

Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний педагогічний університет  
імені А.С. Макаренка

# **ДИВОВИЖНИЙ СВІТ НАНОТЕХНОЛОГІЙ**

**Елективний курс з фізики для учнів 9 класу**

*Навчальний посібник для вчителів  
та студентів педагогічних університетів*

Ю. А. Ткаченко

Суми  
Вид-во СумДПУ імені А.С. Макаренка  
2016

УДК 372.853:373.5:316.422.44

ББК 74.26

Т48

Рекомендовано до друку вченою радою фізико-математичного факультету Сумського державного педагогічного університету імені А.С. Макаренка (протокол № 5 від 29.12.2016 р.)

**Рецензенти:**

**С. П. Величко**, доктор педагогічних наук, професор кафедри фізики та методики її викладання Кіровоградського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка;

**О. М. Завражна**, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики та методики навчання фізики Сумського державного педагогічного університету імені А.С. Макаренка

**Ткаченко Ю.А.**

Т 48 Дивовижний світ нанотехнологій. Елективний курс з фізики для учнів 9 класу : навчальний посібник / Ю. А. Ткаченко. – Суми : Вид-во СумДПУ імені А. С. Макаренка, 2016. – 111 с.

Навчальний посібник містить початкові відомості про історію виникнення нанотехнологій, аналіз зарубіжного досвіду навчання основ нанонаук та нанотехнологій у загальноосвітніх школах, відомості про інструменти вивчення нанооб'єктів, властивості наноматеріалів, досягнення та перспективи розвитку нанотехнологій, а також рекомендації для вчителів. Для кожного заняття елективного курсу визначені: мета, тип заняття, демонстрації та план викладу нового матеріалу.

Посібник призначений для вчителів фізики загальноосвітньої школи та студентів педагогічних університетів.

УДК 372.853:373.5:316.422.44

ББК 74.26

© Ткаченко Ю.А., 2016

© Вид-во СумДПУ імені А. С. Макаренка, 2016

## ЗМІСТ

1. ІСТОРИЧНІ АСПЕКТИ РОЗВИТКУ НАНТЕХНОЛОГІЙ.....	4
2. АНАЛІЗ ДОСВІДУ ВИВЧЕННЯ ОСНОВ НАНОТЕХНОЛОГІЙ У РОЗВИНЕНИХ КРАЇНАХ .....	13
3. ЕЛЕКТИВНИЙ КУРС З ФІЗИКИ «ДИВОВИЖНИЙ СВІТ НАНОТЕХНОЛОГІЙ».....	36
3.1. Пояснювальна записка.....	36
3.2. Календарно-тематичний план .....	41
3.3. Основні поняття та означення нанонауки і нанотехнологій.....	42
3.4. Методи одержання наноб'єктів.....	51
3.5. Методи дослідження наноматеріалів .....	59
3.6. Наноматеріали.....	69
3.7. Сструктури на основі вуглецю. Фулерени.....	75
3.8. Нанотрубки і нановолокна.....	80
3.9. Графен.....	86
3.10. Нанотехнології у медицині та промисловості.....	91
3.11. Нанопокриття. Каталізатори і фільтри. Нанотехнології у військовій промисловості.....	96
3.12. Узагальнення та систематизація знань учнів про нанотехнології .	102
3.13. Список рекомендованої літератури.....	104
3.14. Орієнтовний перелік обладнання .....	108
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	109

## 1. ІСТОРИЧНІ АСПЕКТИ РОЗВИТКУ НАНТЕХНОЛОГІЙ

Викласти основні хронологічні етапи розвитку нанотехнологій досить складно. По-перше, на сьогоднішній день не існує чіткого визначення поняття «нанотехнології», по-друге, людство експериментувало з елементами нанотехнологій на інтуїтивному рівні задовго до настання ери нанотехнологій.

Нанотруктури і нанопристрої існують з давніх часів у живій і неживій природі. Клітини живих організмів ростуть і діляться завдяки тому, що у них безперервно проходять взаємопов'язані процеси на нанорівні. Листя лотоса завжди залишається чистим завдяки тому, що на його поверхні знаходиться велика кількість нановорсинок. Така унікальна структура забезпечує водонепроникну здатність лотоса та можливість самоочистки.

Древні цивілізації світу відомі своїми грандіозними інженерними досягненнями: старовинне місто Мачу-Пікчу на території сучасного Перу, комплекс пірамід у Гізі, головний храм Афінського акрополя – Парфенон тощо. Проте майстри тих епох мали визначні досягнення і у нанорозмірному масштабі.

Маніпуляції з речовиною на атомному та молекулярному рівні для створення нових функцій і властивостей у деякій мірі відповідає сучасним концепціям розвитку науки про макросвіт. Однак майстри минулого також вміли працювати з речовиною на мікрорівні. Можна з впевненістю стверджувати, що за сучасними стандартами вони працювали у галузі нанотехнологій, а саме – нанокомпозитів. Це сипучі матеріали, які змішують з нанорозмірними частинки для поліпшення властивостей загального чи композиційного матеріалу.

Можна навести ряд прикладів відомих древніх артефактів, що були створені з використанням нанокомпозитів. Найбільш вражаючим прикладом є кубок Лікурга – витвір складувів Древнього Риму датований приблизно IV століттям до н. е. Кубок (рис. 1) змінює свій колір у залежності від

освітлення. У відбитих променях кубок має матовий зелений колір, якщо ж його освітити з середини – блискучий червоний. Аналіз фрагментів кубка, вперше проведений у лабораторії «General Electric» у 1959 році, показав, що він на 98,5 % складається зі звичайного натрієво-кальцієво-кварцового скла, приблизно 1 % золота та срібла і 0,5 % марганцю. Вчені припустили, що причиною такого оптичного ефекту є колоїдне золото. Пізніше, з удосконаленням науково-дослідного обладнання, вчені за допомогою електронного мікроскопа та рентгенограм відкрили частинки золота та срібла розмірами приблизно 50-100 нм. Саме ці частинки і відповідають за незвичайне забарвлення древнього артефакту.



Рис. 1. Кубок Лікурга

У 2007 році у журналі «Scientific American» Гарі Атуотер пояснив даний феномен наступним чином: «через збудження електронів частинок металу, розподілених у склі, чаша поглинає і розсіює синє та зелене світло – відносно короткі довжини хвиль видимого спектру. При спостереженні у відбитому світлі розсіювання дає чаші зеленуватий відтінок, але якщо помістити джерело білого світла у середину чаші, скло здається червоним, оскільки пропускає тільки довгі хвилі і не пропускає короткі».

У 800 році до н. е. індійці майя відкрили антикорозійний пігмент

синього кольору відомого як Maya Blue. Для створення першого стабільного органічного пігменту стародавні майя застосували навички в області органічної хімії і мінералогії. Унікальний колір і стабільність Maya Blue (рис. 2) можна пояснити на основі сучасних уявлень про нанотехнології згідно з якими барвник кольору індиго заповнює заглиблення на поверхні палигорськітової глини утворюючи органічні чи неорганічні комплекси з водневими зв'язками.



Рис. 2. Воїн майя на фоні Maya Blue

Дамаські сталеві мечі із Близького Сходу виготовлені у період від 1700 р. до н. е до 300 р. до н. е. відомі своєю вражаючою силою, вигадливою структурою поверхні та надзвичайно гострим лезом. Сучасні вчені використовуючи методи сучасного матеріалознавства та методи нанотехнологій розгадали секрети дамаської сталі.

Пітер Пауфлер та його колеги з Дрезденського технічного університету дослідили під електронним мікроскопом структуру дамаського меча (рис. 3) і виявили у лезі вуглецеві нанотрубки і нановолокна з цементиту (карбїду заліза). Таким чином, наявність нанотрубок у м'яких шарах сталі пояснює особливості дамаської сталі – міцність, гнучкість, гострота леза.

Вчені припускають, що вуглецеві нанотрубки і нановолокна

утворювалися у клинках внаслідок складного процесу випалу і кування. А як тільки мечі вже були практично готові, ковалі труїли сталь кислотою, створюючи на них неповторний і впізнаваний малюнок (рис. 3). Фахівці вважають, що, оскільки вуглецеві нанотрубки стійкі до дії кислоти, вони захищали нановолокна з більш крихкого цементиту, які знаходяться всередині них. Після травлення багато подібних наноструктур випирали з поверхні леза, надаючи мечу схожість з пилкою на нанорівні і, відповідно, особливої гостроти.



Рис. 3. Фрагмент дамаського сталевого меча

Своєю красою вражають яскраві і насичені вітражі храмів середньовічної Європи (рис. 4). Не так давно професор Чжу Хуай Юн та його колеги із Технологічного університету Квінсленда з'ясували, що вітражі не лише радують око, але й очищають повітря від патогенних бактерій. Дослідження показали, що скло виготовляли з додаванням наночастинок золота та інших металів. Сьогодні відомо, що наночастинок золота володіють каталітичними властивостями. Таким чином, під дією сонячного випромінювання наночастинок золота переходять у збуджений стан. Коливання магнітного поля частинок та магнітного поля сонячного випромінювання резонують, за рахунок цього їх каталітичні властивості посилюються у сотні разів. Як наслідок, наночастинок руйнують міжмолекулярні зв'язки молекул речовин, що забруднюють повітря. Подібна технологія широко використовується у сучасних очисниках повітря і є досить економною та зручною, оскільки не потребує додаткових затрат на розігрів

каталізатора, достатньо енергії сонячного випромінювання.

Таким чином, бачимо, що майстри того часу були висококваліфікованими, але вони не були нанотехнологами, оскільки не знали, що працюють на нанорівні. Тогочасні майстри виготовляли матеріали методом спроб і помилок, не вникаючи у процеси, що відбуваються всередині речовини. Вивчаючи зазначені артефакти, вчені не можуть напевно вказати методи їх виготовлення, однак можуть вказати принцип їх дії і властивості. Знання, отримані при вивченні об'єктів старовини, наразі широко використовуються для створення нових матеріалів і технологій.



Рис. 4. Розп'яття на хресті (фрагмент), перша половина XVI століття

Сучасний етап розвитку нанотехнологій пов'язують з ім'ям Річарда Фейнмана.

29 грудня 1959 року лауреат Нобелівської премії з фізики, професор Річард Фейнман на щорічній зустрічі Американського товариства фізиків Каліфорнійського технологічного інституту представив лекцію «Там, внизу, повно місця!» («There's Plenty of Room at the Bottom!»).



У цій лекції Р. Фейнман розглянув принципи мініатюризації, які, тим не менш, не порушують відомих законів фізики. Крім того, вчений описав процес відповідно до якого можна створити набір точних інструментів для маніпуляції окремими атомами і молекулами.

Фізик-теоретик Річард Фейнман сформулював декілька проблемних запитань: «Чому ми не можемо записати 24 томи Британської енциклопедії на головці шпильки?» і «Чи є спосіб зробити електронний мікроскоп більш потужним?». Його слова не просто спантеличили, а й заінтригували Американське фізичне товариство Каліфорнійського технологічного інституту.

Пізніше виступ Р. Фейнмана був опублікований у журналі «Інженерія і наука» («Engineering and Science») Каліфорнійського технологічного інституту. Багато хто вважає це початком ери нанотехнологій. Варто зазначити, що сам Р. Фейнман термін «нанотехнології» ніколи не вживав.

Вперше термін «нанотехнології», для позначення виробів розміром декілька нанометрів, застосував японський фізик Норіо Танігучі у 1974 році.

Помітний вклад у становлення і розвиток нанотехнологій зробив американський учений і футуролог Ерік Дрекслер. У 1986 році вийшла його книга «Машини створення: майбутня ера нанотехнологій» («Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology») у якій учений передбачив розвиток нанотехнологій, шляхи створення молекулярних наномашин, а також філософські та соціальні аспекти впровадження нанотехнологій у повсякденне життя. Роботи Еріка Дрекслера стали поштовхом до досліджень та розробок у напрямку молекулярних нанотехнологій.

Важливим кроком у розвитку нанотехнологій було створення скануючого тунельного мікроскопа у 1981 році співробітниками компанії ІВМ Гердом Біннінгом та Генріхом Рорером. Вчені вперше мали змогу не лише побачити, а й переміщати окремі атоми. У 1986 році Г. Біннінг та Г. Рорер стали лауреатами Нобелівської премії з фізики за досягнення в області скануючої тунельної мікроскопії.

У вересні 1985 року в Університеті Райса у Мічигані (Техас) хіміками Г. Крото, Р. Керлом і Р. Смоллі була синтезована нова форма вуглецю  $C_{60}$ . Нову форму вуглецю було названо фулереном. За формою фулерен нагадує футбольний м'яч, а за властивостями суттєво відрізняється від відомих на той час графіту та алмазу.

Ще одна визначна подія у галузі нанотехнологій відбулася у 1989 році, коли співробітник компанії IBM Дональд Ейглер за допомогою атомно-силового мікроскопа написав назву своєї компанії 35 атомами ксенону і сфотографував свій успіх (рис. 5).

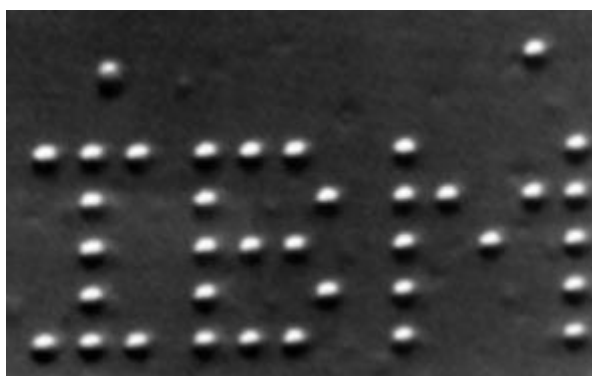


Рис. 5. Логотип IBM записаний 35 атомами ксенону

У 1991 році японський учений, співробітник Лабораторії фундаментальних досліджень компанії NEC Суміо Іідзіма відкрив вуглецеві нанотрубки. Крім того, він показав, що вуглецеві нанотрубки з заокругленими торцями були близькими за властивостями до фулеренів. Вуглецеві нанотрубки володіють незвичайними властивостями з точки зору міцності, електро- і теплопровідності. З цього часу нанорозмірні матеріали стали предметом інтенсивних досліджень.

У 1992 році Чарльз Кресдж та його колеги з Mobil Oil відкрили наноструктуровані каталітичні матеріали MCM-41 і MCM-48. Зараз ці матеріали використовують для очистки сирої нафти, доставки лікарських засобів, очистки води тощо.

Професор лабораторії МІТ Мунгі Бавенді у 1993 році запропонував метод контрольованого синтезу нанокристалів, а в 1998 році голландський

професор Технічного університету Делфта Сіз Деккер, використовуючи нанотрубки у якості молекул, створив транзистор на їх основі.

У 1999 році американський вчений Чад Міркін винайшов «пірнаючу нанолітографію» (dip-pen nanolithography, DPN). З відкриттям «пірнаючої нанолітографії» стало можливим структурування біоматеріалів для дослідження клітинної біології, наношифрування тощо.

Початок ХХІ століття ознаменувався активним впровадженням нанотехнологій у повсякденне життя. Почали з'являтися автомобілі які завдяки нанотехнологіям можуть чинити опір вм'ятинам та подряпинам. З'являється спортивне обладнання з використанням нанотехнологій: м'ячі для гольфу у яких траєкторія польоту більш пряма, більш жорсткі тенісні ракетки завдяки чому м'яч відскакує швидше, бейсбольні бити, які краще прогинаються і б'ють. Нанотехнології почали використовувати і при виробництві одягу: антибактеріальні шкарпетки з наночастинками срібла, одяг, що не забруднюється і не мнеться. У косметології почали створювати прозорі сонцезахисні креми, лікувальну косметику, що глибоко проникає в шкіру. З'явилися удосконалені дисплеї для телефонів, телевізорів та цифрових камер тощо.

На початок ХХІ століття стало зрозуміло, що основою розвитку науки і техніки у наступні роки стануть нанотехнології. Тому більшість високорозвинених країн почала створювати державні програми розвитку нанонауки і нанотехнологій. Найбільш відомими з них є: Національна нанотехнологічна ініціатива США (2000 р.), Комюніке Європейської Комісії «На шляху до Європейської стратегії з нанотехнологій" (2004 р.), «Нанонауки і нанотехнологій: можливості та невизначеності» Королівського товариства Великобританії і Королівської інженерної академії (2004 р.).

У 2000 році російський вчений Ж Алферов та американський вчений Г. Кремер отримали Нобелівську премію за розробку напівпровідникових гетероструктур, що використовуються у високошвидкісних і оптичних електронних системах. У цьому ж році Нобелівська премія була присуджена

Джеку Кілбі за створення інтегральних мікросхем.

Єдиний наномеханізм, який з'єднав вуглецеву нанотрубку з молекулою ДНК, отримав голландський професор Технічного університету Делфта Сіз Деккер у 2002 році, а в 2003 році професор університету Юти Фенг Лью, аналізуючи за допомогою атомного мікроскопа збурення електронів під час руху навколо ядра, побудував образи орбіт електронів.

Російські вчені Андрій Гейм і Костянтин Новосьолов у 2004 році отримали графен на підкладці окисненого кремнію. Пізніше у 2010 році їм була присуджена Нобелівська премія за передові дослідження з двовимірним матеріалом – графеном.

У 2007 році німецький хімік Герхард Ертл отримав чисті поверхні металів (паладію, платини, нікелю) та дослідив на них процеси адсорбції молекул газів (молекулярного водню, азоту). Його дослідження дали поштовх створенню нової методики вивчення поверхневих процесів за що він був удостоєний звання лауреата Нобелівської премії.

Сьогодні спостерігається бурхливий розвиток нанотехнологій, основні інвестиції спрямовані на створення надмініатюрних транзисторів і запам'ятовуючих пристроїв з мультитерабітовим об'ємом пам'яті, підвищення швидкодії комп'ютерів у мільйон разів, створення надміцних матеріалів і розробка на їх основі нових транспортних засобів, розробку генетичних і медичних препаратів проти ракових захворювань, розробку нових матеріалів і процесів для захисту навколишнього середовища тощо.

Враховуючи стрімке зростання вкладу наноіндустрії у світову економіку і випереджаючий розвиток нанонауки, ми вважаємо, що навчальні курси і програми ВНЗ та ЗОШ України повинні відображати не тільки загальноновизнані наукові теорії, але повинні бути орієнтовані на перспективні напрямки досліджень. На наш погляд, прийшов час і необхідність створення системи нанотехнологічної освіти студентів та навіть школярів і на основі цього – досягнення високого рівня нанотехнологічної інформованості населення та відродження інженерної освіти.

## **2. АНАЛІЗ ДОСВІДУ ВИВЧЕННЯ ОСНОВ НАНОТЕХНОЛОГІЙ У РОЗВИНЕНИХ КРАЇНАХ**

У наш час чимало наукових установ та державних органів у всьому світі займається аналізом проблеми підготовки кадрів у галузі нанотехнологій. Перш за все це пов'язано з тим, що нанотехнології є порівняно новим науковим напрямком, що входить до складу багатьох інших дисциплін.

Проблема навчання і підготовки кадрів у розвитку нанотехнологій і наноматеріалів на даний момент є пріоритетною у всіх країнах, які зараз активно їх розвивають – США, Японії, Великобританії, Німеччині, Китаї, Кореї, Франції, Росії.

У системі освіти за кордоном змінюється підхід до професійної підготовки наукових кадрів з багатьох напрямків, виникають міждисциплінарні зв'язки, з'являється значна кількість спеціалізованих курсів, електронних навчальних курсів з нанотехнологій. У цій області на ринку освіти домінують США, Японія, Великобританія, Німеччина і Франція. Однак, як відзначають експерти, відсутність стандартів освіти, недостатня фінансова підтримка країн ЄС і внутрішній опір з боку деяких університетів уповільнює розвиток.

Для швидкого і успішного розвитку нанотехнологій необхідна розробка навчальних курсів і програм, які дозволять професійно підготувати нове покоління дослідників і робітників, здатних працювати у цій новій, складній галузі науки і техніки. Необхідність змін у системі освіти розглядалася у стратегічних урядових документах, що відносяться до розвитку нанотехнологій у провідних світових країнах, наприклад, у Національній нанотехнологічній ініціативі у США, у Третньому Основному плані з науки і технологій в Японії, у Комюніке Європейської Комісії з стратегії в області нанотехнологій тощо.

Зміни, що відбуваються у системі освіти зачіпають у першу чергу вищу освіту, підготовку магістрів та докторантів, що вказується у національних

стратегіях цих країн. Проте, основні питання, що відносяться до нанотехнологій, включаються або вже включені у навчальні програми всіх рівнів навчання, починаючи з дошкільного.

З моменту запуску (2000 р.) Національної нанотехнологічної ініціативи урядом США багато країн почали інвестувати у педагогічні дослідження і спонукають розробку нових навчальних планів, в які включаються теми і окремі питання з основ нанонаук і нанотехнологій. Особливо помітно це відбувається у США, де Національний науковий фонд (NSF) докладає багато зусиль по впровадженню нанонауки і нанотехнологій в університетські навчальні програми, у класи загальноосвітніх шкіл та видає багато грантів на дослідження у галузі nanoосвіти. Як результат nanoосвіта у галузі природничих наук активно розвивається впродовж останніх років, і ця нова міждисциплінарна природнича галузь знань може значно розширитися у наступні роки.

У Сполучених Штатах Америки роботи у сфері нанотехнологій оголошені найвищим пріоритетом, створено 11 навчальних наноцентрів, охоплених єдиною мережею обміну інформацією з підключенням до неї університетів; у систему nanoосвіти залучено близько 500 університетів, приватних інститутів та урядових лабораторій у всіх 50 штатах. Освіта і пропаганда в області нанотехнологій у США зачіпає всі верстви суспільства – від молодших ступенів освіти до перепідготовки кадрів, включаючи університети, коледжі та ін.

Довгостроковим завданням Національної нанотехнологічної ініціативи є розробка нанотехнологічних матеріалів для шкіл, студентських програм, технічної підготовки та громадських соціально-орієнтованих програм. До програмних цілей у даному розділі відноситься підтримка інвестиційної політики, спрямованої на створення багатofункціональної системи навчання та підготовки кваліфікованих кадрів.

Підготовку в області нанотехнологій здійснюють 57 університетів США. З них отримати ступінь бакалавра можна у 19 університетах (Техаський

державний університет, Каліфорнійський університет Пенсільванії, Політехнічний інститут Вірджинії та державний університет, Університет Коннектикуту, Університет Пенсільванії, Університет Меріленда, Університет Юти, Університет Південної каліфорнії та інші), ступінь магістра – у 17 (Каліфорнійський університет Лос-Анджелеса, Каліфорнійський університет Сан-Дієго, Денверський університет, Північно-західний університет, Політехнічний інститут Вірджинії та державний університет та інші), а ступінь доктора наук – у 14 (Каліфорнійський університет у Берклі, Університет Денвера, Каліфорнійський університет у Сан-Дієго, Університет Нью Мехіко, Університет Північної Кароліни у Грінсборо, Технічний університет Луїзіани та ін.).

Варто відзначити деякі загальні особливості підготовки бакалаврів, магістрів та докторів наук у галузі нанотехнологій:

- освіта у галузі нанотехнологій має випереджаючий характер по відношенню до потреб країни у фахівцях різного рівня і з різних напрямків нанотехнології, що відповідає меті і завданням Національної нанотехнологічної ініціативи;

- обов'язкове впровадження в усі навчальні програми компонентів, пов'язаних з науковими дослідженнями;

- наявність серйозного методичного забезпечення на всіх рівнях навчання.

Зазначені особливості сприяють підвищенню якості навчання студентів та удосконаленню навичок самостійної дослідницької діяльності.

У рамках Національної нанотехнологічної ініціативи Національний науковий фонд у вересні 2001 році заснував шість центрів з нанонауки та нанотехнології і забезпечив їх фінансування. Такі центри дозволяють не просто урізноманітнити і розширювати освітні програми університетів, але і займатися додатковою діяльністю. Деякі з дистанційних програм університетів орієнтовані на шкільну і дошкільну освіту, а також на пропаганду ідей нанотехнологій для широкої громадськості. Наприклад, у

Вісконсинському університеті успішно здійснюються освітні програми для шкіл і широкої громадськості. В університеті Райса діє курс «Вступ у нанонауку».

Багато чого робиться для підвищення інтересу американських школярів, який знижувався протягом багатьох років по відношенню до науки і технологій. Вважається, що вся система освіти повинна будуватися навколо нанотехнологій. Так як вони об'єднують у собі фізику, хімію і біологію, то ці дисципліни необхідно викладати не окремо, а у комплексі.

У рамках Національної нанотехнологічної ініціативи фінансуються і створюються сайти з фільмами, слайд-шоу з матеріалами про нанотехнології, видається дитяча література, навчальні посібники.

