
Іноваційна парадигма нанотехнології в підготовці бакалаврів по спеціальності "Електроніка"

Олександр Степанович Мельник

Кафедра електроніки, робототехніки, моніторингу та технологій Інтернету речей / Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій, Національний авіаційний університет, Київ, Україна

ORCID 0000-0003-1072-5526

Вікторія Олександрівна Козаревич

Кафедра електроніки, робототехніки, моніторингу та технологій Інтернету речей / Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій, Національний авіаційний університет, Київ, Україна

ORCID 0000-0002-4380-0927

Для цитування цієї статті:

Мельник Олександр Степанович, Козаревич Вікторія Олександрівна. Іноваційна парадигма нанотехнології в підготовці бакалаврів по спеціальності «Електроніка». International Science Journal of Education & Linguistics. Vol. 2, No. 4, 2023, pp. 1-9. doi: 10.46299/j.isjel.20230204.01.

Надійшла до редакції: 06 липня 2023 р.; **Схвалено:** 31 липня 2023 р.;

Опубліковано: 01 серпня 2023 р.

Анотація: Нанотехнологія натеper розглядається як ключова сучасна технологія, яка забезпечує спрямоване та планомірне конструювання виробів, які наділені заданими властивостями шляхом маніпуляції атомами і молекулами. Досягнення в нанотехнології неминуче ведуть до революції в медицині, електроніці, штучному інтелекті, промисловості та інших сферах людської діяльності. З нанотехнологіями пов'язана революція в маніпулюванні матерією, аналогічна до революції комп'ютерів у сфері інформації. І з цього випливає, що нанотехнологія стає шляхом до створення нової цивілізації, яка матиме новий набір цінностей та ідеалів.

Ключові слова: нанотехнології, парадигма, навчальний план, електроніка, проєктування, бакалавр.

1. Вступ

Розвиток світової цивілізації та науки, у тому числі й фізики, це два взаємопов'язані процеси. Технічні проблеми, які виникають у різних країнах у процесі розвитку промисловості зумовлюють розвиток фізичної науки і навпаки. Як свідчить історія взаємних відносин науки і виробництва, проривні досягнення науки приводять до радикальних змін в промислово-технологічній інфраструктурі і техніко-економічному стані світового суспільства.

На початку XXI століття стратегічним напрямком науково-технологічного розвитку провідних країн світу стали нанотехнології. Поряд з інформаційними технологіями та біотехнологіями вони, спираючись на досягнення фізики, хімії, біології, електроніки та інших наук, чимало в чому будуть визначати технологічний рівень XXI століття.

Сьогодні питання, що пов'язані із створенням наноматеріалів і розвитком нанотехнологій, є панівними напрямками для вивчення практично у всіх галузях сучасної науки і техніки. Розвиток нанотехнологій пов'язаний, насамперед, з тим, що вони вимагають малу кількість енергії, матеріалів, виробничих і складських приміщень.

Нанотехнологія є досить давньою галуззю і як наука вона почала формуватись ще в старовинні часи. Є відомості про те, що ще наші пращури виготовляли фарбу, використовуючи знання з нанотехнологій і така фарба містила в собі частинки, які сьогодні ми називаємо наночастинками.

Демокрит, розмірковуючи над питанням про виникнення Всесвіту, прийшов до висновку, що основою світу є найменші неподільні частинки, які він назвав атомами.

Початком розвитку нанотехнологій прийнято вважати 1959 р., коли фізик Річард Фейнман на щорічній зустрічі Американського фізичного товариства в Каліфорнійському технологічному інституті 29 грудня 1959 в своїй лекції "There's Plenty of Room at the Bottom" ("Там внизу – багато місця") про наносвіт наголосив на тому, що закони фізики дозволяють працювати на молекулярному та атомному рівнях [1, 2]. У подальшому нанотехнології все частіше використовуються в різних областях: в медицині при створенні обладнання, хімії при виготовленні хімічних речовин, в фізиці, електроніці при створенні електронних пристроїв тощо.

