

## МЕТОДИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ НАВЧАННЯ УЧНІВ ОСНОВ НАНОТЕХНОЛОГІЙ НА УРОКАХ ФІЗИКИ У 8 КЛАСІ

*Стаття присвячена методичним особливостям навчання учнів основ нанотехнологій на уроках фізики у 8 класі. Запропоновано включення окремих питань основ нанотехнологій у розділи «Теплові явища» і «Електричні явища. Електричний струм». Розроблено методичні рекомендації щодо викладання окремих питань основ нанотехнологій. Зміст статті є логічним продовженням визначених раніше методичних особливостей навчання учнів основ нанотехнологій у курсі фізики 7 класу, що сприятиме формуванню в учнів цілісного уявлення про нанотехнології і забезпечить наступність у вивченні основ нанотехнологій. У статті акцентується увага на використанні нетрадиційних методів навчання (методів проблемного навчання, інтерактивних методів, методу проєктів) під час вивчення відповідних питань нанотехнологічної тематики.*

**Ключові слова:** нанотехнологічна освіта, нанотехнології, зміст шкільного курсу фізики, методичні особливості навчання учнів основ нанотехнологій.

Одним із завдань освіти є забезпечення школярів знаннями про досягнення, актуальні дослідження, невирішені питання і перспективи розвитку науки в Україні і світі. За цієї умови знання учнів будуть повними та відповідатимуть сучасним науковим знанням про будову і властивості навколишнього світу. Сьогодні однією з галузей, що швидко розвивається, є нанотехнології. У наш час не лише проводяться активні дослідження в галузі нанотехнологій, а й відбувається їх активне впровадження у промисловість та повсякденне життя людей. Саме тому базові відомості про нанонауку і нанотехнології мають бути включені в зміст природничих дисциплін, що вивчаються у школі.

Загальні аспекти впровадження основ нанотехнологій у шкільну освіту знаходимо у працях закордонних (R. A.-H. Al-Tantawi, S. A. Al-Zaini, S. A. S. Selim [11], K. Ban, M. Kocijancic [9], L. Bryan, S. Daly, K. Hutchinson [10] тощо) і вітчизняних (І. О. Мороз, О. Д. Стадник [6] та ін.) науковців. Проте невирішеними залишаються питання змістового наповнення окремих природничих дисциплін і фізики зокрема. Певні досягнення щодо модернізації навчальних програм з фізики, у відповідності до рівня розвитку нанонауки, мають науковці з Єгипту (R. A.-H. Al-Tantawi, S. A. Al-Zaini, S. A. S. Selim) [11]. Нами було розкрито методичні особливості навчання учнів основ нанотехнологій на уроках фізики у 7 класі [7]. Оскільки процес навчання фізики має відповідати принципам систематичності й послідовності, науковості, а також зв'язку навчання з життям, то, ґрунтуючись на визначених раніше методичних особливостях вивчення окремих питань нанотехнологій у розділах «Механічний рух» та «Взаємодія тіл» курсу фізики 7 класу, вважаємо за необхідне запропонувати змістове наповнення розділів «Теплові явища» та «Електричні явища. Електричний струм» з урахуванням досягнень нанотехнологій і розробити методичні рекомендації щодо їх викладання.

**Мета статті** – розкрити методичні особливості навчання учнів основ нанотехнологій на уроках фізики у 8 класі.

У курсі фізики 8 класу учні знайомляться з тепловими та електричними явищами. Навчальною програмою для загальноосвітніх навчальних закладів з поглибленим вивченням фізики передбачено формування в учнів знань про наноматеріали та перспективи їх застосування під час вивчення розділу «Теплові явища». Аналіз рекомендованих Міністерством освіти і науки України підручників з фізики для 8 класу показує, що більшість підручників містить лише загальну інформацію про наноматеріали і перспективи їх застосування (див. табл. 1).

Вивчаючи поняття «температура», учні знайомляться з різними видами термометрів, температурними шкалами, правилами вимірювання температури тіл. Після цього доцільно поставити учням систему запитань:

– Температуру якого тіла завжди показує термометр?

– Чому розміри термометра мають бути невеликими порівняно з розмірами тіла, температуру якого вимірюють?

– Сьогодні для лікування захворювань кровоносних судин та спинного мозку потрібно точно знати температуру окремих клітин. Як виміряти температуру окремої клітини, вірусу тощо?

– Розміри деталей на сучасних інтегральних схемах становлять по рядку нанометра, і для нормального функціонування електронних пристроїв необхідно регулювати температуру цих деталей. Знов-таки виникає питання: як виміряти температуру цих деталей?

Таким чином, учитель підводить учнів до висновку про необхідність створення термометрів для вимірювання температури тіл на мікро- і нанорівні. Сучасний рівень розвитку нанотехнологій дозволяє вирішити дане питання досить ефективно. На сьогодні існує декілька методів вимірювання температури мікро- і наночастинок. Зокрема, науковці Лабораторії нових матеріалів Національного інституту матеріалознавства Японії запропонували аналогічно до традиційних рідинних термометрів використовувати нанотрубки з вуг-

лецю, заповнені рідким галієм, як термометри [8]. Дані термометри дають змогу вимірювати температуру мікро- і нанооб'єктів у діапазоні  $30 \div 2205^\circ\text{C}$ . Як бачимо, такі термометри дозволяють вимірювати температуру в досить широкому інтервалі.