Одне з перших питань, яке потрібно вирішити при введенні нанонауки і нанотехнологій у загальноосвітні школи, – оновлення змісту існуючих навчальних програм та створення нових. За підтримки Національного наукового фонду у 2006 – 2007 роках спільними зусиллями педагогів та науковців були визначені «великі ідеї» («big ideas») нанонауки і нанотехнологій, тобто ті поняття, які є основними для розуміння нанонауки і нанотехнологій. У результаті було визначено дев'ять великих ідей та пов'язаних із ними цілей вивчення, що відповідають завданням середньої освіти:

- 1) розмір і масштаб;
- 2) структура матерії;
- 3) сила і взаємодії;
- 4) квантові ефекти;
- 5) розмірні властивості;
- 6) самоорганізація;
- 7) інструменти та вимірювальні прилади;
- 8) моделі і симулятори;
- 9) наука, технології та суспільство.



Оскільки нанонаука і нанотехнології вводяться у загальноосвітні школи, то вчителям рано чи пізно доведеться нести відповідальність за вивчення цього нового змісту навчального плану. Відповідно вчені США розглядають необхідність професійного розвитку вчителів середніх шкіл.

Для вирішення питання професійного розвитку вчителів, Шенк П. та ін. радять організувати короткострокові науково-методичні курси, присвячені питанням міждисциплінарних і передових тем у тому числі нанорозмірним наукам і технологіям. Вчені також підкреслюють, що Національний центр навчання і викладання (NCLT) вже створив літні курси для вчителів.

Учені Вісконсинського університету у Медісоні Томазік Дж. та ін. у статті опублікованій у Journal of Nano Education розглянули проект і дали оцінку онлайн курсу нанонауки для вчителів середньої та вищої школи. Протягом літа 2006 року 13 учасників добровільно зареєструвалися для участі у восьми тижневому курсі для отримання знань з нанонауки та нанотехнологій, а також різноманітних ресурсів для включення нанотехнологій у навчальний процес школи. Основною метою цього курсу, як зазначають автори, було заохотити вчителів включати нанонауку та нанотехнології у процес навчання, оскільки підготовка наступного покоління спеціалістів у сфері нанотехнологій є основною проблемою для подальшого прогресу нанонауки.

У рамках цього курсу було використано безкоштовне програмне забезпечення для створення спільного онлайн-середовища, яке дозволило б учителям спілкуватися з колегами та керівниками. Перед початком курсу учасники пройшли анкетування для визначення рівня їх знань з нанонауки та нанотехнологій. Щопонеділка вводилася нова тема, і як тільки вона була пройдена, вчителі знову проходили анкетування. Дані анкетування пізніше використовувались для оцінки результативності курсу. У кінці цієї професійної програми розвитку вчителі мали побудувати власну систему уроків з вивчення нанотехнологій, яку б вони запропонували учням. Ці уроки потім анонімно оцінювалися двома іншими учасниками проекту.

Як зазначають автори статті, результати такого онлайн-курсу у плані професійної актуальності та підтримки наставника були дуже хорошими. Що стосується системи уроків створених вчителями, то можна виділити два різних підходи. Перший підхід передбачає введення уроків пов'язаних з нанотехнологіями у різних розділах фізики впродовж року. Другий підхід полягає у тому, що нанотехнології будуть включені у навчальний план одним повним розділом.

Зрештою, через рік учасників курсу запитали, чи викладали вони створену систему уроків з нанотехнологій своїм учням. Виявилося, що з 10 вчителів, які відгукнулися, 8 включили уроки з нанотехнологій у навчальні плани. Таким чином, ми бачимо, що участь вчителів в онлайн курсах привела до введення нанонауки не у всіх класах середньої школи. Це ще раз підкреслює труднощі ефективної інтеграції у навчальні програми основ нанотехнологій.

Існують також інші програми професійного розвитку доступні у даний час для вчителів. Зокрема, Національний центр навчання і викладання (NCLT) організовує програму для того, щоб допомогти вчителям середніх класів інтегрувати нанонауку і нанотехнології у навчальний план.

Для підвищення кваліфікації та навчання вчителів у цьому новому для них напрямку проводиться безліч семінарів, курсів у ряді університетів (Університет Вісконсин, Корнелський університет та ін.). Створюються дистанційні програми підвищення кваліфікації, які орієнтовані на шкільну і дошкільну освіту, а також на пропаганду ідей нанотехнології для всіх верств суспільства.

У рамках Національної нанотехнологічної ініціативи було створено систему навчання у центрі Корнелського університету, яка включає у себе підготовку вчителів для шкільної та дошкільної освіти, вступний курс нанотехнології для новачків, співпрацю з пересувною виставкою по нанотехнологіям (модульного типу) у Науковому центрі м. Ітака.

Гарвардський університет пропонує освітню програму «Наносистеми та

їх використання у приладах» з метою підвищення кваліфікації учнів і викладачів середньої школи; популяризації досягнень нанотехнологій (спільно з Музеєм науки у Бостоні). Ренселерський політехнічний інститут проводить вчительські програми у співпраці з Музеєм Джуніор у м. Трой «Спрямована збірка наноструктур».

Крім того, Національний центр навчання і викладання (NCLT) пропонує програму для вчителів, яка складається з: літньої школи, де вчителі відвідують заняття з нанотехнологій; семінари дослідників в області нанотехнологій, які відвідують протягом всього навчального року; впровадження уроків, які включають нанотехнології. Програма спрямована на підвищення розуміння вчителями нанорозмірних явищ і усвідомлення зв'язків між нанорозмірною наукою та традиційними дисциплінами.

У Японії, де освіта і наука складають єдине ціле, у 2004 р. також почала діяти програма Nanotech VOT Program, націлена на розвиток всіх рівнів освіти у країні, починаючи зі школи і закінчуючи курсами для докторантів. Здобути ступінь бакалавра з нанотехнологій можна у двох університетах (Університет Тохоку, Університет Нагоя), ступінь магістра у 10 університетах (Університет Тохоку, Університет Нагоя, Університет Кюсю, Університет Кейо, Університет Токіо, Токійський технологічний інститут, Університет Кіото, Університет Осаки, Університет Цукуба та Університет електрокомунікацій), ступінь доктора наук у 10 університетах (Університет Тохоку, Університет Нагоя, Університет Кюсю, Університет Васеда, Університет Токіо, Токійський технологічний інститут, Університет Кіото, Університет Осаки, Університет Цукуба та Університет електрокомунікацій).

У Південній Кореї створено платформу електронного навчання eNano School, де розміщені онлайн лекції з нанонауки і нанотехнологій. Крім того, відповідно до дорожньої карти розвитку наноосвіти до 2025 року, відбувається розробка навчальних програм для середньої та старшої школи, функціонує нанотрейлер оснащений SEM, AFM та іншим обладнанням. Для студентів та науковців функціонує 6 приватних нанолабораторій. У 2012 році

розроблено 8 підручників з нанотехнологій призначених для учнів старшої школи та студентів. У Korea Nano Technology Research Society (KoNTRS) працюють наношколи для студентів, аспірантів та молодих дослідників, викладаються онлайн лекції з нанотехнологій тощо.

За ініціативою Німеччини розроблений Спеціальний план дій "Наноініціатива – 2010", і запущена загальна програма сприяння при розробці та впровадженні нанотехнологій. Підготовку фахівців у області нанотехнологій здійснюють 13 університетів. Зокрема, ступінь бакалавра можна здобути у Технологічному інституті Карлсруе, Університеті Дуйсбург-Ессена, Університеті Ерлангена-Нюрнберга, Університеті Гамбурга, Університеті Ганновера, Університеті Касселя, Університеті Саара, Університеті Вюрцбурга. У той же час магістрів готують лише у 7 університетах: Технологічний університет Кайзерслаутерна, Університет Білефельда, Університет Дуйсбург-Ессена, Університет Ерлангена-Нюрнберга, Університет Гамбурга, Мюнхенського університету прикладних наук, Університет Ульма.

Проте, нанотехнології не є обов'язковим навчальним предметом, розділом чи темою у навчальних програмах для шкіл Німеччини. Як і в інших країнах, теми по нанотехнологіях включені у біологію, фізику та хімію. У 6 та 7 класах (12-14 років) учні вивчають навчальний предмет під назвою «Природа і наука», де викладаються базові знання, пов'язані з нанотехнологіями. Відповідно до German Teacher Coordinator вивчення нанотехнологій протягом року неможливе через поточну структуру навчального року, проте пів року було б доцільно.

У рамках стратегії розвитку високих технологій у Німеччині реалізація наноініціативи сприяє розвитку шкільної освіти у сфері нанотехнології. Цілеспрямована допомога бере свій початок у шкільних проектах, де нанотехнологічні теми і експериментальне навчання пробуджують інтерес дітей. До заходів, що проводяться федеральним урядом, відносяться також нанотехнологічні наукові конкурси та цілеспрямоване інформування

молодих людей про перспективні професії, затребувані на ринку, та нові можливості професійного навчання.

Німеччина всіляко підтримує і розвиває новаторський дух відкриттів в області нанотехнологій у молодих вчених, студентів і школярів. Наприклад, для вдосконалення і подальшого розвитку однієї з кращих на сьогоднішній день у світі бази наукових досліджень, Федеральне міністерство освіти і наукових досліджень проводить міжнародний конкурс NanoFutur на надання грантів молодим ученим зі всіх кінців світу. Їм надається можливість створити свою науково-дослідну групу і працювати, в основному, самостійно протягом п'яти років.

Усі старання щодо молодих фахівців у області нанотехнологій виходять далеко за рамки тільки залучення наукових талантів. У Німеччині намагаються, як можна раніше познайомити школярів з нанорозмірною наукою. Щоб викликати інтерес і захопити нанотехнологією, організують перші експериментальні кроки у школі за допомогою мультимедійного наукового навчального матеріалу: зараз використовуються інтерактивні веб-сторінки і навчальний матеріал по темі нанотехнології.

У Німеччині у рамках проекту Федерального міністерства освіти і науки Німеччини здійснений проект «Нанотрейлер» (школа на колесах) для дошкільнят та дітей шкільного віку.

У Болгарії нанотехнології не є обов'язковим для вивчення предметом, розділом чи темою у будь-якій з навчальних програм на рівні середньої школи, проте можуть бути включені у якості підтеми у біології, фізиці чи хімії. Основною метою вивчення нанонауки є розуміння учнями нанотехнологій на рівні теоретичних знань, підкріплених прикладами нанотехнологічної продукції.

У Хорватії нанотехнології не виділені окремим предметом, але зустрічаються у якості однієї з тем у навчальній програмі. При чому нанотехнології інтегровано у навчальні програми четвертого та п'ятого року середньої школи (учні у віці 17-18 років). У навчальній програмі з фізики

нанотехнології зустрічаються у розділі «Матеріали та властивості матеріалів» та у підрозділі «Атоми, ядра та елементарні частинки». Метою вивчення нанотехнологій є: пояснити учням деякі ефекти напівпровідникової електроніки та нанотехнологій. Нанотехнології також інтегровано у навчальну програму з біології у рамках розділу «Природа і люди» (підрозділ «Стійкий розвиток») з метою пояснення необхідності розробки нових технологій (сплави, нові види палива, нанотехнології).

Нанотехнології не включено до переліку навчальних предметів обов'язкових для вивчення у Чехії. Проте можуть бути введені у навчальні програми з фізики (тема «Атомна фізика»), хімії чи біології як окремою темою чи розділом.

Однією з європейських країн, де здійснюють підготовку бакалаврів, магістрів та докторів філософії у галузі нанотехнологій є Данія. Здобути один із трьох наукових ступенів можна у п'яти університетах: Університет Ольборга, Університет Орхуса, Університет Копенгагена, Технічний університет Данії, Університет Південної Данії. Проте у Данії нанотехнології не є обов'язковим навчальним предметом, розділом чи темою у навчальній програмі, однак можуть бути інтегровані як нанонаука, що включає елементи хімії та біології.

У Фінляндії місцеві органи освіти можуть інтегрувати нанотехнології до навчальних програм різними способами, це може бути окремий розділ чи певна тема. Дослідження щодо проблем інтеграції нанотехнологій у фінські навчальні програми було проведено Антті Лахерто у 2011 році. Дане дослідження проводилося з метою вивчення потреб та перспектив nanoосвіти у середніх школах Фінляндії. Дослідження показало, що включення нанотехнологій в існуючі програми навчальних дисциплін є досить складним, оскільки не можуть бути явно включені до програми за браком часу на їх вивчення. З іншого боку, організація додаткових курсів за вибором для учнів старших класів середньої школи вимагає додаткових коштів для оплати праці вчителів. Чимало респондентів у дослідженні Лахерто зазначали, що

включення нанотехнологій залежить від самих учителів. У даний час Фінляндія готує новий проект навчальної програми з фізики, тому зараз занадто рано говорити про результати інтеграції нанотехнологічних тем. Враховуючи спектр застосувань нанотехнологій, відповідні теми були включені у розділ «Органічна природа і суспільство».

Нанотехнології не є обов'язковим навчальним предметом, розділом чи темою у навчальних планах Греції і тому не є офіційною частиною освітньої програми середньої школи. Проте проводяться позакласні заходи, пов'язані з нанотехнологіями, особливо у старших класах середньої школи (10-12 класи, учні віком від 15 до 18 років). З вересня 2011 року у навчальну програму середньої школи було введено новий курс під назвою "Основні принципи наукових досліджень" для учнів 10-11 класів (15 – 17 років). У рамках даного курсу, були розроблені і впроваджені кілька проектів, пов'язаних з нанотехнологіями. Вищезазначений курс забезпечує найкращу платформу для послідовного введення тем з нанотехнологій (теоретичні основи та лабораторні заняття) у навчальні плани середніх шкіл Греції.

У Греції лише один університет здійснює підготовку магістрів у галузі мікросистем і нанопристроїв – Національний технічний університет Афін.

В Іспанії учні у останніх класах середньої школи вчать за чітко визначеним навчальним планом, проте на цьому освітньому рівні вчителі мають право вносити деякі зміни і включати невеликі приклади та експерименти з основ нанотехнологій. Нанотехнології включені окремими розділами у навчальну програму першого року навчання у старшій школі обов'язкового предмету «Науки сучасного світу». Зміст предмету досить гнучкий, що дає можливість включати нанонауку та нанотехнології в уроки.

В Іспанії Автономний університет Барселони здійснює підготовку бакалаврів в області нанонауки і нанотехнології та магістрів у галузі нанотехнології, Університет Ровіра і Вірхіль у Таррагоні здійснює підготовку магістра у галузі нанонауки і нанотехнології.

Одним із світових лідерів у розвитку нанотехнологій є Австралія. Інститути Австралії пропонують освітні програми різних рівнів в області нанотехнологій. Існують спеціалізовані програми, відповідно до яких фізика, хімія і біологія вивчається з точки зору нанотехнологій. Провідними університетами Австралії щодо підготовки спеціалістів в області нанотехнологій є Університет Гріффіна, Університет Ла Троба, Університет Мердока, Університет Фліндерса та Університет Південної Австралії. Сіднейський технологічний університет також надає можливість вивчення нанотехнологій для студентів. В інституті доступні наступні дисципліни: наноматеріали, молекулярні нанотехнології, оптика і нанофотоніка, тверді тіла і нанопристрої, біонанотехнології.

В Університеті Гріффіна діє Квінслендський центр мікро- і нанотехнологій, який дає можливість вивчати життєздатні енерготехнології, нові інструменти і матеріали, комплексні системи і сигнали, теорію і моделювання. В університеті Ла Троб існують спеціалізовані напрямки у вивченні наноструктурних матеріалів і біонанотехнологій. У Мельбурнському університеті є Інститут дослідження матеріалів, основні галузі дослідження якого: наномедицина, квантові технології, біоінженерія, матеріали для енергетики.

При університеті Південної Австралії функціонує дослідний інститут Яна Варка, де студенти та науковці проводять дослідження за трьома напрямками: біополімерні інтерфейси, колоїди і наноструктури, обробка мінералів. Також студенти університету можуть здобути ступінь бакалавра технічних наук в області машино будівництва і нанотехнологій, магістра інженерних наук в галузі «матеріали і нанотехнології».

У наш час розглядається питання про включення у навчальні програми середніх шкіл Австралії та Нової Зеландії основ нананотехнологій, створені інтернет ресурси по даному напрямку для початкової та середньої школи (<http://www.nanovic.com.au>).



Наприклад, Accessnano – сучасний унікальний освітній ресурс створений для вивчення австралійськими школярами інноваційних досягнень науки і техніки на доступному рівні. Веб-сайт містить корисні матеріали, пов'язані з промисловим застосуванням нанотехнологій.

Для освітньої системи України корисним є досвід Білорусії та Росії з впровадження нанотехнологій та підготовки кваліфікованих кадрів.

Підготовку спеціалістів у галузі нанотехнологій здійснюють провідні вузи Росії: Національний дослідний університет «Московський інститут електронної техніки», Московський державний технічний університет імені М. Е. Баумана, Новосибірський державний технічний університет, Санкт-Петербурзький державний електротехнічний університет, Таганрозький державний радіотехнічний університет, Фізико-технічний інститут імені А. Ф. Йоффе, Московський державний університет імені М. В. Ломоносова, Нижньогородський державний університет імені М. І. Лобачевського.

Підготовка бакалаврів, спеціалістів і магістрів здійснюється за тими ж напрямками, що і у вузах США та Європи: нонохімія, нанофізика, нанобіологія, синтез наноматеріалів, нанотехнології в електроніці, оптична спектроскопія, математичне моделювання тощо.

За системне вирішення проблеми підготовки спеціалістів у галузі нанотехнологій взялася Державна корпорація РОСНАНО. У вересні 2010 р. корпорація «РОСНАНО» спільно з освітнім центром «Участь» приступила до реалізації нового освітнього проекту «Ліга шкіл РОСНАНО», спрямованого на розробку і апробацію якісно іншого підходу до викладання природничих наук у російських загальноосвітніх школах. На початковому етапі реалізації проекту було відібрано близько 20 шкіл у різних регіонах Росії, готових до інноваційних змін в освітньому процесі, у першу чергу, у викладанні дисциплін природничого блоку. Подібні зміни в освітній програмі потрібні були, насамперед, для формування нового покоління кадрів для сучасної наноіндустрії, що володіють як теоретичною базою, так і уявленнями про практичне застосування знань.

Основні принципи сучасної «школи наноосвіти»:

- міждисциплінарність, з метою формування в учнів цілісної картини світу;
- опора на дослідницьку і конструкторську діяльність у природничо-науковій освіті;
- командний принцип навчання і роботи, формування учнівської спільноти у навчальній групі, класі;
- тісний контакт з сучасним виробництвом і наукою, вибір освітніх маршрутів на основі якісної базової освіти;
- розвиток в учнів первинних навичок у сфері технологічного підприємництва, у першу чергу пов'язаних з аналізом потреб ринку.

У ході реалізації проекту зі створення «Ліги шкіл РОСНАНО» було здійснено наступне:

- відібрано 216 шкіл-учасників, що мають сучасне обладнання для досліджень і експериментування;
- створено інтернет-портал Ліги (<http://schoolnano.ru>);
- розроблена нова платформа сайту «Школа на долоні» для реалізації моделі електронного навчання дітей у форматі – додаткова освіта;
- розроблено більше 100 посібників, адресованих як педагогам, так і школярам. Усі посібники розміщені на порталі Ліги та знаходяться у вільному доступі;
- видано підручники для елективних курсів з основ нанотехнологій, робочі зошити для організації дослідницької та проектної діяльності;
- розроблений навчально-методичний комплекс «Science-in-Box або нановаліза» – лабораторія для демонстрації основ нанотехнологій в області альтернативної енергетики, оптики та електроніки, композитних матеріалів. Лабораторія містить 100 дослідів, кожен з яких може бути використаний для організації дослідницької та проектної роботи. Компактність лабораторного комплексу дозволяє його використовувати практично у будь-яких

навчальних або демонстраційних умовах;

- створена модель організації програм додаткової освіти та підтримки обдарованих дітей, основу якої складають принципи геймофікації, поєднання науки, технологій та мистецтва, бально-рейтингової системи оцінки досягнень учнів. Модель знайшла своє втілення у способі побудови освітньо-конкурсних програм у дистанційному форматі і у рамках канікулярних освітніх програм "Наноград";

- створена медіатека, яка включає наступні ресурси: книги, журнали, презентації, відеофільми, статті та публікації;

- створено стійкий тиражований формат канікулярної школи «Наноград», крім основної літньої школи «Наноград», забезпечено проведення серії регіональних програм;

- розроблено основний пакет навчальних програм і технологій для загальноосвітньої школи, спрямований на досягнення нової якості освіти у рамках реалізації ФДОС нового покоління.

Міністерство освіти і науки Росії планує ввести у шкільну програму навчання основ нанотехнологій. Ульяновським державним університетом на замовлення Міністерства освіти вже розроблені програми навчальних модулів "Введення у нанотехнології» з фізики, хімії, біології для учнів 10-11 спеціалізованих класів.

Розроблено програми і навчальні посібники курсів за вибором «Нанотехнології», «Нанохімія і нанотехнології», «Нанотехнології у біології».

В останні роки у Росії стали видавати велику кількість науково-популярної літератури з нанотехнологій. Створено безліч інтернет-сайтів, присвячених нанотехнологіям. Наприклад, сайт «Нанометр», створений на факультеті наук про матеріали МДУ ім. М.В. Ломоносова, щодня представляє нові розробки вітчизняних і зарубіжних вчених, проводить інтернет-олімпіади з нанотехнологій і різні конкурси, у тому числі й серед школярів.

До корисних проектів відноситься пересувний навчальний клас-

лабораторія, у якому учні 7-11 класів Московських шкіл можуть не тільки теоретично, але і практично познайомитися зі світом нанотехнологій.

У рамках пріоритетного національного проекту «Освіта» у навчальних закладах Російської Федерації встановлюються навчально-наукові комплекси, що дозволяють школярам проводити дослідження в області нанотехнологій.

У ліцеї м. Советська Кіровської області організована науково-дослідна діяльність школярів 9-11-х класів щодо вивчення нанотехнологій. У ліцеї є клас для вивчення нанотехнологій, який обладнаний скануючими зондовими мікроскопами NanoEducator. Учні ліцею досліджують можливості біоіндикації нанорозмірних середовищ методом скануючої зондової мікроскопії. Допомогу в організації експериментальної роботи здійснюють фахівці ВятДГУ. Школярі приймають активну участь у науково-практичних семінарах з питань нанотехнології та обміну досвідом щодо проведення досліджень на нанорівні.

Педагогом Центру дитячої творчості міста Кірова Е. Н. Шигаревою розроблена програма додаткової освіти школярів «Дивовижний світ нано», розрахована на 36 годин. Програма спрямована на знайомство школярів з основами нанотехнологій а також напрямками розвитку даної сфери діяльності людей. Для поглиблення знань, умінь і розвитку пізнавальної активності школярів розроблено завдання, засновані на використанні інтернет-ресурсів, пошукових систем і можливостей мережевих технологій. Також передбачено відвідування спеціалізованої нанолабораторії у ВятДГУ. Основною формою навчання є навчально-практична діяльність з елементами гри. Так, наприклад, при вивченні теми «Побачити невидиме» на основі аналізу роботи оптичних і цифрових мікроскопів вчитель пояснює принцип роботи скануючого зондового мікроскопа (СЗМ). Для наочного уявлення роботи СЗМ вчитель пропонує одному з вихованців з закритими очима, на дотик, дати характеристику предмета, який йому нададуть для «дослідження». У ході виконання завдання школяр дає наступні

характеристики: форма предмета, характер поверхні, матеріал (пластик, дерево, метал і т. д.). Учитель підводить підсумок, що саме на принципі «обмацування» поверхні, а не збільшення її (як у традиційному мікроскопі) побудований принцип роботи СЗМ. На наступному занятті вихованці відвідують лабораторію нанохімії і нанотехнології (ВятДГУ), де їм демонструють СЗМ, обладнання, необхідне для його роботи, кілька готових дослідницьких проектів. За допомогою студентів хімічного факультету вихованці об'єднання виконують практичну роботу, спрямовану на дослідження поверхні предмета з навколишнього світу. У якості об'єкта для дослідження беруть CD-диск, вирізують з нього сегмент і поміщають у СЗМ. Через деякий час на екрані монітора учням представляють скан поверхні диска у дво- та тривимірному зображеннях. Таким чином, методом порівняння вихованці аналізують принципи роботи оптичних, цифрових і скануючих мікроскопів, а також відбувається формування знань і практичних умінь з проведення досліджень на нанорівні.