2. Об'єкт дослідження

Фундаментом для вивчення всього різноманіття технічних засобів, які використовуються у сучасному автоматизованому машинобудівному виробництві, є дисципліна "Електроніка".

Електроніка пройшла кілька етапів у своєму розвитку. Перші електронні пристрої були виконані на електровакуумних приладах. Із середини ХХ століття широко застосовуються напівпровідникові прилади, які виготовлені як окремі та самостійні елементи, з яких збирали електронні пристрої. В останній чверті ХХ ст. основою багатьох електронних пристроїв стали інтегральні мікросхеми.

Як відомо всі речовини утворені атомами, що складаються з позитивно заряджених ядер і негативно заряджених електронів, які обертаються навколо них. Тому електроніка - це наука про взаємодію електронів з електромагнітними полями (ЕМП), про методи створення електронних матеріалів, приладів та пристроїв. Саму взаємодію електронів з ЕМП застосовують для перетворення електромагнітної енергії для передачі, опрацювання та зберігання інформації.

Однією з основних галузей світової економіки є електроніка. В наш час прогрес в усіх галузях науки та техніки багато у чому зумовлений успіхами електроніки, рівень розвитку якої визначає вигляд сучасної цивілізації, а також є основою для інформаційних технологій, автоматики, обчислювальної техніки та ін. Прогрес електроніки також сприяв виникненню та розвитку кібернетики, забезпечив створення швидкодіючих обчислювальних машин, штучних супутників землі та автоматичних міжпланетних станцій.

Теоретичні завдання електроніки полягають у дослідженні взаємодії електронів з макроскопічними полями в робочому просторі електронного приладу і з мікроскопічними полями всередині атома, молекули або кристалічної ґратки. Практичними завданнями електроніки є розробка електронних приладів та пристроїв, що виконують різні функції в системах перетворення і передавання інформації, у системах керування, в обчислювальній техніці, в енергетичних пристроях та ін.

Охоплюючи широке коло науково-технічних і виробничих проблем, електроніка спирається на досягнення в різних галузях знань. При цьому, з одного боку, електроніка ставить завдання перед іншими науками і виробництвом, стимулюючи їх подальший розвиток, і, з другого боку, озброює їх якісно новими технічними засобами та методами дослідження.

3. Предмет дослідження

У 1981 р. набуває популярності термін «нанотехнологія», застосований співробітником Сандійської національної лабораторії Е.Дрекслером, який використав дане поняття для узагальнення процесів створення матеріалів, структур і приладів із зернами, шарами і елементами в нанометричному іпазоні, а також методів їхнього виміру [3].

З 1986 року нанотехнологія стала відома широкому колу громадськості завдяки американському футурологу Е. Дрекслеру, який опублікував свою знамениту книгу "Машини творення". У своїй книзі він передбачав активний розвиток нанотехнології, розглянув постулат про можливість використовувати нанорозмірні молекули для синтезування більших молекул відображаючи усі технічні проблеми, які постають зараз перед нанотехнологією, розглянув низку соціокультурних наслідків розвитку нанотехнології, яка є усвідомленням впливу цього розвитку на соціокультурне середовище сучасності. Дана книга має прогностичний характер, її метою є доказ значущості нанотехнології за допомогою системи раціональних доказів, спрямованих на обґрунтування не тільки можливості, але вже і необхідності та неминучості впровадження нанотехнології в повсякденне життя сучасного суспільства.

Книга Е. Дрекслера це перша велика праця, присвячена молекулярній нанотехнології, а також її потенційному застосуванню, можливим зловживанням і стратегічним питанням, які ставить її розроблення. Дана книга спричинила величезний вплив на дослідження соціальних і культурних наслідків розвитку нанотехнології [4].

Розглядаючи найновіші досягнення, парадигми та перспективи подальшого розвитку нанотехнологій, можна стверджувати, що нанонаука дозволяє пов'язати молекулярну біологію з сучасними інформаційними технологіями. Це в свою чергу має призвести до створення принципово нових технологій і виробництв у XXI ст. Таким чином, цілком природно, що створення принципово нових технологій і виробництва призведе до кардинальних соціокультурних наслідків.