Інший спосіб вимірювання температури запропонували науковці IBM та ETH Zurich. Винахід отримав назву «Скануюча зондова термометрія», оскільки в основу було покладено принцип роботи скануючого тунельного мікроскопа Г. Біннінга і Г. Рорера [14]. За допомогою скануючого зонду одночасно вимірюються два сигнали: тепловий потік від об'єкта, температуру якого вимірюють, і стійкість скануючого зонду до теплового потоку (див. рис. 1). Поєднання цих двох сигналів дає змогу отримати точний кількісний результат. Як пояснюють самі науковці, по суті кінчик зонда – це наша рука, якщо ми підносимо руку до холодного чи гарячого тіла, то наша рука сприймає тепловий потік, що йде від нього.



Рис. 1. Скануючий зондовий термометр [14]

Формуючи в учнів уявлення про питому теплоємність речовини, вчитель має наголосити, що дана фізична величина залежить від агрегатного стану і температури речовини. Крім того, варто зазначити, що розвиток сучасних засобів дослідження речовин дав змогу встановити залежність питомої теплоємності речовини від розмірів. Так, під час переходу речовини із макро- до наномасштабу її теплоємність зростає (див. табл. 2) [4]. Це пов'язано зі збільшенням амплітуди коливань атомів у наностані. Атоми, що знаходяться на поверхні наноматеріалу, мають менше сусідніх атомів і тому вони слабо зв'язані та мало обмежені в тепловому русі,

Таблиця 1

#### Аналіз підручників для 8 класу

Автори	Назва розділу	Назва параграфу
Т. М. Засекіна, Д. О. Засекін (для загальноосвітніх навчальних закладів з поглибленим вивченням фізики)	Теплові явища. Теплові машини та механізми	Наноматеріали
Т. М. Засекіна, Д. О. Засекін	Теплові явища	Пропонують учням виконати навчальний проект «Наноматеріали»
В. Г. Бар'яхтар, Ф. Я. Божинова, С. О. Довгий, О. О. Кірюхіна	Теплові явища	Агрегатний стан речовини. Наноматеріали
М. І. Шут, М. Т. Мартинюк, Л. Ю. Благодаренко	Теплові явища	Рідкі кристали та їх використання. Полімери. Наноматеріали
В. Г. Сердюченко, А. М. Бойченко	Зміна агрегатних станів речовини	Наноматеріали
П. Ф. Пістун, В. В. Добровольський, П. І. Чопик	Теплові явища	Наноматеріали
М. В. Головка, Л. В. Непорожня	Теплові явища	У рубриці «Виконуємо навчальний проект разом» подано корисну інформацію про наноматеріали
В. Д. Сиротюк	-	-

Таблиця 2

#### Питома теплоємність речовин

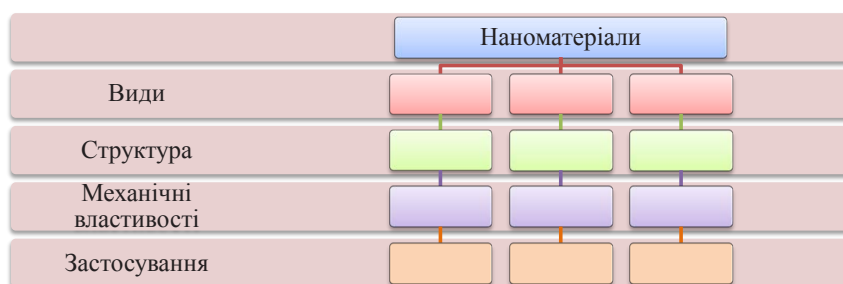
Речовина	Температура, К	Макромасштаб, $\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$	Наномасштаб, $\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$
Мідь	250	240	260
Паладій	250	250	370
Рутеній	250	230	280
Селен	250	241	245

і в реальних умовах це може призвести до того, що амплітуда їх коливань буде більша, ніж в атомів, що знаходяться у середині масивного зразка, за тієї ж температури.

Вивчаючи агрегатні стани речовини, вчитель підводить учнів до висновку, що залежно від характеру руху і взаємодії молекул розрізняють три агрегатні стани речовини: тверді тіла, рідини і гази. Коли речовина переходить з одного стану в інший, змінюється взаємне розташування атомів (молекул) і характер взаємодії між ними. Відповідно, властивості речовини в різних агрегатних станах також залежать від характеру розташування і взаємодії атомів (молекул).

У 1959 році відомий американський фізик Р. Фейнман висунув ідею маніпулювання окремими атомами для створення об'єктів і матеріалів з наперед заданими властивостями. На той час це було досить сміливим припущенням, проте спонукало науковців до активної діяльності в цьому напрямку. І вже в 1981 році співробітниками компанії IBM Г. Біннінгом та Г. Рорером було сконструйовано скануючий тунельний мікроскоп, що дозволив не лише побачити, а й переміщати окремі атоми. Таким чином, Р. Фейнман дав поштовх для розвитку нового напрямку науки – нанотехнології. Сьогодні досягнення нанотехнологій все більше проникають у всі сфери життя людини.

