

DOI: <https://doi.org/10.28925/1609-8595.2023.4.10>

УДК 373.3/.5.011.33:[54:620.3]

**Віктор Малишев**

<https://orcid.org/0000-0003-2756-3236>

доктор технічних наук, професор,  
заступник директора департаменту стратегічного розвитку  
та міжнародних програм,  
Міжнародний Європейський Університет,  
пр. Акад. Глушкова, 42Б, 03187 Київ, Україна,  
[viktor.malyshev.igic@gmail.com](mailto:viktor.malyshev.igic@gmail.com)

**Михайло Войцехівський**

<https://orcid.org/0000-0002-1850-0666>

кандидат педагогічних наук, доцент,  
директор Інституту післядипломної освіти,  
Київський університет імені Бориса Грінченка,  
просп. П. Тичини, 22А, 02152 Київ, Україна.  
[m.voitsekhivskyi@kubg.edu.ua](mailto:m.voitsekhivskyi@kubg.edu.ua)

**Ангеліна Габ**

<https://orcid.org/0000-0003-3162-7159>

кандидат хімічних наук, доцент,  
провідний фахівець департаменту стратегічного розвитку  
та міжнародних програм,  
Міжнародний Європейський Університет,  
пр. Акад. Глушкова, буд. 42Б, 03187 Київ, Україна.  
[lina\\_gab@ukr.net](mailto:lina_gab@ukr.net)

**Тетяна Лукашенко**

<https://orcid.org/0000-0002-8018-5054>

кандидат педагогічних наук, доцент,  
викладач Олімпійського фахового коледжу ім. Івана Піддубного  
Національного університету фізичного виховання і спорту України,  
вул. М. Матеюка, 4, 02156 Київ, Україна,  
[taniainst@gmail.com](mailto:taniainst@gmail.com)

**Валентин Бойченко**

<https://orcid.org/0009-0006-0981-1119>

заступник директора  
Інституту післядипломної освіти  
Київський університет імені Бориса Грінченка,  
просп. П. Тичини, 22А, 02152 Київ, Україна.  
[v.boychenko@kubg.edu.ua](mailto:v.boychenko@kubg.edu.ua)

## **НАНОТЕХНОЛОГІЇ В ХІМІЇ: ПІДВИЩЕННЯ КВАЛІФІКАЦІЇ ВЧИТЕЛІВ, КУРСИ ЗА ВИБОРОМ, МЕТОДОЛОГІЧНІ ІДЕЇ, ЗАВДАННЯ ТА ФОРМУВАННЯ ЗМІСТУ**

*Показано суттєве значення психологічної та професійної підготовки молодого покоління та адаптації суспільства до завдань і проблем використання нанотехнологій. Наголошено, що важливим шляхом модернізації освіти є впровадження в середній школі системи профільного навчання, яке передбачає врахування освітніх потреб, нахилів та здібностей учнів, створення умов для професійного самовизначення. Наведено шляхи диференціювання навчання. Представлено зміст та методологічні ідеї курсу за вибором «Нанотехнології в хімії» для учнів старшої школи закладів загальної середньої освіти. Виокремлено мету,*

завдання та вимоги до рівня засвоєння цього курсу. Результатами засвоєння курсу визначено отримання знань з основ нанотехнології та нанохімії, основних принципів та досягнень нанохімії, методів її дослідження, унікальних властивостей наноматеріалів, їх застосування та перспектив розвитку нанохімії, ролі нанохімії у розв'язанні загальнолюдських проблем. Для оцінки виконання програми курсів запропоновані відповідні критерії. Передбачається проведення учнями наукових досліджень, підготовка рефератів та мультимедійних презентацій. Запропонований елективний курс складається з інваріантної та варіативної частин. Орієнтовний зміст курсу містить сім найважливіших тем. Передбачено здійснення учнями проєктної діяльності як методу підвищення зацікавленості та цілісного вивчення шкільних предметів. Рекомендовано ресурсне забезпечення курсу «Нанотехнології в хімії», яке включає в себе рекомендовану навчально-методичну літературу, інтернет-ресурси, національні періодичні видання з нанотехнологій.

**Ключові слова:** завдання курсу, зміст курсу, курси за вибором, методологічна ідея, нанотехнології, хімія, підвищення кваліфікації.

## ВСТУП

Технічно розвинені країни в усьому світі здійснюють усе ширше фінансування розвитку нанотехнологій. Зрозуміло, що без сучасних підготовлених фахівців у цій галузі витрачені кошти не дадуть бажаного результату. У зв'язку з цим суттєвого значення набуває психологічна та професійна підготовка молодого покоління й адаптація суспільства до завдань і проблем використання нанотехнологій. Тому в закладах загальної середньої освіти технічно розвинених країн вивчають основи нанотехнології. Як міждисциплінарна галузь вона об'єднує ідеї та методи фізики, хімії, біології, медицини, математики, інформатики і когнітивних (на основі людського та штучного мислення) наук. Це об'єднання може дати змогу впровадити в навчальні плани закладів загальної середньої освіти нові предмети – «Природа» та «Людина та природа».

Як і будь-яка нова технологія, нові досягнення в галузі нанотехнологій створюють нові проблеми та небезпеки. Їхній розвиток ускладнений трьома проблемами:

- низкою соціальних проблем через впровадження нанотехнологій;
- впливом нанопродуктів і наноприладів на людину;
- можливою втратою контролю над наноприладами.

Але позитивний вплив нанотехнологій на всі сфери життєдіяльності людей, безумовно, перевищує ті проблеми та небезпеки, які можуть виникнути при їх впровадженні. Про провідне місце нанотехнологій у XXI столітті, їх стратегічні пріоритети та ринкові підходи до впровадження, необхідність формування у молоді філософії нанотехнологій під час переходу до суспільства знань зазначається у монографії Г. Андрощук та інших авторів (2011, с. 179).

Сучасний розвиток науково-технічного прогресу, виробництва та освіти виявив дві характерні обставини: необхідність отримання принципово нових матеріалів, виробів і приладів та необхідність ліквідації прогалин і проблем у фундаментальних і прикладних знаннях про наноматеріали. Виникнення цих двох обставин зумовило підвищення зацікавленості до наноматеріалів та нанотехнологій. У зв'язку з цим виникає необхідність:

- орієнтувати учнів на вивчення основ нанотехнологій;
- вдосконалювати якість навчання, насамперед у таких галузях знань: освіта; біологія; природничі науки; інформаційні технології; механічна та електрична інженерія; хімічна біоінженерія; виробництво та технології; аграрні науки,

продовольство; охорона здоров'я; воєнні науки; транспорт не тільки у вищій професійній школі, але й у системі загальної середньої освіти;

- формувати практичні навички в учнів закладів загальної середньої освіти в дослідницькій та інженерно-технічній діяльності;
- здійснити перепідготовку та підвищення кваліфікації педагогічних кадрів.

Важливу роль при цьому відіграє питання формування професійної нанотехнологічної компетентності в суспільстві (Avila-Robinson & Miyazaki, 2014, p. 2; Lin et al., 2015, p. 392; Jean, Jiang, & Chien, 2017, p. 703; Nasrollahzadeh, Sajadi, & Issaabadi, 2019, p. 3).

Нанотехнології є міждисциплінарною галуззю прикладної науки, яка вивчає закономірності фізичних і хімічних систем розмірами порядку декількох нанометрів або часток нанометра. Вона передбачає розроблення матеріалів, приладів та пристроїв із застосуванням цих закономірностей. Нанотехнології можна представити як технології побудови структур із заданими властивостями шляхом маніпуляції окремими атомами і молекулами. Зазвичай хімія як важлива природнича наука є невід'ємним складником в сучасних нанотехнологіях. Нанотехнології в хімічній індустрії, внесок хімії до nanoосвіти та нанонауки детально висвітили Q. Qiu Zhao, A. Voxman, & U. Chowdhry (2003, p. 568); P. Mulvaney (2015, p. 2216).

**Постановка проблеми.** У навчальному посібнику (Лукашенко та інші, 2019, с. 44) нами систематизовано та узагальнено дослідницькі дані та надано практичні рекомендації щодо теорії, практики, досвіду, проблем та перспектив профільного навчання, дидактичних засад, формування змісту допрофільної підготовки учнів, профільної підготовки в середній загальноосвітній школі, сталого розвитку довкілля та науково-технічного прогресу, впровадження нанотехнологій у різні галузі промисловості. Використання матеріалів посібника дозволяє глибше опанувати впровадження й удосконалення допрофільної та профільної підготовки учнів загальноосвітніх шкіл та отримати необхідні знання за даною тематикою.