Подібним чином у лабораторії нанохімії і нанотехнології хімічного факультету В'ятського державного гуманітарного університету організована практична робота з вивчення технології нанолітографії. На дану тему відводиться 4 години. На першому занятті учні знайомляться з поняттями «літографія» і «нанолітографія», а потім пропонується виконати невеликі малюнки (наприклад, логотип школи, своє ім'я у графічному зображенні і т. д.). Малюнки можуть бути виконані від руки у чорно-білому зображенні або з використанням графічного редактора Paint. На другому занятті за допомогою СЗМ малюнок переноситься на підкладку (це може бути кремнієва пластина). Даний малюнок школярі бачать на екрані монітора. Описана робота має велике практичне значення для школярів, так як принцип нанолітографії використовується при виготовленні інтегральних електронних схем різних приладів.

У Російській Федерації також приділяється значна увага підготовці вчителів щодо викладання основ нанотехнологій. Зокрема, у Кіровській

області здійснюється підготовка вчителів до викладання нових тем. Майданчиком для перепідготовки вчителів є лицей м. Советська. У лицей є клас для вивчення нанотехнологій, який обладнаний скануючими зондовими мікроскопами NanoEducator. На базі освітнього майданчика проводяться навчальні вебінари по темі «Освіта для сфери нанотехнологій: сучасні виклики міждисциплінарного викладання природничих предметів у школі».

У рамках реалізації проекту «Ліга шкіл РОСНАНО» створено навчальні програми із застосуванням дистанційних освітніх технологій для педагогів. Підвищення кваліфікації для педагогів організовано по лініях підтримки навчальних програм, комплектів і нових освітніх технологій, що розробляються у Програмі. Система дистанційної освіти створює умови для розвитку методологічної та дослідницької компетенції педагогів через участь вчителів у мережевих педагогічних дослідницьких і адаптаційних лабораторіях.

У період діяльності проекту «Ліга шкіл РОСНАНО» були розроблені та реалізовані програми підвищення кваліфікації наступних напрямів: нові освітні технології, розробка і адаптація навчальних посібників нового покоління, дослідницька і проектна діяльність в області природознавства, електронна школа; психолого-педагогічний супровід учнів в освітньому процесі, управління освітою.

Розроблено концепцію системно-орієнтованого і індивідуально-орієнтованого супроводу, провідними елементами якого є: допомога у розробці та реалізації програм розвитку; допомога у впровадженні освітніх, навчальних і ін. програм; супровід дослідно-експериментальної роботи; діяльність у форматі Федерального інноваційного майданчика (ФІМ).

У Білорусії з 2003 р. багато університетів включилися у виконання завдань державної програми наукових досліджень з нанотехнологій. У Білоруському державному університеті інформатики і радіоелектроніки у 2001 р. створено перший у республіці науково-дослідний центр наноелектроніки, протягом кількох останніх років викладається навчальний

курс з наноелектроніки для студентів спеціальності «Мікроелектроніка». У 2007 р. у Білоруському національному технічному університеті на приладобудівному факультеті створена спеціалізована кафедра нанотехнологічного профілю – мікро- і нанотехніки. На першому етапі у рамках існуючої спеціальності «Технологія матеріалів і компонентів електронної техніки» відкрито спеціалізацію «Технології нано- та мікросистемні техніки». У 2009 р. з'явилася нова спеціальність – «Мікро- та наносистемна техніка» – з трьома спеціалізаціями: «мікросистемна техніка», «Наноелектромеханічні системи і машини», «Сенсорні мікросистеми». Серед нових дисциплін – фізика нано- і мікросистем, конструювання і розрахунок компонентів мікросистемної техніки, мікросистемні пристрої у механізмах і машинах, технологія нанообробки, індустриальні нанотехнології, фізичні основи сенсоріки, технологія виробництва сенсорів та ін.

У даний час існує багато інтернет-ресурсів, що включають у себе інформацію про нанотехнології, нанонауки і матеріали для викладачів та учнів. Деякі ресурси охоплюють етичні, правові та соціальні аспекти, а також питання безпеки.

Велику увагу до nanoосвіти приділяється у Великій Британії. Майже все про нанотехнології для школи можна знайти на веб-сторінці Кембриджського університету: посилання на цікаві веб-сторінки про нанотехнології, статті тощо. Створено ряд проектів спрямованих на вивчення нанотехнологій.

Nanoyou (Nano для молоді) – проект, спрямований на підвищення базових знань молоді про нанотехнології, їх участь у діалозі про етичні, правові і соціальні аспекти нанонауки. Nanoyou підготував освітню програму для молодих людей у віці 11-18 років і широкий спектр діяльності у наукових центрах для тих, хто у віці від 18 до 25 років. На освітньому порталі зібрано чимало експериментів, додаткова література для вчителів та учнів, лабораторні роботи та відео.

На веб-порталі Nanoyou для студентів доступні віртуальні заходи, форум де студенти можуть приймати участь у різноманітних діалогах та потужна

мережа, що дозволяє різним установам та школам ділитися своїм досвідом та ресурсами з рештою учасників.

Nanokids – освітньо-пропагандистська програма, присвячена підвищенню рівня знань населення про наносвіт, сучасні молекулярні дослідження та технології, що швидко розвиваються на міжнародному рівні. На веб-сторінці, є вступні ролики, навчальні посібники, зразки тестів і ресурси для вчителів.

Nanotech kids – це інтерактивна програма, яка показує, що таке нанотехнології і нанонаука має багато інтерактивних ігор та інших видів пізнавальної діяльності.

Nanonet включає три типи шкіл з вивчення нанотехнологій для підготовки молодих дослідників, які будуть працювати над розвитком нанотехнологій: Літня школа нанотехнологій (Nanotechnology Summer School), Перехресна школа (Cross-sectional School) та Програма обміну молодими дослідниками (Young Researchers Exchange Programmes). Одним із ефективних способів пояснення дітям нанотехнологій є відео. Nanonet це веб-сайт, на якому розміщені відео пояснення світу нанотехнологій, що таке нанотехнології, презентації про нанорозмірні об'єкти, відео про нанотехнології у навколишньому середовищі та електроніці. Всі ці відео дають змогу донести інформацію про нанотехнології до користувачів у простій і доступній формі.

Understandingnano – це веб-сайт, присвячений створенню нанотехнологічних концепцій та програм зрозумілих кожному. На цьому сайті можна знайти пояснення нанотехнологічних концепцій, посилання на статті та ресурси, такі як веб-сайти виробників та нанотехнологічні історії у новинах. Також сайт містить розробки уроків для середньої школи, щоб полегшити вчителям роботу щодо введення нанотехнологій у навчальний предмет та у конкретні заняття.



Національна нанотехнологічна ініціатива (NNI) – онлайн ресурс для вивчення нанотехнологій, де зібрані програми для вищої школи, навчальні матеріали для учнів та підготовки кадрового персоналу.

Nanomission – гра з залученням досвіду учнів для вивчення основних понять нанонауки через імітацію реального застосування знань від роботи з мікроелектронікою до доставки лікарських засобів. Завдяки спонсорській допомозі, планується створити ПК-версію гри, у тому числі і версію для вчителів, яка буде містити плани-конспекти уроків та їх онлайн-підтримку, буде безкоштовною для шкіл та коледжів у всьому світі.

Проект NanoSense розглядає питання вивчення нанонауки на рівні загальноосвітньої школи. У тісній співпраці з науковцями і викладачами було створено, випробувано і поширено чотири навчальні програми для загальноосвітніх шкіл, щоб полегшити розуміння вчителями і учнями нанорозмірної науки. У рамках проекту було організовано майстер-класи для вчителів щодо особливостей вивчення нанотехнологій на уроках, а також проведено робочі зустрічі з експертами і практиками з метою виявлення і уточнення основних концепцій і цілей вивчення нанонауки у школі.

Materials Research Science and Engineering Center має освітній портал. Метою організації є поліпшення розуміння суспільством нанонауки і нанотехнологій шляхом поширення відповідних матеріалів серед педагогів, розміщення презентацій у громадських місцях, публікація у популярних виданнях та засобах масової інформації. На цьому порталі можна знайти плани-конспекти уроків, вправи, опис експериментів (демонстрацій), курси, заходи і програми, які будуть корисні не лише для учнів, а й для вчителів.

AQnoHUB – дає змогу вивчати нанотехнології шляхом онлайн-моделювання та використання інтерактивних інструментів при опрацюванні відповідних навчальних модулів.

Також доступні декілька інтерактивних ігор, які являють собою цікавий спосіб організації навчання учнів середньої школи нанотехнологіям. В основному це головоломки, ігри на запам'ятовування тощо. Приклади таких

ігор можна знайти на веб-сайтах присвячених нанотехнологіям Nanoyou, Nanotech Kids, Nanozone та Nanomission.

NanoVenture: настільна гра з нанотехнологій створена з метою встановлення зв'язків між сучасною наукою, зокрема нанотехнологіями та суспільством. Учасники гри стають лідерами нової країни. Перед лідерами постає проблема прийняття рішень щодо використання країною наноматеріалів і нанотехнологій, зберігаючи при цьому високий рейтинг схвалення з боку громадян країни. Прийняття таких рішень вимагає, щоб гравці уважно проаналізували взаємозв'язок технологічних досягнень, нормативно-правових аспектів, громадської думки та відповідних ризиків, пов'язаних з новою областю знань – нанонаука.

Для підвищення нанотехнологічної інформованості громадян у деяких європейських країнах освітні установи пропонують спеціальні виставки для шкіл та громадськості, а також організують відвідування вищих навчальних закладів. Також доступні семінари, інтерактивні лекції та багато інших онлайн ресурсів, що містять інформацію та ігри для науковців. Були опубліковані різноманітні навчальні комплекси. Прикладами таких установ є Saarlabs Initiative, Nanotruck..., Кембриджський університет, проект Nanoyou, ініціатива NanoBioNet та інші науково-технічні музеї.

Крім того, для забезпечення інтеграції даної галузі знань у традиційну систему освіти, враховуючи вимоги до нанотехнологічної освіти, було створено декілька неофіційних проектів підтримки по всьому світу. Ці проекти включають освітні мережеві матеріали спрямовані на громадськість, а також виставки у музеях та наукових центрах.

NISE Network національна спільнота дослідників та викладачів створена з метою інформування громадськості про досягнення нанотехнологій, забезпечення розуміння суспільством нанорозмірної науки, техніки і технологій. На сайті зібрані матеріали для школи, функціонують наукові виставки, проходять нанодні, матеріали для експериментів. Онлайн ресурс стимулює наукову діяльність, де розуміння нанорозмірної науки є головним

завданням. NISE Net забезпечує матеріалами для навчальної діяльності, що можуть бути використані на всіх рівнях освіти починаючи з дошкільної і закінчуючи післядипломною освітою. Наприклад, є завдання для вивчення нанорозмірних об'єктів, таких як сонцезахисна речовина та тонкі плівки, які часто використовують у пам'яті комп'ютера і у сонячних елементах. Проте, багато завдань спроектовано для неформальних наукових досліджень чи у якості простої демонстрації ідеї замість того, щоб дозволити учням вивчати наукові принципи, що оточують вивчення матеріалів на нанорівні для отримання незалежного освітнього досвіду, що більше підходить для загальноосвітньої школи.

Таким чином, у наш час наноосвіта є суттєвою частиною навчальних програм у багатьох університетах і школах Європи та США. Проте, навіть у розвинутих країнах ще існують проблеми, які заважають інтеграції основ нанотехнологій і нанонауки у навчальний процес шкіл. Ці проблеми пов'язані як зі складністю самого предмета вивчення (нанооб'єкти, незвичність їх властивостей, складність та дорогоцінність лабораторного інструментарію тощо), так із інертністю освітнього простору.

Але інтерес до нанорозмірної області, який пов'язаний як з принципово новими фундаментальними науковими проблемами і фізичними явищами, так і з перспективами створення на основі вже відкритих явищ абсолютно нових квантових пристроїв і систем з широкими функціональними можливостями для опто- та наноелектроніки, вимірювальної техніки та інформаційних технологій неминуче охопить і освітній простір всіх країн світу і тому основи «нанонауки» необхідно розглядати в системі вітчизняної підготовки учнівської та студентської молоді, яка складе у майбутньому нове покоління працівників інноваційних підприємств, інженерів і дослідників, здатних працювати в наноіндустрії, тобто у цій новій, досить складній і мультидисциплінарній галузі науки і техніки, яка рано чи пізно проникне у всі галузі нашої промисловості, сільського господарства, медицину і т. п., витісняючи при цьому існуючі застарілі технології.

### **3. ЕЛЕКТИВНИЙ КУРС З ФІЗИКИ «ДИВОВИЖНИЙ СВІТ НАНОТЕХНОЛОГІЙ»**

#### **3.1. ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

Нанотехнології – символ нової науково-технічної революції. Аж до теперішнього часу нанотехнології були у значній мірі предметом наукових досліджень, однак зараз ці розробки починають активно застосовуватися на практиці. На початку XXI століття нанотехнології стали основою переходу розвинутих країн до шостого технологічного укладу і в їх освітньому просторі особистісно-варіативний компонент технологічної і природничої освіти, в основі якого лежать нанонауки, став домінуючим. Аналіз сучасного стану фізико-математичної і технологічної освіти в Україні показує значне відставання у вивченні нанотехнологій у школах та ВНЗ, хоча це питання пов'язане із загальною технологічною інформованістю суспільства і носить міжпредметний характер. Недостатня увага до розвитку nanoосвіти в Україні та запізнення з впровадженням сучасних досягнень нанонауки в промисловість може призвести до технологічної деградації економіки України і відставання переходу до сучасного шостого технологічного укладу.

Перехід виробництв України до сучасних технологій може бути прискорений за рахунок адаптації світового досвіду, розробки та впровадження у вітчизняний освітній простір власних новітніх методик навчання питань та проблем розвитку нанонауки і нанотехнологій

Для ознайомлення учнів з об'єктами наносвіту та унікальними властивостями наночастинок, розкриття міждисциплінарного характеру нанотехнологій, ознайомлення з науковими методами дослідження nanoоб'єктів необхідний додатковий навчальний час. Даний елективний курс дозволяє вирішити проблему нестачі навчального часу. Елективний курс «Дивовижний світ нанотехнологій» побудований на основі базового курсу фізики і передбачає поглиблення та розширення знання учнів, а також

формування уявлення про інструменти нанотехнологій, наноматеріали, досягнення та перспективи розвитку нанотехнологій.

Метою даного курсу є: формування в учнів знань про досягнення та перспективи розвитку нової галузі знань – нанотехнології.

Курс за вибором передбачає реалізацію таких завдань:

- 1) поглибити знання учнів про фізичні явища та процеси;
- 2) ознайомити учнів з нанооб'єктами, наноматеріалами та їх властивостями;
- 3) формувати уявлення про міждисциплінарний характер нанотехнологій;
- 4) ознайомити з сучасними експериментальними засобами дослідження об'єктів нанометрового діапазону;
- 5) розвиток творчих здібностей, пізнавального інтересу до природничих дисциплін і, як наслідок, професійного самовизначення;
- 6) формування основ ціннісного ставлення до природи та технічних досягнень цивілізації.

Курс побудований з опорою на знання та вміння, отримані учнями при вивченні фізики у 7 – 9 класах. Курс складається з 3 розділів і розрахований на 10 уроків для учнів 9 класів.

Основні форми навчання: колективна та групова.

Основні методи навчання: проблемно-пошуковий, інтерактивні (робота у парах, робота у групах, «Мікрофон», «Мозкова атака», «Асоціативний куш», «Мозаїка», «Два-чотири-всі разом», «Ротаційні трійки» та ін.), проектний.

Програма передбачає типове обладнання, перелік якого наведений до кожного заняття.

В результаті засвоєння курсу «Дивовижний світ нанотехнологій» учні:

- повинні мати уявлення: про специфіку нанооб'єктів та нанотехнологій, про можливі сфери застосування нанотехнологій у науці і виробництві;

– повинні знати: основні методи вимірювання у нанотехнологіях, основні методи створення наноматеріалів, основні поняття, напрями розвитку фундаментальних досліджень та прикладних розробок у галузі нанотехнологій, основні досягнення нанотехнологій, їх значення для промисловості та суспільства, перспективи розвитку нанотехнологій;

– повинні вміти: самостійно отримувати та застосовувати знання, висувати гіпотези, обговорювати дискусійні питання, відстоювати власну точку зору;

– здатні застосовувати отримані знання у повсякденному житті.

Оцінювання навчальних досягнень здійснюється протягом навчання відповідно до чинних критеріїв 12-бальної системи оцінювання, форми оцінювання обирає учитель. Також у підсумкову оцінку входить самостійна творча робота учнів, а саме створення проектів за темами:

1. Наноефекти і нанооб’єкти у природі.
2. Самоорганізація та самозбірка у нанотехнологіях.
3. Невуглецеві фулерени.
4. Невуглецеві нанотрубки.
5. Нанотехнології у машинобудуванні.
6. Нанотехнології у будівництві.
7. Нанотехнології у сільському господарстві.
8. Нанотехнології в енергетиці.
9. Нанотехнології та екологія.

### Зміст елективного курсу

К-сть годин	Зміст навчального матеріалу	Навчальні досягнення
1	<b>Основні поняття та означення нанонауки і нанотехнологій</b>	Учень (учениця): - знає основні поняттями та означення нанонауки, основні етапи

		<p>становлення нанонауки;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- вмiє співвідносити об'єкти та їх лінійні розміри.</li> </ul>
2	<p><b>Інструменти нанотехнологій</b></p> <p>Технології отримання наноматеріалів: «зверху вниз» та «знизу вверх».</p> <p>Просвічуюча електронна мікроскопія. Скануюча електронна мікроскопія. Скануюча зондова мікроскопія.</p>	<p>Учень (учениця)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- знає технології отримання наноматеріалів: «зверху вверх», будову та принцип дії просвічуючого електронного мікроскопа, будову та принцип дії скануючого електронного мікроскопа, будову та принцип дії скануючого тунельного мікроскопа, будову та принцип дії атомно-силового мікроскопа;</li> <li>- вмiє працювати у віртуальній середовищі, що імітує принцип роботи атомно-силового та скануючого тунельного мікроскопів.</li> </ul>
4	<p><b>Наноматеріали</b></p> <p>Наночастинки.</p> <p>Фулерени. Нанотрубки.</p> <p>Графен.</p>	<p>Учень (учениця)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- знає класифікацію наноматеріалів, що таке наночастинки, нанокластери, структуру, методи отримання та властивості фулеренів, структуру, методи отримання та властивості нанотрубок, структуру, методи отримання та властивості графену;</li> <li>- вмiє застосовувати знання про наноматеріали та їх властивості під час розв'язування задач.</li> </ul>
2	<b>Досягнення та</b>	Учень (учениця)

	<p><b>перспективи застосування нанотехнологій</b></p> <p>Нанопокриття.</p> <p>Каталізатори і фільтри.</p> <p>Нанотехнології у медицині.</p> <p>Нанотехнології у парфумерії та харчовій промисловості.</p> <p>Використання нанотехнологій при виробництві одягу, взуття, спортивних товарів.</p> <p>Нанотехнології у військовій промисловості.</p>	<p>знає досягнення та перспективи застосування нанотехнологій у медицині, парфумерії, харчовій промисловості, при виробництві одягу, взуття, спортивних товарів, у військовій промисловості;</p> <p>вміє наводити приклади застосування нанотехнологій у промисловості та повсякденному житті.</p>
1	Підсумково-узагальнююче заняття	



### 3.2. КАЛЕНДАРНО-ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН

№ з/п	Дата	Тема та зміст заняття	Примітки
1/1		<b>Основні поняття та означення нанонауки і нанотехнологій (1 год)</b>	
<b>Інструменти нанотехнологій (2 год)</b>			
1/2		Технології отримання наноматеріалів: «зверху вниз» та «знизу вверху».	
2/3		Просвічуюча електронна мікроскопія. Скануюча електронна мікроскопія. Скануюча зондова мікроскопія.	
<b>Наноматеріали (4 год)</b>			
1/4		Наночастинки.	
2/5		Структури на основі вуглецю. Фулерени.	
3/6		Нанотрубки.	
4/7		Графен.	
<b>Досягнення та перспективи застосування нанотехнологій (2 год)</b>			
1/8		Нанотехнології у медицині, парфумерії та харчовій промисловості. Використання нанотехнологій при виробництві одягу, взуття, спортивних товарів.	
2/9		Нанопокриття. Каталізатори і фільтри. Нанотехнології у військовій промисловості.	
1/10		<b>Підсумково-узагальнююче заняття (1 год)</b>	

### **3.3. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ОЗНАЧЕННЯ НАНОНАУКИ І НАНОТЕХНОЛОГІЙ**

(Заняття № 1)

**Тема заняття:** Основні поняття та означення нанонауки і нанотехнологій

**Мета заняття:** ознайомити з основними поняттями та означеннями нанонауки, формувати уявлення про основні етапи становлення нанонауки її міждисциплінарний характер; розвивати мислення, увагу, спостережливість; виховувати пізнавальний інтерес.

**Тип заняття:** вивчення нового матеріалу.

**Обладнання:** комп'ютерна презентація.

#### **План заняття**

- I. Організаційна частина.
- II. Мотивація навчальної діяльності.
  1. Бесіда.
- III. Оголошення теми та мети заняття.
- IV. Вивчення нового матеріалу.
  1. Основні поняття та означення.
  2. З історії розвитку нанотехнологій.
  3. Міждисциплінарний характер нанотехнологій.
- V. Формування практичних умінь і навичок.
  1. «Два-чотири-всі разом».
- VI. Підсумок заняття.
  1. Інтерактивна вправа «Інтерв'ю».
- VII. Домашнє завдання.

#### **Хід заняття**

##### **I. Організаційна частина.**

Перевірка готовності учнів до заняття. Налаштування на роботу.

Знайомство учнів з метою, завданнями та структурою курсу «Дивовижний світ нанотехнологій».

Повідомлення про систему та критерії оцінювання навчальних досягнень учнів.

## **II. Мотивація навчальної діяльності**

### **1. Бесіда**

- Чи бачили ви коли-небудь монітор, товщина якого менше міліметра?
- А папір, що не згорає і не промокає?
- Чи одяг, який не можна забруднити?
- Це не фантастика! Це те, що чекає нас у найближчому майбутньому.

Ці та інші незвичайні предмети можуть подарувати людству нанотехнології.

## **III. Оголошення теми та мети заняття**

### **IV. Вивчення нового матеріалу**

#### **1. Основні поняття та означення**

*(Розповідь з елементами бесіди)*

Як і будь-яка галузь знань, нанонаука має свою специфічну систему термінів.

Термінологія нанонауки ще проходить стадію формування.

Більше того, у зв'язку з бурхливим розвитком нанотехнологій, відкриттям нових нанорозмірних явищ і перспектив застосування, список сформульованих на даний момент означень не можна вважати вичерпним. Перелік термінів з приставкою «нано» постійно доповнюється і розширюється.

Розглянемо деякі основні поняття.

Нано – десяткова приставка (в перекладі з грецького nanos – «карлик»), що означає одну мільярдну частину будь-якої величини ( $10^{-9} = 0,000000001$ ). Наприклад, нанометр ( $1\text{нм} = 10^{-9}\text{м}$ ), нанолітр ( $1\text{нл} = 10^{-9}\text{л}$ ), наносекунда ( $1\text{нс} = 10^{-9}\text{с}$ ) тощо.

Наномасштаб – це діапазон розмірів від 1 до 100 нанометрів ( $1\text{нм} = 10^{-9}\text{м} = 10^{-6}\text{мм} = 10^{-3}\text{мкм}$ ). На рис. 6 наведені розміри деяких об'єктів природного та штучного світу в інтервалі розмірів від 10 м до  $10^{-10}\text{м}$ .

Нанотехнології – міждисциплінарна область науки, у якій вивчаються

закономірності фізико-хімічних процесів у просторових областях нанометрових розмірів з метою управління окремими атомами, молекулами, молекулярними системами при створенні нових молекул, наноструктур, нанопристроїв і матеріалів зі спеціальними фізичними, хімічними і біологічними властивостями.



Рис. 6. Місце нанорозмірних об'єктів в оточуючому світі

Нанотехнології – це також сукупність методів і прийомів, що забезпечують можливість контрольованим чином створювати і модифікувати об'єкти, що включають компоненти з розмірами менше 100 нм, які мають принципово нові властивості і дозволяють здійснювати їх інтеграцію у повноцінно функціонуючі системи більшого масштабу.

Наноматеріали – це матеріали, що містять структурні елементи

(кристали, волокна, шари, пори), геометричні розміри яких хоча б в одному напрямку не перевищують нанотехнологічної межі – 100 нм (від 1 до 100 нм), що володіють якісно іншими, у порівнянні з традиційними матеріалами, фізичними, хімічними, механічними і біологічними властивостями, функціональними та експлуатаційними характеристиками.

Верхня межа діапазону обумовлена тим, що істотні зміни властивостей матеріалів починаються при розмірах структурних елементів менше 100 нм. Нижня межа діапазону обумовлена критичним розміром нанокристалічного матеріалу як структурного елементу, що має упорядковану будову, тобто кристалічну решітку (наприклад, для заліза ця межа становить 0,5 нм).

