

"ІСТОРІЯ НАНОТЕХНОЛОГІЙ" ЯК СКЛАДОВА ЗМІСТУ ФІЗИЧНОЇ ОСВІТИ

У статті розглядаються форми і способи введення базових складових теми "Історія нанотехнологій", які мають знайти відображення в змісті сучасної фізичної освіти. Учні сучасної школи вивчають класичну фізику, а також елементи квантової, атомної й ядерної фізики. Ознайомлення школярів із досягненнями сучасної науки і техніки не тільки дають учням уявлення про тенденції їхнього розвитку, а й впливають на технологічний світогляд останніх та ширше розкривають перспективи у виборі майбутньої професії.

Ключові слова: навчання фізики, зміст навчання фізики, нанотехнології, історія нанотехнологій.

Останнім часом все частіше висловлюється думка про відновлення змісту фізичної освіти. Зміст фізичної освіти спирається на класичну фізику, а також елементи квантової, атомної й ядерної фізики. з цього приводу варто зазначити, що програми і підручники з фізики майже не містять розділів про стан сучасної фізики та її досягнення, про використання новітніх високих технологій, зокрема про відкриття в галузі нанотехнологій. Водночас, ознайомлення школярів із досягненнями сучасної науки і техніки не тільки дають учням уявлення про тенденції їхнього розвитку, а й впливають на технологічний світогляд останніх, ширше розкриваючи перспективи вибору майбутньої професії.

Тим самим виникає **проблема** розкриття методичних аспектів введення до змісту навчання фізики "Історія нанотехнологій" в школі.

Видатні фізики сучасності приділяють багато уваги популяризації нанофізики та нанотехнологічних розробок. Ж. Алфьоров, Д. Віг, Є. Гудимин, П. Епгельмейер, Н. Кобаясі, Ф. Оуенс, Ч. Пул – мол., Н. Рамбіді, Д. Ратнер, М. Ратнер, М. Роко, Ю.Третьков, Р. Фенман (засновник нанотехнологій, 1959), М. Хайдегер, П. Харріс, К. Ясперс та інші вчені вже більш ніж півстоліття виступали і виступають із лекціями, створюють посібники і підручники з нанотехнологій, пропонують введення дисциплін або тем "Історія нанотехнологій" та "Нанотехнології" до змісту навчання. Методисти фізики К. Богданов, О. Брилев, Є. Гудимин, Л. Липова, Т. Лукашенко, К. Корсак, О. Косенко, В. Малишев, Н. Меньшутіна, Ю. Поленов, В. Светухін, О. Семерня, А. Сущенко, В. Хитрук та інші відгукнулися на пропозиції вчених і досліджують дидактичні особливості різноманітних підходів введення до навчального процесу теоретичних основ нанотехнологій та історії цієї галузі науки.

Але в роботах сучасних методистів недостатньо чітко відображені методичні рекомендації щодо доцільності й ефективності різноманітних методів і способів введення тем "Історія нанотехнологій" та "Нанотехнології" до складу змісту навчання фізики. Саме тому **метою** даної роботи є розгляд форм і способів введення базових складових теми "Історія нанотехнологій" до змісту фізичної освіти в загальноосвітній школі.

Нанотехнологіями (англ. – *Nanotechnologies*, нім. – *Nanotechnologien*), інша назва "Моно-молекулярні технології" – в широкому значенні слова прийнято називати міждисциплінарну область фундаментальної і прикладної науки, в якій вивчаються закономірності фізичних і хімічних систем протяжністю порядку декількох нанометрів або часток манометрового розміру (нанометр – це одна мільярдна частка метра – діаметр людської волосини становить близько 80 тис. нанометрів) [5].

Нанотехнологія – міждисциплінарна наука, під час вивчення якої необхідні знання "класичних" наук: фізики, хімії, біології.

