



**Вадим Локтєв**  
доктор фіз.-мат. наук,  
академік НАН України,  
академік-секретар  
Відділення фізики і  
астрономії НАН України,  
м. Київ

*Мені б хотілось обговорити один маловивчений розділ фізики, що може бути вкрай перспективним і може знайти багато цінних застосувань. Мова йде про контроль і управління речовиною дуже малих розмірів. Внизу, або, правильніше, вглибині речовини існує різкий світ малих розмірів і форм, і коли-небудь, наприклад, у 2000 році, люди будуть дивуватися, що 1960 року до цих досліджень не ставилися серйозно”.*

*Річард Фейнман, 1959 р.*

**В**еликий фізик виявився правим, і тепер про можливості та перспективи нанотехнологій і викликану ними так звану нанотехнологічну революцію не говорить хіба що лінивий. Про них можна почути з екранів ТБ, прочитати на шпальтах численних газет і журналів, вони — неодмінна складова будь-яких розмов чи дебатів щодо майбутнього науки і техніки, а зрештою — важливе використання їхніх здобутків для покращання життя пересічного громадянина. Безперечно, це закономірно і виправдано, тому що входження людства в еру — поки що невідому і не дуже зрозумілу та вивчену — нанорозмірних об'єктів, ефектів і явищ знаменує новий етап у формуванні наших уявлень про світобудову не тільки

в традиційному сенсі, а й — головне — про наші взаємини зі структурами, сумірними (а часом і меншими) з біомолекулами, клітинами і взагалі ключовими елементами живої природи. Якщо ж згадати нове матеріалознавство, що має спиратися на наноструктуровані речовини, інформаційні технології з небаченими раніше обсягами пам'яті та швидкодією, наносінтроніку з її нечуваними можливостями керування спіном носіїв струму, нанофотоніку, спроможну народжувати фотони будь-яких енергій, біохімічні і біологічні аспекти здоров'я людини через нанофармакологію з виробництвом ліків суто локальної дії тощо, то можливості розвитку напрямів, в яких так чи інакше задіяне поняття "нано", вже не здаються перебільшеними або фантастичними. Тим важливіше зрозуміти, в якому стані перебуває Україна на шляху побудови свого нанотехнологічного сектору порівняно з іншими країнами світу, в першу чергу — розвиненими.

## ЗА БОРТОМ ЧИ НА БОРТУ НАНОТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОГРЕСУ?

**П**отреба започаткування самостійних програм із нанотехнологій в широкому розумінні була усвідомлена в НАН України досить давно, коли за відсутньої підтримки **Бориса Євгеновича Патона** були, можна сказати, запущені й Комплексна програма НАН України "Наноструктурні системи, наноматеріали, нанотехнології" під керівництвом академіка НАН України **А.П. Шпака** (який, на жаль, нещодавно передчасно пішов із життя) і керівництво цією програмою покладено на академіка НАН України **А.Г. Наумовця**, і Російсько-українська програма "Нанофізика та наноелектроніка" під спільним керівництвом академіка РАН **Ж.І. Алфьорова** й академіка НАН України **М.Г. Находкіна**, і, нарешті, Державна цільова науково-технічна програма "Нанотехнології та наноматеріали" на 2010-1014 рр. "Запуск" названих програм був українською реакцією на те, що інтенсивно відбувалося в усьому цивілізованому світі, де в багатьох країнах урядові органи робили все можливе для негайного прискорення розвитку або започаткування нанофізичних, нанохімічних та інших наукових досліджень. Цьому, значною мірою, сприяло прийняття у 2000 р. "Національної нанотехнологічної ініціативи" у США, яку на той момент оголосив і фактично очолив Президент США **Білл Клінтон**, а також відповідних на рівні держави — національних нанотехнологічних програм у понад 60-ти країнах світу, серед яких, між іншим, тоді ще не було Росії, яка через деякий час все ж таки оговталась і у 2007 р. прийняла президентську ініціативу "Стратегія розвитку наноіндустрії".