Оскільки в курсі фізики 7 класу учні частково ознайомилися з відомими на сьогодні наноматеріалами (графен, вуглецева нанотрубка, фулерен), їхніми механічними властивостями і застосуванням, то доцільно коротко пригадати вивчений матеріал [7]. Для цього можна використати інтерактивний метод «Асоціативний куш»:



Вважаємо більш доцільним решту фізичних властивостей (теплові, світлові, електричні, магнітні), а відповідно і зумовлене ними застосування наноматеріалів, вивчати в міру ознайомлення учнів з відповідними явищами в курсі фізики. У рамках даного уроку рекомендуємо більш детально розглянути структуру і фізико-хімічні властивості наноматеріалів.

Перш за все, потрібно зазначити, що фулерен, графен і вуглецева нанотрубка є алотропними формами вуглецю. Д. І. Менделєєв писав, що «в жодного з елементів така здатність до ускладнення не розвинена в такій мірі, як у вуглецю». Далі вчитель пропонує учням пригадати, які алотропні модифікації вуглецю їм відомі (сажа, графіт, алмаз). Вчитель демонструє кристалічні ґратки відповідних речовин і з'ясовує разом з учнями їхні фізичні й хімічні властивості. У результаті учні доходять висновку, що здатність атомів одного хімічного елемента з'єднуватися один з одним різними способами, утворюючи різні просторові конфігурації, суттєво впливає на його властивості й перспективи застосування. Після цього учнів більш детально знайомлять з модифікаціями вуглецю, що відкриті в останні роки.

Вивчення фулерена доцільно розпочати з походження назви цього нанооб'єкта. Назва «фулерен» походить від імені американського архітектора Річарда Бакмінстера 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<sub>60</sub>, яка складається з 60-ти атомів вуглецю, розташованих на сфері діаметром ~ 1 нм, пов'язаних між собою сильними ковалентними зв'язками. Атоми вуглецю в молекулі C<sub>60</sub> утворюють 12 правильних п'ятикутників і 20 правильних шестикутників аналогічно формі футбольного м'яча (рис. 2, а).

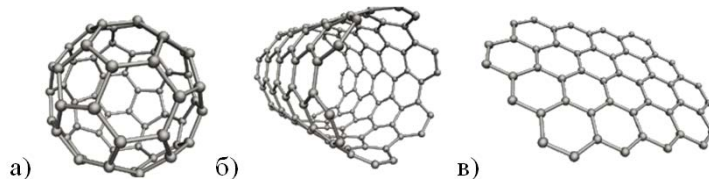


Рис. 2. Нанорозмірні алотропні модифікації вуглецю: а) фулерен, б) вуглецева нанотрубка, в) графен

Варто зазначити, що молекули фулерену можуть мати не тільки сферичну форму, а й форму еліпсів. Можливе формування багатопарових сфер й еліпсів. Однак у всіх випадках розмір молекул фулерену становить ~ 1 нм.

Слід звернути увагу учнів на особливість структури фулерена – порожнесті всередині багатоатомні молекули вуглецю. Цей важливий висновок учні роблять у ході евристичної бесіди: 1) Якщо атоми вуглецю розташовані так, що утворюють сферичну поверхню, то що ж всередині цієї сфери? 2) Чи можна чимось заповнити цю порожнину? Отже, фулерени – це своєрідні наноконтейнери, які вважають досить перспективними для застосування в нанотехнології і нанохімії.

При цьому вчитель підводить учнів до ще одного важливого висновку: фулерени, всередині яких розміщено один або кілька невуглецевих атомів, називають ендофулеренами. Якщо в молекулу фулерену вводяться атоми металу, то такі комплекси називають металфулеренами.

Саме особливості будови визначають «аномальні» фізико-хімічні властивості фулеренів.

Після відкриття фулерену настала черга інших нанорозмірних структур на основі вуглецю – вуглецеві нанотрубки (далі – ВНТ).

Вуглецеві нанотрубки – це протяжні структури у вигляді порожнистого циліндра, що складаються з одного або декількох згорнутих у трубку графітових шарів, в яких атоми вуглецю розташовані у вершинах правильних шестикутників і на торцях закриваються п'ятикутниками (рис. 2, б).

Діаметр ВНТ становить  $1\div 150$  нм, а довжина сягає декількох сантиметрів і постійно збільшується в міру вдосконалення технології їх отримання.

На поверхні трубки атоми вуглецю розташовані у вершинах правильних шестикутників. Фактично нанотрубки можна уявити як лист графіту, згорнутий у безшовний циліндр. І хоча вуглецеві нанотрубки в дійсності не утворюються шляхом згортання графітових листів, різні структури трубок можна пояснити, розглядаючи уявні способи згортання графітового листа в циліндр.

Під час вивчення даної алотропної модифікації вуглецю учні мають зрозуміти, що за своєю структурою ВНТ займають проміжне положення між графітом і фулереном. Однак більшість властивостей нанотрубок не має нічого спільного із зазначеними структурами, що дозволяє розглядати дані вуглецеві структури як самостійний матеріал.