Модернізація освіти включає в себе впровадження в середній школі системи профільного навчання. Профільне навчання передбачає диференціювання навчання наступними шляхами:

- диверсифікація закладів освіти за багатoproфільними закладами – ліцеями, гімназіями, коледжами;
- формування змісту навчання з упровадженням варіативних різнорівневих і різнопрофільних програм;
- використання нетрадиційних форм навчання у вигляді круглих столів, прес-конференцій, екскурсій, науково-дослідної роботи тощо та впровадження інтерактивних методів навчання.

Необхідність модернізації сучасної освіти в напрямку впровадження nanoосвіти в навчальних закладах, формування методів і підходів її здійснення, проблем і перспектив підкреслюється в дослідженнях A. W. Mohammad et al. (2012, p. 407), J. Bauer (2021, p. 2348), J. A. Jackman et al. (2016, p. 5546), A.-L., Porter & J. Yotil (2009, p. 1024); M. G. Jones et al. (2013, p. 1492).

Загальна структура профільного навчання в закладі загальної середньої освіти передбачає три змістовні блоки: базовий (загальноосвітній стандарт), профільний (профільний освітній стандарт) та елективний (курси за вибором). Досвід показує, що співвідношення обсягу навчального часу за зазначеними блоками становить 50%: 30%: 20% (Лукашенко та інші, 2019, с. 66).

Курси за вибором – це обов’язкові навчальні курси, що входять до профілю навчання та розширюють і поглиблюють зміст певного предмету. Вони обираються за бажанням учнів відповідно до їхніх інтересів, уподобань і потреб.

Курси за вибором у вітчизняних школах нагадують факультативи, які орієнтовані на старшокласників. Для них не існує освітніх стандартів. Вони включаються до навчального плану всіх учнів профільних класів і є обов’язковими для відвідування. Також вони можуть бути корисними для підвищення кваліфікації вчителів (Лукашенко та інші, 2019, с. 133; Ernst, 2009, р. 6; Липова, Войцехівський, Малишев, 2013, с. 5). Що стосується курсів за вибором з нанотехнологічної хімії, то є лише окремі дослідження на основі практичних розробок курсів за вибором, які впроваджуються за кордоном. Запропоновано навчальні програми курсів за вибором, посібники та підручники та окремі статті наукового дослідження (Мороз, 2016, с. 16; Величко та інші, 2013, с. 54; Габ, Шахнін, Малишев, 2020, с. 13). Останнім часом спостерігається активне впровадження (особливо за кордоном) курсів за вибором із зазначеної тематики. На важливість цього питання, а також необхідність nanoосвіти для кожної особи вказується в наукових роботах Y. Feldman-Maggor, I. Tuvi-Arad, R. Blonder (2022); I. Malsch (2014); A. Mandricas, E. Mishailidi, D. Stavrou (2020); Л. Липової, М. Войцехівського, В. Малишева (2012). Процес упровадження курсів за вибором з нанотехнологічної тематики триває і в Україні.

Новий закон України «Про освіту» передбачає формування в учнів ключових компетентностей для успішної самореалізації майбутніх випускників. Крім обов’язкових навчальних предметів, навчальна програма, розроблена закладом освіти, має передбачати освітні компоненти вільного вибору здобувачів освіти. «Нанотехнології в хімії» як курс за вибором дозволить реалізувати підвищення рівня природничої освіти в Україні та сприятиме вибору природничих спеціальностей при вступі до закладів вищої освіти. Важливе місце нанотехнологічної освіти в Новій українській школі підкреслено в роботі Ю. Ткаченко, І. Мороза, (2017, с. 193). При цьому навчання «Нанотехнологій у хімії» повинне здійснюватися на компетентнісній основі і передбачати формування в учнів ключових і предметної компетентностей.

Завданнями курсів за вибором є також вдосконалення математичної, екологічної, інформаційно-комунікаційної компетентностей і компетентності в галузі природничих наук, техніки та технологій, а також удосконалення підготовки старшокласників до складання ДПА і ЗНО з природничих дисциплін.

**Метою статті** є формулювання методологічних ідей, завдань та формування змісту курсів за вибором з нанотехнології в хімії в профільній школі.

## МЕТОДОЛОГІЯ

Для досягнення мети дослідження використовували:

- комплекс *теоретичних методів*: аналіз, синтез, порівняння, узагальнення та конкретизація для визначення стану проблеми запровадження курсів за вибором щодо використання нанотехнологій в хімії, підвищення кваліфікації вчителів закладів загальної середньої освіти, методологічних ідей, завдань та формування змісту курсів;
- *емпіричні методи*: вивчення нормативно-правової бази щодо запровадження курсів за вибором у загальну середню освіту України та спостереження за перебігом навчання в закладах загальної середньої освіти й оцінка можливостей щодо покращення якості викладання й подання матеріалу для здобувачів освіти;
- *переклад* автентичної літератури;
- *опис фактичної інформації* з метою аналітичної інтерпретації та вивчення конкретних фактів і явищ.

Для вивчення досвіду розвинених країн у галузі сучасних нанотехнологій та виявлення проблем їхнього розвитку в Україні використовували метод логічного узагальнення та діалектичний метод. Формулювання висновків та надання пропозицій здійснювали за абстрактно-логічним методом. Джерельну базу дослідження становлять офіційні документи, статистичні дані й публікації, а також матеріали з питань загальної середньої освіти в Україні та за кордоном.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

**Підвищення кваліфікації вчителів загальноосвітніх природничих дисциплін – необхідний крок для впровадження курсів за вибором.** Сучасний розвиток науково-технічного прогресу, виробництва та освіти виявив дві характерні обставини:

- необхідність отримання принципово нових матеріалів, виробів та приладів;
- необхідність ліквідації освітніх розривів у фундаментальних та прикладних знаннях про матерію.

Виникнення цих двох обставин зумовило підвищення зацікавленості до наноматеріалів і нанотехнологій.

У зв'язку з цим виникає необхідність:

- орієнтувати учнів на вивчення основ нанотехнологій;
- вдосконалювати якість навчання в даній галузі не тільки у вищій професійній школі, але й у системі загальної середньої освіти;
- здійснити перепідготовку та підвищення кваліфікації педагогічних працівників.

Загальна освіта повинна завершуватись отриманням теоретичних знань і практичних навичок, які дозволять випускникам у подальшому ефективно інтегруватися в систему професійного навчання. У зв'язку з цим виникає потреба внесення змін до змісту підвищення кваліфікації педагогів.

Насамперед для виявлення спеціальних професійних компетентностей, які мають значення в діяльності педагога, необхідно провести теоретичне дослідження щодо його готовності до наступних дій:

- постійного професійного зростання, набуття нових знань у галузі основ нанотехнологій;
- самостійного та ефективного розв'язання освітніх проблем у галузі навчання школярів основам нанотехнологій;
- інформування учнів щодо заходів у галузі нанотехнологій, популяризації та формування позитивної мотивації навчання основам нанотехнологій.

Аналіз психолого-методичної літератури щодо побудови та реалізації програм підвищення кваліфікації (Feldman-Maggor, Tuví-Arad, Blonder, 2022; Spyrtou, Manou, Peikos, 2021; Величко, 2017; Sgouros, Stavrou, 2019) дає змогу визначити основні характеристики послідовності методичної підготовки – формування спеціальних професійних компетенцій педагогів. До змісту методичної підготовки вчителів у галузі основ нанотехнологій необхідно закласти наступні ідеї: гуманізації, інтелектуалізації, гуманітаризації, фундаментальності та комплексності навчання. В основу процесу методичної підготовки вчителя до роботи у сфері основ нанотехнологій покладено принципи: безперервності професійної освіти, наступності, поетапності, фундаменталізації та індивідуалізації.

При створенні робочої програми необхідно виходити з того, що зміст методичної підготовки вчителів до навчання основ нанотехнології повинен спиратися на обсяг спеціальних і предметних знань, окремі складники яких потребують уточнення. До змісту робочої програми підвищення кваліфікації мають бути включені загальні питання щодо основ одержання наноматеріалів та використання нанотехнологій. Методична підготовка спеціальних знань потребує формування завдань відбору відповідного контенту в предметних галузях за наступними напрямками: нанофізика, нанобіологія, нанохімія. Практичні рекомендації щодо створення робочих програм, їх змісту, включення питань основ нанотехнологій містяться в роботах М. Mallmann (2008, р. 71); L. Kampschulte et al. (2018, р. 19); L. Vanasura et al. (2006, р. 1); M. Camacho-Elizondo et al. (2022, р. 40).