Нанонаука – система знань, яка ґрунтується на описі, поясненні та прогнозуванні властивостей матеріальних об'єктів з нанометровими розмірами або систем більш високого метричного рівня, упорядкованих або самовпорядкованих на основі нанорозмірних елементів.

Нанооб'єкт – фізичний об'єкт досліджень (і розробок), розміри якого прийнято вимірювати у нанометрах.

## **2. З історії розвитку нанотехнологій**

*(Інформація вчителя з показом слайдів та виступи учнів, яким було запропоновано написати реферати)*

Для полегшення підготовки вчителя до даного заняття пропонуємо наступну інформацію, пов'язану з історією розвитку нанотехнологій та її міждисциплінарним характером.

Несвідомо елементи нанотехнологій використовуються людиною з давніх часів, задовго до настання ери нанотехнологій, тобто можна говорити про «інтуїтивні» нанотехнології, які налічують вже сотні і навіть тисячі років.

Ще задовго до сучасних досягнень нанонауки, більше ніж 6 тис. років до н. е., на Близькому Сході розробили технологію виготовлення штучної бірюзи. Ця технологія не складна: шляхом послідовного нанесення дуже великої кількості тонких плівок складного складу (за сучасними уявленнями

це наночарові плівки) з відпалом у закритій камері при певних для кожного етапу умовах. Перевагами такої штучно створеної бірюзи є наявність дуже малої кількості дефектів та надзвичайна схожість з природною бірюзою (різницю можна виявити лише за допомогою сучасної аналітики).

Яскравим прикладом інтуїтивних нанотехнологій є отримання золотого покриття на мідних виробках шляхом електрохімічного нарощування за допомогою гальванічних елементів, які виготовляли у Месопотамії за 4 тис. років до н.е.

Дослідженнями підтверджено, що нанотехнологічні принципи використовували ще за 300 років до н. е. стародавні індійські майстри, які виготовляли клинки з особливої булатної сталі (wootz steel) з великими присадками вуглецю (до 1,5%), поверхня яких, як з'ясували пізніше за допомогою електронного мікроскопа, містить вуглецеві нанотрубки і нановолокна з цементиту (карбїду заліза).

Стародавні карфагеняни і фінікійці вміли варити скло, до складу якого входили наночастинки металів, що надавало склу унікальні оптичні властивості – вони міняли колір залежно від освітлення. До складу вітражних стекол, що прикрашали середньовічні собори, як компонент також входили наночастинки металів і оксидів, що визначало їх унікальні оптичні та антисептичні властивості.

Римські склoduви (IV ст. н.е.) до складу вихідної маси скла додавали наночастки срібла і золота, що змінювало колір виробів при освітленні (знамениті рубінові кубки рис. 1), тобто використовувалися незвичайні оптичні властивості наночастинок благородних металів, що залежать від їх розміру.

Унікальною технікою літографії володіли індіанці майя. Більше 1000 років назад вони навчилися отримувати рельєфні зображення шляхом нанесення тонких малюнків зі смоли чи асфальту на раковини та подальшим їх труєнням соком кактуса.

Свої секрети мали й древні римляни. Вони застосовували вулканічний

попіл при будівництві для підвищення водостійкості вапняних матеріалів.

Зрозуміло, що інтуїтивні нанотехнології розвивалася стихійно і тому не можуть бути надійною основою для майбутнього розвитку нанонауки. Суттєвим при цьому є розуміння природи і суті об'єктів і процесів, що використовуються у нанотехнологіях. Тому першорядне значення мають сучасні фундаментальні дослідження, спрямовані на вивчення явищ, що відбуваються у нанодіапазоні, на створення нових об'єктів і принципово нових технологічних процесів.

Історія розвитку нанотехнологій є досить складною та включає наукові досягнення вчених багатьох країн світу. Розглянемо найбільш значущі етапи розвитку нанонауки, які не висвітлювались у п.1.

Основоположником нанотехнологій є відомий грецький філософ Демокрит, який приблизно у 400 р до н. е. для опису найменшої частки речовини вперше використав слово «атом».

Ірландський фізик і хімік Р. Бойль, один із засновників Лондонського Королівського Товариства, у 1661 р. у праці «Хімік-скептик» вказав на потенційну важливість найдрібніших частинок – кластерів («корпускул»). Критикуючи вчення Аристотеля про матерію, що складається з чотирьох першооснов (землі, вогню, води і повітря), автор припустив, що всі матеріальні об'єкти складаються з надмалих корпускул, які досить стійкі і у різних поєднаннях утворюють різні речовини і предмети. Згодом ідеї Демокрита і Бойля були прийняті науковим співтовариством.

Англійський фізик М. Фарадей, основоположник вчення про електромагнітне поле, у 1857 р. вперше отримав стійкі колоїдні розчини золота (рідкі системи з найдрібнішими частинками дисперсної фази, вільні і незалежні один від одного, що переміщуються у процесі броунівського руху). Згодом колоїдні розчини стали широко використовуватися для формування наносистем.

Прикладом першого використання нанотехнологій можна вважати винахід у 1883 р. американським винахідником Д. Істменом, засновником

відомої компанії Kodak, рулонної фотоплівки, що представляє собою нанесену на прозору еластичну основу емульсії галогеніду срібла, що розкладається під дією світла з утворенням наночастинок чистого срібла, які і є пікселями зображення.

Першим вченим, який використовував вимірювання у нанометрах, прийнято вважати відомого фізика Альберта Ейнштейна, який у 1905 р. теоретично довів, що розмір молекули цукру дорівнює одному нанометру ( $10^{-9}$  м).

У 1931 р. німецькі фізики М. Кнолл і Е. Руска створили електронний просвічуючий мікроскоп, який став прообразом нового покоління пристроїв, що дозволили зазирнути у світ нанооб'єктів.

У 1939 р. компанія Siemens випустила перший промисловий електронний мікроскоп з роздільною здатністю – 10 нм.

Американський фізик, Нобелівський лауреат Р. Фейнман у 1959 р. у знаменитій лекції у Каліфорнійському технологічному інституті «Там, внизу, ще багато місця» ( «There's Plenty of Room at the Bottom») висловив ідеї управління будовою речовини на атомарному рівні, що здавалися фантастичними (про гравіювання ліній шириною у декілька атомів за допомогою електронного пучка, про маніпулювання окремими атомами для створення нових малих структур, про створення електричних ланцюгів нанометрових масштабів, про застосування наноструктур у біологічних системах), сьогодні вже реалізовані.

Співробітники наукового підрозділу американської компанії Bell A. Чо і Д. Артур у 1968 р. розробили теоретичні основи нанообробки поверхні.

У 1971 р. компаніями Bell і IBM отримані перші напівпровідникові плівки одноатомної товщини, що послужило початком епохи «практичних» нанотехнологій.

Зі створенням скануючого тунельного та атомно-силового мікроскопів почали з'являтися перші комерційні наноматеріали – нанопорошки, нанопокриття, об'ємні наноматеріали, нанохімічні і нанобіологічні



препарати; створені перші електронні пристрої, сенсори різного призначення на базі нанотехнологій; розроблені численні методи отримання наноматеріалів.

Нанотехнології вже використовуються у найбільш значущих областях людської діяльності – радіоелектроніці, інформаційній сфері, енергетиці, транспорті, біотехнології, медицині, оборонній промисловості. Сьогодні у нанодослідженнях задіяні понад 50 країн світу. За унікальні результати досліджень у цій області присуджено 8 Нобелівських премій.

### 3. Міждисциплінарний характер нанотехнологій

*(Розповідь вчителя з елементами бесіди)*

Нанонаука, як єдине ціле, розвивається на стику цілого ряду незалежних наук і технологій. У цій області науки відбувається злиття теоретичного, методичного та експериментального матеріалу, накопиченого у галузі фізики, хімії, біології, механіки, інформаційних технологій тощо (див. рис 7).



Рис. 7. Основні об'єкти та області застосування нанонауки

Таким чином, нанонаука є міждисциплінарною (мультидисциплінарною) областю, яка вимагає застосування різноманітних підходів і методик,

об'єднання зусиль вчених, що працюють у різних сферах діяльності, їх взаєморозуміння, у тому числі й формування єдиної термінології.







Міждисциплінарність нанотехнологій проявляється також у тому, що вона має численні області розгалуження у плані застосування отриманих результатів, причому мова йде не тільки про науки, а й пов'язані з ними галузі виробництва і бізнесу (див. рис. 7).

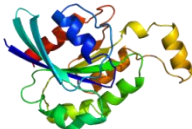

#### 4. Формування практичних умінь і навичок

##### 1. «Два-чотири-всі разом»

Вчитель пропонує учням об'єднатися у пари для виконання спільного завдання, а саме: встановлення відповідності між об'єктом та його лінійними розмірами (табл. 1). Виконавши завдання, учні об'єднуються у четвірки і обговорюють результати виконаного завдання. Після цього правильність виконання завдання перевіряється фронтально.

Таблиця 1.

Боби 		100 нм
Бактерія 		1 см
Вірус 		1 мм
Булавка 		1 мкм
Клітини 		0,1 нм
Молекула 		10 нм

Протеїни 		1 нм
Атом 		100 мкм

## VI. Підсумок заняття

### 1. Інтерактивна вправа «Інтерв'ю».

Щоб підвести підсумок заняття і узагальнити все, що вивчили на занятті вчитель об'єднує учнів у пари, один з членів пари буде кореспондентом, інший – респондентом. Кореспондент складає три запитання щодо теми заняття, а респондент відповідає на них. Потім учні міняються ролями.

## VII. Домашнє завдання

1. Опрацювати конспект.

## 3.4. МЕТОДИ ОДЕРЖАННЯ НАНООБ'ЄКТІВ

(Заняття № 2)

**Тема заняття:** Шляхи створення наноб'єктів: «зверху вниз» та «знизу вверх».

**Мета заняття:** ознайомити учнів з технологіями отримання наноб'єктів: «зверху вниз» та «знизу вверх», розвивати логічне мислення, увагу, пам'ять, виховувати допитливість.

**Тип заняття:** вивчення нового матеріалу.

**Обладнання:** комп'ютерна презентація.

### План заняття

- I. Організаційна частина.
- II. Актуалізація опорних знань.
  1. «Незакінчені речення».

III. Оголошення теми та мети заняття.

VI. Формування умінь і навичок.

1. Технології отримання наноматеріалів.
2. Літографія.
3. Епітаксія

V. Підсумок заняття.

1. Інтерактивна вправа «Абетковий суп».

VI. Домашнє завдання.

### **Хід заняття**

#### **I. Організаційна частина**

Перевірити готовність учнів до заняття. Налаштувати на роботу.

#### **II. Актуалізація опорних знань**

1. «Незакінчені речення»

Вчитель пропонує учням закінчити речення записані на слайді:

*Наномасштаб – це діапазон розмірів...*

*Нанотехнології – це ...*

*Наноматеріали – це...*

*Нанонаука – це ...*

*Нанооб'єкт – це ...*

*Прикладами «інтуїтивних» нанотехнологій можуть бути...*

*Основними етапами становлення нанотехнологій є ...*

*Міждисциплінарний характер нанотехнологій полягає у тому, що ...*

#### **III. Оголошення теми та мети заняття**

**IV. Вивчення нового матеріалу. Розглянемо один із можливих варіантів викладення нового матеріалу по даній темі.**

##### **1. Технології отримання наноматеріалів**

Нанотехнології дозволяють створювати та використовувати матеріали та пристрої розмірів порядку нанометра. Існує два підходи отримання нанометрових об'єктів та виробів:

- «зверху-вниз» («top-down»);

– «знизу-вверх» («bottom-up») (рис. 8).

Підхід «зверху-вниз» є традиційним і ґрунтується на зменшенні розмірів фізичних тіл (заготовок) механічною, фізико-хімічною чи іншою розмірною обробкою, аж до отримання об'єктів з необхідними параметрами. Дана технологія є досить складною, багатоетапною, вимагає застосування цілого арсеналу дорогого устаткування, пов'язана з великими відходами матеріалів, має фізичні обмеження щодо точності, яка досягається, внаслідок чого вона трудомістка і малопридатна для організації ефективного виробництва, особливо для виробів ультрамалих розмірів.

Спадний підхід у нанотехнології ґрунтується на тому, що для отримання наноструктур використовують вихідні масивні матеріали або покриття.

Послідовне зменшення розмірів вихідних об'єктів різними видами обробки дозволяє отримувати кінцеві вироби з нанометровими параметрами.

При підході «знизу-вверх» отримання необхідних об'єктів реалізується шляхом послідовного керованого «нарощування» з окремих атомів і молекул. Тобто створення необхідної «конструкції» здійснюється безпосередньо з елементів нижчого порядку – атомів, молекул та їх структурних об'єднань, що розташовуються у необхідному порядку з метою «вибудовування» впорядкованої структури, що дозволяє досягти граничних характеристик



Рис. 8. Схема отримання наночастинок «зверху-вниз» та «знизу-вверх»

технології на сучасному рівні знань. Цей підхід може бути реалізований різними методами – складанням з окремих атомів за допомогою скануючих зондових мікроскопів, за допомогою процесу самозбірки, деякою послідовністю каталітичних хімічних реакцій і т. д.

Дана технологія може бути представлена як безвідходний молекулярний дизайн виробу.

«Сировиною» при цьому є окремі атоми, молекули, системи атомів, молекул та їх структурні об'єднання, а не звичні у традиційних технологіях мікронні або макроскопічні об'єми матеріалу, що містять, принаймні, мільярди атомів і молекул.

Відбувається перехід від маніпуляції речовиною до маніпуляції атомами.

«Індивідуальний» підхід, при якому зовнішнє управління досягає окремих атомів і молекул, сприяє реалізації особливих структурних станів, складних квантово-механічних ефектів, що визначають «аномальні» фізичні, механічні, хімічні та інші властивості, відмінні від властивостей традиційних матеріалів.

Даний підхід, незважаючи на його низьку продуктивність у даний час, пов'язану з недостатньою технічною «майстерністю», більш перспективний, за ним майбутнє нанотехнологій.

Проблема створення і дослідження структур з контрольованими параметрами і заданими властивостями на нанорівні входить у число найважливіших технологічних проблем сучасності. Це пов'язано з унікальними властивостями матеріалів у наноструктурному стані, близькими до фундаментальних обмежень, можливістю створення «інтелектуальних» матеріалів з наперед заданими програмованими властивостями, розробкою нових технологій обробки матеріалів та модифікації їх поверхні, із загальною тенденцією мініатюризації виробів.

Зародження і розвиток нової парадигми всієї виробничої діяльності «знизу-вверх» – від окремих атомів до виробу, а не «зверху-вниз» при

традиційних технологіях, коли виріб отримують відділенням «зайвого» матеріалу від масивної заготовки, охоплює всі життєво важливі види діяльності людини – від освоєння космосу до медицини, від національної безпеки до екології та сільського господарства тощо.

Підхід «знизу-вверх» можна вважати «зворотним» по відношенню до традиційного методу мініатюризації «зверху-вниз». Однак при зовнішній протилежності цих процесів дані технології часто використовуються у комплексі, доповнюють одна одну, що особливо наочно проявилось у нових сучасних комбінованих методах літографії.

## 2. Літографія

Прикладом технології «зверху-вниз» є традиційна мікроелектронна технологія літографії (лазерної, електронної, рентгенівської).

На сьогоднішній день літографія є одним з основних інструментів отримання наноструктур в електроніці (рис. 9). Назва «літографія» походить від грецьких слів «*lithos*» – камінь та «*grapho*» – пишу, що дослівно означає «пишу на камені». Літографія дає змогу створювати наноструктури на поверхні твердих тіл.

Процес літографії є досить простим і складається з декількох етапів.

На першому етапі на поверхню твердого тіла наноситься шар фоторезисту – світлочутлива речовина, яка під дією випромінювання змінює структуру поверхні, на яку нанесена. Далі на поверхню наносять фотошаблон, що являє собою маску із прозорих та непрозорих для випромінювання ділянок, так званий, трафарет для «різьби» по поверхні твердого тіла.

На другому етапі, етапі експонування, поверхню твердого тіла з нанесеним на неї фоторезистом та накладеним зверху фотошаблоном піддають опроміненню лампою чи лазером. У результаті, під прозорими для випромінювання ділянками фотошаблону відбувається зміна структури поверхні, викликана дією фоторезисту. Для видалення зміненої фоторезистом

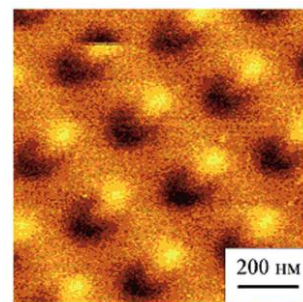


Рис. 9. Структура отримана за допомогою літографії

частина поверхні та самого фоторезисту використовують процедуру травлення. В основі хімічного травлення лежить процес розчинення спеціальними хімічними речовинами поверхні, що змінила свою структуру під дією опроміненого фоторезисту. Таким чином можна створити на поверхні твердого тіла досить складні структури.

Літографія є одним з основних етапів створення мікросхем. Зменшення розмірів мікросхем може бути досягнуто при зменшенні розмірів «малюнків», що формуються при літографії.

### **3. Епітаксія**

В основі більшості технологій створення наноматеріалів з окремих атомів лежить явище конденсації – перехід речовини з газоподібного стану у рідкий чи твердий внаслідок його охолодження чи стиснення.

Дощ, сніг, роса, іній – всі ці явища природи являються результатом конденсації водяної пари в атмосфері. Конденсація пари можлива лише при температурах нижче критичної для даної речовини. Аналогічно молекулам води, можна «конденсувати» атоми і молекули інших хімічних елементів. Конденсація, як і зворотній процес – пароутворення, є прикладом фазових перетворень речовини.

Процес фазового перетворення з газу у рідину чи з рідини у тверду речовину триває певний проміжок часу. На початковій стадії процесу перетворення утворюються наночастинки, які потім переростають у макроскопічні об'єкти. Наночастинки можна отримати, якщо «заморозити» фазовий перехід на початковій стадії.

При конденсаційному методі отримання наночастинок необхідно випарувати з макроскопічного тіла атоми, з яких і буде проходити утворення наночастинок. Можливими способами пароутворення є термічний чи лазерний розігрів макроскопічного тіла. Атоми, що випарувалися, необхідно перенести в область понижених температур, де і відбувається їх конденсація у наночастинки.

Основні труднощі процесу утворення наночастинок з пари полягають у



створенні відповідних умов, при яких наночастинки не переростуть у макроскопічні тіла. Керована конденсація атомів на поверхні кристала (підкладки) лежить в основі технології епітаксії.

Епітаксія (з грецького *epi* – на, над та *taxis* – розташування, порядок) – орієнтований ріст одного кристала на поверхні іншого (підкладки) (рис. 10).

Епітаксію необхідних атомів на поверхню кристала можна проводити як з рідкої фази, так і з газової. Процес епітаксії зазвичай починається з виникнення на підкладці окремих кристаликів, які, зростаючись один з одним, утворюють суцільну плівку. Сучасні методи епітаксії дозволяють нарощувати шари товщиною у декілька атомних слоїв, а також послідовно нарощувати шари з різними фізико-хімічними властивостями.



Рис. 10. Епітаксія кристалів рутилу на гематиті

Епітаксію широко використовують у мікроелектроніці (транзистори, інтегральні схеми, світлодіоди і т. д.), у пристроях інтегральної оптики, в обчислювальній техніці (магнітні елементи пам'яті) і т. д.

## **V. Формування вмінь та навичок**

### **1. «Ротаційні трійки»**

Клас ділиться на групи по три чоловіки. Всі трійки класу отримують одне й теж завдання, а після обговорення один член трійки йде у наступну, один у попередню і ознайомлює членів новостворених трійок з напрацюваннями своєї.

Завдання 1: оцініть число атомів у наночастинці золота діаметром 3 нм. Радіус атома Au становить 0,144 нм.

Завдання 2: оцініть, яка частина (в %) атомів золота знаходиться на поверхні наночастинки золота.

## Розв'язання

1. Доцільно оцінити кількість атомів лише по порядку величини. У такому грубому наближенні вільним об'ємом між атомами у наночастинці можна знехтувати, тоді число атомів дорівнює відношенню об'єму наночастинки до об'єму атома. За умовою, передбачається, що обидві частки мають форму кулі:

$$N = \frac{V_{\text{нч}}}{V_{\text{ат}}} = \frac{\frac{4}{3}\pi r_{\text{нч}}^3}{\frac{4}{3}\pi r_{\text{ат}}^3} = \left(\frac{r_{\text{нч}}}{r_{\text{ат}}}\right)^3 = \left(\frac{1,5 \cdot 10^{-9}}{0,144 \cdot 10^{-9}}\right)^3 = 1130 \sim 10^3.$$

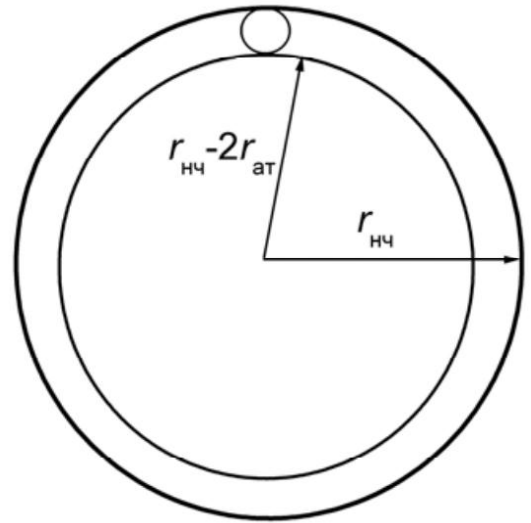


Рис. 11

2. Будемо вважати, що поверхня наночастинки проходить по зовнішнім точкам атомів-куль (рис. 11).

Для оцінки частки атомів у поверхневому шарі знайдемо об'єм поверхневого шару  $V_{\text{пов}}$  і розділимо його на об'єм наночастинки  $V_{\text{нч}}$ . Об'єм поверхневого шару дорівнює різниці об'єму наночастинки і внутрішнього об'єму – кулі радіусом  $r_{\text{нч}} - 2r_{\text{ат}}$ :

$$\frac{V_{\text{пов}}}{V_{\text{нч}}} = \frac{\frac{4}{3}\pi r_{\text{нч}}^3 - \frac{4}{3}\pi (r_{\text{нч}} - 2r_{\text{ат}})^3}{\frac{4}{3}\pi r_{\text{нч}}^3} = \frac{r_{\text{нч}}^3 - (r_{\text{нч}} - 2r_{\text{ат}})^3}{r_{\text{нч}}^3} = \frac{(1,5 \cdot 10^{-9})^3 - (1,5 \cdot 10^{-9} - 2 \cdot 0,144 \cdot 10^{-9})^3}{(1,5 \cdot 10^{-9})^3} =$$

$$0,47 = 47\%.$$

## VI. Підсумок заняття

### 1. Інтерактивна вправа "Абетковий суп"

Учням пропонується витягти з чарівної торбинки літеру і придумати підсумкове речення на тему уроку, яке б починалося з цієї літери.

## VII. Домашнє завдання

1. Опрацювати: конспект.
2. Виконати: При якому мінімальному  $n$  розмір частки  $\text{Fe}_n$  може потрапити у нанодіапазон? Радіус атома заліза – 132 пм.

### 3.5. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ НАНОМАТЕРІАЛІВ

(Заняття № 3)

**Тема заняття:** Просвічуюча електронна мікроскопія. Скануюча електронна мікроскопія. Скануюча зондова мікроскопія.

**Мета заняття:** ознайомити учнів з будовою та принципом дії просвічуючого електронного мікроскопа, растрового електронного мікроскопа, скануючого тунельного мікроскопа та атомно-силового мікроскопа; розвивати аналітичні здібності, увагу, пам'ять; виховувати допитливість, інтерес до сучасної фізики та нанотехнологій.

**Тип заняття:** комбіноване.

**Обладнання:** комп'ютери, комп'ютерна презентація.

#### План заняття

- I. Організаційна частина.
- II. Перевірка домашнього завдання.
- III. Актуалізація опорних знань.
  1. «Мозкова атака».
- IV. Оголошення теми та мети заняття.
- V. Вивчення нового матеріалу.
  1. Просвічуюча електронна мікроскопія.
  2. Скануюча електронна мікроскопія.
  3. Скануюча зондова мікроскопія.
  4. Скануюча тунельна мікроскопія.
  5. Атомно-силова мікроскопія.
- VI. Формування практичних умінь і навичок.
  1. Робота у парах.
- VII. Підсумок заняття.
  1. Інтерактивна вправа «Мікрофон».
- VIII. Домашнє завдання.

## Хід заняття

### I. Організаційна частина

Перевірити готовність учнів до заняття. Налаштувати на роботу.

### II. Перевірка домашнього завдання

Учні презентують результати розв'язання домашньої задачі.

#### Задача

При якому мінімальному  $n$  розмір частки  $Fe_n$  може потрапити у нанодіапазон? Радіус атома заліза – 132 пм.