В нанотехнології також розглядається проблема відокремлення живого від неживого на нанометровому рівні існування об'єктів, запропоновано перспективу вирішення енергетичної проблеми шляхом створення нанобіомаси із заданими властивостями для вироблення дешевої енергії - альтернативного джерела енергії для людства.

Розробки в галузі нанотехнологій ведуть до революційних успіхів у медицині, електроніці, машинобудуванні та створенні штучного інтелекту. Тут йде мова про проектування та створення штучних живих систем, які матимуть певні задані властивості і використовуватимуть замінювані генетичні деталі, а в деяких випадках і сама заміна розширеного генетичного коду.

С. Нейдрієн у своїй статті "Нанотехнологія і подвійна спіраль" розглянув проблему гібридної нанобіотехнології, показав, що ДНК є універсальним компонентом для створення наноструктур і нанопристроїв [5].

Медичний напрям нанотехнології представлений також досягненнями "брахітерапії", - нової технології лікування злоякісних пухлин шляхом їхнього радіоактивного опромінювання і нової технології "штучної сітківки". Тут основним є подальший розвиток нанотехнологічного інструментарію, без чого розвиток цієї технології неможливий.

Внаслідок гібридних технологій, наприклад, нанохімії, наноелектроніки, сполучення нано- і біотехнологій з'явився новий напрям - біомікрія. Біомікрія є імітацією наноманіпуляцій, які існують у живій природі, вона має за мету створення штучних наномашин, тобто створення наноструктур і блоків для нанороботів.

Усі вищезгадані технології у сукупності із нанотехнологією спричиняють багато соціокультурних наслідків.

4. Аналіз досліджень і публікацій

Ще в древній Греції виявили, якщо янтар потерти об вовну, то він починає притягувати легкі предмети. Від грецького слова $\gamma\epsilon\alpha\tau\rho\omega$ (гехтроу, янтар) виникла назва “електрика”.

1891 року британський фізик та математик Дж. Стоні вводить в науку поняття “електрон”, як елементарну кількість електронегативної електрики, використовуючи дослідження Фарадея і Максвелла. Подією, яка зробила величезний вплив на розвиток електроніки і телекомунікації, був винахід, запатентований в 1896 р. американським вченим італійського походження 22-річним Г. Марконі, радіо для бездротового передавання і приймання інформації [6].

Першовідкривачем X-променів є український вчений Іван Павлович Пуллой. Це випромінювання пізніше (в 1895 р.) дослідив і описав Вільгельм Рентген. Натепер рентгенівські апарати і томографи є найбільш розповсюдженими в медицині та біології.

Перший електровакуумний діод для випрямлення (детектування) височастотних коливань в радіоприймачах винайшов англійський вчений Дж. Флемінг (1904 р.). Через три роки американський вчений Форест додав в ламповому діоді керуючу ґратку і створив тріод, для підсилення і генерації електричних сигналів.

Беззаперечна зміна парадигм в електроніці відбулась у зв'язку з винаходом наприкінці 1948 р. американськими вченими В. Браттейном, Д. Бардіном та У. Шоклі біполярного транзистора і подальшим переходом від вакуумної електроніки до напівпровідникової (твердотільної). Це принесло колосальний прогрес радіоелектроніці. Як наслідок був закритий ряд вакуумних виробництв, зникли деякі спеціальності, багатьом довелося переучуватися, починаючи з азів напівпровідникової науки.

Тим часом, перехід в 1960-ті роки до мікроелектроніки не можна назвати зміною парадигми, оскільки фізико-технологічна концепція дискретної транзисторної електроніки поширилася на мікроелектроніку.

У 1970-х роках розробляються перші зразки великих інтегральних схем (ВІС). Найбільш ефективно застосування великих інтегральних схем було пов'язано зі створенням у 80-х роках широкого спектра мікропроцесорів та мікроконтролерів.