На відміну від інших розділів із історії фізики і техніки тема "Історія нанотехнологій" не може викладатися без розгляду, обґрунтування, опанування і засвоєння нанотехнологічних процесів, що надає навчально-пізнавальному процесу як культурно-історичну, так і політехнічну спрямованість.

Основна мета вивчення теми "Історія нанотехнологій" в курсі фізики – дати учням уявлення про історію розвитку та граничні можливості мікротехнологій; про основні напрями розвитку сучасної нанотехнології; про матеріали і методи нанотехнологій щодо створення елементної бази наноелектроніки, квантових приладів і пристроїв. Дати учням можливість зрозуміти важливість міжпредметних зв'язків для розвитку сучасних технологій. Для учнів є цікавим застосування нанотехнологій та наноматеріалів у сучасному будівництві, інформаційних системах, медицині, транспорті [2, с. 140-147, 165-225; 9, с. 24-45].

У результаті вивчення теми "Історія нанотехнологій" учень має знати і розуміти фізичну сутність нанопроцесів, основні технологічні процеси, за допомогою яких у даний час створюються нанорозмірні елементи і структури, а також найбільш ефективні методи контролю параметрів і властивостей формованих нанорозмірних об'єктів, що більш повно розкриває значення цієї галузі науки в нашому житті.

Тема "Історія нанотехнологій" має відображати **основні етапи розвитку і становлення нанотехнологій**, починаючи зі старовини і дотепер.

Нанотехнологіями в кінці XX століття стали називати те, що насправді використовувалося людьми свідомо чи несвідомо впродовж тисячоліть.

Як це не дивно, але дослідження поховань, проведені доктором Філіпом Вальтером із Центру досліджень і реставрації французьких музеїв, показали, що в **Стародавньому Єгипті** нанотехнології застосовували для фарбування волосся в чорний колір. До цього вважалося, що єгиптяни використовували переважно натуральні рослинні барвники – хну і басму. Однак виявилось, що в чорний колір волосся фарбували пастою з вапна $\text{Ca}(\text{OH})_2$, оксиду свинцю PbO і невеликої кількості води. У процесі фарбування виходили наночастинки галеніту (сульфіду свинцю) розміром до п'яти нанометрів [3].

У 400 р. до н.е. **Демокріт Абдерський** (пр. 460-370 рр. до н.е.) – давньогрецький філософ-матеріаліст – використав термін "атом" для характеристики найменшої частини речовини, що означає – "неподільний".

Не обійшлося без нанотехнологій і в **Стародавньому Римі**. Чаша Лікурга (IV ст. до н.е.) – один із видатних творів давньоримських складувів, що зберігається в Британському музеї. Цей кубок незвичайний своїми оптичними властивостями. Матова зелена чаша стає червоною, якщо її освітлити зсередини.

Вперше аналіз фрагмента чаші Лікурга (мал. 1) провели в лабораторіях "Дженерал електрик" у 1959 році. Вчені намагалися з'ясувати склад унікальної фарбувальної речовини. Хімічний аналіз показав, що хоча чаша складається зі звичайного натрієво-вапняно-кварцового скла, в ньому є близько 1% золота і срібла, а також 0,5% марганцю. Тоді ж дослідники припустили, що незвичайний колір і розсіюючий ефект скла забезпечує колоїдне золото.

Пізніше за допомогою електронного мікроскопа і рентгенограм вчені виявили частинки золота і срібла розміром від 50 до 100 нм. Саме вони відповідали за незвичайне забарвлення кубка. Професор Г. Етуотер пояснив це явище: "Завдяки плазмонному збудженню електронів металевих частинок, розподілених у склі, чаша поглинає та розсіює синє і зелене випромінювання видимого спектру. Коли джерело світла зовні і ми бачимо відбите світло, то плазмонне розсіювання надає чаші зеленуватий колір, а коли джерело світла опиняється всередині чаші, то вона здається червоною, оскільки скло поглинає синю і зелену складові спектру, а більш довга червона – проходить" [8].