#### Розв'язання

Діаметр атома заліза у 2 рази перевищує радіус, тобто:

$$d(Fe) = 264 \text{ пм} = 0,264 \text{ нм.}$$

$$\frac{1}{0,264} = 3,7, \text{ тому гіпотетична лінійна структура з 4 пов'язаних атомів}$$

матиме розмір більше 1 нм.

Відповідь.  $n = 4$ .

### III. Актуалізація опорних знань

#### 1. «Мозкова атака»

- Що називають нанотехнологіями?
- Які технології отримання нанооб'єктів вам відомі?
- Наведіть приклади технології «зверху-вниз».
- Наведіть приклади технології «знизу-вверх».
- Які основні етапи технології літографії?
- Як відбувається процес епітаксії?

### IV. Оголошення теми та мети заняття

### V. Вивчення нового матеріалу

#### 1. Просвічуюча електронна мікроскопія

Мінімальний розмір об'єктів, доступний людському зору, становить на відстані найкращого зору (25 см), величину порядку 0,1 мм. Для вивчення менших об'єктів застосовують різні оптичні пристрої – як найпростіші, наприклад, лупу, так і більш складні, які складаються з декількох лінз –

оптичні мікроскопи. Сучасні оптичні мікроскопи дають збільшення у 1500 разів, це означає, що з їх допомогою можна розрізняти об'єкти розміром порядку  $10^{-7}$  м, тобто у сотні нанометрів.

Таким чином, навіть за допомогою найсильнішого мікроскопа не можна розглянути об'єкти менше 200 нм. До цього діапазону належать живі клітини, розмір яких складає сотні і тисячі нанометрів. Атоми, розміри яких не перевищують декількох десятих нанометра, оптичному мікроскопу вже не доступні.

У 30-ті роки ХХ століття була запропонована схема мікроскопа, де для побудови зображення замість світлової хвилі використовували потік електронів. Винайдення електронного мікроскопа стало можливим внаслідок бурхливого розвитку квантової механіки. Було встановлено, що частинки мікросвіту, зокрема електрон,

володіють корпускулярно-хвильовим дуалізмом, тобто володіють властивостями як частинки, так і хвилі. З'ясувалося, що електрони – це заряджені частинки, рухом яких можна керувати за допомогою електричного та магнітного полів; електронні пучки відхиляються електричними та магнітними полями приблизно так само, як світлові промені оптичними лінзами. Тому в електронному мікроскопі пристрої для фокусування та розсіювання електронного пучка називають «електронними лінзами».

Схема електронного мікроскопа, включає наступні елементи: електронна гармата,

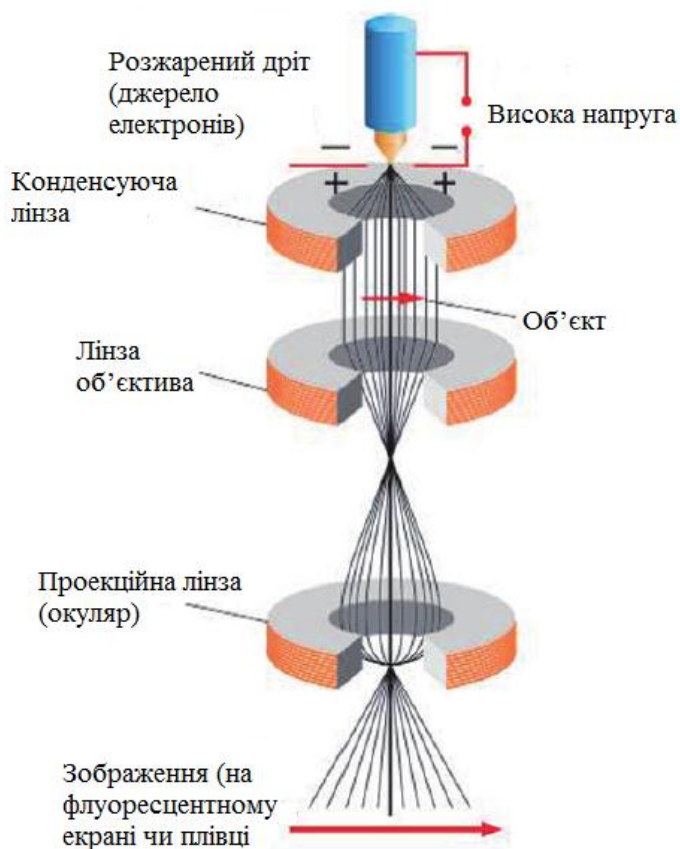


Рис. 12. Схема роботи просвічуючого електронного мікроскопа

що випускає потік електронів плюс система електричних (магнітних) лінз, що фокусує потік електронів на досліджуваному предметі. Залишається тільки якимось чином перетворити зображення у видиме. Дану проблему вирішили німецькі вчені М. Кнолль та Е. Руска побудувавши у 1932 році перший мікроскоп, де застосували магнітні лінзи для фокусування електронів. Цей прилад був попередником сучасного просвічуючого електронного мікроскопа, схема якого показана на рис.12.

Джерело світла у таких мікроскопах являє собою електронну гармату, джерелом електронів у якій частіше за все служить нагріта вольфрамова нитка. Електрони, що вилітають проходять через електронну лінзу-конденсор, що регулює інтенсивність потоку випромінювання, та освітлювану площу поверхні досліджуваного зразка, а потім через лінзу-об'єктив проєктуються на люмінесцентний екран, який дає змогу перетворити «електронну тінь» у звичайне зображення, яке можна сфотографувати чи безпосередньо спостерігати.

Просвічуючий електронний мікроскоп має декілька принципових особливостей: Оскільки електронний потік сильно поглинається речовиною, то у середині установки має бути створено вакуум; по цій же причині досліджуваний зразок має бути дуже тонким (порядку 100 нм), і його виготовлення є складним технічним завданням.

## 2. Скануюча електронна мікроскопія

Проблеми підготовки зразка позбавлений скануючий (растровий) електронний мікроскоп (рис. 13).

Його конструкція подібна до конструкції

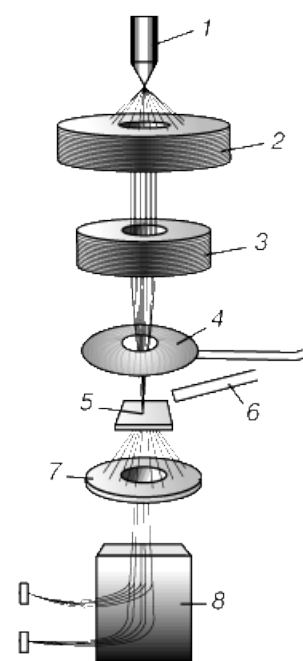


Рис. 13. Схема роботи растрового електронного мікроскопа: 1 – джерело електронів; 2 – система прискорення; 3 – магнітна лінза; 4 – котушки, що відхиляють; 5 – зразок; 6 – детектор відбитих електронів; 7 – кільцевий детектор; 8 – аналізатор

просвічуючого електронного мікроскопа. Принципова відмінність полягає у тому, що електронний пучок освітлює не всю поверхню досліджуваного предмета. Фокусування відбувається у певній точці, яка за допомогою системи відхилення переміщується по поверхні, скануючи її.

Електрони, відбиті від поверхні, фіксуються детектором, що дає можливість отримувати інформацію про її структуру. Оскільки у даному випадку електрони, які беруть участь у побудові зображення, не проходять через досліджуваний зразок, то не має обмежень на товщину зразка, і його підготовка значно спрощується. Крім того, не має необхідності підтримувати всередині установки глибокий вакуум, що спрощує конструкцію мікроскопа.

На цьому ж принципі ґрунтується, наприклад, побудова зображення на екрані телевізора (растру).

Роздільна здатність просвічуючих електронних мікроскопів досягає 0,05 нм, що дає можливість отримувати зображення окремих атомів і молекул. Роздільна здатність скануючих електронних мікроскопів наближається до цієї величини і досягає у наш час 0,2 нм.

### **3. Скануюча зондова мікроскопія**

Просвічуючий та растровий електронні мікроскопи дали змогу досліджувати об'єкти мікро- та наносвіту. Розвиток методів електронної мікроскопії триває і у наш час. Проте труднощі технічного характеру та фундаментальні обмеження цього методу змушують шукати нові способи, які дозволять ще глибше заглянути у структуру наноматеріалів.

Цим новим способом виявилася скануюча зондова мікроскопія (СЗМ), яка поділяється на атомно-силову та тунельну. Їх поєднує спільна деталь конструкції – зонд, що являє собою голку з дуже гострим кінцем – всього декілька атомних радіусів. В атомно-силовій мікроскопії у кожній точці області сканування зразка вимірюється сила взаємодії зонда з поверхнею.

Для пояснення принципів роботи зондової мікроскопії будемо говорити про силу взаємодії між зондом і зразком, яка може належати до механічного, електричного, магнітного та іншого виду взаємодії.

На рис. 14 видно як змінюється відстань між вістрям зонда та поверхнею зразка під час руху зонда над поверхнею.

Сили взаємодії значно зменшуються зі збільшенням відстані між атомами. Найбільший вклад у взаємодію зонда і зразка вносить сила, що виникає між атомам на вістрі зонда і найближчими атомами зразка. Якщо навчитися пересувати зонд на відстань меншу, ніж половина атомного радіуса, і виміряти, як при цьому зміниться сила взаємодії, то

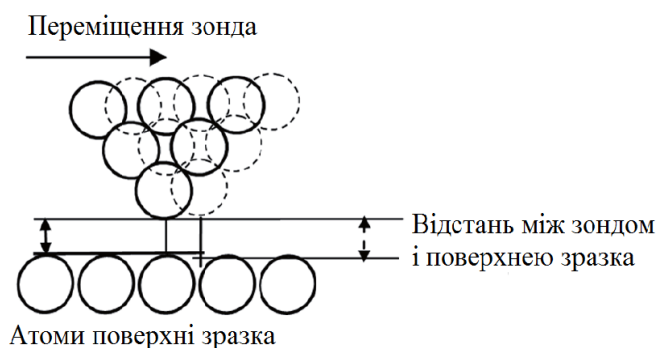


Рис. 14. Зміна відстані між зондом та поверхнею зразка при переміщенні зонда над атомами поверхні

можна «відчути» окремі атоми на поверхні. Зонд переміщується від точки до точки на поверхні зразка, вимірюючи силу взаємодії. Цей процес називають скануванням зразка. Дані, зібрані під час сканування, обробляються комп'ютером. У результаті отримують рисунок поверхні, на якому видно розташування окремих атомів.

Історично родоначальниками скануючої зондової мікроскопії стали Г. Біннінг та Г. Рорер з лабораторії ІВМ, які у 1981 році представили свій винахід – скануючий тунельний мікроскоп. Пізніше, коли результати їх роботи вдалося відтворити в інших лабораторіях, вони були удостоєні Нобелівської премії за роботи в області фізики.

#### 4. Скануюча тунельна мікроскопія

Скануючий тунельний мікроскоп (СТМ) історично є попередником всіх скануючи зондових мікроскопів. СТМ був першим пристроєм, що дав реальне зображення поверхні з атомною роздільною здатністю (рис. 15).

Принцип його дії полягає у вимірюванні

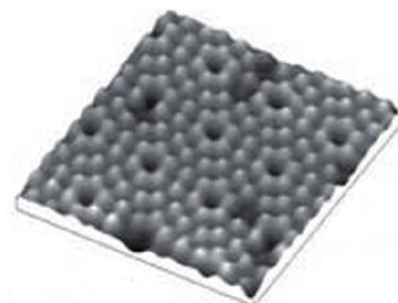


Рис. 15. Поатомне зображення поверхні монокристалічного кремнію, отримане Г. Рорером та Г. Біннінгом



тунельного струму. Електричний струм може виникати у різних середовищах і мати різну природу. Наприклад, потоки іонів в електроліті, потік заряджених частинок у прискорювачі, електричний струм у проводах. Тунельний струм виникає між зондом і зразком, якщо прикласти напругу, величина якої трохи менша, ніж потрібно для відриву електронів зі зразка. У даному випадку головною особливістю тунельного струму є його експоненціальна залежність від відстані між поверхнею зразка і зондом.

Мікроскоп працює наступним чином. Між вістрям голки і зразком прикладається робоча напруга близько 1 В, при підведенні вістря до зразка приблизно на 0,5-1,0 нм електрони зі зразка починають «тунелювати» через зазор до вістря (рис. 16). Голка рухається над поверхнею і сканує зразок. На підставі даних про величину струму у кожній точці відновлюється рельєф поверхні.

Щоб забезпечити протікання струму, і зразок, і вістря повинні бути провідниками або напівпровідниками. Зображень діелектриків СТМ дати не може.

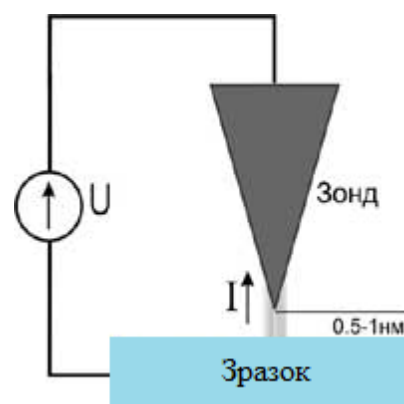


Рис. 16. Схема роботи СТМ

Основне застосування СТМ – це вимірювання рельєфу. Саме завдяки своїй надзвичайно високій чутливості СТМ здатний формувати зображення поверхонь з точністю до сотих часток нанометра по вертикалі і з точністю до розмірів атомів по горизонталі.

На основі загального принципу роботи СТМ (принципу вимірювання тунельного струму) розроблено ряд методик, які застосовують для дослідження різних матеріалів та зразків.

1) режим постійної висоти – вістря голки переміщується у горизонтальній площині над зразком, а струм тунелювання змінюється (рис. 17, а). Виходячи з даних про величину струму тунелювання, виміряного у кожній точці сканування поверхні зразка, будується образ топографії;

2) режим постійного струму – використовується система зворотного

зв'язку для підтримки постійного струму шляхом регулювання висоти скануючого пристрою над поверхнею у кожній точці (рис. 17, б). Наприклад, коли система детектує збільшення тунельного струму, то вона регулює напругу, що прикладається до скануючого пристрою так, щоб відвести вістря далі від зразка. У режимі постійного струму візуалізація топографії здійснюється на підставі даних про величину вертикальних переміщень скануючого пристрою. Якщо система підтримує струм тунелювання постійним у межах декількох відсотків, то відстань між вістрям і зразком буде постійною з похибкою у декілька тисячних часток нанометра.

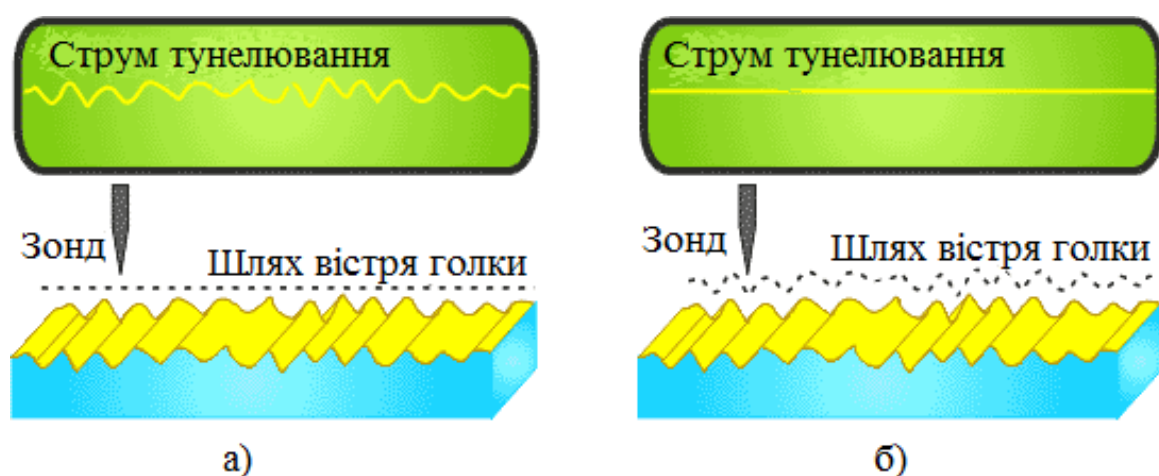


Рис. 17. Схема роботи СТМ: а) у режимі постійної висоти; б) у режимі постійного струму

Кожен із режимів має свої переваги та недоліки. Режим постійної висоти більш швидкий, так як системі не доводиться пересувати скануючий пристрій вгору і вниз, але при цьому можна отримати корисну інформацію лише з відносно гладких поверхонь. У режимі постійного струму можна з високою точністю можна виміряти нерегулярні поверхні, але виміри займають більше часу.

Зрозуміло, що від якості голки та радіуса її вістря буде залежати якість отриманого сканування та роздільна здатність СТМ.

## 5. Атомно-силова мікроскопія

Через п'ять років після створення СТМ один з його розробників Г. Біннінг разом з К. Куейтом та К. Гербером розробили новий тип

мікроскопа, який назвали атомно-силовим мікроскопом (АСМ). Як і скануючий тунельний мікроскоп, він є зондовим скануючим мікроскопом, але вимірювана величина – не тунельний струм, а безпосередньо сила взаємодії вістря голки і поверхні зразка.

Новий мікроскоп дозволив обійти обмеження свого попередника. За допомогою АСМ можна отримувати зображення поверхні як провідників, так і непровідних матеріалів з атомарною роздільною здатністю, причому в атмосферних умовах. Додатковою перевагою атомно-силових мікроскопів є можливість, поряд з вимірами топографії поверхонь, візуалізувати їх електричні, магнітні, пружні та інші властивості.

Роботу АСМ можна описати таким чином. По мірі наближення голки до поверхні, атоми голки починають все сильніше притягатися до атомів зразка. Сила притягання буде зростати до тих пір, поки атоми не наблизяться настільки, що їх електронні хмари почнуть відштовхуватися. При подальшому зменшенні міжатомної відстані електростатичне відштовхування послаблює силу притягання. Ці сили врівноважуються при відстані між атомами близько 0,2 нм.

Сили взаємодії зонда з поверхнею поділяють на:

1) короткодійочі – виникають на відстані близько 0,1-1 нм при перекритті електронних оболонок атомів вістря голки та поверхні і швидко зменшуються зі збільшенням відстані. У короткодійочу взаємодію з атомами поверхні вступає тільки кілька атомів на вістрі голки;

2) далекодійочі – характеризуються більш слабкою залежністю від відстані і проявляються при величині зазору голка-зразок від 0,1 до 1000 нм. Суттєво, що у далекодійочу взаємодію, вносить вклад значне число атомів, що утворюють вістря голки зонда.

Основним вимірювальним інструментом атомно-силового мікроскопа є тонка консоль, або кантилевер (від англ. cantilever) з закріпленим на кінці зондом. За допомогою лазерних датчиків вигин консолі вимірюється з нанометровою точністю, і за її відомою жорсткістю обчислюється сила

взаємодії зонда з поверхнею зразка.

Залежно від типу взаємодії атомно-силовий мікроскоп може працювати в одному з наступних режимів:

1) контактний режим – зонд притискається до зразка, і його відхилення викликано взаємним відштовхуванням атомів вістря голки і поверхні у результаті перекривання їх електронних оболонок і кулонівського відштовхування ядер;

2) безконтактний режим – атомно-силовий мікроскоп відстежує сили притягання між вістрям скануючої голки і зразком. Зазор між вістрям і зразком зазвичай становить 5-10 нм;

3) режим періодичного короткочасного контакту голки з поверхнею у процесі сканування, так званий режим «обстукування», – консоль коливається на власній резонансній частоті з високою амплітудою близько 50-100 нм. При таких амплітудах голка стикається з поверхнею у момент максимального відхилення консолі вниз від положення рівноваги, що істотно змінює частоту, фазу і амплітуду її коливань.

На основі описаних принципів роботи АСМ розроблені різні модифікації мікроскопа і методики вимірювання магнітних, електростатичних, механічних та інших властивостей поверхні.

Перераховані вище методи у даний час широко використовуються для контролю технологічних процесів, пов'язаних з виробництвом наноструктур і наноматеріалів.

## **VI. Формування умінь і навичок**

### **1. Робота у парах**

Учні працюють у віртуальній лабораторії (<http://www.virlab.virginia.edu>).

Завдання 1. Розглянути більш детально будову СТМ та процес використання тунелювання електронів для вимірювання форми поверхні зразків аж до масштабу окремих атомів([http://www.virlab.virginia.edu/VL/easyScan\\_STM.htm](http://www.virlab.virginia.edu/VL/easyScan_STM.htm)).

Завдання 2. Розглянути детальніше будову АСМ та дослідити

можливості зонда для вимірювання форми поверхні зразка майже у атомному масштабі ([http://www.virlab.virginia.edu/VL/easyScan\\_AFM.htm](http://www.virlab.virginia.edu/VL/easyScan_AFM.htm)).

## **VII. Підсумок заняття**

### **1. Інтерактивна вправа «Мікрофон»**

Учні швидко по черзі висловлюються з приводу теми уроку, передаючи один одному уявний «мікрофон»

## **VII. Домашнє завдання**

1. Опрацювати конспект.
2. Підготувати повідомлення про застосування АСМ у біології та медицині.

## **3.6. НАНОМАТЕРІАЛИ**

(Заняття № 4)

**Тема заняття:** Наночастинки.

**Мета заняття:** формувати уявлення про наноматеріали та їх різноманітність, ознайомити з поняттям наночастинки, нанокластер; розвивати мислення, увагу, вміння аналізувати та узагальнювати; виховувати пізнавальний інтерес.

**Тип заняття:** комбінований.

**Обладнання:** комп'ютерна презентація, картки з завданнями.

### **План заняття**

- I. Організаційна частина.
- II. Перевірка домашнього завдання.
- III. Актуалізація опорних знань.
  1. Рольова гра «Інтерв'ю з вченим».
- IV. Оголошення теми та мети заняття.
- V. Вивчення нового матеріалу.
  1. Класифікація наноматеріалів.
  2. Наночастинки.
- VI. Формування практичних умінь і навичок.

1. «Два-чотири-всі разом».

VII. Підсумок заняття.

2. «Мозкова атака».

VIII. Домашнє завдання.

### **Хід заняття**

#### **I. Організаційна частина**

Перевірити готовність учнів до заняття. Налаштувати на роботу.

#### **II. Перевірка домашнього завдання**

Учні презентують повідомлення про застосування атомно-силового мікроскопа у біології та медицині.

#### **III. Актуалізація опорних знань**

##### **1. Рольова гра «Інтерв'ю з вченим»**

Діти об'єднуються у пари та розподіляють ролі (кореспондент та респондент). Кореспондент ставить 4 запитання щодо будови та принципу дії АСМ і СТМ, а респондент відповідає на них. Далі учні міняються ролями.

#### **IV. Оголошення теми та мети заняття**

#### **V. Вивчення нового матеріалу**

##### **1. Класифікація наноматеріалів**

Під структурою розуміють особливості будови, форми, розмірів матеріалу. У природі зустрічаються матеріали, що мають структуру кулі, голки, диска, сніжинки, дерева, нитки, мушлі і т.д. Наноструктурними матеріалами (або просто наноматеріалами) називають матеріали, що мають структуру нанометрового розміру.

При переході речовини від макро- до нанорозмірів відбувається різка зміна їх властивостей. Зміни пов'язані з двома основними причинами: збільшенням частки поверхні та зміною електронної структури.

Властивості атомів, що знаходяться поблизу поверхні, відрізняються від властивостей атомів, що знаходяться в об'ємі матеріалу, тому поверхню матеріалу можна розглядати як особливий стан речовини. Чим більша частка атомів, що знаходяться на поверхні, тим сильніше ефекти, пов'язані з

поверхнею. Незвичайні властивості наноструктур ускладнюють їх тривіальне технічне використання і одночасно відкривають абсолютно несподівані технічні перспективи.

У даний час технологи навчилися отримувати досить велику кількість різноманітних наноматеріалів. Сучасна наука класифікує такі види наноматеріалів: наночастинки, фулерени, нанотрубки і нановолокна, нанопористі структури, нанодисперсії, наноструктуровані поверхні і плівки, нанокристалічні матеріали.

## 2. Наночастинки

Наночастинками називають частинки, розмір яких менше 100 нм. Наночастки складаються з  $10^6$  або меншої кількості атомів, і їх властивості відрізняються від властивостей об'ємної речовини, що складається з таких самих атомів (рис. 18).