Першу модель персонального комп'ютера (ПК) Apple-I Стівен Джобс разом з уроженцем української Буковини Стівеном Возняком розробили у гаражі [7, 8]. Американський мільярдер Ян Кум народився у Фастові на Київщині, заснував один з найвідоміших месенджерів у світі WhatsApp. Етнічний українець Мартін Купер зробив перший в історії мобільний телефон Motorola і 3 квітня 1973 р. зателефонував конкурентам у Bell Laboratories.

Таким чином, у розвитку електроніки можна виділити три основних етапи: 1) лампова електроніка, 2) напівпровідникова електроніка та 3) мікроелектроніка.

У функціональній мікроелектроніці для перетворення інформації використовуються явища, які не пов'язані з електропровідністю. Наприклад, оптичні і магнітні в діелектриках, поширення ультразвуку в акустоелектронних пристроях, кріоелектронні та фазові переходи.

Нанoeлектроніка - це сучасний, 4-й етап розвитку електроніки, є логічним продовженням піднесення мікроелектроніки. Вивчає і використовує фізичні явища в електронних приладах, геометричні розміри яких сумірні з розмірами молекул і атомів. В 1989 р. Д. Ейглер, співробітник компанії ІВМ, виклав назву своєї компанії 35 атомами ксенону. Прикладами можуть слугувати ідеї квантових коміркових автоматів та комп'ютерів, одно-електроніки, спин-електроніки, молекулярної електроніки, яка об'єднує біологічні і неорганічні об'єкти.

В наш час у світі в складі ПК щорічно виробляється 10^{20} комплементарних нанотранзисторів із структурами метал-окисник-напівпровідник (КМОП або CMOS), тобто по 100 млрд. штук на кожного жителя планети, що в свою чергу, на чотири порядки перевищує число зерен пшениці, вирощеної на Землі. А вартість одного зерна дорівнює вартості 10000 нанотранзисторів і в подальшому це відношення буде лише зростати [9].

Зміна парадигми наноприладів - перехід до стабільного функціонування за квантовими законами - відбудеться лише з появою промислових технологій атомного масштабу (0.5 - 0.1) нм, орієнтовно в 2030-х роках.

Останнє десятиліття відзначене бурхливим розвитком досліджень малих атомних систем і кластерів, властивості яких надзвичайно важливі як з фундаментальної, так і з прикладної точок зору. Справа в тому, що подібні об'єкти мають особливі фізичні властивості, що є проміжними між властивостями ізольованих атомів і конденсованого стану. Розуміння і пояснення структурних характеристик кластерів, а також фізики явищ, що виникають в подібних обмежених системах, пов'язано з практичним застосуванням у багатьох областях науки і техніки, наприклад, таких, як фізична електроніка і мікроелектроніка, оптика, магнетизм. Більш того, саме подібні дослідження повинні наблизити нас до практичної можливості створення матеріалів із заданими властивостями [10, 11, 14].

В Україні фундаментальні та прикладні дослідження, які спрямовано на отримання, вивчення властивостей, а також застосування наноструктурних матеріалів та технологій, здійснюються протягом останніх 15-20 років [12, 13].

5. Методи та результати дослідження

Квантові комірки використовуються для конструювання логічних нанoeлементів та арифметичних нанопристроїв. Інформація в квантових коміркових автоматах представляється певною конфігурацією електронів в комірці квантових автоматів, що складається з однієї чи двох окремих молекул [15].

Прилади на квантових коміркових автоматах (КА) складаються з нанорозмірних діелектричних комірок, які мають чотири квантові напівпровідникові точки, розташовані у кутках, і два рухомі електрони.

Базова комірка КА та два способи її розміщення в просторі і поляризації електронів зображені на рис.1.