Правду кажучи, ми теж не дуже швидко відреагували на цей всесвітній рух, бо, як відомо з книжки "Фізики жартують": "Щоб діждатися відкриття у нас державної програми з фінансуванням, треба бути безсмертним". І хоча наведені слова стосувалися радянського періоду, своєї актуальності з різних приводів вони не втратили дотепер, ставши, якщо відверто,

особливо справедливими для років незалежності. Проте нанотехнологічні програми в Україні, так чи інакше, почали працювати, було проведено кілька (серед них і міжнародних) нарад, що в цілому дозволило за досить короткий термін хоча б трохи просунути на цьому шляху, одночасно трохи озброївши нанотехнологічну спільноту вкрай необхідним сучасним науковим обладнанням. Проте, його обмаль, тобто воно залишається унікальним, попри існування нестабільної по роках і обмеженої за фінансами програми закупівлі імпортного обладнання для дослідницьких цілей. Що стосується технологічного обладнання, то воно як було практично відсутнє, так і не з'явилося, незважаючи на появу низки прекрасних вимірювальних приладів і створення в НАН України кількох академічних Центрів колективного користування з непоганими за своїми можливостями експериментальними комплексами. Можна тільки щиро вітати, але не можна вважати достатнім і недавнє відкриття у НТУУ "КПІ" Науково-навчального центру з модульним нанотехнологічним комплексом "НаноФаб"<sup>1</sup> саме через його винятковість, бо єдина лабораторія або навіть потужний центр не в силах вирішити проблеми в масштабах всієї України. З причини відсутності власних технологічних осередків різного рівня та призначення ми втрачаємо час і поступово відстаємо від не тільки передових країн, а й від тих, керівництво яких твердо усвідомило роль фундаментальної і прикладної науки для майбутнього комфортного їх перебування в нашому мінливому і непередбачуваному світі...

**Т**ак, він швидко розвивається, і ми будь-що маємо не пасти задніх, що, як на мене, дуже небезпечно. Треба, яким би важким не було становище, починати, а не сподіватись на чудо, яке нас врятує, хоча чудеса подекуди трапляються. Не могу з цього приводу не нагадати, мабуть, відому, але не менш від цього повчальну історію про атомний проект у Радянському Союзі і чудо, що трапилось. Але якщо подивитися в корінь, воно було пов'язане не зі щасливим розташуванням зір або божественним втручанням, а з новим поколінням дослідників, поява яких стала безпосереднім наслідком національного загальноосвітнього прориву.

Справа в тому, що на початку 40-х років минулого століття США в розвитку атомної програми значно випередили СРСР. В результаті її успішного завершення, тобто створення ядерної зброї і навіть її безглузого і, скоріше, демонстраційного, ніж виправданого воєнними цілями застосування в Японії наприкінці Другої світової війни, здавалося б, США назавжди (в усякому разі, на дуже-дуже довго) позиціонували себе як країну поза всякою конкуренцією з боку решти країн. Проте радянські вчені, підтримані, що надзвичайно принципово, керівництвом держави, не змирилися з виниклим *status quo*, і за порівняно невеликий історичний період менше 10 років змогли з величезним успіхом реалізувати власний атомний проект, вивівши Радянський Союз у цьому відношенні на рівень Сполуче-

них Штатів. А в галузі розробки термоядерної зброї він навіть випередив їх, і в цілому перетворився на ще одну супердержаву, не рахуватися з якою у будь-яких — великих і малих — міжнародних справах було неможливо. Наука при цьому теж зазнала незаперечного розквіту, хоча, що гріха таїти, засекречена або військово-спрямована складова у ній була надмірно роздута.

Цікава і маловідома, але красномовна деталь: саме тоді, на початку 50-х років, у рамках цього абсолютно таємного для будь-якого пересічного радянського громадянина, включаючи безліч науковців, "уранового проекту", коли не існувало жодних термінів із "нано", були вперше отримані ультрадисперсні порошки металів із розміром частинок до 100 нм, що не завжди вдається робити навіть у сучасних лабораторіях. Іншою мовою, нанопорошки існують і фактично — правда, за спеціальним призначенням — використовуються вже понад півстоліття.

