ag(mв) | AgCl(насич. р-н) || Ag^+(0,01 M) | Ag(mв) E1 = 0,170 V$

(II) $Pt | Ag_n(mв, нанокластери), Ag^+(0,01 M) || AgCl(насич. р-н) | Ag(mв)$

Нанокластери Ag_5 і Ag_{10} складаються із звичайних атомів срібла, однак їх стандартні електродні потенціали відрізняються від потенціалу металічного срібла: а) $E_2 = 0,430 V$ для нанокластерів Ag_{10} ; б) $E_3 = 1,030 V$ для нанокластерів Ag_5 ; $E_0(Ag^+/Ag) = 0,800 V$, $T = 298,15 K$. Розрахуйте 21 стандартні електродні потенціали нанокластерів Ag_5 і Ag_{10} . Поясніть, чому стандартний потенціал нанокластерів залежить від розміру частинок.

Тести:

1. Адсорбцією називається:
 1. Фізичне явище, що виявляється при взаємодії атома чи молекули однієї речовини з атомом іншої і фіксації цього атома в просторі.
 2. Фізичне явище, що виявляється при взаємодії атома чи молекули однієї речовини з поверхнею іншої і фіксації цього атома на поверхні.
 3. Фізичне явище, що виявляється у відштовхуванні атома чи молекули однієї речовини від поверхні іншої.
 4. Фізичне явище, що виявляється при взаємодії атома чи молекули з поверхнею цієї речовини і фіксації цього атома на поверхні.
 5. Хімічне та фізичне явище що виявляється у відштовхуванні атома чи молекули однієї речовини від поверхні іншої.

2. Наночастинки, що складаються з золотого «ядра» та палладієвої оболонки використовуються:
 1. У харчовій промисловості в якості каталізаторів.
 2. У військовій техніці в якості захисту від куль.
 3. У космічній промисловості для поліпшення пудри.
 4. У медицині як сильний антисептик.
 5. У будь якій промисловості.
3. Наночастинки якого елемента добре підходять для знезараження ран?
 1. Золота.
 2. Срібла.
 3. Платини.
 4. Заліза.
 5. Карбону.
4. Чи можуть нанотехнології застосовуватись в якості каталізаторів і фільтрів?
 1. Можуть тільки в якості каталізаторів.
 2. Можуть тільки в якості фільтрів.
 3. Можуть в якості каталізаторів і фільтрів.
 4. Не можуть.
 5. Інша відповідь

Рекомендована література:

1. Донцова Т. А., Літинська М. І., Феденко Ю. М. Нанохімія і наноматеріали. КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2021. – 170 с.
2. Литвин В.А. Основи нанохімії / В.А. Литвин. – Черкаси: Дизайнерська група «8-й колір», 2015. – 268 с.
3. Литвин В.А. Наноструктурні системи і матеріали: збірник задач /В.А. Литвин. – Черкаси: «ФОП Белінська О. Б.», 2014. – 152 с.
4. Азаренков М. О., Неклюдов І. М., Береснев В. М., Воєводін В. М., Погребняк О. Д., Ковтун Г. П., Соболев О. В., Удовиський В. Г., Литовченко С. В., Турбін П. В., Чишкала В. О. Наноматеріали і нанотехнології: навчальний посібник – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2014. – 316 с.
5. Куцова В.З., Котова Т.В., Аюпова Т.А. Наноматеріали та нанотехнології. Навч. посібник. У двох частинах. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2013. – 103 с.

Література для підготовки

Основна:

1. Донцова Т. А., Літинська М. І., Феденко Ю. М. Нанохімія і наноматеріали. КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2021. – 170 с.
2. Литвин В.А. Основи нанохімії / В.А. Литвин. – Черкаси: Дизайнерська група «8-й колір», 2015. – 268 с.
3. Литвин В.А. Наноструктурні системи і матеріали: збірник задач /В.А. Литвин. – Черкаси: «ФОП Белінська О. Б.», 2014. – 152 с.
4. Азарєнков М. О., Неклюдов І. М., Береснєв В. М., Воєводін В. М., Погребняк О. Д., Ковтун Г. П., Соболев О. В., Удовиський В. Г., Литовченко С. В., Турбін П. В., Чишкала В. О. Наноматеріали і нанотехнології: навчальний посібник – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2014. – 316 с.
5. Куцова В.З., Котова Т.В., Аюпова Т.А. Наноматеріали та нанотехнології. Навч. посібник. У двох частинах. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2013. – 103 с.

Додаткова

1. Зайцев В.М., Савранський Л.І. Функціоналізовані пористі матеріали для аналітичної хімії, Київ. - 2005.
2. Balzani V., Credi A., Venturi M., Molecular Devices and Machines: a Journey to the NanoWorld. Willey, 2002. – 456 p.
3. Шпак А.П., Куницький Ю.А., Смик С.Ю. Діагностика наносистем. - Київ: Академперіодика, 2003. - 149 с.
4. Шпак А.П., Куницький Ю.А., Коротченко О.О., Смик С.Ю. Квантові низькорозмірні системи. - Київ: Академперіодика, 2003. - 308 с.

Інтернет ресурси

1. Бібліотека Житомирського державного університету імені Івана Франка [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://irbis.zu.edu.ua/cgi-bin/irbis64r_11/cgiirbis_64.exe
2. Бібліотека українських підручників [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://pidruchniki.ws/>.
3. Державна науково-педагогічна бібліотека України ім. В. О. Сухомлинського. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: www.dnpb.gov.ua.
4. Національна бібліотека України імені В.І.Вернадського: режим доступу: <http://nbuv.gov.ua>

Література, використана при підготовці методичних рекомендацій до організації самостійної/індивідуальної роботи обов'язкової освітньої компоненти "Нанохімія"

1. Бугра А.В., Коновал О.А. Методика самостійної роботи студентів: навчально-методичний посібник/А.В. Бугра, О.А.Коновал–Кривий Ріг: КПІ ДВНЗ «КНУ», 2014-124с
2. Литвин В.А. Наноструктурні системи і матеріали: збірник задач /В.А. Литвин. – Черкаси: «ФОП Белінська О. Б.», 2014. – 152 с.
3. Основи нанотехнологій функціональних та конструкційних матеріалів: 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.
4. Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи з дисципліни „Хімія наноструктурованих матеріалів“ для студентів спеціальностей 152 „Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка“ / Укл.: А. В. Коротун, Н. А. Смирнова, Я. В. Карандась, Д. В. Дем'яненко. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 112 с.