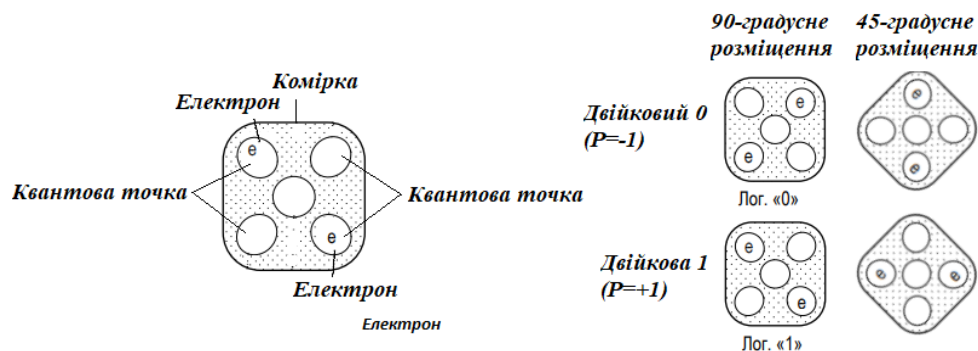


Рис. 1. Комірка квантового автомата (а), способи розміщення в просторі (б) і поляризації ($P = 1$).

За допомогою КА можуть бути сконструйовані різні елементи для виконання логічних і арифметичних операцій. Базовими логічними нанокomпонентами в теорії коміркових автоматів є мажоритарний елемент (МЕ) та інвертор.

На даний момент для моделювання пристроїв на КА використовують САПР QCA Designer. В наносхемах на КА необхідна синхронізація роботи, для чого використовують синхроімпульси. Вони не тільки синхронізують потоки інформації, але й забезпечують пристрій енергією для роботи. Комірки не мають інших джерел енергії крім енергії синхроімпульсів.

Розгалужений провідник на КА з двома виходами (рис. 2а) та реалізація моделювання його роботи показано на рис.2б:

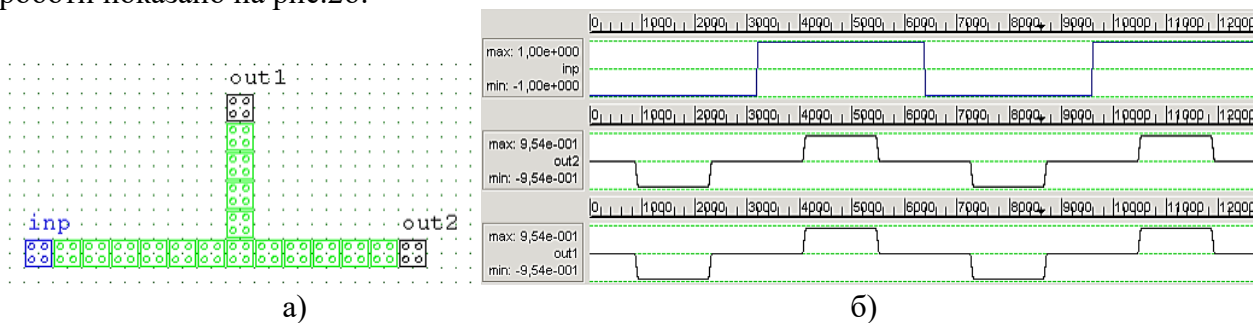


Рис. 2. Розгалужений нанопровідник на КА.

Нижче на рис. 3 наведена наносхема на КА однорозрядного напівсуматора (а) та результати моделювання її часових діаграм у САПР QCADesigner [16, 17, 18]. Для конструювання вхідних провідників використані комірки з 45-градусною орієнтацією.

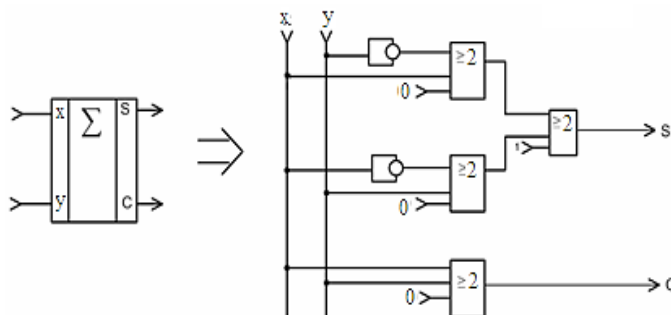


Рис. 3. Схема однорозрядного напівсуматора на тривходових мажоритарних елементах.