А чому це сталося так швидко? Думаю, не помилюсь, якщо припушу, що визначальною тут стала не стільки наявність у Радянському Союзі групи видатних спеціалістів із питань ядерної фізики і ядерних технологій, а також надлюдські зусилля всього народу, скільки розуміння всіма разом необхідності якомога швидкої підготовки нових кваліфікованих і грамотних виконавців. Тому роль випускників Московського державного університету (МДУ) ім. М.В. Ломоносова і народженого в його стінах за пропозицією **Петра Леонідовича Капиці**<sup>2</sup> (між іншим, не фізика-ядерника, але видатного інтелектуала) Московського фізико-технічного інституту (МФТІ), де, може, вперше в світі вдалося тісно поєднати фундаментально-наукову й інженерно-прикладну підготовку спеціалістів, які практично без додаткового часу на придбання досвіду могли приступати до активної роботи за окресленими цілями. Гадаю, немає потреби повідомляти знайомі кожному речі про економічне і соціальне становище у післявоєнному, зруйнованому СРСР в середині-кінці згаданих вище 40-х років, але питання стояло руба — або тимчасові труднощі і досягнення поставленої мети, або довготривале і наростаюче науково-технічне й оборонне відставання. За кілька років спільними зусиллями великого загону фахівців, а також урядовців проблема була закрита. Саме такий колективний підхід до вирішення нагальних проблем державного буття я і розцінюю як чудо.

І виникає до певної міри риторичне питання: "*А наші керманічі і теперішнє українське суспільство здатні на таке?*"

Існує й інший — "діаметрально протилежний" приклад: коли у квітні 1961 р. Радянський Союз запустив у космос супутник із людиною на борту (чому, не в останню чергу, також сприяли випускники відповідних факультетів МФТІ), у США були настільки приголомшені цією різницею подією, що проаналізували виниклу ситуацію з втратою лідерства у конкретному секторі по суті знанневої економіки і прийняли Національну і безпрецедентну за колосальною на той час фінансовою підтримкою програму "Аполлон", результатом якої через кілька років стали всім відомі "прогулянки" по Місяцю саме представників амери-

<sup>1</sup>Цей комплекс призначений для розробки і створення високо- та надвисоковакуумних аналітичних і технологічних модулів, на базі яких можна компонувати замкнуті технологічні лінії для дрібносерійного виробництва високотехнологічних електронних схем (зокрема, тривимірних), шаблонів імпринтінгу тощо з просторовими розмірами до 5 нм, що на сьогодні відповідає найкращим світовим досягненням.

<sup>2</sup>Саме він пророчо зазначав: "*Підготовка кадрів — найважливіше питання організації наукової роботи, а його успішне розв'язання взагалі є запорукою підтримки науки на належному рівні.*"

<sup>3</sup>Між іншим, розуміння ролі науки на сучасному етапі для збереження лідерства США примусило нинішнього Президента **Барак Обаму** навесні 2009 р. також виступити з близькою за змістом ініціативою про істотне підвищення в середніх школах США рівня саме фізико-математичної і взагалі природничої освіти, яка містить багато чого з принципів, які застосовувалися в СРСР. У нас же останнім (маються на увазі принципи і підходи) у загальноосвітніх школах практично оголошено анафему, коли фізика, хімія, біологія взагалі можуть бути вилучені з обов'язкових дисциплін. В плачевних наслідках такого можливого рішення годі й сумніватися...

канського народу. Не заперечую, шалені і непідйомні для решти держав гроші були важливим фактором для такого вселенського "чуда", яке, як реклама потужності США, демонструвалося в реальному часі телебаченням майже всіх передових (крім СРСР) країн. Але, водночас впевнений, таке видатне науково-технічне й інженерне досягнення було б абсолютно неможливим, якби Президент США **Джон Кеннеді** не прийняв принципове рішення кардинально перебудувати підготовку в університетах США спеціалістів-матеріалознавців, в якому — це треба окремо підкреслити — використовував уже тоді відомий у світі досвід навчальної роботи МФТІ<sup>3</sup>.

**Ч**ому я про це все намагаюсь говорити? Тому що жодне виконання нанотехнологічних і споріднених гучних проєктів неможливе в жодній країні, яка неспроможна готувати власних спеціалістів. В іншому разі доведеться запрошувати велику кількість іноземних, що добре володіють знаннями одночасно в математиці, фізиці, хімії, механіці, біології. Маючи на увазі, що таких кваліфікованих фахівців взагалі у світі відносно мало, а вони ще й надзвичайно дорого коштують і навряд чи привчені жити в наших вельми специфічних умовах, такий шлях для нас, на відміну від деяких західних країн, фактично безперспективний, і треба розраховувати винятково на самих себе. Крім сказаного, істотним є і те, що, якщо робити акцент на запрошених фахівцях, то і так вельми невисокий рівень нашого "нанорозвитку" залишатиме бажати кращого ще довгі роки. Зрозуміло, що треба починати щось робити в цьому напрямі, і мова йде про міждисциплінарні освітні програми, на базі яких тільки і можна здійснити підготовку нанофахівців.

