

# НАНОТЕХНОЛОГІЇ І ХАРЧУВАННЯ

**В.І. Смоляр, доктор мед. наук, професор**

Інститут екогієни і токсикології ім. Л.І. Медведя, м. Київ

Нанотехнологією називають виробництво і використання структур, приладів і систем, форми і розміри яких вимірюються в нанометричному масштабі, тобто в мільярдних частинах метра. Таке визначення нанотехнології дала Королівська академія інженерної справи Великобританії. Термін "нанотехнологія" запропонував японський вчений Норіо Танігуті.

Все почалось з доповіді в Каліфорнійському університеті американського фізика Р. Феймана, майбутнього Нобелівського лауреата, на зібранні фізиків під назвою "На дні місця багато: будь ласка, в нову галузь фізики".

Р. Феймана назвали "апостолом і батьком нанотехнології". Фейман сприяв появі тунельного мікроскопа, який здатен так обробляти молекули, що вони перетворюються на процесори. Він справедливо оцінив, наскільки високі ставки в мінімізації обладнання і механізмів і закликав дослідників зацікавитися "світами вниз".

У 1960-х роках серед фізиків народилась ідея взяти кілька атомів і на їхній основі будувати прилад, додаючи за необхідності нові атоми. Саме ця ідея стала підґрунтям виникнення нової технології — нанотехнології. На цей час вже був створений в 1981 р. тунельний мікроскоп. Хоча вперше зображення поодинокі молекули було одержано ще в 1957 році на електронному мікроскопі, але тунельний мікроскоп не лише дозволив вивести на екран зображення однієї молекули, а й доторкнувся до неї голкою мікроскопа. Отже, незалежність молекули, тобто її існування як самостійної матеріальної сутності, перетворилось з абстрактного уявлення на факт, який можна було б в подальшому використати. З того часу, власне, і почалась нанотехнологія. Це вона дозволяє створювати прилади набагато менших розмірів, ніж все те, що виготовляли до цього часу: йдеться про прилади величиною близько нанометра з допуском точності в десяті долі нанометра.

Дотик голки тунельного мікроскопа до молекули перетворив її на найменшу машину з усіх можливих, яка може маніпулювати атомами.

Бенджамін Франклін (1706–1790) запропонував експеримент, який дозволяв розрахувати розміри молекули. Франклін помітив, що олія не змішується з водою, а утворює на її поверхні тонку плівку. Припустимо, що товщина плівки — одна молекула,

тоді поділивши об'єм розлитої олії на площу плями, що утворилась, отримаємо розмір молекули олії — порядку нанометра. Цей дослід і нині показують на уроках школярам і студентам. Розмір молекули води — 0,3 нм. Молекули ліпідів і вуглеводів більші — до 1 нм. А розміри амінокислот у 10 разів більші — близько 10 нм. ДНК — взагалі молекула-гігант, але вона може змінювати свої розміри.

Шведський хімік Й.Я. Берцеліус відкрив явище ізомерії. Дві молекули, складені з однакових атомів, здатні по-різному розміщуватися одна відносно іншої. А якщо конфігурації молекул різні, то й їхні властивості будуть різними. Вчені наприкінці XIX ст. зрозуміли поведінку молекул.

З початку 1990-х років нанофізичні експерименти з поодинокими атомами і молекулами стали різноманітними і чисельними. Вони поклали початок новому науково-дослідному проекту — розробці експериментальних приладів, побудованих з кількох атомів або таких, які складаються з однієї молекули. Це давало надію на те, що будуть переглянуті або переформатовані відомі нині закони фізики.

Намагаючись сконструювати такі прилади і пристрої, в яких працюють поодинокі молекули або атоми, нанотехнологія робить справжній переворот у технології.