Завдяки особливостям своєї будови, нанотрубки мають унікальні фізико-хімічні властивості. Нанотрубки демонструють високі значення міцності на розтягнення і вигин. Зв'язки між атомами вуглецю у ВНТ є найсильнішими серед відомих. Так, наприклад, нитка товщиною з людську волосину, виготовлена з ВНТ, може витримати вантаж масою сотні кілограм. Враховуючи високу хімічну активність, ВНТ є чудовими каталізаторами. Причому для підвищення каталітичних властивостей усередину нанотрубки вводять наночастинки.

Знайомство учнів із ще однією алотропною формою вуглецю – графеном – доцільно розпочати з історичної довідки. Уважно розглянувши кристалічну решітку графіту, можна помітити, що кожен атом вуглецю у графені оточений трьома найближчими сусідами і володіє чотирма валентними електронами, три з яких утворюють ковалентні зв'язки із сусідніми атомами, що розташовані в одній площині під кутами  $120^\circ$ . Четвертий електрон, орієнтований перпендикулярно цій площині, і є відносно вільним. Таким чином, атоми вуглецю у графіті розташовані шарами, відстань між якими досить велика, а зв'язки слабкі. Це наштовхнуло вчених на думку, що шар графіту, товщиною в один атом, може бути відділений. У 2004 році російські вчені Костянтин Новосьолов і Андрій Гейм отримали перші зразки графена дуже оригінальним способом, відокремивши окремих шар графіту за допомогою скотчу. За новаторські дослідження цього двовимірного матеріалу їм була присуджена Нобелівська премія з фізики за 2010 рік. На сьогоднішній день графен – найтонший матеріал, відомий людству, товщиною всього в один атом вуглецю, що складається з правильних шестикутників зі стороною  $0,142$  нм і атомами вуглецю у вершинах (рис. 2, в).

Малий розмір атома вуглецю і висока міцність хімічних зв'язків між атомами вуглецю надає графену цілий ряд унікальних властивостей: хімічна стабільність, висока теплопровідність, виняткова міцність і пружність, непроникність, майже повна прозорість. 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. В разі з'єднання декількох шарів графену теплопровідність падає.

Унікальність графена серед алотропних модифікацій вуглецю полягає в тому, що він є двовимірним будівельним матеріалом для інших алотропних модифікацій вуглецю – фулеренів, нанотрубок, графіту.

Для більш ґрунтовного розуміння учнями вивченого матеріалу радимо доповнити перелік тем навчальних проєктів наступними темами: «Нанотехнології в медицині», «Нанотехнології в побуті», «Роль нанотехнологій у захисті навколишнього середовища».

Вивчаючи поняття «температура плавлення», вчитель зазначає, що макроскопічна речовина має чітко визначену температуру плавлення за певного тиску, проте зі зменшенням розмірів кристалів зменшується і температура плавлення. Цей факт було помічено досить давно, проте активні дослідження почалися наприкінці XIX століття з розвитком засобів дослідження. На сьогодні відомо, що на відміну від макроскопічних речовин наноб'єкти не мають фіксованої температури плавлення, перехід речовини із твердого стану в рідкий відбувається в деякому інтервалі температур. У наноб'єктів тверде тіло і рідина в деякому інтервалі температур співіснують. У разі зменшення розміру зразків металу знижується температура плавлення наночастинок.

Залежність температури плавлення речовин від розміру пояснюється тим, що збільшення температури веде до зростання амплітуди коливань атомів. При деякій температурі амплітуда коливань значно зростає,



що призводить до руйнування кристалічної решітки, і тверде тіло починає плавитися. Атоми, що знаходяться на поверхні наноматеріалу, перебувають в особливих умовах порівняно з тією ж речовиною в макромасштабі, оскільки мають менше сусідніх атомів і мало обмежені в тепловому русі. Частка поверхневих атомів у сферичних наночастинках розміром 3 нм досягає приблизно 50%, що пояснює залежність температури плавлення наночастинок від їх розміру [1].

Раніше ми розглядали випадок, коли всередину наночастинок включали іншу речовину (наприклад, ендодулерени). У цьому випадку температура плавлення частинки може як знижуватися, так і підвищуватися в порівнянні з компактним матеріалом у разі зміни розміру частки [1].

Крім того, варто зазначити, що температуру плавлення потрібно розглядати не лише як функцію розміру частинки, але і як функцію її геометрії. На рисунку 3 показано вплив форми наночастинок титану на величину температури плавлення [1].

Із рисунка 3 бачимо, що найбільш стійкою є форма циліндра. Найменш стійкою є наночастинка, що має форму сфери. Найбільш нестійкими є наночастинки, що мають форму конуса. Це пояснюється тим, що атоми, які знаходяться на вершині конуса, слабше пов'язані з наночастинкою. Після руйнування вершини конуса форма наночастинок нагадує циліндр і продовжує плавитися за тим же механізмом, що і наночастинка, що має форму циліндра [1].