Це вже досить давно зрозуміли в Росії, де в МДУ на початку 90-х був відкритий факультет наук про матеріали, який і досі певним чином знаменує створення своєрідної моделі нової освіти на стику наук і забезпечує багаторівневу підготовку за новою спеціальністю "хімія, фізика і механіка матеріалів". Проте наноаспекти такої підготовки почали в МДУ втілюватися значно пізніше — лише 5-7 років тому, коли неймовірний "нанобум" охопив майже весь світ. Значний внесок у вибуховий інтерес передової наукової і науково-технічної спільноти до всіх нанорозмірних ефектів був, мені здається, напрямом ініційованій відкриттям вихованцями МФТІ **А. Геймом** і **К. Новосоловим**, які тепер працюють у Великій Британії, графену — одношарового (тобто ангстремного (!) за товщиною) вуглецевого матеріалу з принципово новими — не побоюсь навіть сказати, рекордно-феноменальними — для конденсованої речовини електропровідними, теплопровідними і міцнісними характеристиками, а також широченними за своїм несподіваним потенціалом застосуваннями, спроможними призвести, у що теж хочеться вірити, до нової революції в електроніці (див. статтю **В.П. Гусинін, В.М. Локтєв, С.Г. Шаранов**. *Графен: пік імені Нобеля підкорено. Що далі?* (Світогляд № 1, 2011, с. 44-51)). Що ж стосується саме Росії, то певне і досить сильне збудження наукового "наносередовища" в ній самій було спричинене дещо раніше стимулюючим фактом присудження **Жоресу Івановичу Алфьорову** Нобелівської премії за 2000 рік, державні ж російські органи "прокинулися" лише через кілька років... Але, на відміну від нас, там це відбулося! І тепер вона входить до чільної десятки — США, Японія, Росія, Китай, Німеччина, Франція, Велика Британія, Італія, Швейцарія, Індія — з приблизно 75 країн, включаючи Україну, за загальною кількістю публікацій з вуглецевих наноструктур, до яких відносять різноманітні фулерени і фулерити, нанотрубки, одношарові, двошарові, тришарові і т.д. графени тощо. З ними усіма нерозривно

пов'язані цілком виправдані очікування на створення суперміцних композиційних матеріалів і волокон для штучних м'язів або кісток, чипів пам'яті, сумірної з людиною, і швидкодійних логічних схем, нанобіосенсорів і біодатчиків, надпотужних польових напівпровідників і наноджерел рентгенівського випромінювання, електромеханічних нанодвигунів і оптоелектронних нанопристроїв, супернано конденсаторів і паливних наноелементів з високими ККД, багато чого іншого. Все це відповідає магістральним шляхам розвитку (зокрема, побутової) техніки — її мініатюризації, мобільності, економічності, екологічності, безпечності, надійності разом із максимально можливим спрощенням у використанні.

З огляду на такі світові тенденції і процеси в технічних університетах Росії був відкритий освітній напрям "нанотехнології" з двома спеціалізаціями — "наноелектроніка" і "наноматеріали", за якими минулого року вже випущені перші спеціалісти. Наскільки відомо, такі, а інколи й ширші за експериментальними можливостями навчальні програми прийняті й успішно виконуються також у деяких передових європейських країнах — Данії, Німеччині, Швейцарії, Швеції. Водночас, у Сполучених Штатах нано-підготовка молодих фахівців здійснюється на базі стандартних програм із фізичного (у них — фундаментального) матеріалознавства, бо там вважається, що нанорозмірні (інколи — двовимірні, як у графені) особливості структури тих чи інших матеріалів не є принциповими чинниками для їх створення. Це, на мій погляд, дискусійне питання, і мова йде лише про окремі деталі професійної підготовки матеріалознавців, в якій, як би там не було, структурні аспекти і їх розуміння мають бути обов'язково присутніми.