*Зміст теоретичної частини* навчального матеріалу в структурі методичної підготовки з нанофізики включає:

- атомарну будову речовини;
- елементи квантової фізики;
- фізичні принципи синтезу нанорозмірних об'єктів;
- способи візуалізації в наносвіті;
- методи дослідження властивостей нанооб'єктів;
- принципи конструювання наноприладів.

*В галузі нанобіології:*

- біологічні системи, використовувані в нанобіології;
- матричні біосинтези в клітині та в безклітинних системах як один із способів виробництва біологічних наноструктур;
- нанобіотехнології на основі ДНК;
- генетична інженерія;
- нанобіотехнології надмолекулярного рівня організації живих систем;
- наноконструювання біологічних розпізнавальних систем;
- нанобіомолекулярна електроніка;
- використання досягнень нанобіотехнології в медицині;
- нанотехнології та екологія.

*В галузі нанохімії:*

- структурні рівні організації речовини;
- початкові поняття про нанохімію;
- історія нанохімії;
- отримання та властивості кластерів;
- багатоманіття алотропних форм Карбону;
- фулерени, фулерити і споріднені структури;
- нанотрубки і споріднені структури;
- поняття про супрамолекулярну хімію;
- молекулярні та ДНК-комп'ютери.

Розроблена програма підвищення кваліфікації вчителів у загальному буде спрямована на подальше підвищення професіоналізму педагога. Головною метою підготовки вчителів до навчання школярів основ нанотехнології є досягнення освітнього результату – формування в педагогів спеціальних професійних компетентностей. З цих позицій для оцінки досягнутого рівня професіоналізму як сумарного показника сформованості спеціальних професійних компетентностей необхідно виокремлювати наступні складники: науково-технічний, предметно-освітній та інформаційно-технологічний.

**Курси за вибором у закладах загальної середньої освіти: мета, зміст, побудова, функції.** Курси за вибором є профільним доповненням для поглиблення можливостей засвоєння навчального матеріалу, розширення межі профільних предметів та розвитку, доповнення й інтеграції їх змісту. Вони передбачають вивчення учнями старших класів тем або розділів науки, які їх цікавлять, на вищому якісному рівні. При цьому курси за вибором виконують три основні функції:

- насичення профільного курсу додатковим змістом для поглиблення знань з основних предметів;
- модернізація змісту базових навчальних предметів та сприяння вивченню суміжних предметів на профільному рівні;
- набуття додаткової освіти для участі в зовнішньому незалежному оцінюванні з обраного предмету на належному рівні.

Основна функція курсів за вибором у 9 класі – професійна орієнтація, яка передбачає орієнтацію на профіль навчання та певну сферу діяльності, і, можливо, подальший вибір майбутньої професії. При цьому пробні й орієнтовні курси за вибором не повторюють програм з предметів, а надають їм нового змісту. Ці курси також допоможуть учням реально оцінити рівень своїх знань та наявний потенціал для подальшої освітньої перспективи.

В 10–11 класах метою курсів за вибором є засвоєння обраного предмету на підвищеному рівні з орієнтацією на певний профіль або професію.

Курси за вибором, як правило, носять авторський характер. При їх створенні рекомендуємо брати за основу алгоритми розробки цих курсів, описані в науковій літературі (Лукашенко та інші, 2019; Mohammad et al., 2012; Bauer, 2021; Jackman et al., 2016; Porter, Yotil, 2009; Ernst, 2009; Липова, Войцехівський, Малишев, 2013; Мороз, 2016; Величко та інші, 2013). Їхня імплементація важлива для вдосконалення шкільної освіти й надання можливості впровадження та експериментальної перевірки змісту й методів навчання, варіювання обсягу та складності навчального матеріалу.

**Зміст та методологічні ідеї курсу за вибором «Нанотехнології в хімії».** Курси за вибором повинні базуватися на знаннях учнів, які вони отримали під час вивчення хімії, фізики, біології, математики в загальноосвітній школі. Найбільш значимими елементами шкільної програми з хімії для впровадження курсів за вибором є сформовані в учнів уявлення про атом та його будову, види хімічного зв'язку, закономірності перебігу хімічних реакцій, благородні гази та метали, сполуки елементів підгрупи Карбону, природні та синтетичні полімери.

Змісту курсу за вибором «Нанотехнології в хімії» притаманний загальноосвітній та розвивальний характер. Цей курс включає в себе низку методологічних ідей, спрямованих на формування таких навичок: активізація, структурування та розвиток мисленнєвої діяльності учнів; міждисциплінарний характер різних галузей знань; формування загальних навчальних умінь та способів дій. При цьому в якості методологічних ідей виступають такі:

- рівнева організація матерії – додавання до традиційних рівнів організації матерії (мікрорівень – рівень атомів і молекул і макрорівень – рівень речовини) нанорівня – нового рівня, що займає граничне положення та забезпечує унікальні властивості наночастинок і нанокластерів;
- ефекти межового стану – розташування рівня наночастинок та нанокластерів на межі між макро- та мікросвітом дає змогу досягти унікальних межових фізичних, хімічних, біологічних властивостей;

- перехід кількісних змін у якісні – демонстрація суттєвої зміни властивостей нанокластерів і наночастинок при незначній зміні числа атомів, що входять до їх складу;
- можливості самоорганізації відкритих систем – відкриті системи (до яких належать і біологічні об'єкти) мають змогу обмінюватися з навколишнім середовищем речовиною, енергією, знанням, набувають можливості для самоорганізації та впорядкування;
- можливості вирішення одного завдання різноманітними способами (завдання одне – стратегій безліч);
- можливості отримання величезної кількості матеріалів з різними властивостями, виходячи з різноманіття структурних матеріалів та способів їх укладання;
- відмінності властивостей структурних елементів – різна локалізація: на поверхні матеріалу або в його глибших шарах (різна локалізація – різні властивості);
- небезпеки нових технологій – наявність негативних моментів, пов'язаних з небезпекою для людей, спричиненою травматизмом, захворюваннями, та шкодою довкіллю (нові технології – нові небезпеки).

**Мета, завдання та вимоги до рівня засвоєння курсу «Нанотехнології в хімії».** Метою впровадження курсу «Нанотехнології в хімії» є:

- ознайомлення учнів з новою галуззю знань – нанотехнологією і, зокрема, нанохімією;
- визначення учнями їхніх схильностей та інтересів до цієї галузі знання;
- формування думки в учнів про фундаментальність природничих наук;
- розуміння учнями взаємозв'язку природничих наук між собою;
- використання учнями отриманих знань на практиці;
- допомога учневі з визначенням подальшої освітньої траєкторії та майбутньої професії на основі своїх інтелектуальних і творчих здібностей.

*Завданнями* курсу «Нанотехнології в хімії» є:

- сформулювати поняття про нанотехнологію та нанохімію;
- довести міждисциплінарний характер нанохімії;
- підтвердити важливість перспектив нанохімії для задоволення потреб людства;
- обґрунтувати фундаментальні принципи нанохімії;
- ознайомити учнів з основними методами досліджень у нанохімії та застосуванням її основних досягнень;
- інформувати учнів про різні напрямки наноматеріалознавства (нанопорошки, напівпровідникові пристрої, вуглецеві матеріали (нанотрубки, фулерени), високоміцні нанокристалічні та аморфні матеріали, негорючі нанокомпозити на полімерній основі) та нафтохімії; паливні елементи; електричні акумулятори та інші перетворювачі енергії; пристрої для зберігання енергії; полімерні матеріали;
- ознайомити учнів з нанотехнологічними процесами, які використовують провідні фірми та підприємства, та їх перспективами в майбутньому;
- довести можливість використання методів нанотехнології для функціонування живої матерії (фармацевтика, цільова доставка ліків та протеїнів, біополімери та загоєння біологічних тканин, клінічна та медична діагностика, створення штучних м'язів, кісток, імплантація живих органів, реєстрація та ідентифікація канцерогенних тканин для трансплантації, лікарські препарати);
- сформулювати в учнів навички науково-дослідницької діяльності;



- довести взаємопов'язаність та взаємозумовленість природничих і технічних наук, синергетики їх інтеграції в нанотехнологіях.