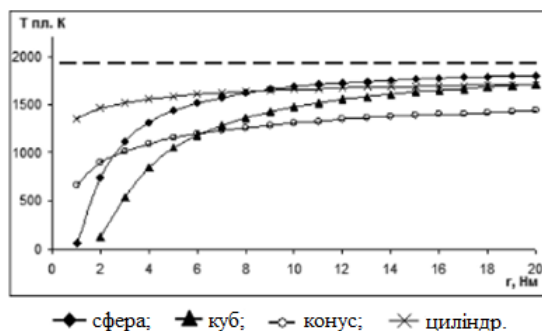


Рис. 3. Залежність температури плавлення наночастинок титану від форми:  $r$  – лінійний розмір, для сфери – радіус сфери, для куба – ребро куба, для конуса – висота конуса, для циліндра – довжина циліндра

Можна вважати, що вчитель досяг мети, якщо учні можуть дати відповідь на запитання: яке значення має знання залежності температури плавлення від форми і розмірів наночастинок у нановиробництві, наприклад для експлуатації мікропроцесорів чи виготовлення нанороботів?

Вивчаючи принцип дії теплових двигунів, вчитель звертає увагу учнів на їхню важливу характеристику – коефіцієнт корисної дії (ККД). Зазвичай ККД теплових двигунів становить 20–40%. Сьогодні науковці намагаються не лише збільшити економічність теплових двигунів, але й зробити їх меншими для потреб нанопромисловості. Подібні нанодвигуни вже давно створені природою (бактерія кишкова паличка переміщається за допомогою мініатюрних джгутиків, коливання яких і викликає механічний рух), й особливості їхньої будови та принцип дії взято за основу сучасних нанодвигунів.

Перший нанодвигун було створено з двох порожнистих вуглецевих нанотрубок різної довжини: на довшу нанотрубку надіта коротша. Крім того, до коротшої нанотрубки може бути прикріплений певний вантаж (див. рис. 4). Коротша нанотрубка може вільно ковзати вздовж довшої за рахунок градієнта температур (температура змінюється від 1300 до 300 К вздовж нанотрубки) – від більш нагрітого краю до менш нагрітого. Даний процес здійснюється завдяки коливанню атомів довшої нанотрубки – коливальна енергія атомів перетворюється в кінетичну енергію руху коротшої нанотрубки [15].

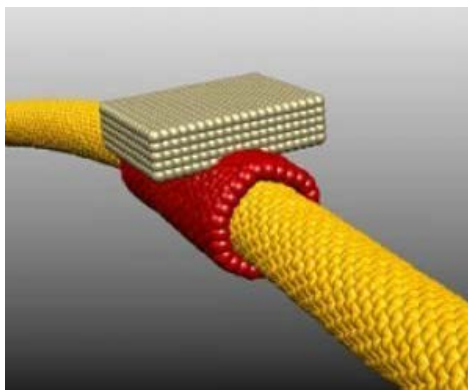


Рис. 4. Тепловий нанодвигун на основі вуглецевих нанотрубок

Під час вивчення електричних явищ учитель формує в учнів уявлення, що у макросвіті речовини за електропровідністю поділяють на провідники, напівпровідники і діелектрики. Провідники добре проводять електричний струм, а діелектрики навпаки – не проводять. На сьогодні встановлено, що на електропровідність речовин впливає їхній розмір: електропровідність провідників (Fe, Cu, Ni, Pd, а також сплавів на їх основі) знижується за умови зменшення їхніх розмірів до нанорівня, а діелектриків (кераміка і скло) – зростає. Причиною є збільшення коливань атомів (молекул) порівняно з макроскопічним зразком, а також вплив структурних дефектів.

При цьому доцільно буде розширити знання учнів про вивчені раніше алотропні форми вуглецю. Так, наприклад, вуглецеві нанотрубки демонструють широкий діапазон електричних властивостей: у разі різного впливу, наприклад, легування або зміни геометрії може бути діелектриком чи надпровідником [2]. Графен може одночасно мати відразу декілька дуже важливих і унікальних електричних властивостей. По-перше, ця речовина може бути прекрасним провідником, оскільки графен складається з ланцюгів шестикутників вуглецю, по яких дуже легко передається електричний струм. По-друге, в разі деякої видозміни графен може бути ефективним ізолятором. Можна зробити мікросхему, яка складається із провідників, напівпровідників й ізоляторів. Кожна з цих характеристик речовини може бути досягнута на основі графену.

За певних умов графен має властивості надпровідності. Науковцям Масачусетського технологічного інституту вдалося отримати структуру, що складається з двох шарів графену, зміщених один відносно одного на «магічний» кут  $1,1^\circ$ . За такого розташування шарів графену вільні електрони мають усі можливості рухатися без втрат енергії завдяки вдалій конфігурації атомів вуглецю, але взаємодія між частинками заважає проходженню електричного струму. Тобто дана структура є діелектриком, але під час накладання зовнішнього електричного поля з'являються додаткові носії заряду, і структура стає надпровідником [16]. Вчені вважають, що дане відкриття дасть змогу більш детально дослідити механізм надпровідності і створити високотемпературні надпровідники.

Надпровідність властива і твердому фулерену  $C_{60}$ . Оброблений парами лужного металу при температурі в кілька сотень градусів, фулерен  $C_{60}$  перетворюється на провідник з металічним типом провідності, який у разі низьких температур (10–20°K) переходить у надпровідний стан [3].