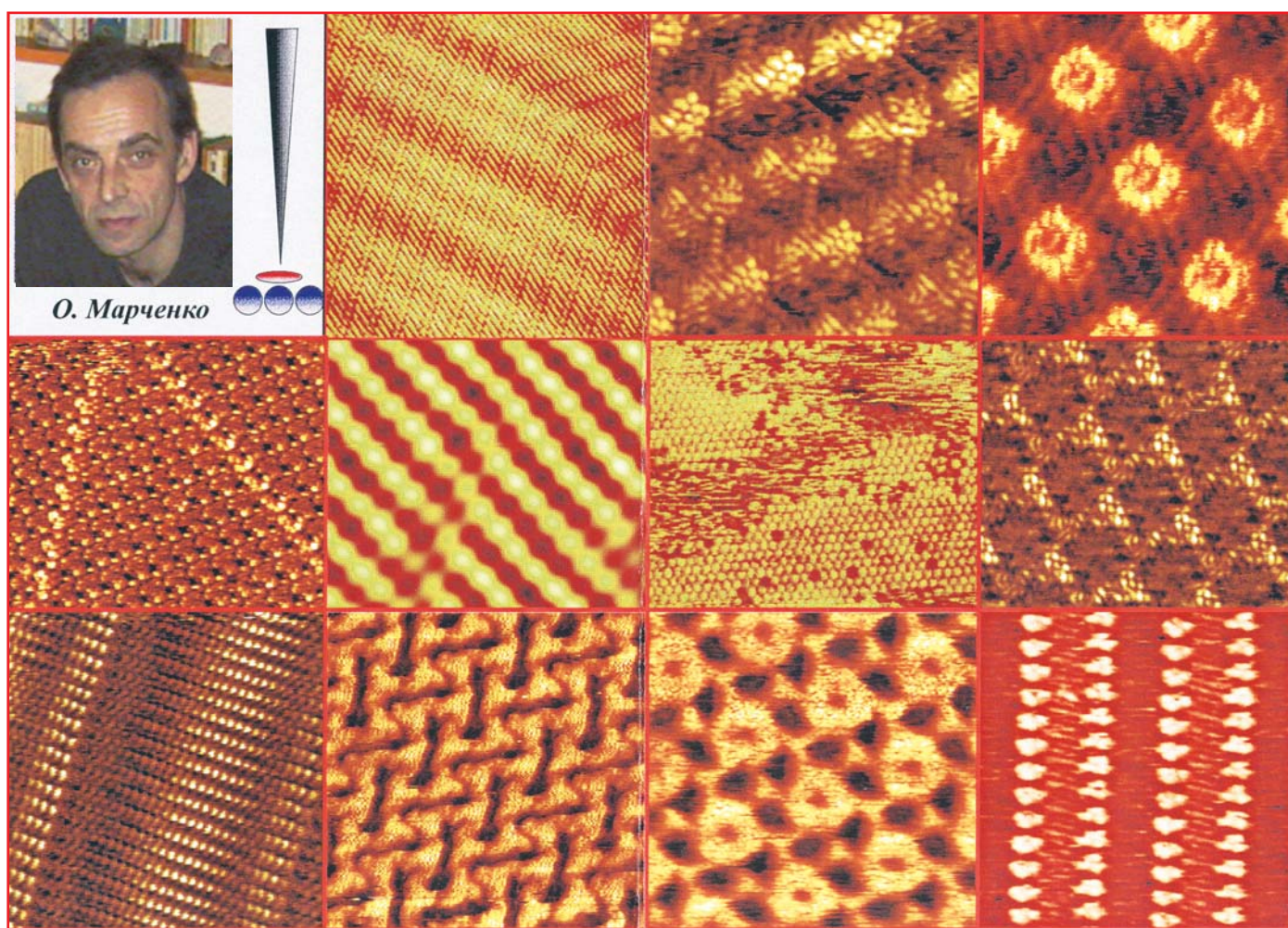
І справді, для більшості матеріалів — функціональних, конструкційних — в їх об'ємному (тривимірному) стані можна і доцільно розглядати різні рівні структури: атомні, кластерні (сотні атомів), нанорозмірні (порядку  $10^3$ - $10^4$  атомів), коли ключовою у формуванні властивостей стає також роль поверхні, нарешті, мікронні, міліметрові (останні два відповідають по суті макроскопічним елементам, розмір яких не є принциповим). Необхідно при цьому лише виявляти і простежувати взаємозв'язок між різними шкалами розмірів і описувати явища адекватними методами з урахуванням неминучого виникнення розмірних ефектів. У деяких випадках визначальними і, справді, є не нанофрагменти (наприклад, фотонні і магнетні кристали, клітини свавців тощо), тому, видається, головне — мати матеріал прогнозовано і контрольовано структурований тією мірою, яка дозволяє його найоптимальніше використання — чи то в конструкційних, чи то в функціональних цілях, чи то важливим у ньому є щось інше, наприклад довготривала стійкість проти отруйних речовин, температури, тиску, різноманітних випромінювань тощо. Тут, між іншим, багато питань і серед них такі, здавалося б, тривіальні, або, як інколи кажуть, філософські: "А що таке взагалі розмір? Де починається і закінчується об'ємна структура?" При цьому поступово стає зрозумілим, що відповіді на них — це задача не лише для нанонауки, а й для наноосвіти, без якої також неможливо просуватися по спіралі науково-технологічного прогресу.