До речі, плазмоном називається квазічастинка, яка є квантом плазмових коливань, аналогічно тому, як фотон і фонон є квантами світлової та звукової хвиль відповідно.

Яскравість вітражів, що прикрашають храми **середньовічної Європи**, вражають нас дотепер. Дослідження показали, що скло робили кольоровим з домішками наночастинок золота та інших металів. Чжу Хуай Юн із Технологічного університету Квінсленда (Австралія) висловив припущення, що вітражі були не тільки творами мистецтва, а й, висловлюючись сучасною науковою мовою, фотокаталітичними очистниками повітря, що видаляють органічні забруднення. Каталізатори – наночастинки золота. Вчений довів, що крихітні частинки золота на поверхні скла під впливом сонячного світла переходили в збуджений стан і могли руйнувати органічні забруднення (ті, які до них долітали). Більш того, вони і тепер зберігають свою каталітичну активність. Електромагнітні коливання сонячного випромінювання резонує з коливаннями електронів золотих наночастинок. У результаті загальне магнітне поле на поверхні наночастинок золота збільшується в сотні разів і руйнує міжмолекулярні зв'язки забруднюючих агентів, які містяться в повітрі.

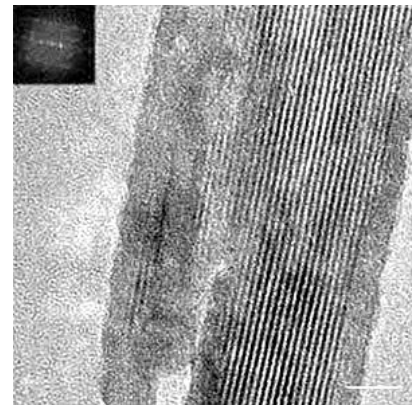
У наш час аналогічна технологія лежить у основі створення ефективних очищувачів повітря. Для їх роботи достатньо сонячного світла, яке нагріває наночастинки золота, тоді як звичайні очистники (оксид титану, срібло) вимагають значно більше енергії для нагрівання каталізатора [7].

Під **час хрестових походів** європейці зіштовхнулися з лезами із дамаської сталі, що мають унікальні властивості. Європейські зброярі не вміли робити такі клинки. У них був характерний хвилястий візерунок на поверхні (його за назвою плетіння тканини називали Дамаск), незвичайні механічні властивості (гнучкість і твердість) і виключно гостре лезо.

Зразок сталі, узятий від справжньої дамаської шаблі роботи відомого зброяра сімнадцятого століття Асседо Уллаха, вчені Дрезденського університету (Німеччина) досліджували за допомогою електронного мікроскопа з високою роздільною здатністю. У структурі матеріалу вони виявили вуглецеві нанотрубки (мал. 2). Вчені спочатку протравили зразки соляною кислотою, що виявило незруйновані структури цементиту (карбиду



Мал. 1. Чаша Лікурга



Мал. 2. Нановолокна цементиту, укладені у вуглецеві нанотрубки

заліза, який зміцнює сталь). Це дозволило припустити, що волокна цементиту укладені в вуглецеві нанотрубки, які і захищають його від розчинення в соляній кислоті. Мікроструктура цементиту представлена нановолокнами [8].

Інші історичні приклади використання нанотехнологій учні можуть навести під час виконання самостійних завдань.

Коли почались дослідження в галузі нанорозмірних об'єктів? Разом із розвитком молекулярної біології. Насправді поява цього розділу біології стала дуже потужним поштовхом для вивчення все більш детальних властивостей клітини, для того, щоб проникати все глибше в неї. Зрештою зіткнулися з об'єктами нанорозмірного масштабу і зрозуміли, що вся клітина – це нанотехнології. У цьому зв'язку часто апелюють до виступу Річарда Фейнмана "Там, внизу, багато місця", але насправді це було вимовлено вже після відкриття ДНК, коли вже було зрозуміло, що таке білок.