У макророзмірному діелектрику може проходити електричний струм лише за умови діелектричного пробою, але в цьому випадку діелектрик зазнає руйнування. Дослідницькій групі на чолі з Аланом Хантом вдалося пропустити електричний струм через нанорозмірну скляну пластинку, яка при цьому залишилася непошкодженою. Як пояснюють науковці, дане відкриття дає можливість виробництва і використання нового покоління електродів. Рідкий скляний електрод являє собою наноканал, що стає провідником за наявності сильного електричного поля через діелектричний пробій, а тепло, що виділяється під час проходження електричного струму в таких масштабах, розсіюється досить швидко і не чинить руйнівного впливу. За відсутності електричного поля знову стає ізолятором. Електроди такого типу досить легко інтегрувати в нанопристрої та датчики [12].

Під час вивчення питомого опору провідників доцільно буде згадати про значення даного параметру для нанорозмірних модифікацій вуглецю. Питомий опір вуглецевих нанотрубок може змінюватися в межах  $2 \pm 20$  кОм/мкм (у нанотрубок з'являється лінійна залежність питомого опору від довжини нанотрубки) [13], графена при кімнатній температурі – 1 мкОм•см [5], а фулерена –  $10^{14}$  Ом•м (фулерен є ізолятором) [2]. Завдяки структурі вуглецевих нанотрубок електрони проходять по них, не розсіюючись, тому можуть бути використані для виготовлення електричних проводів, що будуть більш екологічними, легшими та економічно вигідними, або під час конструювання електронних мікропристроїв. Низький питомий опір графену, а також його товщина відкривають можливості для його застосування під час виготовлення мікросхем, датчиків, сенсорних дисплеїв тощо.

**Висновки.** Включення окремих питань нанонауки і нанотехнологій у зміст шкільного курсу фізики сприятиме формуванню в учнів знань про сучасні досягнення й перспективи розвитку науки. Запропоноване змістове наповнення розділів «Теплові явища» і «Електричні явища. Електричний струм», а також методичні рекомендації щодо його реалізації є логічним продовженням визначених раніше методичних особливостей навчання учнів основ нанотехнологій у курсі фізики 7 класу. Це дозволить сформулювати в учнів цілісне уявлення про нанотехнології і забезпечить наступність у вивченні основ нанотехнологій.

Перспективи подальших наукових досліджень вбачаємо у визначенні методичних особливостей навчання учнів основ нанотехнологій у курсі фізики 9–11 класів.

#### *Використана література:*

1. Бандин А. Е. Зависимость температуры плавления наночастиц от ее формы на примере наночастиц титана / А. Е. Бандин, С. А. Безносюк // Известия АлтГУ. – 2011. – № 3–2. – С. 127–130.
2. Грабченко А. И. Введение в нанотехнологии: текст лекций для студентов инженерных специальностей дневной и заочной форм обучения / А. И. Грабченко, Л. И. Пупань, Л. Л. Товажнянский. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2012. – 272 с.
3. Елецкий А. В. Фуллерены / А. В. Елецкий, Б. М. Смирнов // Успехи физических наук. – 1993. – Вып. 163 (2). – С. 33–60.
4. Машков Ю. К. Материалы и методы нанотехнологии: конспект лекций / Ю. К. Машков, О. В. Малий. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2014. – 136 с.

5. Меркульєв А. Ю. Графен как материал для теплопроводов нового поколения / А. Ю. Меркульєв, Н. К. Юрков // Молодой ученый. – 2014. – № 3. – С. 331–333.
6. Нанотехнології в освітній галузі: [колект. монографія] / за заг. ред. І. О. Мороза. – Суми : Вид-во СумДПУ імені А. С. Макаренка, 2016. – 244 с.
7. Ткаченко Ю. А. Методичні особливості навчання учнів основ нанотехнологій на уроках фізики у 7 класі / Ю. А. Ткаченко // Фізико-математична освіта. – 2017. – Вип. 4 (14). – С. 108–112.
8. A Liquid-Ga-Filled Carbon Nanotube: A Miniaturized Temperature Sensor and Electrical Switch / [P. Dorozhkin, S. Tovstonog, D. Golberg and others] // *Small*. – 2005. – Vol. 1 (11). – P. 1088–1093.
9. Ban K. Introducing topics on nanotechnologies to middle and high school curricula / K. Ban, S. Kocijancic // 2nd World Conference on Technology and Engineering Education, 5–8 September 2011, Ljubljana, Slovenia. – Ljubljana, 2011. – P. 78–83.
10. Daly S. Incorporating nanoscale science and engineering concepts into middle and high school curricula / S. Daly, K. Hutchinson, L. Bryan // Proceedings of the Annual Conference of the American Society for Engineering Education, June 24th - 27th, Honolulu, Hawaii. – Honolulu, 2007.
11. Selim S. A. S. Integrating nanotechnology concepts and its applications into the secondary stage physics curriculum in Egypt / S. A. S. Selim, R. A.-H. Al-Tantawi, S. A. Al-Zaini // *European Scientific Journal*. – 2015. – Vol. 11. – № 12. – P. 193–212.
12. Lee S. Liquid glass electrodes for nanofluidics / S. Lee, R. An, A. J. Hunt // *Nat Nanotechnol*. – 2010. – Vol. 5 (6). – P. 412–416.
13. Measuring the electrical resistivity and contact resistance of vertical carbon nanotube bundles for application as interconnects / [N. Chiodarelli, Masahito S, Y. Kashiwagi and others] // *Nanotechnology*. – 2011. – Vol. 22. – № 8. – P. 1–7.
14. Scientists invent a thermometer for the nanoscale / Nanowerk [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.nanowerk.com/nanotechnology-news/newsid=42769.php> (viewed on April 13, 2018).
15. Subnanometer motion of cargoes driven by thermal gradients along carbon nanotubes / [A. Barreiro, R. Rurai, E.R. Hernández and others] // *Science*. – 2008. – Vol. 320. – P. 775–778.
16. Surprise graphene discovery could unlock secrets of superconductivity / *Nature: international journal of science* [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.nature.com/articles/d41586-018-02773-w> (viewed on April 10, 2018).