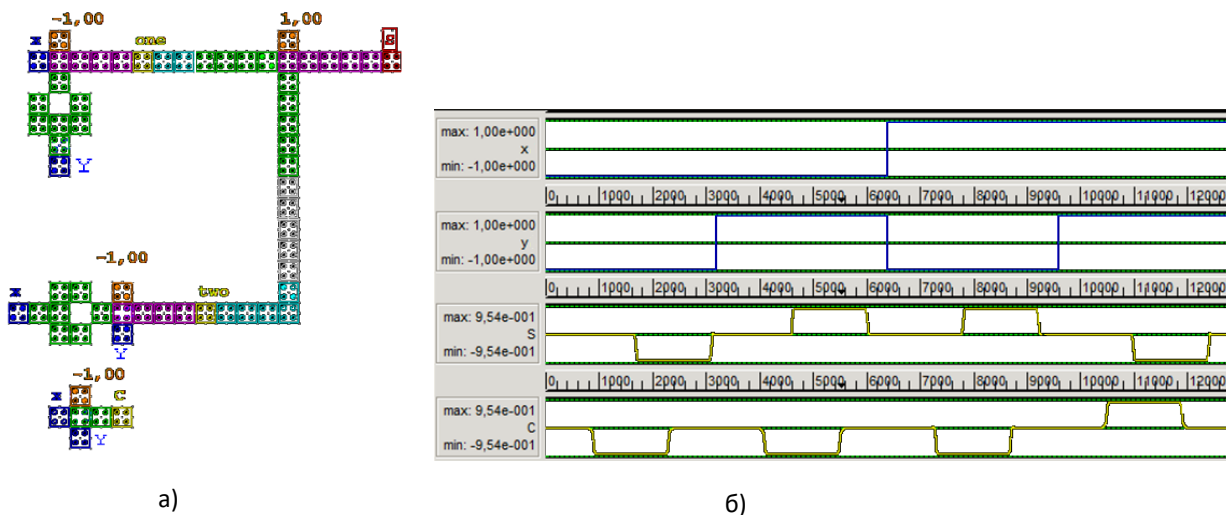


Рис.4. Наносхема однорозрядного напівсуматора на КА (а) та результат моделювання його логічних діаграм (б).

Найбільш перспективним напрямком розвитку наноелектроніки є створення багатоеlementних функціональних субсистем, коли в одному модулі об'єднується велика кількість логічних елементів в єдиний функціональний вузол, призначений для реалізації складних логічних функцій. З точки зору здешевлення виробництва наноелектронних систем і підвищення надійності роботи доцільно виконувати їх на одному типі комірок з однаковою конфігурацією з'єднань між комірками.

Яскравим результатом нанотехнологій, які можна змоделювати у програмному середовищі NanotubeModeler, є вуглецеві нанотрубки – структури, які мають ряд унікальних фізичних властивостей, що визначаються внутрішньою будовою [19].

Модельно формування одношарової вуглецевої нанотрубки можна розглядати як процес згортання плоскої графенової сітки в круговий циліндр. Основними характеристиками структури одержуваних таким чином нанотрубок є їхня довжина, діаметр і такий параметр, як хіральність. Хіральність характеризується двома цілими числами (n , m), які вказують місцезнаходження того шестикутника сітки, який в результаті згортання повинен збігтися з шестикутником, що знаходиться у прийнятому початку координат.

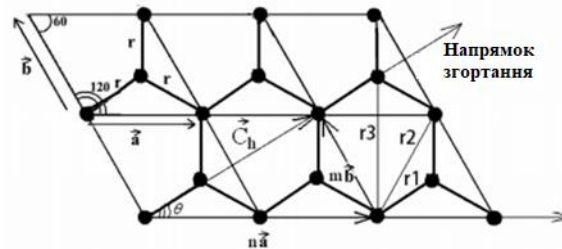


Рис.5. Гексагональна сітка, при згортанні якої утворюється нанотрубка (r_1 , r_2 , r_3 – міжатомні відстані в графітовому кільці).