З розвитком інструментарію та технології наукових досліджень відповідного розміру стало формуватися більш активне проникнення людини в область наномасштаба в самих різних напрямках: наприклад, в області матеріалів і матеріалознавства, а також в хімії – те, що називається макро- і супрамолекулярні структури, які, власне, і є об'єктами наномасштаба [1].

Срібло використовують як природний антибіотик вже кілька тисячоліть. Перша згадка про те, що срібло знезаражує воду, можна знайти у давньогрецького історика Геродота Галікарнаського (між 490 і 480 – близько 425 рр. до н.е.). Він писав, що перський цар Кір пив воду тільки з певної річки. У подорожі він брав із собою караван срібних судин, наповнених цією водою, і вона завжди була свіжою.

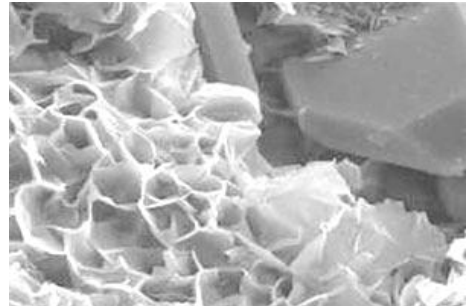
У XIV столітті від чуми померло більше чверті населення Європи. І хоча в той час була невідома причина захворювання, але було відмічено, що багаті люди заражались досить рідко. Є підстави вважати, що багаті їли з срібного посуду, і це певною мірою захищало їх від бактерій, які викликають чуму.

Відомо, що американські піонери клали срібний долар в молоко, щоб зберегти його свіжим.

Німецький хірург Бенне Креде на XII міжнародному з'їзді лікарів доповів про широкі можливості застосування препаратів срібла в гнійній хірургії та про добрі результати лікування септичної інфекції їх внутрішньовенним введенням. Існуючі на той момент препарати на основі солей срібла володіли припікаючим ефектом. Бенне Креде спільно з хіміками запропонував використовувати срібло в неіонізованому стані – у вигляді колоїдних частинок металевого срібла. По суті, це були нанорозмірні частинки срібла, зважені у воді (мал. 3).

Після цього були створені лікарські препарати протаргол (золь оксиду срібла) і колларгол (колоїдний розчин срібла). Висока бактерицидна ефективність колоїдного срібла пов'язана з тим, що воно пригнічує роботу ферменту, який забезпечує кисневий обмін у бактеріальних клітинах.

Сучасні дослідження колоїдного срібла показали, що воно має здатність знешкоджувати деякі штами вірусу грипу, а також ентеро- і аденовіруси. Тільки зараз ми дізналися, що це наноматеріали [10].



Мал. 3. Мікрофотографія наночастинок срібла

Основні етапи розвитку і становлення нанотехнологій

1900 р. Німецький фізик **Макс Планк** (1858-1947) висловив припущення, що світло випромінюється і поглинається окремими порціями – квантами, що породило сумнів щодо неподільності атома.

1905 р. **Альберт Ейнштейн** (1879-1955) опублікував наукову працю, в якій доводив, що розмір молекули цукру становить приблизно 1 нанометр.

1906-1911 рр. Англійський фізик **Ернест Резерфорд** (1871-1937) експериментальним шляхом визначив розподіл електричних зарядів у атомі, заклавши основи ядерної моделі атома.

1913 р. Данський фізик **Нільс Бор** (1885-1962) розробив теорію будови атома.

1926 р. Австрійський фізик **Ервін Шредінгер** (1887-1961) вивів рівняння, яке давало можливість визначати ймовірність перебування електрона в певній одиниці об'єму.

1927 р. Німецький фізик **Вернер Гейзенберг** (1901-1976) вивів співвідношення невизначеностей, яке вказувало на особливості природи мікрочастинок, які зумовлені їх корпускулярно-хвильовим дуалізмом.