#### References:

1. Bandin A. E. Zavisimost' temperatury plavlenija nanochastich ot ee formy na primere nanochastich titana [Dependence of the Melting Temperature of Nanoparticles on its Shape (on the Example of Titanium Nanoparticles)] / A.E. Bandin, S.A. Beznosyuk // *Izvestija AltGU*. – 2011. – № 3-2. – S. 127-130. [in Russian]
2. Grabchenko A.I. Vvedenie v nanotekhnologii: tekst lekcij dlja studentov inzhenernyh special'nostej dnevoj i zaочноj form obucheniya [ Introduction to Nanotechnology: the text of lectures for students of engineering specialties of day and correspondence forms of education] / A.I. Grabchenko, L.I. Pupan', L.L. Tovazhnjanskij. – Har'kov: NTU «HPI», 2012. – 272 s. [in Russian]
3. Eleckij A. V. Fullereny [Fullerenes] / A.V. Eleckij, B.M. Smirnov // *Uspehi fizicheskikh nauk*. – 1993. – Vip. 163 (2). – S. 33-60. [in Russian]
4. Mashkov Ju. K. Materialy i metody nanotekhnologii: konspekt lekcij [Materials and methods of nanotechnology: lecture notes] / Ju.K. Mashkov, O.V. Malij. – Omsk: Izd-vo OmGTU, 2014. – 136 s. [in Russian]
5. Merkul'ev A. Ju. Grafen kak material dlja teplootvodov novogo pokolenija [ ] / A.Ju. Merkul'ev, N.K. Jurkov // *Molodoj uchenyj*. – 2014. – № 3. – S. 331-333. [in Russian]
6. Nanotekhnologii v osvitnii haluzi: kolekt. monohrafiya [Nanotechnology in education: collective monograph] / za zah. red. I.O. Moroz. – Sumy: Vyd-vo SumDPU imeni A.S. Makarenka, 2016. – 244 s. [in Ukrainian]
7. Tkachenko Yu. A. Metodychni osoblyvosti navchannia uchniv osnov nanotekhnologii na urokakh fizyky u 7 klasi [Methodical specifics of teaching pupils the basics of nanotechnology in physics lessons in the 7th form ] / Yu. A. Tkachenko // *Fiziko-matematychna osvita*. – 2017. – Vyp. 4(14). – S. 108–112. [in Ukrainian]
8. A Liquid-Ga-Filled Carbon Nanotube: A Miniaturized Temperature Sensor and Electrical Switch / P. Dorozhkin, S. Tovstonog, D. Golberg and others // *Small*. – 2005. – Vol. 1 (11). – P. 1088–1093. [in English]
9. Ban K. Introducing topics on nanotechnologies to middle and high school curricula / K. Ban, S. Kocijancic // 2nd World Conference on Technology and Engineering Education, 5-8 September 2011, Ljubljana, Slovenia. – Ljubljana, 2011. – P. 78-83. [in English]
10. Daly S. Incorporating nanoscale science and engineering concepts into middle and high school curricula / S. Daly, K. Hutchinson, L. Bryan // Proceedings of the Annual Conference of the American Society for Engineering Education, June 24th - 27th, Honolulu, Hawaii. – Honolulu, 2007. [in English]
11. Integrating nanotechnology concepts and its applications into the secondary stage physics curriculum in Egypt / S. A. S. Selim, R. A.-H. Al-Tantawi, S. A. Al-Zaini // *European Scientific Journal*. – 2015. – Vol.11. – № 12. – P. 193–212. [in English]
12. Lee S. Liquid glass electrodes for nanofluidics / S. Lee, R. An, A.J. Hunt // *Nat Nanotechnol*. – 2010. – Vol. 5(6). – P. 412–416. [in English]
13. Measuring the electrical resistivity and contact resistance of vertical carbon nanotube bundles for application as interconnects / N. Chiodarelli, Masahito S, Y. Kashiwagi and others // *Nanotechnology*. – 2011. – Vol. 22. – № 8. – P. 1–7. [in English]
14. Scientists invent a thermometer for the nanoscale [Electronic resource] // Nanowerk. – Electronic data. – Mode of access: <https://www.nanowerk.com/nanotechnology-news/newsid=42769.php> (viewed on April 13, 2018). – Title from the screen. [in English]
15. Subnanometer motion of cargoes driven by thermal gradients along carbon nanotubes / A. Barreiro, R. Rurai, E.R. Hernández and others // *Science*. – 2008. – Vol. 320. – P. 775–778. [in English]
16. Surprise graphene discovery could unlock secrets of superconductivity [Electronic resource] // *Nature: international journal of science*. – Electronic data. – Mode of access: <https://www.nature.com/articles/d41586-018-02773-w> (viewed on April 10, 2018). – Title from the screen. [in English]