На основі знань шкільної програми з природничих дисциплін для засвоєння курсу «Нанотехнології в хімії» учень повинен *мати уявлення* про:

- фундаментальну єдність природничих наук, незавершеність природознавства та можливості його подальшого розвитку;
- співвідношення порядку та безладу в природі, упорядкованість будови об'єктів, переходи з упорядкованого до неупорядкованого стану і навпаки;
- будову атома, хімічний зв'язок та будову речовини;
- хімічні реакції та найважливіші органічні й неорганічні сполуки;
- можливість використання основних досягнень фізики, хімії та біології для реалізації потреб людства.

У результаті засвоєння курсу «Нанотехнології в хімії» учень повинен *знати*:

- основи нанотехнології та нанохімії;
- основні принципи нанохімії та методи її дослідження;
- основні досягнення нанохімії;
- унікальні властивості наноматеріалів, їх застосування та перспективи розвитку нанохімії;
- про роль нанохімії у вирішенні загальнолюдських проблем (екологічних, медичних, технологічних тощо).

Разом з отриманими знаннями, вимогами для засвоєння курсу є набуття певних *умінь*, а саме:

- виконання творчих завдань для самостійного здобуття та застосування знань, тестових завдань, розгадування кросвордів, написання рефератів та наукових проєктів;
- участь у дискусіях, круглих столах, мозкових штурмах, відстоювання своєї точки зору;
- вміння готувати презентації та робити доповіді, брати участь у тематичних конференціях;
- вміння користуватися навчальною, науковою та довідковою літературою;
- здобуття навичок науково-дослідної роботи, виконання пошуку та узагальнення.

Протягом останнього часу активно обговорюють питання вилучення з навчальної програми 10–11 класів таких предметів, як географія, астрономія, алгебра, геометрія, фізика, хімія та біологія. Натомість планують запровадження нової дисципліни «Людина і природа». На думку авторів нововведення, цей предмет має поєднати в собі незначний обсяг навчального матеріалу з кожного із вищевказаних предметів. Мається на увазі, що на таких заняттях учні будуть отримувати комплексні знання, оскільки розглядатимуть одне й те саме питання з різних точок зору. Але є й інша позиція. В Україні бракує фахівців природничого напрямку в закладах загальної середньої освіти, сьогодні далеко не в усіх школах викладають на належному рівні дисципліни цього напрямку. Причинами такої ситуації є насамперед брак компетентних науково-педагогічних працівників і необхідного фінансування. Мабуть, нелегко буде знайти спеціалістів, які будуть компетентними одночасно і в географії, й у фізиці, і в хімії, і в алгебрі та геометрії, і в біології, не кажучи вже про астрономію. Учні 10–11 класів є випускниками й у подальшому обиратимуть певну професію та вступатимуть до закладів професійної (професійно-технічної) освіти, фахової передвищої освіти, вищої освіти. Без дисциплін природничого напрямку заклади

загальної середньої освіти будуть позбавлені належної профільної підготовки із зазначених вище дисциплін у випускних класах. Упровадження в навчальні плани закладів загальної середньої освіти нового предмету «Людина та природа» замість класичних шкільних дисциплін може мати альтернативу у вигляді курсів за вибором, зокрема «Нанотехнології в хімії».

**Очікувані результати навчання, теми досліджень та зміст курсу «Нанотехнології в хімії».** Курс за вибором «Нанотехнології в хімії» призначений для учнів закладів загальної середньої освіти. Тому при його реалізації слід звернути увагу на наступне:

- адаптування навчального матеріалу відповідно до рівня підготовки учнів;
- оптимальну інформаційну насиченість матеріалу сучасними досягненнями нанонауки та наноінженерії;
- максимальну орієнтацію набутих знань та навичок на практичне застосування;
- вважати критеріями ефективності вивчення курсу розвиток інтересу до предмета й усвідомлений вибір подальшої освітньої траєкторії.

Для оцінки виконання програми курсу можна запропонувати такі критерії:

- знання основ нанохімії та нанотехнології, їх використання в різних галузях промисловості та науково-дослідної діяльності;
- вміння відбирати, вивчати та систематизувати інформацію, отриману з наукової літератури та інших джерел (оцінюється інформація при поданні доповідей, рефератів та презентацій);
- виконання проєктної роботи.

У процесі засвоєння курсу за вибором «Нанотехнології в хімії» та учні виконують наукові дослідження, готують реферати та мультимедійні презентації, тематика яких пов'язана з використанням нанотехнологій у різних галузях промисловості, медицини, сільського господарства, військової техніки, біології, екології, кібернетики, безпекою та етичними проблемами розвитку нанотехнологій, використанням нанокаталізаторів, нанокластерів, нанолазерів, нанотрубок, полімерних нанокompatитів тощо. Для розвитку цього напрямку будуть корисними екскурсії учнів до інститутів Національної академії наук України, на сучасні фірми та підприємства.

Курс за вибором складається з інваріантної (обов'язкової) та варіативної (теми даються за вибором) частин. Перша включає в себе 2 теми.

1. Основні об'єкти та поняття нанотехнології. Нанохімія.
2. Об'єкти нанохімії та унікальні властивості наночастинок.

Друга частина містить 7 тем.

1. Наноматеріали та перспективи їх застосування.
2. Отримання наночастинок.
3. Особлива роль вуглецю в наносвіті.
4. Медична та екологічна нанохімія.
5. Нанохімія та нанобіотехнологія.
6. Нанохімія у завданнях.
7. Захист проєктів.

Будь-які нові технології та нові досягнення науки поряд із поліпшенням життя людей створюють нові проблеми та небезпеки. Розвиток нанотехнологій призводить до низки соціальних проблем. Може посилитися соціальна нерівність, особливо на перших стадіях упровадження досягнень нанотехнологій. Наприклад, у медицині, коли вартість нових ліків і методів лікування буде досить високою для більшості верств населення. Значне зростання тривалості життя за рахунок наномедицини може викликати необхідність перегляду пенсійного законодавства. Доступність нанопріладів для

перехоплення інформації може створити проблеми для комерційних та військових організацій і громадян. Використання нанотехнологій з військовою метою потребуватиме нових форм міжнародного контролю за озброєнням та антитерористичного контролю. Розвиток нанотехнологій може суттєво змінити баланс сил між державами в економіці або політиці. Доведеться розв'язувати низку освітніх проблем, зокрема щодо надання сучасних знань у галузі природничих наук та їх практичного застосування. Але неминучість впровадження нанотехнологій у людську діяльність, безумовно, знижує вагомість цих проблем.

**Орієнтовний зміст курсу «Нанотехнології в хімії».** Пропонуємо орієнтовний зміст курсу «Нанотехнології в хімії» за темами.

*Основні об'єкти та поняття нанотехнології.*

Нанохімія. Загальне поняття про нанотехнологію та нанохімію. Об'єкти нанометрових розмірів, закони квантової механіки та класичної фізики, шкала розмірів об'єктів наносвіту, наносистеми, кластери, наноматеріали, наночастинки, характеристика нанооб'єктів за розмірною ознакою. Прикладна нанохімія, теоретична нанохімія, експериментальна нанохімія, перспективи розвитку нанотехнології та нанонауки: завдання короткострокових, середньострокових та довгострокових проєктів.

Об'єкти нанохімії та унікальні властивості наночастинок.

Наносистеми. Класифікація об'єктів нанохімії: наночастинки з атомів інертних газів, наночастинки металів, нанотрубки, фулерени, йонні кластери, фрактальні кластери, молекулярні кластери. Приклади унікальних властивостей деяких наночастинок: срібла, цинк оксиду, кремній діоксиду. Хімічні нанореактори: лужні та лужноземельні метали, перехідні елементи, елементи 8-ї групи, підгрупа Купруму та Цинку, підгрупа Бору.

*Наноматеріали та перспективи їх застосування.*

Чинники, що визначають унікальні властивості наноматеріалів. Унікальні властивості наноматеріалів. Нанопорошки. Аморфний стан. Аморфно-нанокристалічний стан. Нанопористий вуглець. Полімерні нанокompозити. Нанокompозити із сітчастою структурою. Шаруваті нанокompозити. Нанокompозити, що містять метал чи напівпровідник. Молекулярні нанокompозити. «Розумні» наноматеріали. Біоміметичні наноматеріали (біоміметики). Феромагнітна рідина.