1928 р. Американський фізик-теоретик, космолог українсько-російського походження **Георгій Гамов** (1904-1968) отримав розв'язки рівняння Шредінгера, які описували можливість проникнення елементарною частинкою енергетичного бар'єру навіть у тих випадках, коли енергія частинки менша за висоту бар'єру. Це явище було назване тунельним ефектом.

1931 р. Німецькі фізики **Макс Кнолл** (1897-1969) і **Ернст Руска** (1906-1988) створили електронний мікроскоп, який вперше дав можливість досліджувати нанооб'єкти [3].

1959 р. Американський фізик **Річард Філіпс Фейнман** (1918-1988) опублікував праці, в яких уперше докладно розглянув наслідки безмежної мініатюризації з позицій теоретичної фізики. Багатьма вченими він вважається засновником нанотехнологій. Щоправда термін "нанотехнології" був введений пізніше, а широке розповсюдження отримав тільки в останні роки [5].

1968 р. Американські вчені **Альфред Чо** (нар. 1937) і **Джон Артур** (нар. 1931) розробили теоретичні основи нанотехнології при обробці поверхонь.

1974 р. Японський фізик Норіо Танігучі (1912-1999) увів у науковий обіг термін "нанотехнологія", яким запропонував називати механізми і виробу, розмірами менше одного мікрона.

1981 р. Німецькі фізики **Герд Бінніг** (нар. 1947) і **Генріх Рорер** (1933-2013) створили мікроскоп здатний розрізняти окремі атоми. Він отримав назву скануючого тунельного мікроскопа (СТМ).

1985 р. Американські фізики **Роберт Керл** (нар. 1933), **Херольд Крото** (нар. 1939) і **Річард Смейлі** (нар. 1935), удосконалюючи СТМ, створили технологію, за допомогою якої вдалося точно вимірювати об'єкти розміром у 1 нм.

1986 р. Створення атомно-силового мікроскопа (АСЛ), за допомогою якого можна здійснювати взаємодію не лише з електропровідними (як у СТМ), а й з будь-якими речовинами.

1990 р. Розроблено технологію маніпулювання одиничними атомами.

1994 р. Початок застосування нанотехнологій у промисловості [3].

Під час викладання навчального матеріалу з історії нанотехнологій варто дотримуватися вже ustalених понять і визначень.

Нанотехнологія – сукупність методів і прийомів, що забезпечують можливість контрольованим чином створювати і модифікувати об'єкти, що включають компоненти з розмірами менше 100 нм, хоча б в одному вимірі, і в результаті цього отримали принципово нові якості, що дозволяють здійснювати їх інтеграцію в повноцінно функціонуючі системи більшого масштабу. У більш широкому сенсі цей термін охоплює також методи діагностики, характерології і досліджень таких об'єктів.

Наноматеріал – матеріал, що містить структурні елементи, геометричні розміри яких, хоча б в одному вимірі, не перевищують 100 нм, і, завдяки цьому володіє якісно новими властивостями, у тому числі заданими функціональними і експлуатаційними характеристиками.

Багато наноматеріалів є складними макро- або мікрооб'єктами, які наноструктуровані на поверхні або в об'ємі. Такі наноструктури можна розглядати в якості особливого стану речовини, так як властивості матеріалів, утворених за участю наноструктурних елементів, не ідентичні властивостям об'ємної речовини. Їх відмінною особливістю є висока реакційна здатність, наявність квантових і тунельних ефектів, що використовуються під час виготовлення пристроїв на базі цих матеріалів [6, с. 173-175].

Незначний розмір нанопристроїв дозволяє їм проникати в будь-які важкодоступні ділянки людського тіла або макромашин, яких неможливо досягти іншими способами без внутрішнього втручання.