**Ткаченко Ю. А. Методические особенности обучения учащихся основам нанотехнологий на уроках физики в 8 классе**

Статья посвящена методическим особенностям обучения учащихся основам нанотехнологий на уроках физики в 8 классе. Предложено включить отдельные вопросы основ нанотехнологий в разделы «Тепловые явления» и «Электрические явления. Электрический ток». Разработаны методические рекомендации по преподаванию отдельных вопросов основ нанотехнологий. Содержание статьи является логическим продолжением определенных ранее методических особенностей обучения учащихся основам нанотехнологий в курсе физики 7 класса, что будет способствовать формированию у учащихся целостного представления о нанотехнологиях и обеспечит преемственность в изучении основ нанотехнологий. В статье акцентируется внимание на использовании нетрадиционных методов обучения (методов проблемного обучения, интерактивных методов, метода проектов) при изучении соответствующих вопросов нанотехнологической тематики.

**Ключевые слова:** нанотехнологическое образование, нанотехнологии, содержание школьного курса физики, методические особенности обучения учащихся основам нанотехнологий.

**Tkachenko Yu. A. Methodical specifics of teaching pupils the basics of nanotechnology in physics lessons in the 8th form**

The article is devoted to the methodological specifics of teaching pupils the basics of nanotechnology in physics lessons in the 8th form. It is proposed to include the separate issues of the basics of nanotechnology in the sections "Thermal phenomena" and "Electrical phenomena. Electric current." The methodical recommendations for teaching of the separate issues of the basics of nanotechnology have been developed. The content of the article is a logical continuation of the previously defined methodological specifics of teaching pupils the basics of nanotechnology in the course of physics for the 7th form, which will contribute to the formation of a comprehensive view of nanotechnology among pupils and will ensure continuation in studying the basics of nanotechnology. The article focuses on the use of non-traditional teaching methods (methods of problem-based learning, interactive methods, project method) when studying relevant issues of nanotechnological topic.

**Key words:** nanotechnology education, nanotechnology, content of the school course of physics, methodological specifics of teaching pupils the basics of nanotechnology.

УДК 378.147

Томашівська М. М.

**ДЕЯКІ АСПЕКТИ РЕАЛІЗАЦІЇ КОМПЕТЕНТІСНОГО ПІДХОДУ В СИСТЕМІ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ МУЗИКИ**

У статті розглядаються теоретико-методологічні аспекти застосування компетентнісного підходу в системі професійної освіти майбутніх учителів музики. Реалізація компетентнісного підходу в освітньому процесі орієнтована на підготовку до професійної діяльності кваліфікованого фахівця, особистості креативної, з гнучким та критичним мисленням, здатної до неперервної самоосвіти та саморозвитку. Автор досліджує умови та механізм формування професійно-педагогічних компетенцій майбутніх учителів музики, з'ясовує суть та структуру професійно-педагогічних компетенцій майбутніх учителів як систему їхніх професійних функцій, що ґрунтується на знаннях, досвіді, цінностях, набутих у процесі навчання. У статті проаналізовано основні концептуальні засади компетентнісного підходу в сучасній освіті, які становлять основу нашого дослідження.

**Ключові слова:** компетентнісний підхід, музичне мистецтво, майбутній учитель музики, професійна компетентність, педагогічна діяльність, учитель-фахівець.

Сучасні умови соціально-політичного й економічного реформування нашої держави, обраний українським народом шлях до європейської інтеграції, розбудови української держави на засадах демократизму, відкритості до взаємодії з іншими культурами, реалізації міжнародних контактів, потребують підготовки у ВНЗ педагога-фахівця, компетентної особистості, яка здатна гнучко реагувати на запити суспільства, ефективно працювати в умовах ринкової економіки, збагачувати національну освіту.

Різні аспекти досліджуваної нами проблеми висвітлювались багатьма вітчизняними та зарубіжними науковцями, як-от: філософсько-методологічний аспект проблеми педагогічної освіти (В. Андрущенко, В. Беспалько, Г. Васянович, І. Зязюн, В. Кремень, П. Саух та ін.); загальні питання професійної підготовки та змісту професійної освіти (О. Дубасенюк, Л. Кондрашова, А. Кузьмінський, Б. Федорошин, Л. Хомич та ін.); наукове тлумачення складу і структури професійної компетентності вчителя (С. Данилюк, Е. Зеєр, І. Зимня, Н. Ковалевська, Н. Кузьміна, М. Левочко, Ю. Поваренков, та ін.); дослідницький складник у професійній підготовці майбутніх учителів музики (О. Дем'янчук, Т. Завадська, А. Козир, Л. Куненко, Г. Падалка, О. Рудницька, О. Щолокова та ін.).

**Мета статті** полягає у визначенні базових професійних компетентностей учителів музики, теоретико-методологічних засад і педагогічних умов їх формування у студентів мистецьких спеціальностей у процесі вивчення фахових дисциплін.