У 2002 році групі вчених під керівництвом проф. Е. Віммера з Університету Стоні Брук під Нью-Йорком вперше вдалося синтезувати вірус поліомієліту. В природних умовах він виглядає як кулька діаметром 28 нм. Його генетичну і білкову структуру розшифрував в 2000 р. Дж. Хогл з Гарвардського університету, а пізніше, в 2001 р. — Е. Віммер. Цей вірус складається власне з вірусу і оболонки. Віральна частина — макромолекула РНК, яка містить 7411 нуклеотидів. Кулеподібна оболонка складається з 60 субодиниць, в кожній з яких по 4 білка, а кожний білок містить в середньому 250 амінокислот. В 2002 р. співробітники Е. Віммера спочатку синтезували РНК віральної частини з її 7411 нуклеотидами. В більшості — це ланцюжки атомів, які вже вміє одержувати біотехнологія. Потім вчені хімічно синтезували те, чого бракувало. А далі був запущений механізм автозбирання — вчені підклали РНК вірусу в "суп" із живих бактеріальних клітин, і клітини автоматично зібрали оболонку вірусу.

На черзі стало створення наноматеріалів. Візьmemo кухонну сіль. Це повторюваний візерунок, у вузлах якого розташовані атоми хлору і атоми натрію. Відстань між ними — менше 0,3 нм. Цей візерунок повторюється просторово — у трьох вимірах. Отже, структура кухонної солі — атомна. А в наноматеріалі — це також повторюваний мотив — це одна молекула, яка надає матеріалу потрібну характеристику. Елементарні цеглинки наноматеріалу — це наночастки розміром лише в кілька нанометрів в діаметрі.

Потрібне особливе структурування речовини, щоб одержати матеріал з бажаними властивостями. Ще в античні часи вмiли вплавлати наночастки міді в скло, щоб воно стало червонуватим. Такі ж наночастки слугують барвниками в чорнилі й туші. Наночастки пришвидшують хімічні реакції. Нині молекула з елементарної частки перетворилась на щось самостійне. Тепер вона може втілитися в науковий прилад або в складну установку, а то і в машину. Якщо ми зрозуміли, як збираються білки, мембрани і рибосоми в живій клітині, то повинні відтворити структуру і організацію хоча б найпростішої з форм життя.

Найменші живі організми — це бактерії. Серед них є менші за 200 нм. Віруси — ще менші, але їх не вважають живими організмами, бо вони не можуть самостійно ні жити, ні розмножуватися.

Це неймовірно, що бактерії такі маленькі. Адже щоб харчуватися і розмножуватися, інакше — бути живими і жити, організм повинен містити в собі все, що необхідно для виживання: обов'язково ДНК, рибосоми, щоб виробляти білки, мітохондрії і цитоплазму, де все це міститься, упаковане в плазматичну мембрану, яку захищає жорстка стінка клітини. Теоретики підраховали, що живий організм не може бути менше, за 180 нм. Існування менших живих організмів заперечується.

У 90-х рр. XX ст. були відкриті нанобактерії, розмірами від 50 до 500 нм спочатку в метеоритах, а згодом — в організмі людини (в тканинах судин). Висловлено гіпотезу, що нанобактерії можуть мати чисто кристалічне походження, виникати із утворення ядер і росту кристалів фосфату кальцію і ці процеси керуються білками.

Якби вдалося довести, що ці мінералоорганічні об'єкти є наслідком життєдіяльності живих істот, сталася б справжня революція. Тоді до цих нових бактерій можна було б віднести всі захворювання: атеросклероз, сечокам'яну хворобу, пухлини і т.п.

"Життя — це продукт організації молекул". До такого висновку прийшов французький біолог Ф. Жакоб. Після Пастера всі зрозуміли, що живе походить від живого. Але більшість дотримується дефініції: життя — це здатність організованих структур до самовідтворення. Прибічники синтетичної біології не сумніваються, що одного разу вони зможуть створити живе, бо життя зводиться

до розташування складних молекул, які і утворюють біологічні системи.

Не буває життя без інформації. Вона записується в ланцюжках молекул ДНК. Окремі біологи вважають, що віруси обходяться без ДНК, а інформація у них зберігається в РНК. Нещодавно дослідники синтезували вірус поліомієліту. На черзі синтез бактерії. Важливо знати, скільки генів потрібно для життя. За оцінками біологів — 250.

Нещодавно удосконалили тунельний мікроскоп і створили мікроскоп ближнього поля, що дозволило розглянути те, що діється всередині клітин. З наноматеріалів виробляють нанозонди, і ці малесенькі прилади приклеюють до білків або до маленьких вірусів, щоб прослідкувати їхнє переміщення всередині клітини. Вивчення макромолекулярних конфігурацій на поверхні мембрани допомагає створювати молекулярні пристрої типу "ключ — замок". Наночастки можна буде забезпечити "ключами", а самі вони зможуть приклеюватися до певних ділянок хворих клітин, постачаючи їм ліки.