Наноматеріали володіють великою питомою площею поверхні, що прискорює взаємодію між ними і середовищем. Наприклад, каталітично активні матеріали дозволяють у десятки, сотні, тисячі і навіть мільйони разів прискорити хімічні або біохімічні реакції. Наріклад, можна привести розкладання води на водень і кисень у присутності наночастинок діоксиду титану, який традиційно відомий як компонент титанових білил. Наночастинки дозволяють відсіяти бактерії, ефективно поглинути домішки або токсини. Наночастинки також можуть переносити на собі ліки, програмовано доставляючи їх до заздалегідь обраної мети, наприклад, до ракової пухлини.

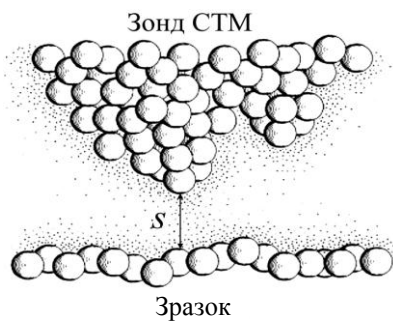
Наноматеріали унікальні тим, що в них речовина знаходиться в особливому, "нанорозмірному", стані. Зміни основних характеристик обумовлені не тільки малістю розмірів, але і проявом квантово-механічних ефектів при домінуючій ролі поверхонь розділу. Ці ефекти мають місце при такому критичному розмірі, який порівнюється з так званним кореляційним радіусом того чи іншого фізичного явища (наприклад, із довжиною вільного пробігу електронів, фононів, довжиною когерентності в надпровідниках, розмірами магнітного домену або зародка твердої фази і т.д.). Характерною особливістю наночастинок є також відсутність структурних дефектів. Це робить, зокрема, напівпровідникові наночастинки ідеальними елементами скоєних енергозберігаючих лазерних і світловипромінювальних елементів [5].

Окремо варто зазначити, що можливість реально займатися дослідженнями в галузі нанотехнологій і наноматеріалів з'явилася тільки після створення приладу – **скануючого зондового мікроскопа**, який дозволяє діагностувати об'єкти на нанометровому рівні. Після створення Гердом Карл Біннінген і Генріхом Рорером (1982) **скануючого тунельного мікроскопу** (СТМ) вдалося вперше спостерігати атомну структуру поверхні в реальному просторі, побачити атоми на поверхні озброєним оком, бачити електронну оболонку, бачити всі їхні властивості [10; 11].

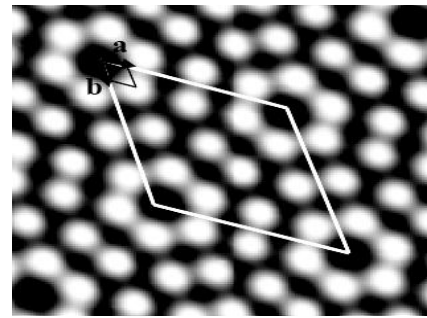
Принцип роботи скануючого тунельного мікроскопа заснований на ефекті тунелювання електрона між двома електродами, один із яких є провідною поверхнею зразка, іншим підводиться на малі відстані зондуємого вістря малого радіуса r (мал. 4, 5). Тунельний струм буде експоненціально залежати від відстані між електродами s , тобто від відстані між вістрям і поверхнею, а зміна цієї відстані всього лише на одну атомну сходинку буде приводити до зміни тунельного струму більше, ніж на порядок:

$$J_T \approx e^{-A\varphi^{1/2}s},$$

де $A \approx 1,025 \text{ A} \cdot \text{eV}^{-1/2}$, φ – величина тунельного бар'єру.



Мал. 4. Принцип роботи тунельного мікроскопа



Мал. 5. Поверхня Si (111) реконструкції 7x7

Найближчий атом буде пов'язаний тунельним струмом, і в результаті фокусування цього тунельного пучка електронів буде відповідати одиницям ангстрема. Збільшення відстані на два атоми тягне за собою зменшення струму приблизно в мільйон разів. Тому за допомогою тунельного мікроскопа можна отримати інформацію про електронні властивості поверхні досліджуваного зразка на рівні атомних масштабів.