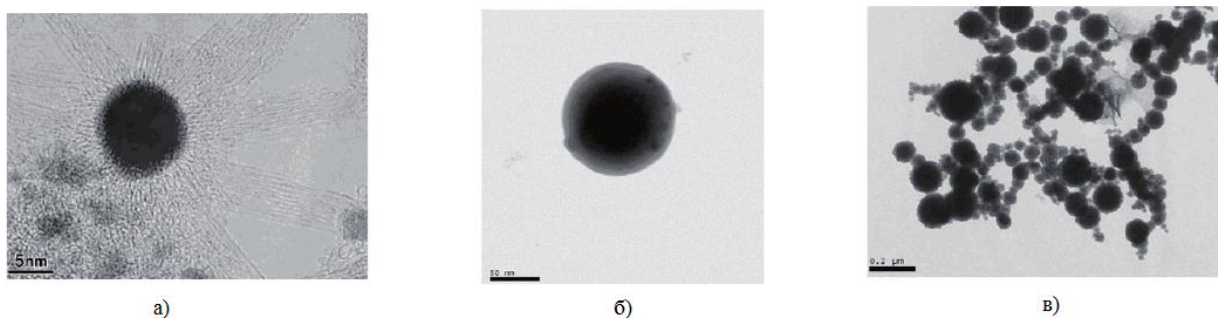


Рис. 18.1 Металічні кластери: а) кластер заліза із вуглецевими нанотрубками, що ростуть; б) одинарний кластер заліза; в) скупчення кластерів заліза

Наночастинки, розмір яких менше 10 нм, називають нанокластерами. Слово кластер походить від англійського «cluster» – скупчення, гроно. Зазвичай, у нанокластері міститься до 1000 атомів.

Багато фізичних законів, які справедливі у макроскопічній фізиці, для наночастинок порушуються. Наприклад, несправедливі відомі формули додавання опорів провідників при їх паралельному і послідовному з'єднанні. Вода у нанопорах гірських порід не замерзає до  $-20\dots -30^{\circ}\text{C}$ , а температура плавлення наночастинок золота істотно менше у порівнянні з масивним зразком.

В останні роки у багатьох наукових публікаціях наводяться ефектні приклади впливу розмірів частинок тієї чи іншої речовини на її властивості – електричні, магнітні, оптичні. Так, колір рубінового скла залежить від вмісту і розмірів колоїдних (мікроскопічних) частинок золота. Колоїдні розчини золота можуть дати цілу гаму кольорів – від оранжевого (розмір часток менше 10 нм) і рубінового (10-20 нм) до синього (близько 40 нм). У Лондонському музеї Королівського інституту зберігаються колоїдні розчини золота, отримані ще Майклом Фарадеєм у середині ХІХ століття, який вперше зв'язав варіації їх кольору з розміром частинок.

Частка поверхневих атомів збільшується по мірі зменшення розмірів частинки. Для наночастинок практично всі атоми «поверхневі», тому їх хімічна активність дуже висока. У зв'язку з цим наночастинки металів прагнуть об'єднатися. Разом з тим у живих організмах (рослинах, бактеріях, мікроскопічних грибах) метали, як виявилось, часто існують у вигляді кластерів, що складаються з об'єднання порівняно невеликого числа атомів.

Розглянемо кластер сферичної форми, що складається з  $n$  атомів. Об'єм такого кластера можна записати у вигляді:

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 = vn.$$

де  $R$  – радіус нанокластера,  $v$  – об'єм, який припадає на одну частинку.

Будемо вважати, що об'єм, який припадає на одну частинку, можна представити у вигляді:

$$v = \frac{4}{3}\pi a^3.$$

де  $a$  – середній радіус однієї частинки.

Тоді можна записати:

$$\frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi a^3 n; R^3 = a^3 n; R = an^{\frac{1}{3}}.$$

Для більшості нанокластерів розмір  $a$  дорівнює приблизно 0,1 нм. Підставивши у  $R = an^{\frac{1}{3}}$  можна легко оцінити, що кластер з 1000 частинок буде мати розмір близько 1 нм.



Важливою характеристикою нанокластерів є площа їх поверхні:

$$S = R^2 = 4\pi a^2 n^{\frac{2}{3}}.$$

Кількість атомів на поверхні пов'язана з площею поверхні співвідношенням:

$$S = sn_s = 4\pi a^2 n_s.$$

де  $s$  – площа, яку займає одним атомом на поверхні кластера.

Розглянемо співвідношення числа атомів на поверхні до числа атомів в об'ємі:

$$\frac{n_s}{n} = \frac{Sv}{sV} = \frac{v}{Rs} = \frac{a}{R} = \frac{1}{n^{\frac{1}{3}}}.$$

Як видно з останньої формули, частка атомів на поверхні кластера швидко зменшується зі збільшенням розміру кластера. Помітний вплив поверхні проявляється при розмірах кластерів, менше 100 нм.

Як приклад можна привести наночастинки срібла, які володіють унікальними антибактерицидними властивостями. Те, що іони срібла здатні нейтралізувати шкідливі бактерії і мікроорганізми, відомо досить давно. Встановлено, що наночастинки срібла у тисячі разів ефективніше борються з бактеріями і вірусами, ніж багато інших речовин.

Наночастинки срібла активно використовуються у косметиці, зубній пасті, дезінфікуючих засобах і т.д. Їх унікальні властивості пояснюються високою хімічною активністю.

## **VI. Формування практичних умінь і навичок**

### **1. «Два-чотири-всі разом»**

Для розв'язання задач учні об'єднуються у пари. Кожна пара за партою отримує картки з задачами.

Задача 1. Оцініть число поверхневих атомів у наноточці, що має форму правильної чотирикутної піраміди, в основі якої знаходиться 366 атомів і яка складається з шести щільно упакованих атомних шарів.

Задача 2. Два сферичних нанокластера, що складаються з 800 атомів, об'єднуються в один кластер. У скільки разів зміниться розмір утвореного

кластера і число поверхневих атомів порівняно з цими величинами у вихідних кластерів?

Учні у парах аналізують зміст задач та знаходять спосіб розв'язання. При цьому учні обов'язково мають дійти згоди щодо розв'язання.

Далі учні об'єднуються у четвірки з сусідами по парті і обговорюють спосіб розв'язання.

Після цього переходять до колективного обговорення способу розв'язання, який озвучується для всього класу.

## **VII. Підсумок заняття.**

### **1. «Мозкова атака»**

- Назвіть відомі вам види наноматеріалів.
- Що називають наночастинкою?
- Які наночастинки відносяться до нанокластерів?
- Що називають нанокластером?
- Назвіть основні характеристики нанокластерів.
- Чим визначається верхня межа розміру кластера?
- Поясніть той факт, що фізичні закономірності, справедливі для макрооб'єктів, не виконуються для наночастинок.
- У чому полягає відмінність атомів (молекул) у поверхневому шарі і в об'ємі тіла з точки зору діючих сил?
- Чому, на ваш погляд, при збільшенні частки поверхневих атомів у частинці змінюються її фізичні властивості?
- Наведіть приклади застосування наночастинок.

## **VII. Домашнє завдання.**

1. Опрацювати конспект.
2. Розв'язати задачу:

Нанокластер сферичної форми з 200 атомів води потрапляє на плоску поверхню і розтікається, утворюючи мономолекулярний шар. Оцініть розміри кластера та плями.

### **3.7. СТРУКТУРИ НА ОСНОВІ ВУГЛЕЦЮ. ФУЛЕРЕНИ**

(Заняття № 5)

**Тема заняття:** Структури на основі вуглецю. Фулерени.

**Мета заняття:** формувати в учнів уявлення про алотропні модифікації вуглецю, ознайомити зі структурою, методами отримання та основними властивостями фулеренів; розвивати аналітичні здібності; виховувати допитливість.

**Тип заняття:** комбіноване.

**Обладнання:** комп'ютерна презентація, картки з завданнями.

#### **План заняття**

- I. Організаційна частина.
- II. Перевірка домашнього завдання.
- III. Актуалізація опорних знань.
  1. «Незакінчені речення».
- IV. Оголошення теми та мети заняття.
- V. Вивчення нового матеріалу.
  1. Алотропні форми вуглецю.
  2. Структура, методи отримання та властивості фулеренів.
- VI. Формування практичних умінь і навичок.
  1. «Ротаційні трійки».
- VII. Підсумок заняття.
  1. Інтерактивна вправа «Абетковий суп».
- VIII. Домашнє завдання.

#### **Хід заняття**

##### **I. Організаційна частина**

Перевірити готовність учнів до заняття. Налаштувати на роботу.

##### **II. Перевірка домашнього завдання**

Учні презентують результати розв'язання домашньої задачі.

##### **III. Актуалізація опорних знань**

###### **1. «Незакінчені речення»**

*«Нанотехнології – це ...»*

*«Прикладами наноматеріалів є ...»*

*«Відповідно до загальноприйнятої класифікації наноматеріалів розрізняють...»*

*«Наночастинка – це ...»*

*«Нанокластерами – називають ...»*

*«Фізичні закономірності, справедливі для макрооб'єктів, не виконуються для наночастинок тому, що ...»*

*«При збільшенні частки поверхневих атомів у частинці ...»*

#### **IV. Оголошення теми та мети заняття**

#### **V. Вивчення нового матеріалу**

##### **1. Алотропні форми вуглецю**

Вуглець – унікальний хімічний елемент. Вуглець є неметалічним хімічним елементом IV групи періодичної системи елементів Д. І. Менделєєва, тому у вуглецю 4 валентних електрони. Він набув значного поширення, лежить в основі живої природи, але вміст його у земній корі всього 0,19%. Д. І. Менделєєв писав, що «в жодного з елементів така здатність до ускладнення не розвинена у такій мірі, як у вуглецю».

Здатність атомів одного хімічного елемента з'єднуватися один з одним різними способами, утворюючи різні просторові конфігурації, називається алотропією.

Вуглець у повній мірі володіє цією властивістю. Тривалий час були відомі три основні алотропні модифікації вуглецю – графіт, алмаз і сажа (аморфний вуглець). Проте з середини минулого століття вуглецеве сімейство стало швидко поповнюватися. Спочатку були відкриті одновимірний варіант вуглецю карбін та гексагональний різновид алмазу лонсдейліт. А в останні роки виявлені нові модифікації вуглецю: фулерени, вуглецеві нанотрубки, графен, унікальні властивості яких відкривають великі можливості в області нанотехнологій (рис. 19).

## 2. Структура, методи отримання та властивості фулеренів

Фулерени, як нова алотропна форма існування вуглецю у природі, у твердому стані були виявлені спочатку у космосі астрофізиками при вивченні міжзоряного пилу, а потім отримані у 1985 р при дослідженні мас-спектрів парів графіту після лазерного опромінення твердого зразка.

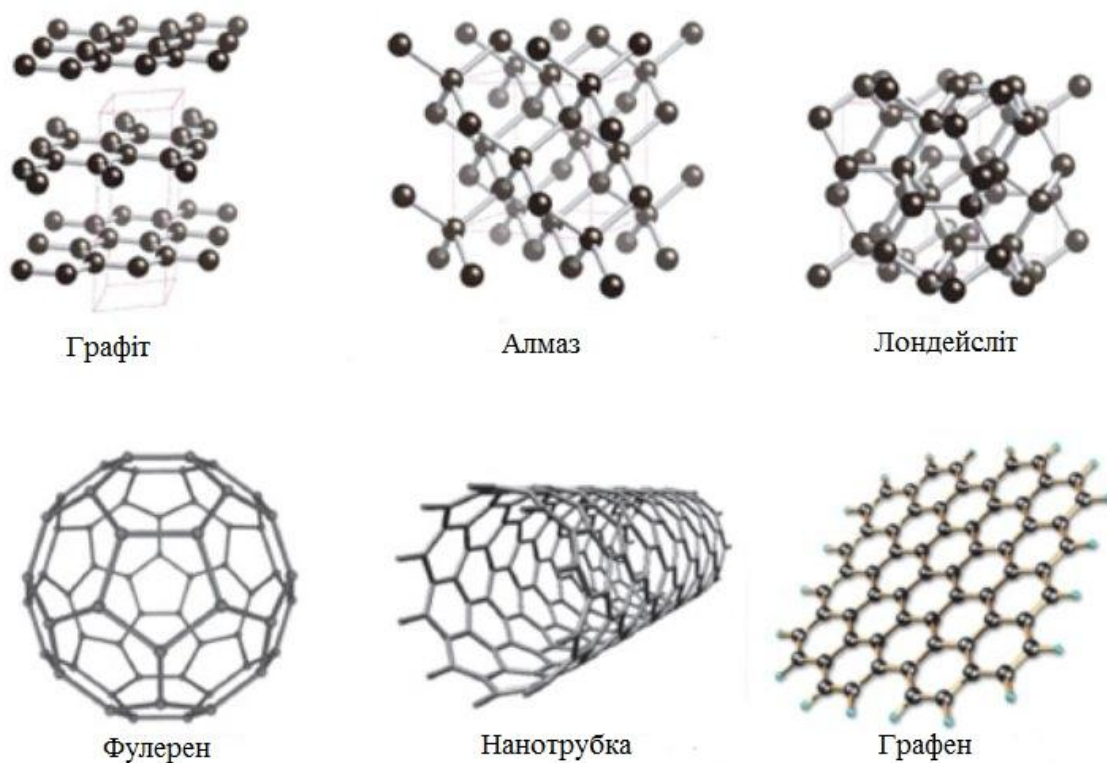


Рис. 19. Алотропні модифікації вуглецю

Авторами відкриття нової форми існування вуглецю у природі є Г. Крото (Англія), Р. Керл і Р. Смоллі (США) – 1985 р. У 1996 р. вони удостоєні Нобелівської премії у галузі хімії.

Фулерени – сферичні і сфероїдальні порожнисті усередині кластери – багатоатомні молекули вуглецю  $C_n$ , замкнута поверхня яких утворена правильними многогранниками з атомів вуглецю.

Назва «фулерен» походить від імені американського архітектора Б. Фулера, що застосовував для будування куполів будинків п'яти- і шестикутники, які є основними структурними елементами молекулярних каркасів усіх фулеренів.

Найбільш стабільна молекула фулерену  $C_{60}$ , яка складається з 60-ти атомів вуглецю, розташованих на сфері діаметром  $\sim 1$  нм (радіус  $C_{60}$  становить  $0,357$  нм), пов'язаних між собою сильними ковалентними зв'язками. Атоми вуглецю у молекулі  $C_{60}$  утворюють 12 правильних п'ятикутників і 20 правильних шестикутників аналогічно формі футбольного м'яча (рис. 20).

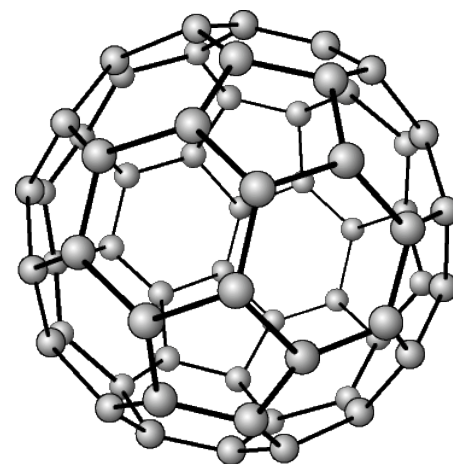


Рис. 20. Модель фулерена  $C_{60}$

Всі атоми у цій молекулі (вуглецевому кластері) рівноцінні, кожен атом вуглецю належить двом шестикутникам і одному п'ятикутнику. Валентні електрони розподілені відносно рівномірно по сферичній оболонці товщиною  $\sim 0,4232$  нм. У центрі молекули залишається практично вільна від електронів порожнину радіусом  $\sim 0,1058$  нм, тобто молекула є ніби мініатюрною «кліткою», всередині якої можуть розміщуватися атоми і молекули інших елементів.

Молекула  $C_{60}$  містить фрагменти з п'ятикратної симетрії, невластивої неорганічним сполукам у природі. Тому визнано, що молекула фулерену є органічною молекулою, а кристал, утворений такими молекулами (фулерит), – це молекулярний кристал, який є сполучною ланкою між органічною і неорганічною речовиною.

Молекули фулерену можуть мати не тільки сферичну форму, а й форму еліпсів. Можливе формування багатошарових сфер і еліпсів. Однак у всіх випадках розмір молекул фулерену становить  $\sim 1$  нм.

В наш час поняття «фулерен» застосовується до широкого класу багатоатомних молекул вуглецю із загальною формулою  $C_n$  ( $n$  – парне число від 20 до 1840 (гіперфулерени), що підлягає певній закономірності, наприклад,  $n = 20, 28, 42, 52, 58, 60, 70, 72, 78, 80$  і т.д.).

Одним з різновидів фулерену є ендофулерени. Ендофулеренами називають такі фулерени, у яких усередині молекули фулерену розміщено

один або кілька невуглецевих атомів.

Використовується та обставина, що фулерени всередині порожні. Така порожнина може вмістити будь-який атом; сторонній атом закритий суцільною оболонкою, що складається з атомів вуглецю. Якщо у молекулу фулерену вводяться атоми металу, то такі комплекси називають металфулеренами. Це своєрідні наноконтейнери, які вважають досить перспективними для застосування у нанотехнології і нанохімії.

Основними методами отримання фулеренів є:

- сублимація (термічне випаровування) графіту з подальшою десублимацією (переходом з газової фази у твердий стан);
- піроліз (розкладання при високих температурах) вуглеводнів.

Особливості будови визначають «аномальні» фізико-хімічні властивості фулеренів.

Найбільш досліджений фулерен  $C_{60}$  має чорний колір, не розчиняється у воді; є «найчистішим» з усіх алотропних форм вуглецю.

Густина фулерену становить  $1,7 \text{ г / см}^3$ , тобто значно менше густини графіту ( $2,3 \text{ г / см}^3$ ), і тим більше алмазу ( $3,5 \text{ г / см}^3$ ). Це обумовлено тим, що молекули фулеренів порожнисті.

Енергія іонізації фулерену –  $7,58 \text{ eV}$ ; теплоємність при кімнатній температурі близька до теплоємності графіту і становить  $0,68 \text{ Дж / (кг} \cdot \text{K)}$ ; за електричними властивостям фулерен є ізолятором.

Фулерен не розчиняється у воді, однак, на відміну від алмазу і графіту, розчиняється у деяких органічних розчинниках, що використовується при виробництві та очищенні фулеренів.

## **VI. Формування практичних умінь і навичок**

### **1. «Ротаційні трійки»**

Учні діляться на групи по три чоловіки. Всі трійки класу отримують одне й теж завдання, а після обговорення один член трійки йде у наступну, один у попередню і ознайомлює членів новостворених трійок з набутком своєї.

Задача. Знайдіть відстань між центрами сусідніх молекул фулерену у його низькотемпературній модифікації (густина  $1,7 \text{ г/см}^3$ ), яка має примітивну кубічну решітку, де молекули перебувають тільки у вершинах кубічної елементарної комірки.

#### Розв'язання

У примітивній кубічній решітці кожна молекула у вершині куба належить 8 сусіднім елементарним коміркам. На одну комірку припадає  $8 \cdot 1/8 = 1$  молекула  $C_{60}$ .

$$\text{Об'єм одного моля фулерену становить: } V_m = \frac{M}{\rho} = \frac{720,6}{1,7} = 424 \frac{\text{см}^3}{\text{моль}}.$$

Об'єм однієї елементарної комірки:

$$V_k = \frac{V_m}{N_A} = \frac{424}{6,02 \cdot 10^{23}} = 7,04 \cdot 10^{-22} \text{ см}^3 = 0,704 \text{ м}^3.$$

Відстань між центрами сусідніх молекул дорівнює ребру елементарної комірки:  $a = \sqrt[3]{V_k} = 0,89 \text{ нм}$ .

Відповідь. 0,89 нм.

### VII. Підсумок заняття

#### 1. Інтерактивна вправа «Абетковий суп»

Кожен учень витягує з торбинки літеру і придумує підсумкове речення на тему уроку, яке б починалося з цієї літери.

### VIII. Домашнє завдання

1. Опрацювати конспект.
2. Підготувати повідомлення про перспективи застосування фулеренів.

## 3.8. НАНОТРУБКИ І НАНОВОЛОКНА

### Заняття № 6

**Тема заняття:** Нанотрубки і нановолокна.

**Мета заняття:** ознайомити учнів зі структурою та видами вуглецевих нанотрубок, розглянути шляхи отримання вуглецевих нанотрубок, основні властивості вуглецевих нанотрубок;



розвивати мислення, уяву, пам'ять, уміння аналізувати та узагальнювати; виховувати почуття взаємодопомоги.

**Тип заняття:** комбіноване.

**Обладнання:** комп'ютерна презентація, картки з завданнями.

### **План заняття**

- I. Організаційна частина.
- II. Перевірка домашнього завдання.
- III. Актуалізація опорних знань.
  1. «Мікрофон».
- IV. Оголошення теми та мети заняття.
- V. Вивчення нового матеріалу.
  1. Структура та види вуглецевих нанотрубок.
  2. Отримання вуглецевих нанотрубок.
  3. Властивості вуглецевих нанотрубок.
- VI. Формування практичних умінь і навичок.
  1. Робота у парах.
- VII. Підсумок заняття.
  1. Інтерактивна вправа «Абетковий суп».
- VIII. Домашнє завдання.

### **Хід заняття**

#### **I. Організаційна частина**

Перевірити готовність учнів до заняття. Налаштувати на роботу.

#### **II. Перевірка домашнього завдання**

Учні презентують результати виконання домашнього завдання.

#### **III. Актуалізація опорних знань**

##### **1. «Мікрофон»**

Подумайте і скажіть, використовуючи мікрофон, що ви знаєте про алотропні форми вуглецю, структуру, методи отримання та властивості фулеренів. Говорити може тільки той, хто одержав мікрофон. Відповіді повинні бути чіткі і лаконічні.

#### IV. Оголошення теми та мети заняття

#### V. Вивчення нового матеріалу.

##### 1. Структура і види вуглецевих нанотрубок.

Після відкриття фулерену настала черга інших нанорозмірних структур на основі вуглецю.

Одним з таких матеріалів, який має вже сьогодні досить різноманітні області застосування і великі перспективи використання у майбутньому, стали вуглецеві нанотрубки (ВНТ), що представляють собою протяжні структури у вигляді порожнистого циліндра, що складаються з одного або декількох згорнутих у трубку графітових шарів з гексагональною організацією вуглецевих атомів, рис. 21.

ВНТ як нова алотропна форма вуглецю були відкриті японським фізиком С. Іджима у 1991 році.

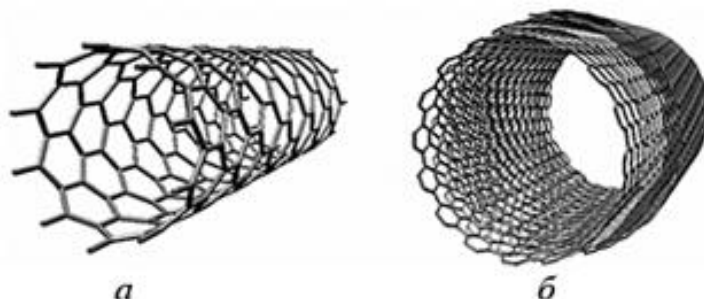


Рис. 21. Одностінні (а) та багатостінні (б) вуглецеві нанотрубки

Діаметр ВНТ становить 1 ... 150 нм, а довжина вимірюється десятками і сотнями мікрометрів та постійно збільшується у міру вдосконалення технології їх отримання.

На поверхні трубки атоми вуглецю розташовані у вершинах правильних шестикутників. Кінці трубки закриті за допомогою шести п'ятикутників. Фактично нанотрубки можна уявити як лист графіту, згорнутий у безшовний циліндр.

Вуглецеві нанотрубки можуть мати різну атомну структуру і, відповідно, різні властивості.

І хоча вуглецеві нанотрубки у дійсності не утворюються шляхом згортання графітових листів, різні структури трубок можна пояснити, розглядаючи уявні способи згортання графітового листа у циліндр, рис. 22.

##### 2. Отримання вуглецевих нанотрубок

Основною проблемою широкого практичного застосування даного класу

наноматеріалів є складність і дороговизна методів їх виробництва, а також обмеження розмірів трубок (трубки сантиметрової довжини на сьогодні є унікальними).

За аналогією з фулеренами вуглецеві нанотрубки отримують переважно сублімацією графіту з подальшою десублімації при дуговому синтезі, при зміні деяких технологічних параметрів процесу.

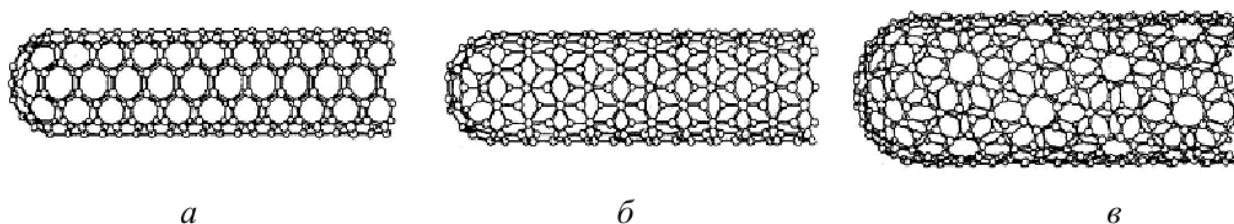


Рис. 22. Вуглецеві нанотрубки: а) крісельна структура, б) зигзагоподібна структура, в) спіралеподібна структура

Дуговим методом отримують одношарові трубки діаметром 1...5 нм і довжиною ~ 1 мкм.