Нанотехнологія може надати харчовикам унікальні можливості в сфері тотального моніторингу безпосередньо за процесом виробництва. Йдеться про діагностичні машини з використання різних наносенсорів, здатних швидко і надійно виявляти в харчових продуктах найдрібніші хімічні забруднення або небезпечні біологічні агенти.

Від нанотехнології виробництво їжі, її транспортування і методи зберігання можуть одержати свою частку корисних інновацій. Вважають, що перші серійні машини такого типу з'являться в харчовій промисловості в найближчі 4 роки.

Завдяки наноіндикатору молоко, що скисло, стане червоним. Упакування курятини завдяки зафарбуванню в блакитний колір буде свідчити, що термін придатності вже закінчився або порушена його герметичність.

Вчені ще не з'ясували, якими шляхами наночастки будуть мандрувати в тілі людини і де вони зупиняться. Важливою функцією наночасток буде доставка харчових речовин та ліків до тих клітин організму, які їх потребують.

Споживачі самі зможуть керувати наночастками. Отже, на їх очах змінюватиметься смак, колір, аромат і концентрація напоїв.

Ми вже контактуємо з нанотехнологією в продуктах харчування. Їх вже широко використовують в БАДах і напоях для спортсменів, наприклад, для інкапсуляції вітамінів і мінеральних речовин, а також в нутрицевтиках тощо.

Наноматеріали на основі пшениці переважають за своєю якістю традиційні види пакувальних матеріалів і поліпшують процес утилізації відходів, адже набувають властивостей матеріалу, що розкладається.

Сьогодні наноматеріали і нанотехнологію застосовують практично в усіх галузях сільського гос-

подарства. В рослинництві їх використання як мікродобрив забезпечує підвищення стійкості до негативних чинників навколишнього середовища і збільшення врожаїв майже всіх продовольчих культур.

Наночастки здатні подолати гематоенцефалітичний бар'єр, який захищає мозок. Об'єднавши наночастки з медикаментами, можна спробувати вилікувати пухлини мозку — хвороби, які нині важко піддаються терапії, оскільки більшість протиракових ліків не здатні подолати гематоенцефалітичний бар'єр.

Наночастки, якщо їх забезпечити засобами розпізнавання, допоможуть лікарям знаходити якраз ракові клітини. Наномолекули на молекулярному рівні здатні також виявляти перші ознаки грізних генетичних мутацій.

У 2001 р. науковий журнал "Science" назвав нанотехнологію "проривом року", а впливовий журнал "Forbes" — новою багатообіцяючою ідеєю. Нині щодо нанотехнології періодично вживають вираз "нова промислова революція".

У 2007 р. Французький національний комітет з етики опублікував свої висновки стосовно нанотехнологій: комітет стривожився з приводу небезпечних властивостей молекулярних наносистем, створюваних людиною способом подолання біологічних бар'єрів. Тривога відносно нанотехнологій викликала цілу хвилю суперечок, доповідей і різних рекомендацій. Якщо вірити публікаціям, то нанотехнологи створюють молекулярних роботів, які зуміють проникати в клітини людського організму і змінювати в них ДНК. А потім ці небезпечні роботи навчаться ще й розмножуватися! В доповіді Національного комітету з етики написано: "Нанонауки і нанотехнології мають на меті надання людині можливостей маніпулювання з елементарними і універсальними складовими матерії, атом за атомом..." З'явився термін "атомномодифікований організм" (АМО). Поатомне маніпулювання матерією — могутня зброя в галузі фундаментальних досліджень. Але поки що це неможливо.