Однією з основних можливостей скануючої тунельної мікроскопії є те, що можна здійснювати підповерхневу томографію – бачити, що знаходиться під поверхнею. Якщо під поверхнею знаходяться домішкові атоми, або якісь атомні дефекти, на глибині приблизно 5-6 атомних шарів, можна визначити величину радіуса і хімічний елемент, який знаходиться під поверхнею [10; 11].

За створення скануючого тунельного мікроскопа Г. Бінінг і Г. Рорер були удостоєні Нобелівської премії вже через чотири роки (1986) після винаходу.

Однак, це тільки мала частина останніх досягнень нанотехнології. Поступальний розвиток науки, техніки і технології дозволило останнім часом практично, а не на словах і прогнозах, перейти до освоєння нанометрового діапазону розмірів об'єктів людської діяльності. Значна увага стала приділятися проблемам, що виникають під час створення та дослідження нанорозмірних структур у різних галузях науки і техніки.

Розвиток нанотехнології та наноелектроніки привів до необхідності промислово освоювати нанометровий діапазон розмірів елементів. Виникло прагнення розробити практично реалізовані технології, що дозволяють оперувати окремими атомами або молекулами і здійснювати принципи атомної та молекулярної збірки в промислових масштабах [4, с. 3-8]. Нанотехнології розвиваються стрімкими темпами і дозволяють створювати пристрої, які відкривають безмежні можливості в самих різноманітних галузях життєдіяльності людини.

У зв'язку з обмеженістю навчального часу навчальний матеріал з "Історії нанотехнологій" може бути розглянутий на факультативних заняттях, у позакласній роботі (на тижні фізики, під час фізичного вечора або створення віртуально-природного музею тощо).

Окрім того, окремі питання з "Історії нанотехнологій" учителю доцільно використовувати під час вивчення тем: "Склад і властивості речовини", "Будова кристалів", "Електричний струм у різних середовищах", "Геометрична і хвильова оптика", "Елементи квантової фізики", "Спектроскопія", "Екологічні проблеми навколишнього середовища".

Висновки. Нанотехнологія створює принципово нову технічну і технологічну базу цивілізації і спирається на новітні досягнення в галузі фізики, хімії та фізичної хімії, прикладної математики, матеріалознавства та інших природничих наук. Однією з найважливіших умов швидкого й успішного розвитку нанотехнологій є розробка навчальних тем, курсів і програм, які дозволять професійно підготувати нове покоління дослідників, інженерів і робітників, здатних працювати в цій новій, складній і мультидисциплінарній галузі науки і техніки. Вивчення теми "Історія нанотехнологій" є першим кроком до професійно-технологічної підготовки майбутніх громадян.

Основні ідеї та концепції структури речовини в нанометровому масштабі повинні бути включені в навчальні програми всіх рівнів навчання. Крім того, використання навчального матеріалу з теми "Нанотехнології" можливе під час розгляду багатьох розділів загального курсу фізики та інших дисциплін природничо-наукового циклу, що має сприяти більш сучасним підходам до навчально-пізнавальної діяльності, вдосконалення дослідницьких навичок і розвитку технічного світогляду учнів, а також їх позитивного ставлення до інженерно-технологічних професій, що є суттєвим чинником у виборі майбутньої професії.

Перспективи подальших досліджень полягають у створенні навчальних програм елективних курсів із "Історії нанотехнологій" та "Нанотехнологій" для учнів загальноосвітньої школи.