Для отримання нанотрубок більшого діаметра (до 10...20 нм) і довжини (до 100 мкм) використовують метод лазерного випаровування графітової мішені.

Інша група методів отримання нанотрубок, аналогічно фулеренам, полягає у піролітичному розкладанні вуглеводнів.

У технологіях, що базуються на піролізі вуглеводнів, забезпечується більш чітке управління процесами утворення нанотрубок. Дані методи більшою мірою підходять для широкомасштабного виробництва і дозволяють виготовляти не тільки самі вуглецеві наноматеріали, а й певні структури на підкладках, які мають практичне застосування, макроскопічні волокна з нанотрубок, а також композиційні матеріали, армовані вуглецевими нанотрубками.

У більшості випадків синтез ВНТ супроводжується утворенням інших модифікацій вуглецю – фулеренів, аморфного вуглецю, тому очистка (хімічними, фізико-хімічними і механічними способами) від домішок є важливою складовою частиною процесу синтезу.

### 3. Властивості вуглецевих нанотрубок

За своєю структурою ВНТ займають проміжне положення між графітом і фулереном. Однак більшість властивостей нанотрубок не має нічого спільного з зазначеними структурами. Це дозволяє розглядати дані вуглецеві утворення як самостійний матеріал.

Завдяки особливостям своєї будови нанотрубки мають унікальні фізико-хімічні, механічні властивості.

Збільшення різноманітності незвичайних властивостей нанотрубок та перспективи створення на їх основі функціональних і конструкційних матеріалів відкриває модифікація ВНТ, яка може бути здійснено декількома способами:

- заповненням внутрішніх порожнин речовинами, що змінюють їх електронні, магнітні або механічні властивості;
- заміщенням частини вуглецевих атомів у ВНТ на атоми інших елементів;
- частковим або повним «розкриттям» подвійних зв'язків на бічних поверхнях шляхом приєднання тих чи інших реагентів тощо.

Серед незвичайних властивостей вуглецевих нанотрубок і їх модифікацій найважливішими є наступні:

1. Високі міцність і питома міцність. Незважаючи на гадану крихкість і навіть ажурність, нанотрубки демонструють високі значення міцності на розтягнення і на вигин. Зв'язки між атомами вуглецю у графітовому аркуші є найсильнішими серед відомих.

2. Електричні властивості. Однією з причин високої провідності вуглецевих нанотрубок є дуже мала кількість дефектів, що викликає розсіювання електронів.

3. Польова емісія і екранування. Якщо уздовж осі вуглецевої нанотрубки прикласти невелике за величиною електричне поле, то з її кінців буде відбуватися інтенсивна емісія електронів. Подібні явища називають польовою емісією.

4. Електромеханічні властивості. Сутність електромеханічного ефекту полягає у значній зміні електричної провідності нанотрубки навіть при невеликому вигині.

5. Ефект світіння нанотрубок полягає у тому, що спостерігається їх світіння при пропусканні через них електричного струму. Світіння виникає при рекомбінації у вузькому поперечному шарі потоків електронів і дірок, що рухаються назустріч один одному.

Сукупність незвичайних властивостей вуглецевих трубок – нанорозміри, висока міцність, пружність, здатність розвивати резонансні механічні коливання, частота яких визначається геометрією трубки і її пружністю, прояв «інтелектуальних» властивостей дозволяють використовувати дані структури у якості високочутливих інструментів і приладів, зондів СЗМ.

За обсягами виробництва вуглецеві нанотрубки займають друге місце серед різних груп наноматеріалів.

Набагато більший інтерес дослідників до нанотрубок, ніж до фулеренам, пояснюється тим, що вони більш технологічні – з протяжними об'єктами легше працювати, ніж з наноскопічними «кульками» фулеренів.

## **VI. Формування практичних умінь і навичок**

### **1. Робота у парах**

Учні, працюючи у парах, розв'язують задачу. У кінці презентують свої результати решті класу.

**Задача.** Використовуючи геометричні уявлення, оцініть, якою буде масова частка водню  $H_2$ , який щільно заповнив внутрішню порожнину довгої вуглецевої нанотрубки діаметром  $d$  нм і довжиною  $l$  нм ( $l \gg d \gg l$ ). Поверхня нанотрубки утворена правильними шестикутниками зі стороною 0,142 нм. Молекулу водню вважайте кулею діаметром 0,3 нм.

## **VII. Підсумок заняття**

### **1. Інтерактивна вправа «Абетковий суп»**

Кожен учень витягує з торбинки літеру і озвучує підсумкове речення на тему уроку, яке б починалося з цієї літери.

### **VIII. Домашнє завдання**

1. Опрацювати конспект.
2. Підготувати повідомлення про перспективи застосування вуглецевих нанотрубок.

### **3.9. ГРАФЕН**

(Заняття № 7)

**Тема заняття:** Графен.

**Мета заняття:** ознайомити учнів зі структурою та властивостями графену, методами його одержання; розвивати аналітичні здібності, творче мислення учнів; виховувати пізнавальний інтерес до сучасної фізики та нанотехнологій.

**Тип заняття:** комбіноване.

**Обладнання:** комп'ютерна презентація, картки з завданнями.

#### **План заняття**

- I. Організаційна частина.
- II. Перевірка домашнього завдання.
- III. Актуалізація опорних знань.
  1. «Мозковий штурм».
- IV. Оголошення теми та мети заняття.
- V. Вивчення нового матеріалу.
  1. Структура графену.
  2. Властивості графену.
  3. Методи отримання графену.
- VI. Формування практичних умінь і навичок.
  1. Робота у парах.
- VII. Підсумок заняття.
  1. «Незакінчені речення».
- VIII. Домашнє завдання.

## Хід заняття

### I. Організаційна частина

Перевірити готовність учнів до заняття. Налаштувати на роботу.

### II. Перевірка домашнього завдання

Учні презентують результати виконання домашнього завдання.

### III. Актуалізація опорних знань

#### 1. «Мозковий штурм»

- Що являють собою вуглецеві нанотрубки?
- Хто відкрив вуглецеві нанотрубки?
- Назвіть основні методи отримання вуглецевих нанотрубок?
- Назвіть основні властивості вуглецевих нанотрубок?
- В чому особливість механічних властивостей нанотрубок?
- В чому полягає особливість електричних властивостей нанотрубок?

### IV. Оголошення теми та мети заняття

### V. Вивчення нового матеріалу

#### 1. Структура графену

Графен являє собою одношарову двовимірну вуглецеву структуру, що складається з правильних шестикутників зі стороною 0,142 нм і атомами вуглецю у вершинах. Ця структура є складовою кристалічного графіту, у якому такі графенові шари розташовуються на відстані 3,4 нм один від одного.

Кожен атом вуглецю у графені оточений трьома найближчими сусідами і володіє чотирма валентними електронами, три з яких утворюють  $sp^2$ -гібризовані орбіталі, розташовані в одній площині під кутами  $120^\circ$  і утворюють ковалентні зв'язки з сусідніми атомами. Четвертий електрон, орієнтований перпендикулярно цій площині, відповідає за низькоенергетичні електронні властивості графена.

Досить велику відстань і слабкі зв'язки між шарами давно наштовхували

вчених на думку, що одиночний шар графіту може бути відділений. Однак фізики сумнівалися у термодинамічній стійкості двовимірного кристала. У 2004 році вчені Новосьолов К. С. і Гейм А. К. отримали перші зразки графена дуже оригінальним способом, відокремивши одиночний шар графіту за допомогою скотча. За новаторські дослідження цього двовимірного матеріалу їм була присуджена Нобелівська премія з фізики за 2010 рік. З тих пір інтерес до графену тільки збільшується. Завдяки особливим фізико-хімічними властивостями, можливе його широке застосування у якості основи для нових наноматеріалів.

## **2. Властивості графену**

На сьогоднішній день графен – найтонший матеріал, відомий людству, товщиною всього в один атом вуглецю.

Малий розмір атома вуглецю і висока міцність хімічних зв'язків між атомами вуглецю надає графену цілий ряд дуже важливих унікальних властивостей:

- хімічна стабільність;
- висока рухливість носіїв заряду;
- висока тепло- і електропровідність;
- виняткова міцність і пружність;
- непроникність;
- майже повна прозорість.

Носії заряду у графені практично не мають маси і рухаються з величезною швидкістю (майже зі швидкістю світла), пояснюючи тим самим його унікальні властивості.

Електрони взаємодіють один з одним і поведуться як у надпровідниках або магнітах. Як у металів, у графена є зона електропровідності, у якій переміщуються електрони, але на відміну від напівпровідників, у графена немає забороненої енергетичної зони, тому потік носіїв не припиняється.

Вільно «підвішений» лист графену має аномально високу



теплопровідність, вона майже у 2,5 рази перевищує теплопровідність алмазу. Теплопровідність листа графена, що лежить на підкладці, майже на порядок нижче. При з'єднанні декількох шарів графену теплопровідність падає.

Крім того, у залежності від прикладеної зовнішньої напруги, можлива зміна оптичних властивостей графена: він може бути або прозорим, або не прозорим.

«Особливий статус» графена серед алотропних модифікацій вуглецю пов'язаний також з тим, що він є двовимірним будівельним матеріалом для інших алотропних модифікацій вуглецю – фулеренів, нанотрубок, графіту (рис. 23).

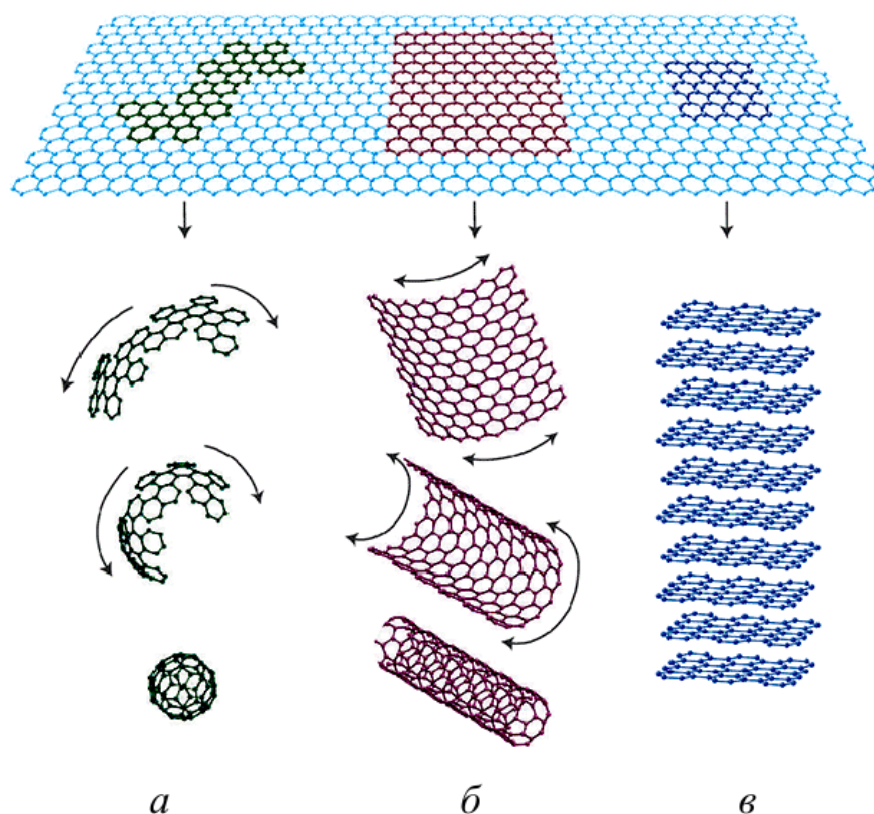


Рис. 23. Графен як будівельний матеріал для інших алотропних модифікацій вуглецю: а) фулеренів, б) нанотрубок, в) графіту.

Графен має неймовірний потенціал застосування.

Передбачається, що з'явиться новий клас «графенової наноелектроніки» з базовою товщиною транзисторів до 10 нм.

Поєднання прозорості з хорошою електричною провідністю і

еластичністю графена привело до думки використовувати його при створенні сенсорних дисплеїв і фотоелементів для сонячних батарей.

Інші можливі області застосування – використання графена у якості високочутливого сенсора для виявлення окремих молекул хімічних речовин; виготовлення електродів в іоністорах (суперконденсаторах) для використання їх у якості джерел струму, що перезаряджаються.

### **3. Методи отримання графену**

Спочатку основний спосіб отримання графену ґрунтувався на механічному відщепленні шарів графіту. Крім порівняно простого методу відшаровування від графіту, графен отримують механічним зрізанням верхнього шару графітового блока з наступним поділом його на атомарні моношари за допомогою лазера. Цей метод дозволяє виготовляти якісні зразки графену, що мають високу рухливість носіїв заряду. Однак метод відщеплення не припускає масштабного виробництва, оскільки є ручною процедурою.

Відомий і інший спосіб виготовлення графену – метод термічного розкладання підкладки карбїду кремнію; такий метод набагато ближчий до промислового виробництва.

## **VI. Формування практичних умінь і навичок**

### **1. Робота у парах**

Учні у парах розв'язують задачу. Після цього презентують свої результати решті класу.

Задача. Розрахуйте масу графенового квадрата розміром  $10 \times 10$  мм. Довжина зв'язку С–С у графіті рівна 0,142 нм.

## **VII. Підсумок заняття**

### **1. «Незакінчені речення»**

– Продовжте речення:

*Графен – це....*

*Графен був відкритий...*

*Графен володіє унікальними властивостями, а саме ...*

*Відомі наступні методи отримання графену...*

### **VIII. Домашнє завдання**

1. Опрацювати конспект.
2. Розв'язати задачу:

Розрахуйте масу графенового квадрата розміром  $5 \times 5$  мм. Довжина зв'язку С–С у графіті рівна 0,142 нм.

## **3.10. НАНОТЕХНОЛОГІЇ У МЕДИЦИНІ ТА ПРОМИСЛОВОСТІ**

(Заняття № 8)

**Тема заняття:** Нанотехнології у медицині, парфумерії та харчовій промисловості. Використання нанотехнологій при виробництві одягу, взуття, спортивних товарів.

**Мета заняття:** поглибити та узагальнити знання учнів про наноматеріали, розглянути можливості застосування нанотехнологій у медицині, парфумерії, харчовій промисловості, при виробництві одягу, взуття, спортивних товарів; розвивати мислення, увагу, пам'ять, творче мислення учнів; виховувати почуття взаємодопомоги.

**Тип заняття:** комбіноване.

**Обладнання:** картки з завданнями та допоміжні матеріали.

### **План заняття**

- I. Організаційна частина.
- II. Перевірка домашнього завдання.
- III. Актуалізація опорних знань.
  1. «Асоціативний кущ».
- IV. Оголошення теми та мети заняття.
- V. Вивчення нового матеріалу.
  1. «Мозаїка».
- VI. Підсумок заняття.

1. Інтерактивна вправа «Кубування».

VII. Домашнє завдання.

### **Хід заняття**

#### **I. Організаційна частина**

Перевірити готовність учнів до заняття. Налаштувати на роботу.

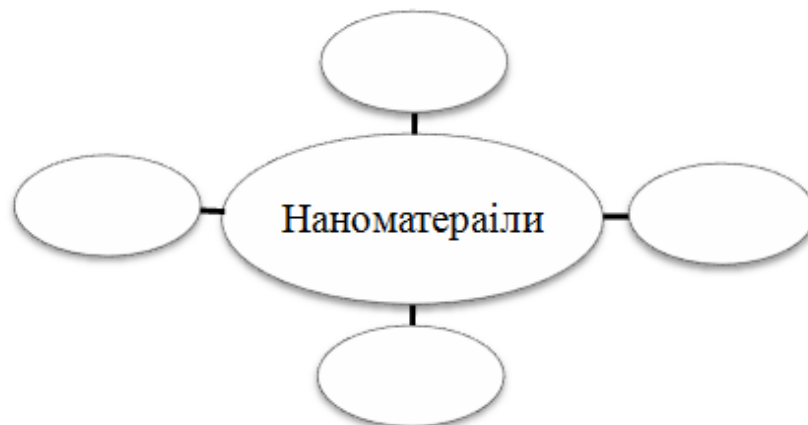
#### **II. Перевірка домашнього завдання**

Учні презентують результати розв'язання домашньої задачі.

#### **III. Актуалізація опорних знань**

##### **1. «Асоціативний куш»**

Учні пригадують все, що їм відомо про наноматеріали. Вчитель фіксує відповіді у вигляді своєрідного «куща», який поступово «розростається».



#### **IV. Оголошення теми та мети заняття**

#### **V. Вивчення нового матеріалу**

##### **1. «Мозаїка»**

Учні діляться на групи. Кожна група отримує завдання і працює над його виконанням. Потім групи переформовуються так, щоб у кожній новоствореній групі були експерти з кожного завдання.

Завдання для I групи. Розглянути досягнення та перспективи застосування нанотехнологій у медицині. Виготовити відповідний стенд.

Завдання для II групи. Розглянути досягнення та перспективи застосування нанотехнологій у парфумерії та харчовій промисловості. Виготовити відповідний стенд.

Завдання для III групи. Розглянути досягнення та перспективи застосування нанотехнологій при виробництві спортивних товарів, одягу та взуття. Виготовити відповідний стенд.

### **Додаткова інформація для роботи у групах**

#### **Нанотехнології у медицині**

Нанотехнологій широко застосовують у повсякденній медичній практиці. Наприклад, випущені пов'язки для знезараження ран, що містять наночастинки срібла (10-30 нм). Наночастки вбивають навіть ті мікроорганізми, які малочутливі до стандартних антисептиків. Наночастинками срібла компанія Samsung покриває деякі моделі стільникових телефонів. Покриття цими наночастинками барабана пральної машини знезаражує білизну при пранні.

Німецькі вчені ввели іони срібла в одяг і постільну білизну, які рекомендують використовувати при екземі і інших порушеннях шкірного покриву.

Нанотехнологічні методи можуть застосовуватися для створення надмолекулярних лікарських капсул (в стадії розробки). Введені ліки можуть бути надзвичайно складними за структурою. Вони будуть знаходитися у надмолекулярних порожніх молекулах – транспортувальних наноконтейнерах з антеною, до якої прикріплені антитіла сенсорних білків. При вступі у контакт зі структурами, що належать агенту, який викликав захворювання – наприклад, з зовнішньою частиною ракових клітин або бактеріями, – антитіла пристиковуються до них і посилають сигнал у порожнисту молекулу, яка відкривається і випускає вміст. За допомогою таких нанотехнологій великі дози ліків можуть доставлятися прямо до джерела захворювання, не піддаючи впливу весь організм і зводячи до мінімуму побічні ефекти.

Подібні прийоми можна використовувати для доставки магнітних наночастинок до джерел ракових пухлин. Нагріті за допомогою змінного електромагнітного поля, ці частинки можуть знищити пухлину.

Наночастинки здатні проникнути і через «пропускний пункт», що стоїть на шляху крові у мозок, тому можуть використовуватися і для боротьби з пухлиною мозку. Даний метод гіпотермії магнітною рідиною був розроблений робочою групою під керівництвом біолога Андреаса Джордана. У даний час почалися його клінічні випробування.

### **Нанотехнології у парфумерії та харчової промисловості**

Косметика, поліпшена за допомогою нанотехнології, стала не тільки ефективніше, але і увійшла у моду (що сприяє подальшому розвитку цієї галузі). Нанокapsули, у яких містяться корисні для шкіри речовини, мають розмір 50-200 нм і легко проникають всередину клітин епідермісу. Аналогічно діють креми проти болю у суглобах і м'язах, що з'являються при інтенсивних заняттях спортом.

Малі розміри нанокapsул у деяких дезінфікуючих засобах дозволяють їм проникати через клітинні мембрани мікроорганізмів, забезпечуючи високу ефективність при відсутності побічних ефектів для людини.

Окислення первинних спиртів до альдегідів – один з фундаментальних процесів у фармацевтичній та парфумерній промисловості, а також у виробництві смакових добавок. Смакові добавки значною мірою виготовляються штучним шляхом, наприклад, так отримують майже 95% ванілі. Хіміки і фізики з Великобританії розробили і дослідили нові екологічно безпечні каталізатори для цього процесу – наночастинки, що складаються з золотого «ядра» і паладієвої оболонки.

У харчовій промисловості нанотехнології насамперед допоможуть за допомогою різних сенсорів контролювати якість і безпеку їжі. Наномембрани забезпечують ефективну фільтрацію води від домішок і мікроорганізмів.

### **Використання нанотехнологій при виробництві спортивних товарів, одягу і взуття**

Успіхи застосування нанотехнологій у цій області пов'язані в основному з новими матеріалами.

Швейцарська компанія виготовила для змагань Tour de France-2005

спортивний велосипед вагою всього 1 кг. Його рама була зроблена з композиційного матеріалу на основі вуглецевих нанотрубок.

Одна з японських компаній виробляє ключки для гольфу, які на 12% жорсткіше титанових і збільшують дальність польоту м'яча на 13 м. Ключки користуються підвищеним попитом як серед професійних спортсменів, так і серед любителів гольфу.

Новим утеплювачем для взуттєвих устілок користується одна з канадських лижних команд, яка виграла у 2004 році марафон до Північного полюса. Матеріал складається з полімеру з нанопори.

Мазь для лиж з використанням наночастинок дозволяє їм краще ковзати по снігу, тим самим збільшуючи швидкість лижника.

З відкриттям нанотехнології стало можливим створення «розумного одягу» для небезпечних, екстремальних умов. Особливий терморегулюючий одяг охолоджує тіло у спеку, а при зниженні зовнішньої температури випромінює тепло. Найлегшим у світі матеріалом вважають матеріал з аерогеля («абсолютний холод»), який на 99,8% складається з повітря. Одяг з нього призначений для робіт при температурі до  $-80^{\circ}\text{C}$ . Такий «розумний одяг» входить і у повсякденне використання.

Англійські фахівці найближчим часом обіцяють появу у магазинах костюмів, які відганяють комарів і москітів, у жарку пору створюють охолоджуючий ефект за рахунок виділення наночастинок ментолу, а також шкарпеток, що містять абсорбенти та мають квітковий аромат. У всіх випадках у тканину вводяться зволожуючі, дезодоруючі частки, частки вітамінів і абсорбентів, поміщені у спеціальні капсули. Капсули руйнуються при рухах людини. Тим не менш, властивості одягу зберігаються навіть після 30-го прання.

У Гонконгському політехнічному університеті для отримання тканин, що самоочищаються використовують покриття з наночастинок діоксиду титану: на світлі це покриття розщеплює органічні забруднення. Таке відкриття позбавить від необхідності частого прання речей.

## **VII. Підсумок заняття**

### **1. Інтерактивна вправа «Кубування»**

На кожній грані кубика записані запитання, вчитель по черзі показує грані куба, а учні відповідають на запитання.

- *Наведіть приклади, які показують, що за наноматеріалами майбутнє медицини.*
- *Чому людині в екстремальних умовах краще носити «розумний одяг»?*
- *Наведіть відомі вам приклади використання нанотехнологій у спортивних товарах*
- *З якою метою використовують нанотехнології у парфумерії та косметології?*
- *Навіщо впроваджувати нанотехнології у харчову промисловість?*
- *Які нанотехнології ви використали б у своєму житті?*

## **VIII. Домашнє завдання**

1. Знайти відомості про товари, у яких використовуються нанотехнології; пояснити принцип їх дії.

### **3.11. НАНОПОКРИТТЯ. КАТАЛІЗАТОРИ І ФІЛЬТРИ. НАНОТРЕХНОЛОГІЇ У ВІЙСЬКОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ**

(Заняття № 9)

**Тема заняття:** Нанопокриття. Каталізатори і фільтри. Нанотрехнології у військовій промисловості.

**Мета заняття:** поглибити та узагальнити знання учнів про нанотехнології, формувати уявлення про нанопокриття, ознайомити з використанням наноматеріалів у якості каталізаторів, у фільтрах, у військовій промисловості; розвивати мислення, пам'ять, увагу, уміння аналізувати, робити висновки; виховувати пізнавальний інтерес.



**Тип заняття:** комбінований.

**Обладнання:** картки з завданнями та допоміжні матеріали.

### **План заняття**

I. Організаційна частина.

II. Перевірка домашнього завдання.

III. Актуалізація опорних знань.

1. «Мікрофон».

IV. Оголошення теми та мети заняття.

V. Вивчення нового матеріалу

1. Робота у групах.

VI. Підсумок заняття.

1. Інтерактивна вправа «Інтерв'ю».

VII. Домашнє завдання.

### **Хід заняття**

#### **I. Організаційна частина**

Перевірити готовність учнів до заняття.