Нині розроблені хімічні та фізичні методи одержання металевих наноматеріалів. Фізичними методами одержання наноматеріалів володіють фахівці в США, Великій Британії, Німеччині, Росії, Україні. При цьому Росія і Україна посідають провідне місце в цьому напрямку досліджень. Більше того, Україна, завдяки відкриттю нового фізичного явища і розробці на його основі цілої групи ерозивновибухових нанотехнологій одержання наноматеріалів, має шанс увійти до світової групи провідних виробників. Так, з допомогою ерозивновибухових нанотехнологій одержані такі нові наноматеріали:

- нейонні колоїдні розчини наночасток металів;
- аніоноподібні висококоординаційні аквахелати наноматеріалів;

- гідратовані наночастки біогенних металів;
- електричнозаряджені колоїдні наночастки металів;

- структуровані агломерати наночасток;
- енергонасичені металеві наноматеріали.

На спосіб одержання цих наноматеріалів розроблено ТУ 246-3529/119-001:2007 і налагоджено їхнє виробництво.

З 2007 р. промислові підприємства США почали одержувати так звані наноматеріали, зокрема м'які засоби, які містять наночастки срібла для дезінфекції білизни. Те, що срібло вбиває бактерії, відомо давно, але як вплинуть його наночастки на тих, хто одягне оброблену ними одягу? Крупномасштабне виробництво матеріалів на основі наночасток без санітарного і токсикологічного контролю неможливе. Адже подібні матеріали і споживчі товари здатні викликати серйозний ризик для здоров'я населення. Наночастки, які викидаються разом з вихлопними газами працюючим дизельним двигуном (більше 10 мільйонів часток на 1 см<sup>3</sup>; діаметр кожної — < 100 нм), як і ті частки, які утворюються, коли м'ясо смажать на шампурі, грилі чи барбекю, привернули увагу захисників навколишнього середовища. Але зараз з'являються все нові і нові матеріали. Наприклад, електронний папір. Конструктивно — це два складені разом прозорі листки, прошарок між якими заповнений електронним чорнилом, яке містить електрично заряджені чорні та білі наночастки. Під впливом електричного поля частки пересуваються в полі зору, утворюючи літери, які складаються у текст.

Доцільно також уважніше дослідити матеріали, які містять наночастки вуглецю. Вони містяться в багатьох хімічних і біохімічних товарах. Нині в індустриальних країнах використовують 100 тисяч речовин; відносно токсичності третини з них нічого не відомо. ЄС фінансував першу програму "Нанобезпека", щоб обґрунтувати висновок відносно безпеки наночасток. У Франції Національний інститут промислового середовища і супутніх ризиків ініціював програму досліджень, спрямовану на з'ясування безпеки, пов'язаної з тими молекулами, які синтезуються нанотехнологіями. Агентство санітарної безпеки в навколишньому середовищі та у виробництві також зацікавилось загрозами навколишньому середовищу від наноматеріалів.

Небезпека, яку приписують нанотехнологіям, стає заручником політичних ігор. У Великій Британії принц Чарльз схвильований величезними екологічними і соціальними ризиками, пов'язаними з нанотехнологіями. Міністр, відповідальний за науку, також занепокоєний цими проблемами. Це спонукало до звіту Королівського наукового товариства і Королівської інженерно-технічної академії. В листопаді 2006 р. нанотехнології стали предметом слухань у Національних зборах

Франції. Депутат від департаменту Ізер запропонував, щоб "Франція виступила на міжнародному рівні з ініціативою створення інстанції по контролю і нагляду за нанотехнологіями", тоді як екологи вимагають, щоб в їхньому м. Греноблі був оголошений мораторій на дослідження, пов'язані з нанотехнологіями.

Ризики нанотехнології ще не вивчені. Але надії, які пов'язують вчені з цими технологіями, величезні: покращення зберігання харчових продуктів, надійність харчового виробництва і створення більш корисних харчових продуктів. Між іншим, виявлена мала токсичність наночасток металів. Вона

на багато разів менша токсичності іонів металів: міді — в 7 разів, цинку — в 30 разів, заліза — в 40 разів.

До цього часу ніхто в світі не вживає наноїжу. Фахівці вважають, що їстівні наночастки можуть бути зроблені з кремнію, кераміки або полімерів, а також з органічних речовин. Але харчування є найчутливішою сферою життя людини, якщо йдеться про прийняття нових технологій. Основа для цього проста: ми споживаємо харчові продукти кілька разів на день, тому відчуття уразливості надто велике.

Стаття надійшла до редакції 08.04.2011 р.