*Отримання наночастинок.*

Диспергаційні та конденсаційні методи. Стабілізатор наночастинок. Магічні числа. Електровибуховий метод отримання наночастинок. Консервація наночастинок. Хімічний синтез наносистем. Особливості хімічних властивостей наночастинок та нанокластерів. Хімічне відновлення для отримання наночастинок металів у рідкій фазі. Реакції у дендримерах. Радіаційно-хімічне відновлення. Фотохімічний синтез «золь-гель» метод. Методи одержання наночастинок металу.

*Особлива роль вуглецю в наносвіті.*

Фулерени. Молекули фулеренів C<sub>60</sub> та C<sub>70</sub>. Галогенування фулеренів. Властивості хлорпохідних фулеренів. Оксиди фулерену. Фулерени з укоріненими частинками металів. Фулерити та їх властивості. Вуглецеві нанотрубки, графен, отримання вуглецевих наноструктур, електродугове розпорошення графіту, лазерне випаровування графіту, метод хімічного осадження з пари (каталітичне розкладання вуглеводнів), радіочастотне плазмохімічне осадження з газової фази.

*Медична та екологічна нанохімія.*

Квантові точки та їхня роль у діагностиці. Сенсори гідроген пероксиду. Сенсори рН. Експрес-аналізатори. Роль нанокапсул та наносфер у терапії раку, гепатиту, ВІЛ.

Біологічна засвоюваність. Кріохімічні технології в наномедицині. Наночастинки благородних металів. Нанокристалічні оксиди. Нанотехнології у боротьбі з онкологічними захворюваннями. Фільтрувальні мембрани, нанорушники тощо. Створення наночастинок у біологічних тканинах, одношарові вуглецеві нанотрубки з адсорбованими антитілами. Імунонаносфери для вибіркової фототермічної терапії та наносфери для комбінованої терапії раку та виявлення пухлин. Лікування раку грудей за допомогою комбінації люліберину, цитотоксичного білка та наночастинок ферум оксиду. Пухлино-орієнтовані системи доставки. Лікування ракових метастазів, фулеренові нанокуюльки в терапії раку. Нанохімічні технології та охорона навколишнього середовища.

#### *Нанохімія та нанобіотехнологія.*

Напрями розвитку нанобіотехнології. «Сухі» та «мокрі» нанотехнології. Отримання штучних наноструктур на основі біомолекул. Наномотор із небіологічними елементами. Генна інженерія. Рекombінантна ДНК. Метод уведення біоматеріалів у живі клітини. Моделювання наноструктур із використанням молекул нуклеїнових кислот.

**Проектна діяльність як метод підвищення зацікавленості та цілісного вивчення шкільних предметів.** За визначенням Buck Institute for Education, проектне навчання – це метод, навчаючись за яким, учні, певний час досліджуючи і реагуючи на справжні, цікаві та складні питання, отримують потрібні знання та навички. Проектне навчання дедалі більше набирає обертів, оскільки є дуже ефективним і актуальним підходом до викладання та навчання. Слід відмітити, що після його успішного впровадження в закладах загальної середньої освіти в учнів покращується мотивація до навчання та підвищується рівень досягнень. Також така форма роботи допомагає реалізувати частково програму ранньої профорієнтації учнів, аби в майбутньому випускники свідомо обирали професію і навчальний заклад.

Перевагами проектного навчання в курсі за вибором «Нанотехнології в хімії» для учнів закладів загальної середньої освіти можуть бути:

- перетворення традиційної аудиторії на відкритий навчальний простір хімічного спрямування, в якому учні рухаються у власному темпі;
- потреба в самонавчанні та самовдосконаленні в хімічній освіті, що виникає у процесі виконання проекту;
- перехід навчання на основі запам'ятовування та повторення хімічних знань до інтеграції, відкриття та презентації набутих знань;
- можливість для учнів проходження всіх етапів хімічних виробництв – від ідеї, створення моделі майбутнього продукту до його реалізації.

В якості тем реальних навчальних проектів, об'єднаних єдиною тематикою «Хімія та прогрес людства», можна запропонувати такі:

- роль хімії у створенні нових матеріалів, розвитку нових напрямів технологій;
- роль хімії в розв'язанні проблеми охорони здоров'я;
- роль хімії в розв'язанні продовольчої проблеми;
- роль хімії в розв'язанні сировинної проблеми;
- роль хімії в розв'язанні енергетичної проблеми;
- роль хімії в розв'язанні екологічної проблеми;
- «зелена хімія»: сучасні завдання перед хімічною наукою та хімічною технологією.

У рамках курсу за вибором «Нанотехнології в хімії» учням можна запропонувати такі види навчальних проектів: дослідницький, інформаційний, творчий проект,

рольовий (ігровий) та практично орієнтований. За предметно-змістовими ознаками можна використовувати монопроекти (у рамках однієї галузі знань хімії) та міжпредметні проекти (на межі хімії з іншими галузями знань); за кількістю учасників – індивідуальний, парний, груповий, колективний, масовий; за тривалістю в часі – міні-проект (на 1 урок), короткотерміновий (до 1 місяця), довгостроковий (семестр, навчальний рік).

Обов'язковими вимогами до проектів у курсі за вибором «Нанотехнології в хімії» є:

- наявність освітньої проблеми, пов'язаної з галуззю хімії та відповідної до навчальних запитів і життєвих потреб учнів;
- дослідницький характер пошуку шляхів вирішення хімічних завдань і проблем;
- планування та структурування діяльності відповідно до класичних етапів проектування;
- моделювання умов для виявлення учнями навчальної проблеми;
- самодіяльний характер творчої діяльності учнів;
- практичне або теоретичне значення результату діяльності для хімічної науки та можливість до впровадження;
- педагогічна цінність діяльності (які нові знання та навички в галузі хімії здобули учні в процесі виконання проекту).
- самоаналіз успішності та результативності вирішення проблеми проекту).

На нашу думку, метод проектів підсилює та заохочує щире прагнення учнів до навчання, а отже, на практиці є надзвичайно ефективним. Проектування завжди є особистісно орієнтованим та дає змогу вчитися на власному досвіді й досвіді інших учасників у конкретній справі.

**Ресурсне забезпечення курсу «Нанотехнології в хімії».** В якості ресурсного забезпечення курсу «Нанотехнології в хімії» можна запропонувати таку *навчально-методичну літературу*:

1. Азаренков М. О., Неклюдов І. Н., Береснев В. М. та інші. Наноматеріали і нанотехнології. Харків: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2014. 323 с.
2. Андрощук Г. О., Ямчук А. В., Березняк Н. В., Кваша Т. К. Нанотехнології у XXI столітті: стратегічні пріоритети та ринкові підходи до впровадження. Київ: УкрІНТЕІ, 2011. 211 с.
3. Афганділянс Є. П., Зазимко О. В., Лопатько К. Г. Наноматеріалознавство. Херсон: Олді-плюс, 2015. 550 с.
4. Боровий М. О., Куницький Ю. А., Каленик О. О., Овсієнко І. В., Цареградська Т. Л. Наноматеріали, нанотехнології, нанопристрої: навчальний посібник. Київ: «Інтерсервіс», 2015. 350 с.
5. Габ А. І., Шахнін Д. Б., Малишев В. В. Наноматеріали: класифікація, технології одержання, особливі властивості, основні методи досліджень та напрями застосування. Навчальний посібник. Київ: Університет «Україна», 2020. 236 с.
6. Донцова Т. А., Літинська М. І., Феденко Ю. М. Нанохімія і наноматеріали: підручник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 107 с.
7. Завражна О. М., Пасько О. О., Салтикова А. І. Основи нанотехнологій. Суми: СумДПУ ім. А.С.Макаренка, 2016. 184 с.
8. Кондир А. І. Наноматеріалознавство і нанотехнології. Львів: Львівська політехніка, 2016. 452 с.