Налаштувати на роботу.

#### **II. Перевірка домашнього завдання**

Учні презентують результати виконання домашнього завдання.

#### **III. Актуалізація опорних знань**

##### **1. «Мікрофон»**

Учні, за допомогою мікрофона, пригадують все, що їм відомо про наноматеріали, види наноматеріалів, їх структуру та властивості.

Говорити має право тільки той, у кого у руках мікрофон. Відповіді мають бути чіткі і лаконічні.

#### **IV. Оголошення теми та мети заняття**

#### **V. Вивчення нового матеріалу**

##### **1. Робота у групах**

Завдання для I групи. Ознайомитися з можливостями нанотехнологій для створення нанопокриттів, каталізаторів та фільтрів на їх основі.

Виготовити відповідний стенд.

Завдання для II групи. Розглянути досягнення та перспективи застосування нанотехнологій у військовій промисловості. Виготовити відповідний стенд.

### **Допоміжний матеріал**

#### **Нанопокриття. Каталізатори і фільтри**

Запотівання автомобільного скла, захисних окулярів спортсменів є проблемою і навіть може призвести до серйозних аварій. Зазвичай для її вирішення застосовуються спеціальні спреї, але термін їх дії обмежений. У даний час розроблено покриття, що складається з полімерних шарів і наночастинок кварцу. У найближчі роки воно буде використовуватися для автомобільного скла, дзеркал для ванних кімнат, лінз цифрових фотоапаратів, спортивних окулярів та ін.

Покриття, які виготовлені за допомогою золь / гель-технологій і містять тверді наночастинок, можуть зробити лобове скло машин стійкими до появи подряпин, при цьому скло залишається прозорим, так як наночастинок настільки малі, що не розсіюють світло. Цей принцип вже використовується в окулярах, хоча і не доведений до досконалості. Лобові стекла з покриттям з наночастинок можуть також підтримувати і контролювати мікроклімат, у більшій чи меншій мірі відбиваючи світлове і теплове випромінювання. Застосування цієї технології допоможе заощадити величезну кількість енергії.

Німецькі фахівці розробили фарбу для зовнішньої забарвлення будинків, яка «відштовхує» бруд і вологу і тривалий час зберігає свої якості. Покриття, що самоочищаються для тканин створюють фантастичний ефект захисту одягу від бруду, жиру, кави та ін. Створено водонепроникний папір із захисним шаром з наночастинок. На новому папері можна писати ручкою, олівцем або фарбою, у тому числі під водою.

Фірма Kodak представила багатошаровий (9 шарів) папір для струменевих принтерів; у кожному шарі присутній свій сорт наночастинок,

що забезпечує певну функцію. Так, у верхньому шарі керамічні наночастинки забезпечують паперу блиск і щільність. Пігментні наночастинки покращують якість друку, а полімерні забезпечують швидку фіксацію фарби.

Нанотехнології дозволять застосовувати золото у нових нетрадиційних для нього областях. Так, наночастинки золота на пористому матеріалі є хорошим каталізатором в автомобілях: навіть при запуску холодного двигуна вони розкладають оксиди азоту і монооксид вуглецю до нешкідливих речовин. Наночастки золота можуть стати каталізаторами для паливних батарей.

У даний час випробовують властивості наночастинок золота запобігати появі запахів. У невеликих системах кондиціонування, наприклад, в автомобілях, вони можуть запобігати появі запахів через присутність у системі бактерій. У Японії наночастинки золота вже використовуються у туалетах.

Виключно важливими при обробці рідин, а також постачанні чистої питної води стають керамічні мембрани з нанопорами. Такі мембрани дозволять легко відфільтрувати бактерії і віруси.

### **Нанотехнології у військовій справі**

Як показує історія, нові технології у першу чергу приваблюють фахівців-оборонників, які прагнуть знайти їм застосування у військовій справі. Не стали винятком і нанотехнології. Військові розраховують, що створені на основі нанотехнологій бойова техніка та озброєння докорінно змінять характер ведення бойових дій. У військових колах міцно вкоренилася думка, що широке впровадження нанотехнологій у будівництво і розвиток збройних сил дозволить перемогти у швидкій і руйнівній війні. Тому у світі вже посилено працюють над створенням нових озброєнь і захисту від них, використовуючи нанотехнології.

Одним з напрямків застосування нанотехнологій у військовій справі є розробка так званої «м'якої броні», яка може бути застосована для

виготовлення екіпіровки солдата майбутнього. Така броня зможе прийняти необмежену кількість куль, у той час як сучасні бронежилети після попадання певної кількості куль стають непридатними.

Для того щоб зробити костюм товщиною у кілька міліметрів досить міцним, у ньому передбачається використовувати рішення, запозичене у живої природи, а саме структуру павутини. у даний час створені нановолокна з поліуретану діаметром близько 100 нм, які структурно схожі на звичайну павутину, тільки гнучкіші, легші і жорсткіші від справжньої павутини. Жорсткість костюму забезпечуватимуть наночастинки, що приєднуються до певних ділянок волокон, поєднуючи їх між собою.

Костюм солдата майбутнього буде справжнім витвором технічної думки: всі життєво важливі параметри солдата (пульс, кров'яний тиск, енцефалограма, температура тіла та ін.) будуть вимірюватися вбудованими у костюм датчиками. Стан солдата буде виведено як на проектор на шоломі, так і на медичний комп'ютер. Ряд полімерних лінійних приводів, з яких буде складатися костюм, за сигналом від «медичного» комп'ютера буде робити певні його ділянки жорсткіше або м'якше. Якщо, наприклад, солдат зламає ногу, місцевий екзоскелет дозволить захопити її у штучні шини, сформовані тканиною костюма. За словами конструкторів, спеціально сконструйовані наномашини-підсилювачі, що входять до складу екзоскелета броні, зможуть збільшити силу солдата на 300%.

Костюм буде здатний розпізнавати хімічну або біологічну атаку. Для цього вже створено чіп, на якому міститься близько 1,5 мільйона живих клітин людської печінки, чутливої, як відомо, до різних вірусів і отрут. Чіп складається з двох ультратонких пластин кремнію, розділених мікроканалом і розташованих спеціальним чином на костюмі. Як тільки до клітин надійдуть речовини, шкідливі для людини, вони видадуть певну хімічну відповідь, яка буде інтерпретована «медичним» комп'ютером, і солдат отримає повідомлення про небезпеку. Це дозволить йому захиститися від хімічної або біологічної атаки раніше, ніж вона стане смертоносною.

У 2008 році Джон Баркер, професор Центру досліджень в області наноелектроніки у Глазго, заявив, що разом з колегами йому вдалося створити математичну модель збирання кібернетичних мікропристроїв у зграї. Більшість частинок можуть «розмовляти» тільки з найближчими сусідами, але, коли їх багато, вони можуть «спілкуватися» на великих відстанях, Зібрані в одному місці тисячі роботів утворюють ударну групу, готову діяти з волі людини. На думку американських військових, її можна застосовувати, наприклад, для ураження танків противника: «хмара» мікророботів, що несе заряд, огортає броньовану машину і вибухає. Така «хмара» може використовуватися і в інтересах розвідки.

Перспективним напрямком застосування нанотехнологій у військовій справі вважається створення нових матеріалів для бойової техніки і зброї. Наприклад, військові машини планують оснастити спеціальною «електромеханічною фарбою», яка дозволить змінювати колір, а також запобігатиме корозії і зможе «затягувати» дрібні пошкодження на корпусі машини. «Фарба» буде складатися з великої кількості наномеханізмів, які дозволять виконувати всі перераховані вище функції. Також за допомогою системи оптичних матриць, які будуть окремими наномашинами у «фарбі», дослідники хочуть домогтися ефекту невидимості машини або літака.

Таким чином, на сьогоднішній день основні зусилля військових нанотехнологів спрямовані на пошук нових матеріалів, поліпшення систем управління бойовою технікою, створення систем, що самовідновлюються, забезпечення зв'язку і розробка захисту від бактеріологічної і хімічної зброї.

## **VI. Підсумок заняття**

### **1. Інтерактивна вправа «Інтерв'ю»**

Щоб підвести підсумок заняття і узагальнити все, що вивчили на занятті вчитель об'єднує учнів у пари, один з членів пари буде кореспондентом, інший – респондентом. Кореспондент складає три запитання щодо теми заняття, а респондент відповідає на них. Потім учні міняються ролями. Запитання не повинні повторюватися.

## **VII. Домашнє завдання**

1. Підготуватися до захисту творчих проектів: створити комп'ютерну презентацію, написати текст доповіді обсягом 2-3 сторінки.

### **3.12. УЗАГАЛЬНЕННЯ ТА СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ЗНАНЬ УЧНІВ ПРО НАНОТЕХНОЛОГІЇ**

(Заняття № 10)

**Тема заняття:** Підсумково-узагальнююче заняття.

**Мета заняття:** узагальнити та систематизувати знання учнів отримані протягом вивчення курсу; розвивати мислення, пам'ять, увагу, творчі здібності, уміння аналізувати, робити висновки; виховувати пізнавальний інтерес.

**Тип заняття:** узагальнення і систематизація знань.

**Обладнання:** листи оцінювання.

#### **План заняття**

- I. Організаційна частина.
- II. Оголошення теми та мети заняття.
- III. Узагальнення і систематизація знань.
  1. Захист учнівських проектів.
- IV. Підсумок заняття.
  1. «Мікрофон».

#### **Хід заняття**

##### **I. Організаційна частина**

Перевірити готовність учнів до заняття. Налаштувати на роботу.

##### **II. Оголошення теми та мети заняття.**

##### **III. Узагальнення і систематизація знань.**

##### **1. Захист учнівських проектів.**

Учні презентують результати виконання творчих проектів за темами:

10. Наноефекти і наноб'єкти у природі.

11. Самоорганізація та само збірка у нанотехнологіях.

12. Невуглецеві фулерени.
13. Невуглецеві нанотрубки.
14. Нанотехнології у машинобудуванні.
15. Нанотехнології у будівництві.
16. Нанотехнології у сільському господарстві.
17. Нанотехнології в енергетиці.
18. Нанотехнології та екологія.

При цьому кожен з учнів виставляє іншим оцінки за 12-бальною шкалою у лист оцінювання (табл. 2).

Таблиця 2

Прізвище та ім'я учня	Критерії оцінювання учнівського проекту					
	Якість доповіді (композиція, повнота представлення роботи, аргументованість)	Рівень творчості, оригінальність розкриття теми	Об'єм і глибина знань з теми	Практична спрямованість і значимість роботи	Відповіді на запитання (повнота, аргументованість)	Естетика оформлення результатів

Підводиться підсумок. Аналізуються доповіді, відмічаються допущені помилки. Виставляються оцінки.

#### IV. Підсумок заняття

##### 1. «Мікрофон»

Учням пропонується підвести підсумок вивченого курсу використовуючи мікрофон. Говорити має право тільки той, у кого в руках мікрофон.

### 3.13. СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

#### Для вчителів

1. Алфимова М. М. Занимательные нанотехнологии / М. М. Алфимова. – М.: БИНОМ, 2011. – 96 с.
2. Баранова Л.В. Проблемно-пошуковий метод навчання в організації дослідницької діяльності учнів на уроці [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://virtkafedra.ucoz.ua/el\\_gurnal/pages/vyp8/Baranova.pdf](http://virtkafedra.ucoz.ua/el_gurnal/pages/vyp8/Baranova.pdf).
3. Богданов К. Ю. Что могут нанотехнологии / К. Ю. Богданов. – М., Просвещение, 2009. – 96 с.
4. Богатство наномира. Фоторепортаж из глубин веществ / [Ю. Д. Третьяков, Е. А. Гудилин, А. В. Гаршев и др.]. – Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 171 с.
5. Введение в нанотехнологии. Модуль «Физика». Элективный курс / авт. кол. В.В. Светухин и др.; под ред. Б.М. Костишко, В.Н. Голованова. – Ульяновск: УлГУ, 2008. – 160 с.
6. Каленик В.І. Обрані питання загальної методики навчання фізики у середній школі / Пробний навчальний посібник / В.І. Каленик, М.В. Каленик. – Суми, СДПУ ім. А.С.Макаренка, 2000, – 91с.
7. Кобаяси Н. Введение в нанотехнологию : пер. с яп. /Н. Кобаяси. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. – 134 с.
8. Леденцов Н.Н. Наноструктуры: как это делает природа/ Н. Н. Леденцов // Лекторий Научно-образовательного центра ФТИ им. А.Ф. Иоффе 13.10.2000 (Интернет- ресурс).
9. Мишина Е. Д. Методы получения и исследования наноматериалов и наноструктур / Е. Д. Мишина. – Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 184 с.
10. Нанотехнологии: Азбука для всех / под ред. Ю.Д. Третьякова. —М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. — 368 с.
11. Озерянский В. А. Познаем наномир. Простые эксперименты / В. А. Озерянский, М. Е. Клецкий, О. Н. Буров. – Москва: БИНОМ.



Лаборатория знаний, 2012. – 144 с.

12. Рыбалкина М. Нанотехнологии для всех. Большое в малом / М. Рыбалкина. – Nanonews.net.ru, 2005. – 444 с.

13. Рыжонков Д. И. Наноматериалы / Д. Ии Рыжонков. – Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2016. – 365 с.

14. Свидиненко Ю. Нанотехнологии в нашей жизни: Технологии XXI века / Ю. Свидиненко. // Наука и жизнь. – 2007. – №7. – С. 2–6.

15. Синдо Д. Аналитическая просвечивающая электронная микроскопия / Д. Синдо, Т.Оикава – М.: Техносфера, 2007 г.

16. Смыков И. Т. К вопросу о пищевых нанотехнологиях / И. Т. Смыков, С. А. Гудков. // Пищевая промышленность. – 2006. – №7. – С. 28–32.

17. Старостин В. В. Материалы и методы нанотехнологии / В. В. Старостин. – Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 431 с.

18. Суслов А. А. Сканирующие зондовые микроскопы (обзор) / А. А. Суслов, С. А. Чижик // Материалы, Технологии, Инструменты. Т.2. 1997, № 3, – С. 78-89.

19. Фостер Л. Нанотехнологии. Наука, инновации и возможности / Л. Фостер. – Москва: Техносфера, 2008. – 352 с.

20. Хартманн У. Очарование нанотехнологии: пер. с нем. / У. Хартманн – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 173 с.

21. Черненко Г. Т. Нанотехнологии: настоящее и будущее / Г. Т. Черненко. – Санкт-Петербург: Балтийская книжная компания, 2011. – 79 с.

22. Чувелева Е. В. Нанотехнологии в учебном процессе / Е. В. Чувелева, А. В. Козлова. – Москва: «Педагогический поиск», 2011. – 128 с. – (Библиотека администрации школы).

23. Шермергор Т. Новые профессии туннельного микроскопа / Т. Шермегор, В. Неволин // Наука и жизнь, 1990. – № 11. – С. 54-57.

## Для учнів

1. Алфимова М. М. Занимательные нанотехнологии / М. М. Алфимова. – М.: БИНОМ, 2011. – 96 с.
2. Богатство наномира. Фоторепортаж из глубин веществ / [Ю. Д. Третьяков, Е. А. Гудилин, А. В. Гаршев и др.]. – Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 171 с.
3. Богданов К. Ю. Что могут нанотехнологии / К. Ю. Богданов. – М., Просвещение, 2009. – 96 с.
4. Зверев В. А. Нанотехнологии здоровья / В. А. Зверев. // Вестник новых медицинских технологий. – 2008. – Том 15. №4. – С. 161–162.
5. Кобаяси Н. Введение в нанотехнологию : пер. с яп. /Н. Кобаяси. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. – 134 с.
6. Леденцов Н.Н. Наноструктуры: как это делает природа/ Н. Н. Леденцов // Лекторий Научно-образовательного центра ФТИ им. А.Ф. Иоффе 13.10.2000 (Интернет- ресурс).
7. Нанотехнологии: Азбука для всех / под ред. Ю.Д. Третьякова. —М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. — 368 с.
8. Нероев В. В. Нанотехнологии в медицине : проблемы и перспективы / В. В. Нероев, Р. А. Гундорова, Е. Н. Вериги. // Офтальмология. – 2008. – Том 5. №2. – С. 82–84.
9. Озерянский В. А. Познаем наномир. Простые эксперименты / В. А. Озерянский, М. Е. Клецкий, О. Н. Буров. – Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 144 с.
10. Распопов Р. В. Современные методы определения наночастиц и наноматериалов в природных объектах / Р. В. Распопов. // Вопросы детской диетологии. – 2009. – Том 7. №4. – С. 69.
11. Рыбалкина М. Нанотехнологии для всех. Большое в малом / М. Рыбалкина. – Nanonews.net.ru, 2005. – 444 с.
12. Рыжонков Д. И. Наноматериалы / Д. Ии Рыжонков. – Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2016. – 365 с.

13. Самсонова М. В. Наномедицина : современные подходы к диагностике и лечению заболеваний, вопросы безопасности / М. В. Самсонова. // Пульмонология. – 2008. – №5. – С. 5–13.
14. Свидиненко Ю. Нанотехнологии в нашей жизни: Технологии XXI века / Ю. Свидиненко. // Наука и жизнь. – 2007. – №7. – С. 2–6.
15. Синдо Д. Аналитическая просвечивающая электронная микроскопия / Д. Синдо, Т.Оикава – М.: Техносфера, 2007 г.
16. Смыков И. Т. К вопросу о пищевых нанотехнологиях / И. Т. Смыков, С. А. Гудков. // Пищевая промышленность. – 2006. – №7. – С. 28–32.
17. Старостин В. В. Материалы и методы нанотехнологии / В. В. Старостин. – Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 431 с.
18. Суслов А. А. Сканирующие зондовые микроскопы (обзор) / А. А. Суслов, С. А. Чижик // Материалы, Технологии, Инструменты. Т.2. 1997, № 3, – С. 78-89.
19. Хартманн У. Очарование нанотехнологии: пер. с нем. / У. Хартманн – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 173 с.
20. Черненко Г. Т. Нанотехнологии: настоящее и будущее / Г. Т. Черненко. – Санкт-Петербург: Балтийская книжная компания, 2011. – 79 с.
21. Фостер Л. Нанотехнологии. Наука, инновации и возможности / Л. Фостер. – Москва: Техносфера, 2008. – 352 с.
22. Шермергор Т. Новые профессии туннельного микроскопа / Т. Шермегор, В. Неволин // Наука и жизнь, 1990. – № 11. – С. 54-57.
23. Nanosamp [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.nanosamp.ru/?page=map>.

### 3.14. ОРІЄНТОВНИЙ ПЕРЕЛІК ОБЛАДНАННЯ

<b>Інструменти нанотехнологій</b>	
Технології отримання наноматеріалів: «зверху вниз» та «знизу вверху». Просвічуюча електронна мікроскопія. Скануюча електронна мікроскопія. Скануюча зондова мікроскопія.	Персональні комп'ютери підключені до мережі Інтернет, проектор, інтерактивна дошка.
<b>Наноматеріали</b>	
Наночастинки. Фулерени. Нанотрубки. Графен.	Персональний комп'ютер, проектор, інтерактивна дошка.
<b>Досягнення та перспективи застосування нанотехнологій</b>	
Нанопокриття. Каталізатори і фільтри. Нанотехнології в медицині. Нанотехнології в парфумерії та харчовій промисловості. Використання нанотехнологій при виробництві одягу, взуття, спортивних товарів. Нанотехнології у військовій промисловості.	Персональні комп'ютери підключені до мережі Інтернет, проектор, інтерактивна дошка.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Данилов Д. Н. Образование в сфере нанотехнологий: опыт Вятского государственного гуманитарного университета / Д. Н. Данилов, В. С. Семенов, Е. Н. Шигарева. // Российские нанотехнологии. – 2012. – №1. – С. 16–21.
2. Изучение нанотехнологий и экологии производства в рамках дополнительного технологического образования школьников / Т. Я. Ашихмина, З. Л. Баскин, В. И. Жаворонков, Е. Н. Шигарева. // Вестник Вятского государственного гуманитарного университета. Педагогика и психология. – 2012. – №3. – С. 99–103.
3. Комкина Т.А. Подготовка кадров в области нанотехнологий в системе образования наиболее развитых стран. / Т.А. Комкина // Сб. тезисов докладов XVI международной конференции «Математика. Компьютер. Образование». / Под ред. Г.Ю.Ризниченко и А.Б.Рубина. – М., Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2009. – С. 323–336.
4. Роко М. Перспективы развития нанотехнологий: национальные программы, проблемы образования / М. Роко. // Рос. химическ. журнал. – 2002. – №5. – С. 90–95.
5. Роснано. [Электронный ресурс]. : Web-сайт. – Электрон. дан. – М. : Группа РОСНАНО, 2007–2016. – Режим доступа: <http://www.rusnano.com/>.
6. Accessnano Modules. [Электронный ресурс]. : Web-сайт. – Освітній ресурс. – Австралія. : Australian Office of Nanotechnology, 2008–2015. – Режим доступа: <http://www.accessnano.org/>.
7. A design-based approach to the professional development of teachers in nanoscale science / [L. Bryan, S. Daly, K. Hutchinson and other]. // Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, New Orleans. – 2007.
8. Atwater H. A. The Promise of Plasmonics / Harry Atwater. // Scientific American. – April, 2007. – P. 56–63.

9. Debry M. School Mapping Report [Електронний ресурс] / M. Debry, X. Lauritsen // NANOPINION. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: <https://fedora.phaidra.univie.ac.at/fedora/get/o:357801/bdef:Content/get>.
10. Design and initial evaluation of an online nanoscience course for teachers / J. Tomasik, S. Jin, R. Hamers, J. Moore. // Journal of Nano Education. – 2009. – №1. – P. 48–67.
11. Experiment Module: Nanoyou: Nanotechnology Education Resources. [Електронний ресурс] : Web-сайт. – Освітній ресурс – Режим доступу: <http://nanoyou.eu/en/component/content/article/38-teacher-training-kits/194-experiment-module.html?directory=79&Itemid=79>.
12. Laherto A. An Analysis of the Educational Significance of Nanoscience and Nanotechnology in Scientific and Technological Literacy / Antti Laherto. // Science Education International. – 2010. – №3. – С. 160–175.
13. Materials Research Science and Engineering Center, Exploring the Nanoworld Innovating Through Materials. [Електронний ресурс] : Web-сайт. – Освітній ресурс – Режим доступу: <http://mrsec.wisc.edu/Edetc/>.
14. Nanokids. [Електронний ресурс] : Web-сайт. – Освітній ресурс – Режим доступу: <http://www.nanokids.rice.edu>.
15. Nanomission. [Електронний ресурс] : Web-сайт. – Освітній ресурс – Режим доступу: <http://www.nanomission.org/>.
16. Nanoscale Informal Science Education Network. [Електронний ресурс] : Web-сайт. – Освітній ресурс – Режим доступу: <http://www.nisenet.org/>.
17. NanoSense the basic sense behind nanoscience. [Електронний ресурс] : Web-сайт. – Освітній ресурс – Режим доступу: <http://www.nanosense.org>.
18. Nanotech Kids. [Електронний ресурс] : Web-сайт. – Освітній ресурс – Режим доступу: <http://www.nanonet.go.jp/english/kids/>.
19. Nanotechnology for Schools. [Електронний ресурс] : Web-сайт. – Освітній ресурс – Режим доступу: <http://www.nanoscience.cam.ac.uk/schools/links.html>.

20. Nanotechnology in school. [Електронний ресурс] : Web-сайт. – Освітній ресурс – Режим доступу: <http://www.scienceinschool.org/2008/issue10/nanotechnology>.
21. Nanotechnology made clear. [Електронний ресурс] : Web-сайт. – Освітній ресурс – Режим доступу: <http://www.understandingnano.com>.
22. Nanotech School. [Електронний ресурс] : Web-сайт. – Освітній ресурс – Режим доступу: <http://www.nanonet.go.jp/english/school/>.
23. Nanoyou. [Електронний ресурс] : Web-сайт. – Освітній ресурс – Режим доступу: <http://nanoyou.eu>.
24. Nanozone, Nanopuzzles. [Електронний ресурс] : Web-сайт. – Освітній ресурс – Режим доступу: <http://nanozone.org/nanopuzzle.htm>.
25. National Nanotechnology Initiative [Електронний ресурс] : Web-сайт. – Електрон. дан. – Режим доступу: <http://www.nano.gov/>.
26. Online simulation and more for nanotechnology. [Електронний ресурс] : Web-сайт. – Освітній ресурс – Режим доступу: <https://nanohub.org/home>.
27. Schank, P. Can Nanoscience Be a Catalyst for Educational Reform? / P. Schank, J. Krajcik, M. Yunker // Nanoethics: The ethical and social implications of nanotechnology / S. Patricia, J. Krajcik, M. Yunker. – Hoboken, NJ: Wiley Publishing, 2007. – (Nanoethics: The ethical and social implications of nanotechnology). – P. 277–289.