Для вказівки напрямку згортання вводиться вектор хіральності $\vec{C}_h = n\vec{a} + m\vec{b}$, де \vec{a} та \vec{b} – вектор елементарних трансляцій вздовж двох напрямків сітки, а n та m – кількість трансляцій уздовж відповідних напрямків, що є індексами хіральності. Також при цьому необхідно мати на увазі, що у графіті модулі векторів елементарних трансляцій рівні між собою та становлять величину $2,46 \text{ \AA}$. Напрямок, перпендикулярний вектору хіральності, - це вісь нанотрубки, що формується.

Таким чином, при згортанні сітки вздовж даного вектора навколо осі формуються "витки" нанотрубки. Модуль вектора хіральності визначає кут хіральності (кут згортання) нанотрубки (рис. 5):

$$\cos(\theta) = \frac{2n - m}{2\sqrt{n^2 - nm + m^2}} \quad (1)$$

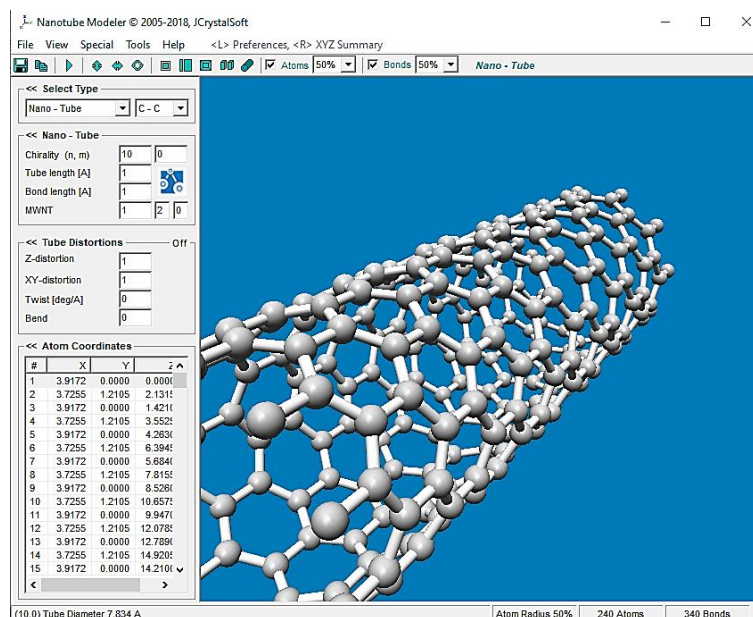


Рис.6. Приклад побудови моделі нанотрубки у середовищі NanotubeModeler.

6. Висновки

Розвиток нанотехнологій, розробка і створення нанооб'єктів і наносистем в останні роки виявило безліч нових завдань, пов'язаних з тепловими властивостями таких систем. Відкриття та вивчення різних об'єктів наносвіту: наночастинок, нанодротів і нанодротових надрешіток, нанотрубок, а також складних наноматеріалів на їх основі (нанорідин, килимків з нанотрубок і т. п.) показало безліч протиріч при використанні опису їх теплових властивостей на базі класичних закономірностей. Нарешті, створення останнім часом складних пристроїв на базі нанооб'єктів (нанотранзисторів, наноелектромеханічних пристроїв і т. п.) вимагає серйозного аналізу теплових процесів в нанооб'єктах і наносистемах.

Список літератури:

- 1) Внизу багато місця. [електрон. ресурс]. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki>.
- 2) There's Plenty of Room at the Bottom. [електрон. ресурс]. Режим доступу: <https://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>.
- 3) Siger, P. Nanotechnology/ P. Singer// Semiconductor International. – 2007. –January. – P. 36-40.
- 4) Drexler, K.E. Engines of creation. The Comin Era of Nanotechnology/ K.E. Drexler. – В.: Anchor Books Double-day. – N.Y., USA, 1986. – 299 p.
- 5) Нейдриен С. Нанотехнология и двойная спираль // В мире науки. - 2004. - № 8. - С. 23-31.
- 6) Гільберг Т. Г., Засккіна Т. М., Качко Г. О., Лашевська Г. А. Природничі науки. Навчально-методичний посібник для 10 класу (експериментальний). 1 частина. – К.: Оріон, 2018. -233 с.
- 7) Стів Возняк [електрон. ресурс]. Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Стів_Возняк.
- 8) Стів Джобс – історія успіху; [електрон. ресурс]. Режим доступу: <https://phm.cuspu.edu.ua/nauka/naukovo-populiarni-publikatsii/2139-stiv-dzhobs-istoriia-uspikhu.html>.
- 9) Фізична наноелектроніка: навчальний посібник / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – 146 с.
- 10) Основи нанофізики і нанотехнологій [Текст]: Електронний підручник: рек. МОНУ / В.В. Погосов, Г.В. Корніч, Є.В. Васютін, К.В. Пугіна, В.І. Киприч. - Запоріжжя: ЗНТУ, 2008. - 630 с.
- 11) Заячук, Д. М. Нанотехнології і наноструктури: навчальний посібник / Д. М. Заячук ; МОН України, НУ "Львівська політехніка". - Л.: Вид-во НУ "Львівська політехніка", 2009. - 580 с.
- 12) Кваша, Т.К. Форсайтні дослідження в Україні / Т.К. Кваша // Матеріали міжнародного симпозиуму “Актуальні проблеми науково- технологічної та інноваційної політики в контексті формування загальноєвропейського наукового простору: досвід та перспективи“ (Київ, 16-17 червня 2010 р.). – К.: Фенікс, 2010. – С. 353-357.
- 13) Нанотехнології у ХХІ столітті: стратегічні пріоритети та ринкові підходи до впровадження / Г.О. Андрощук, А.В. Ямчук, Н.В. Березняк, Т.К. Кваша та ін.: монографія. – К.: УкрІНТЕІ, 2011. – 272с.
- 14) Наноматеріали і нанотехнології в електроніці: підручник / І. Ю. Проценко, Н. І. Шумакова. – Суми: Сумський державний університет, 2017. – 151 с.
- 15) Tougaw, P.D., Lent C.S .Logic devices implemented using quantum cellular automata / Tougaw, P.D., Lent C.S //J. Appl. Phys., American Institute of Physics. – 1994.
- 16) Мельник О.С., Козаревич В.О. Одноелектронні технології в комбінаційних нанопристроях. The 8th International scientific and practical conference “Integration of scientific

and modern ideas into practice” (November 15-18, 2022) Stockholm, Sweden. International Science Group. 2022. - 844 p. - pp.762-767.

17) Melnyk O.S., Tsapok L.O. Computer simulation of nanoelectronics arithmetic – logic devices // Електроніка та системи управління.- 2012,- N1 (31), - p.5-10.

18) Walus, K. QCADesiner: A CAD Tool for an Emerging Nano-Technology / Walus, K. // Micronet Annual Workshop – 2003.

19) Nanotube Modeler. Generation of Nano-Geometries. [електрон. ресурс]. Режим доступу: <http://jcrystal.com/products/wincnt/index.htm>.

Innovative paradigm of nanotechnology in the preparation of bachelors in the specialty "Electronics"

Oleksandr Melnyk

Department of Electronics, Robotics, Monitoring & IoT Technologies/ Faculty of Aeronautics, Electronics and Telecommunications, National Aviation University, Kyiv, Ukraine.

ORCID 0000-0003-1072-5526.

Viktoriiia Kozarevych

Department of Electronics, Robotics, Monitoring & IoT Technologies/ Faculty of Aeronautics, Electronics and Telecommunications, National Aviation University, Kyiv, Ukraine.

ORCID 0000-0002-4380-0927

Abstract: Nanotechnology is currently considered as a key modern technology that provides directed construction of products with given properties by manipulation of atoms and molecules. Advances in nanotechnology inevitably lead to revolutions in medicine, electronics, artificial intelligence, industry, and other areas of human activity. Nanotechnology is associated with a revolution in the manipulation of matter, similar to that brought about by computers in the field of information. This means that nanotechnology is the way to create a new civilization with a new set of values and ideals.

Key words: nanotechnology, paradigm, curriculum, electronics, design, bachelor.