9. Косенко В. А., Кадомський С. В., Малишев В. В. Наноматеріали та нанотехнології. Їх використання у харчовому виробництві. Навчальний посібник Київ: Університет «Україна», 2017. 327 с.
10. Косенко В. А., Малишев В. В. Наноматеріали та нанотехнології в автомобілебудуванні. Навчальний посібник. Київ: Наукова столиця, 2020. 313с.
11. Куцала В. З., Котова Т. В., Аюпова Т. А. Наноматеріали та нанотехнології. Навчальний посібник. У 2 частинах. Дніпропетровськ: НМетАУ, 2013. 103 с.
12. Malyshev V. V., Kushchevska N. F., Bruskovala D.-M. Ia, Ozhema I. S., Varna N. V. Professional English: Education and Ecology, Bio- and Nanotechnologies. Kyiv: University «Ukraine», 2016. 244 p.
13. Малишев В. В., Куцевська Н. Ф., Папроцька О. А., Терещенко О. Я. Наноматеріали та нанотехнології. Навчальний посібник. Київ: Університет «Україна», 2018. 140 с.
14. Мороз І. О. Нанотехнології в освітній галузі: монографія. Суми: СумДПУ ім. А.С.Макаренка, 2016. 244 с.
15. Пилипчук Л. Л., Близнюк В. М. Наноматеріали в хімії та фармації. Херсон: Олді-плюс, 2020. 168 с.
16. Пономаренко В. С., Назаров Ю. Ф., Свідерський В. П., Ібрагімов І. М. Нанотехнологія та її інноваційний розвиток: монографія. Харків: ІНЖЕК, 2008. 280 с.
17. Проценко І. Ю., Шумакова Н. І. Наноматеріали і нанотехнології в електроніці: підручник. Суми: Сумський державний університет, 2017. 155 с.
18. Ткач О. П. Наноматеріали і нанотехнології в приладобудуванні. Суми: Сумський державний університет, 2014. 129 с.
19. Ткаченко Ю. А. Дивовижний світ нанотехнологій. Суми: СумДПУ ім. А.С.Макаренка, 2016. 111 с.
20. Хорошилова Т. І., Хромишев В. О., Рябов С. В., Хромишева О. О. Нанохімія. Мелітополь: МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2014. 206 с.

*Інтернет ресурси:*

1. Nanotechnology Industries. <https://www.nanoindustries.com>
2. Physics World. <https://www.physicsworld.com/>
3. Nature. <https://www.nature.com>
4. Nanowerk. <https://www.nanowerk.com/>
5. Nano Magazine. <https://nano-magazine.com/>
6. Nanotechnology now. <https://www.nanotech-now.com/>
7. Nanotech Magazine <https://www.nanotechmag.com/>
8. Journal of Nanobiotechnology. <https://jnanobiotechnology.biomedcentral.com/>
9. Phys.org. Nanotechnology news. <https://phys.org/nanotech-news/>
10. Beilstein Journal of Nanotechnology. <https://www.beilstein-journals.org/bjnano/>
11. The International NanoScience Community – Nanopaprika. <https://www.nanopaprika.eu/>

*Національні періодичні видання з нанотехнологій:*

1. Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології. URL: <https://www.imp.kiev.ua/nanosys/ua/index.html>
2. Журнал нано- та електронної фізики. URL: <https://jnep.sumdu.edu.ua/uk/>
3. Наноструктурне матеріалознавство. URL: <http://www.materials.kiev.ua/science2.0/publications/edition.jsp?id=2>

## ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Для ліквідації відставання освітнього та технологічного рівнів у галузі нанотехнологій доцільно впроваджувати курси за вибором з нанотехнологій (зокрема, з нанотехнологій у хімії) в закладах загальної середньої освіти.

2. Необхідно розв'язати проблему нестачі висококваліфікованих учителів у галузі природничих наук та покращення їх професійного рівня шляхом підвищення кваліфікації, зокрема в нанотехнологічній освіті. Враховуючи міждисциплінарний характер нанотехнології, необхідно внести відповідні зміни до програм підготовки вчителів природничих наук.

3. Курси за вибором з нанотехнологій у хімії мають базуватися на знаннях учнів, отриманих під час вивчення природничих наук у закладах загальної середньої освіти. Їх зміст повинен мати загальноосвітній та розвивальний характер.

4. Необхідна подальша розробка методологічних ідей, спрямованих на активізацію, структурування та розвиток мисленнєвої діяльності учнів, міждисциплінарний характер різних галузей знань, формування загальних навчальних умінь та способів дії.

5. Для оцінки виконання програм курсів потрібне постійне вдосконалення критеріїв оцінки засвоєння знань і можливостей їх використання в різних галузях промисловості та науково-дослідної діяльності, уміння користуватися науковою літературою та виконувати проектну роботу. Передбачити різну спрямованість та складність навчальних проєктів, залежно від рівня підготовки учнів, від навчально-дослідних до науково-дослідних.

### Список використаних джерел

1. Андрощук Г. О., Ямчук А. В., Березняк Н. В., Кваша Т. К., Мусіна Л. А., Новицька Г. В. Нанотехнології у XXI столітті: стратегічні пріоритети та ринкові підходи до впровадження: монографія. Київ: УкрІНТЕІ, 2011. 272 с.
2. Величко Л. П., Буринська Н. М., Вороненко Т. І., Лашевська Г. А., Титаренко Н. В. Навчання хімії у старшій школі на академічному рівні. Київ: Педагогічна думка, 2013. 248 с.
3. Величко С. П., Мороз І. О., Стадник О. Д. Створення освітніх нанокластерів для забезпечення вивчення нанотехнологій в школах та ВНЗ. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і техногенної освіти*. 2017. Вип. 8 (III). С. 91–97.
4. Габ А. І., Шахнін Д. Б., Малишев В. В. Наноматеріали: класифікація, технології одержання, особливі властивості, основні методи досліджень та напрями застосування: Навчальний посібник. Київ: Університет «Україна», 2020. 236 с.
5. Липова Л., Войцехівський М., Малишев В. Основні принципи формування фундаментальних знань учнів старшої школи. *Післядипломна освіта в Україні*. 2012. № 1. С. 17–20.
6. Липова Л., Войцехівський М., Малишев В. Фундаментальність знань – основний чинник професійного іміджу педагога. *Післядипломна освіта в Україні*. 2013. № 1. С. 63–67.
7. Лукашенко Т., Шахнін Д., Липова Л., Кучерявий І., Габ А., Малишев В. Профільне навчання: теорія та практика, досвід, проблеми, перспективи. Київ: Університет «Україна», 2019. 292 с.
8. Мороз І. О. Нанотехнології в освітній галузі: монографія. Суми: СумДПУ ім. А. С. Макаренка, 2016. 244 с.
9. Ткаченко Ю. А., Мороз І. О. Компетентнісний підхід до викладання основ нанотехнологій. *Вісник Чернігівського національного педагогічного університету ім. Т. Г. Шевченка*. 2017. Вип. 146. С. 192–195.
10. Avila-Robinson A., Miyazaki K. Assessing nanotechnology potentials: interplay between the paths of knowledge evolution and the patterns of competence building. *International Journal of Technology Intelligence and Planning*. 2014. Vol. 10. № 1. P. 1–28. DOI: <https://doi.org/10.1504/IJTIP.2014.066709>
11. Bauer J. Teaching of nanotechnology through research proposal. *Journal of Chemical Education*. 2021. Vol. 98. № 7. P. 2347–2385. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c01251>