Використані джерела

1. Аветисов В. 4 мифа о нанотехнологиях / Владик Аветисов. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://chemistlab.ru/blog/4_mifa_o_nanotekhnologijakh/2014-12-18-36>. – Загол. з екр. – Мова укр.
2. Балабанов В.И. Нанотехнологии. Наука будущего / В.И. Балабанов. – М. : Эксмо, 2009. – 256 с.
3. Малишев В. Нанотехнологія та підготовка сучасного інженера в контексті Болонського процесу / Віктор Малишев, Тетяна Лукашенко, Людмила Липова, Алла Сущенко. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <<http://social-science.com.ua/article/692>>. – Загол. з екр. – Мова укр.
4. Марголин В.И. Основы нанотехнологии / В.И. Марголин. – С-Пб : С-ПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2004. – 313 с.
5. Нанотехнології. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <<http://advans.at.ua/blog/nanotekhnologiji/2013-11-12-4>>. – Загол. з екр. – Мова укр.
6. Нанотехнологии: азбука для всех / [под ред. Ю.Д. Третьякова]. – М. : Физматлит, 2008. – 371 с.
7. Учням про нанотехнології. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <<http://bo0k.net/index.php?bid=15548&chapter=1&pr=achapter>>. – Загол. з екр. – Мова укр.
8. Шалдин А.В.. *Нанотехнологии: назад в будущее* / А.В. Шалдин // *Химия и жизнь*. – 2010. – № 1. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <<http://prostonauka.com/nanotekhnologii-proshlogo>>. – Загол. з екр. – Мова рос.
10. Шуленбург М. Нанотехнологии. Новинки завтрашнего дня / Матиас Шуленбург. – Люксембург : Служба по официальным изданиям Европейского Сообщества, 2006. – 54 с.
11. Binnig G. Scanning tunneling microscopy / Gerd Karl Binnig, Heinrich Rohrer // *Helvetica Physica Acta*. – 1982. – Vol. 55. – P. 726-735.
12. Binnig G. Scanning tunneling microscopy from birth to adolescence / Gerd Karl Binnig, Heinrich Rohrer // *Reviews of Modern Physics*. – 1987. – Vol. 59. – P. 615-625.

Ророва Т., Prudkii O., Ukolov O.

"THE HISTORY OF THE NANOTECHNOLOGIES" AS A PART OF PHYSICS EDUCATION CONTENT

The article presents forms and methods of basic parts` introduction of the topic "The History of Nanotechnologies", which may find a reflection in the content of modern Physics education. Nowadays school students study classical Physics, as well as elements of quantum, atomic, nuclear physics. Students` familiarization with the modern science and techniques achievements not only gives them the idea of the tendencies of their development, but also influences the latter`s technological outlook and opens the future profession choice prospective wider. Nanotechnologies are named as interdisciplinary field of the fundamental and applied science, where laws of physical and chemical systems with the length of a few nanometers are studied.

Nanotechnology is an interdisciplinary science, and there is a necessity in knowledge of such "classical" sciences as Physics, Chemistry, Biology while studying it.

Nanotechnology creates essentially new technical and technological civilizational foundation and based on the newest achievements in the field of Physics, Chemistry and Physical Chemistry, applied Mathematics, Material Science, and other natural sciences. One of the most important conditions of the fast and successful nanotechnologies development is working-out educational topics, courses, and programs, which let professionally prepare new generation of researchers, engineers and workers, who are capable of working in this new, complicated, and multidisciplinary field of science and techniques. Studying the topic "The History of the Nanotechnologies" is the first step for professional technological preparation of future citizens.

Main ideas and concepts of a structure of a matter in a nanometer scale must be included into the curricula of all educational levels. Moreover, the use of the nanotechnology elements is possible while reviewing multiple sections of the general course of Physics and other disciplines of nature-scientific course, which has to contribute more modern approach to the education, the enhance of teaching-learning activity, the improvement of researching skills and the development of technological outlook of the students as well as their positive attitude for engineer-technological professions, which is essential factor in a future profession choice.

Prospective for the further research lies in the creation of educational programs of the elective courses in "The History of Nanotechnologies" and "Nanotechnologies" for the Secondary school students.

Key words: *Physics education, Physics education content, nanotechnologies, the history of nanotechnologies.*

Стаття надійшла до редакції 15.05.2015