12. Camacho-Elizondo M., Batista-Menezes D., Mora-Bolaños R., Vega-Baudrit J. R., de Oca-Vásquez G. M. Nanotechnology diffusion strategy: interdisciplinary teaching to primary school teachers. *Uniciencia*. 2022. Vol. 36. № 1. P. 1–13. DOI: <https://doi.org/10.15359/ru.36-1.3>
13. Ernst J. V. Nanotechnology education: contemporary content and approaches. *Journal of Technology Studies*. 2009. Vol. 35. № 1. P. 3–8. DOI: <https://doi.org/10.21061/jots.v35i1.a.1>
14. Feldman-Maggor Y., Tuvi-Arad I., Blonder R. Development and evaluation of an online course on nanotechnology for the professional development of chemistry teachers. *International Journal of Science Education*. 2022. Vol. 44. Iss. 16. P. 2465–2484. DOI: <https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2128930>
15. Jackman J. A., Cho D.-J., Lee J., Chen J. M., Besenbacher F., Bonnell D. A., Hersam M. C., Weiss P. S., Cho N.-J. Nanotechnology education for the global world: training the leaders of tomorrow. *ACS Nano*. 2016. Vol. 10. № 6. P. 5595–5599. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsnano.6b03872>
16. Jean M.-D., Jiang J.-B., Chien J.-Y. Identification and assessment of professional competencies for implementation of nanotechnology in engineering education. *European Journal of Engineering Education*. 2017. Vol. 42. № 6. P. 701–711. DOI: <https://doi.org/10.1080/03043797.2016.1216522>
17. Jones M. G., Blonder R., Gardner G., Albe V., Falvo M., Chevrier J. Nanotechnology and nanoscale science: education challenges. *International Journal of Science Education*. 2013. Vol. 35. № 9. P. 1490–1512. DOI: <https://doi.org/10.1080/09500693.2013.771828>
18. Kampschulte L., Akaygün S., Adadan E., Eilert K., Heyduck B. Interdisciplinary research brought to school – connecting chemistry and biology through nanotechnology. *Journal of Microbiology and Biology Education*. 2018. Vol. 19. № 1. P. 17–23. DOI: <https://doi.org/10.1128/jmbe.v19i1.1400>
19. Lin Y.-L., Yueh H.-P., Chen T.-L., Sheen H.-J. Identifying nanotechnology professional competencies for engineering students using Q methodology. *International Journal of Engineering Education*. 2015. Vol. 31. № 5. P. 1389–1397. URL: [http://www.ijee.ie/latestissues/Vol31-5/20\\_ijee3082ns.pdf](http://www.ijee.ie/latestissues/Vol31-5/20_ijee3082ns.pdf)
20. Mallmann M. Nanotechnology in school. *Science in School*. 2008. Iss. 10. P. 70–75. <https://www.scienceinschool.org/article/2008/nanotechnology/>
21. Malsch I. Nanoeducation from a European perspective: nano-training for non-R&D jobs. *Nanotechnology Reviews*. 2014. Vol. 3. № 2. P. 211–221. DOI: <https://doi.org/10.1515/ntrev-2013-0039>
22. Mandricas A., Mishailidi E., Stavrou D. Teaching nanotechnology in primary education. *Research in Science and Technological Education*. 2020. Vol. 38. Iss. 4. P. 377–395. DOI: <https://doi.org/10.1080/02635143.2019.1631783>
23. Mohammad A. W., Lau C. H., Zaharim A., Omar M. Z. Elements of nanotechnology education in engineering curriculum worldwide. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2012. Vol. 60. P. 405–412. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.398>
24. Mulvaney P. Nanoscience vs nanotechnology – defining the field. *ACS Nano*. 2015. Vol. 9. № 3. P. 2215–2217. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsnano.5b01418>
25. Nasrollahzadeh M., Sajadi S. M., Issaabadi Z. Chapter 1. An introduction to nanotechnology. *Interface Science and Technology* / ed. by M. Nasrollahzadeh et al. Amsterdam: Elsevier, 2019. Vol. 28. P. 1–27. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813586-0.00001-8>
26. Porter A.-L., Yotil J. How interdisciplinary is nanotechnology? *Journal of Nanoparticle Research*. 2009. Vol. 11. № 5. P. 1023–1041. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11051-009-9607-0>
27. Qiu Zhao Q., Boxman A., Chowdhry U. Nanotechnology in the Chemical Industry – Opportunities and Challenges. *Journal of Nanoparticle Research*. 2003. Vol. 5. P. 567–572. DOI: <https://doi.org/10.1023/B:NANO.0000006151.03088.cb>
28. Sgouros G., Stavrou D. Teachers’ Training in Developing Nanoscience and Nanotechnology Teaching Modules in the Context of a Community of Learners / E. McLoughlin, O. E. Finlayson, S. Erduran, P. E. Childs (Eds.). *Bridging Research and Practice in Science Education. Contributions from Science Education Research*. Vol. 6. Cham: Springer, 2019. P. 339–356. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-17219-0\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-030-17219-0_21)
29. Spyrtou A., Manou L., Peikos G. Educational Significance of Nanoscience-Nanotechnology: Primary School Teachers’ and Students’ Voices after a Training Program. *Education Sciences*. 2021. Vol. 11. № 11. P. 724–747. DOI: <https://doi.org/10.3390/educsci11110724>
30. Vanasupa L., Ritter M., Schader B., Chen K., Savage R., Schwartz P., Slivovsky L. Nanotechnology, Biology, Ethics and Society: Overcoming the Multidisciplinary Teaching Challenges. *MRS Online Proceedings Library*. 2006. Vol. 931. Art. 109. DOI: <https://doi.org/10.1557/PROC-0931-KK01-09>

## References

Androshchuk, H. O., Moroz, I. O., Stadnik, O. D. (2011). *Nanotekhnolohii u XXI stolitti: stratehichni priorytety ta rynkovi pidkhody do vprovadzhennia: monohrafiia [Nanotechnology in the 21st century: strategic priorities and market approaches to implementation: monograph*. UkrINTEI.



- Velichko, L. P., Burinska, N. M., Voronenko, T. I., Lashevskaya, G. A., Titarenko, N. V. (2013). *Navchannia khimii u starshii shkoli na akademichnomu rivni [Studying chemistry in high school at the academic level]*. Pedagogichna dumka.
- Velychko, S., Moroz, I. O., Stadnik, O. D. (2017). Stvorennia osvitchenih nanoklasteriv dlia zabezpechennia vyvchennia nanotekhnologii v shkolakh ta VNZ [Creation of educational nanoclusters to ensure the study of nanotechnology in schools and universities]. *Naukovi zapysky. Seriya: Problemy metodyky fizyko-matematychnoi i tekhnolohnoi osvity*, 8 (III), 91–97.
- Gab, A. I., Shakhnin, D. B., Malyshev, V. V. (2020). *Nanomaterialy: klasyfikatsiia, tekhnolohii oderzhannia, osoblyvi vlastyivosti, osnovni metody doslidzhen ta napriamy zastosuvannia [Nanomaterials: classification, production technologies, special properties, main research methods and areas of application]*. Universytet «Ukraina».
- Lypova, L., Voitsekhivskiy, M., Malyshev, V. (2012). Osnovni pryntsypy formuvannia fundamentalnykh znan uchniv starshoi shkoly [Basic principles of formation of fundamental knowledge of high school students]. *Pisliadyplomna osvita v Ukraini*, 1, 17–20.
- Lypova, L., Voitsekhivskiy, M., Malyshev, V. (2013). Fundamentalnist znan – osnovnyi chynnyk profesiinoho imidzhu pedahoha [The fundamentality of knowledge is the main factor of a teacher's professional image]. *Pisliadyplomna osvita v Ukraini*, 1, 63–67.
- Lukashenko, T., Shakhnin, D., Lypova, L., Kucheryavij, I., Gab, A., Malyshev, V. (2019). *Profilne navchannia: teoriia ta praktyka, dosvid, problemy, perspektyvy [Professional training: theory and practice, experience, problems, prospects]*. Universytet «Ukraina».
- Moroz, I. O. (2016). *Nanotekhnolohii v osvittii haluzi: monohrafiia [Nanotechnology in the field of education: monograph]*. SumDPU im. A.S. Makarenka.
- Tkachenko, Yu. A., Moroz, I. O. (2017). Kompetentnisnyi pidkhid do vykladannia osnov nanotekhnolohii [A competence approach to teaching the basics of nanotechnology]. *Visnyk Chernihivskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu im. T.H. Shevchenka*, 146, 192–195.
- Avila-Robinson, A., Miyazaki, K. (2014). Assessing nanotechnology potentials: interplay between the paths of knowledge evolution and the patterns of competence building. *International Journal of Technology Intelligence and Planning*, 10 (1), 1–28. <https://doi.org/10.1504/IJTIP.2014.066709>
- Bauer, J. (2021). Teaching of nanotechnology through research proposal. *Journal of Chemical Education*, 98 (7), 2347–2385. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c01251>
- Camacho-Elizondo, M., Batista-Menezes, D., Mora-Bolaños, R., Vega-Baudrit, J. R., de Oca-Vásquez, G. M. (2022). Nanotechnology diffusion strategy: interdisciplinary teaching to primary school teachers. *Uniciencia*, 36 (1), 1–13. <https://doi.org/10.15359/ru.36-1.3>
- Ernst, J. V. (2009). Nanotechnology education: contemporary content and approaches. *Journal of Technology Studies*, 35 (1), 3–8. <https://doi.org/10.21061/jots.v35i1.a.1>
- Feldman-Maggor, Y., Tuvi-Arad, I., Blonder, R. (2022). Development and evaluation of an online course on nanotechnology for the professional development of chemistry teachers. *International Journal of Science Education*, 44 (16), 2465–2484. <https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2128930>
- Jackman, J. A., Cho, D.-J., Lee, J., Chen, J. M., Besenbacher, F., Bonnell, D. A., Hersam, M. C., Weiss, P. S., Cho, N.-J. (2016). Nanotechnology education for the global world: training the leaders of tomorrow. *ACS Nano*, 10 (6), 5595–5599. <https://doi.org/10.1021/acs.nano.6b03872>
- Jean, M.-D., Jiang, J.-B., Chien, J.-Y. (2017). Identification and assessment of professional competencies for implementation of nanotechnology in engineering education. *European Journal of Engineering Education*, 42 (6), 701–711. <https://doi.org/10.1080/03043797.2016.1216522>
- Jones, M. G., Blonder, R., Gardner, G., Albe, V., Falvo, M., Chevrier, J. (2013). Nanotechnology and nanoscale science: education challenges. *International Journal of Science Education*, 35 (9), 1490–1512. <https://doi.org/10.1080/09500693.2013.771828>
- Kampschulte, L., Akaygün, S., Adadan, E., Eilert, K., Heyduck, B. (2018). Interdisciplinary research brought to school – connecting chemistry and biology through nanotechnology. *Journal of Microbiology and Biology Education*, 19 (1), 17–23. <https://doi.org/10.1128/jmbe.v19i1.1400>
- Lin, Y.-L., Yueh, H.-P., Chen, T.-L., Sheen, H.-J. (2015). Identifying nanotechnology professional competencies for engineering students using Q methodology. *International Journal of Engineering Education*, 31 (5), 1389–1397. [http://www.ijee.ie/latestissues/Vol31-5/20\\_ijee3082ns.pdf](http://www.ijee.ie/latestissues/Vol31-5/20_ijee3082ns.pdf)
- Mallmann, M. (2008). Nanotechnology in school. *Science in School*, 10, 70–75. <https://www.scienceinschool.org/article/2008/nanotechnology/>
- Malsch, I. (2014). Nanoeducation from a European perspective: nano-training for non-R&D jobs. *Nanotechnology Reviews*, 3 (2), 211–221. <https://doi.org/10.1515/ntrev-2013-0039>

- Mandricas, A., Mishailidi, E., Stavrou, D. (2020). Teaching nanotechnology in primary education. *Research in Science and Technological Education*, 38 (4), 377–395. <https://doi.org/10.1080/02635143.2019.1631783>
- Mohammad, A. W., Lau, C. H., Zaharim, A., Omar, M. Z. (2012). Elements of nanotechnology education in engineering curriculum worldwide. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 60, 405–412. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.398>
- Mulvaney, P. (2015). Nanoscience vs nanotechnology – defining the field. *ACS Nano*, 9 (3), 2215–2217. <https://doi.org/10.1021/acs.nano.5b01418>
- Nasrollahzadeh, M., Sajadi, S. M., Issaabadi, Z. (2019). Chapter 1. An introduction to nanotechnology. In M. Nasrollahzadeh (Ed), *Interface Science and Technology*, 28 (pp. 1–27). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813586-0.00001-8>
- Porter, A.-L., Yotil, J. (2009). How interdisciplinary is nanotechnology? *Journal of Nanoparticle Research*, 11 (5), 1023–1041. <https://doi.org/10.1007/s11051-009-9607-0>
- Qiu Zhao, Q., Boxman, A., Chowdhry, U. (2003). Nanotechnology in the Chemical Industry – Opportunities and Challenges. *Journal of Nanoparticle Research*, 5, 567–572. <https://doi.org/10.1023/B:NANO.0000006151.03088.cb>
- Sgouras, G., Stavrou, D. (2019). Teachers' Training in Developing Nanoscience and Nanotechnology Teaching Modules in the Context of a Community of Learners. In E. McLoughlin, O. E. Finlayson, S. Erduran, P. E. Childs (Eds.), *Bridging Research and Practice in Science Education. Contributions from Science Education Research*, 6 (pp. 339–356). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-17219-0\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-030-17219-0_21)
- Spyrtou, A., Manou, L., Peikos, G. (2021). Educational Significance of Nanoscience-Nanotechnology: Primary School Teachers' and Students' Voices after a Training Program. *Education Sciences*, 11 (11), 724–747. <https://doi.org/10.3390/educsci11110724>
- Vanasupa, L., Ritter, M., Schader, B. Chen, K., Savage, R., Schwartz P., Slivovsky L. (2006). Nanotechnology, Biology, Ethics and Society: Overcoming the Multidisciplinary Teaching Challenges. *MRS Online Proceedings Library*, 931, 109. <https://doi.org/10.1557/PROC-0931-KK01-09>

Стаття надійшла до редакції 17.11.2023

Прийнято до друку 27.12.2023

## NANOTECHNOLOGIES IN CHEMISTRY: INCREASING THE QUALIFICATIONS OF TEACHERS, ELECTIVE COURSES, METHODOLOGICAL IDEAS, ASSIGNMENTS AND CONTENT FORMATION

**Viktor Malyshev**

<https://orcid.org/0000-0003-2756-3236>

Doctor of Engineering, Professor,  
Deputy Director of the Department of Strategic Development  
and International Programs,  
International European University,  
42B Akad. Hlushkov Ave., 03187 Kyiv, Ukraine,  
[viktor.malyshev.igic@gmail.com](mailto:viktor.malyshev.igic@gmail.com)

**Mykhailo Voitsekhivskiy**

<https://orcid.org/0000-0002-1850-0666>

PhD (in Pedagogy), Associate Professor,  
Director of the Institute of In-Service Education,  
Borys Grinchenko Kyiv University,  
22-A P. Tychyny Ave, 02152 Kyiv, Ukraine,  
[m.voitsekhivskiy@kubg.edu.ua](mailto:m.voitsekhivskiy@kubg.edu.ua)

**Angelina Gab**

<https://orcid.org/0000-0003-3162-7159>

PhD (in Chemistry), Associate Professor,  
Leading Specialist of the Department of Strategic Development and International Programs,  
International European University,  
42B Akad. Hlushkov Ave., 03187 Kyiv, Ukraine,  
[lina\\_gab@ukr.net](mailto:lina_gab@ukr.net)

**Tetiana Lukashenko**

<https://orcid.org/0000-0002-8018-5054>

PhD (in Pedagogy), Associate Professor,  
teacher of the Ivan Piddubnyi Olympic College of the National University  
of Physical Education and Sports of Ukraine,  
4 M. Mateyuka Str., 02156 Kyiv, Ukraine,  
[taniainst@gmail.com](mailto:taniainst@gmail.com)

**Valentyn Boichenko**

<https://orcid.org/0009-0006-0981-1119>

Deputy Director of the Institute of In-Service Education,  
Borys Grinchenko Kyiv University,  
22-A P. Tychyny Ave, 02152 Kyiv, Ukraine,  
[v.boychenko@kubg.edu.ua](mailto:v.boychenko@kubg.edu.ua)

*The essential importance of the psychological and professional training of the young generation and the adaptation of society to the tasks and problems of the use of nanotechnology is shown. It was noted that an important way to modernize education is the introduction of a system of specialized training in secondary schools, which involves taking into account the educational needs, inclinations and abilities of students, creating conditions for professional self-determination. Ways of differentiating education are shown. The importance and necessity of improving the qualifications of teachers of general education natural sciences as a necessary step for the introduction of elective courses was noted. Examples of topics related to the methodical training of teachers in the fields of nanophysics, nanochemistry, and nanobiology are given. The content and methodological ideas of the elective course «Modern Nanochemistry» are presented. The purpose, tasks and requirements for the mastery level of this course are highlighted. The results of the course should be the acquisition of knowledge on the basics of nanotechnology and nanochemistry, the main principles and achievements of nanochemistry, methods of its research, unique properties of nanomaterials, their application and prospects for the development of nanochemistry, the role of nanochemistry in solving common human problems. Appropriate criteria are proposed for evaluating the implementation of the course program. Students are expected to conduct scientific research, prepare essays and multimedia presentations. The proposed elective course consists of invariant and variable parts. The approximate content of the course includes seven most important topics. It is envisaged that students will carry out project activities as a method of increasing interest and holistic study of school subjects.*

*Resource support for the course «Modern nanotechnological chemistry» was recommended, which includes recommended educational and methodological literature, Internet resources, and national periodicals on nanotechnology.*

**Keywords:** *chemistry, course content, course tasks, elective courses, methodological idea, nanotechnology, professional development.*