Отже, якщо ми зуміємо зберегти те краще, що містила наша попередня (радянська) система університетської освіти (насамперед, її фундаментальність, якій, треба підкреслити, ніяк не заважає такий популярний сьогодні Болонський процес), поповнивши її необхідною міждисциплінарністю та обов'язковим вмінням студентів володіти сучасним технологічним, вимірювальним і діагностичним інструментарієм, то з'явиться (безперечно, за умови також належної фінансової підтримки) надія на можливість подолання нашою очевидного і небезпечного для майбутнього

Україні нанотехнологічного відставання. Це особливо відчутно, оскільки нині нанотехнології вже спроможні робити речі, що буквально кілька років тому вважалися неможливими або, як мінімум, фантастичними. Так, у більшості випадків наноб'єкти є планарними і містяться на підкладках, а їх вирощування йде по черговим нанесенням різних шарів, певні комбінації яких і є основою для досягнення необхідних, наперед заданих, фізико-хімічних параметрів. Тобто довгий час штучні наноб'єкти мали вигляд винятково плівок. І от тепер японці створили прилад, за допомогою якого можна рости наноблоки, що мають кількшарову структуру (так звані *few layer structures*) у всіх просторових вимірах. Потім із цих атомноподібних "будівельних" блоків можна складати і вже складаються тривимірні — серед них абсолютно невідомі природі — наноматеріали, з майже казковими властивостями. Наприклад, серед них нанометаматеріали з від'ємним показником заломлення, які світло лише огинає, роблячи їх невидимими. Інший надзвичайно важливий для людей і людства в цілому напрям — створення ліків, що відповідають так званим "трьомам П": *персональних* (розрахованих на одного пацієнта з його власним, лише йому належним, індивідуальним генетичним паспортом), *прогнозованих* (позитивна і негативна дія яких допускати не надійне прорахування), *превентивних* (тобто таких, які завдяки ранній діагностиці спроможні не тільки лікувати, а й допомагати запобіганню розвитку можливих хвороб). Ми поки що такими технологіями не володіємо, а це, свою чергу, означає, що й навчити ним не в змозі.

При цьому треба мати на увазі, що нанотехнології, будучи новими загальноцільовими і конвергентними технологіями формування шостого технологічного укладу, надзвичайно дорого коштують. Завдяки своїй специфіці, а саме: наукоємності, міждисциплінарності, обсягу використовуваних ресурсів, множинності впроваджень і масштабу очікуваних сподівань, вони викликають підвищену увагу з боку не тільки спеціалістів природничого профілю, а й економістів, прогнозистів, управлінців тощо. Крім того, в них для досягнення бажаних цілей майже неймовірно використати широкозастосовний і звичний метод спроб і помилок у прикладних розробках. Тому традиційний шлях від лабораторних досліджень до серійного виробництва в наноіндустрії набагато складніший, ніж при знайомому нам промисловому виробництві різних продуктів і товарів звичайного розміру.

Нанотехнології — це, як правило, технології високі, які у нас і за радянських, кращих для економіки, а також науки часів були у великому дефіциті. Тепер же ми практично втратили навіть старі промислово-технологічні виробництва, що існували 20-25 років тому. Отже, прискорена поява в нашій країні модернізованих і озброєних найновішою технікою високотехнологічних підприємств для виробництва будь-яких нанорозмірних елементів у великих обсягах взагалі видається безглуздою утопією. Українська так звана бізнес-еліта через свою націленість тільки на так звані "короткі гроші" теж не виявляє жодного занепокоєння цією проблемою, хоча остання — виразно державного



**Наукова фотографія:** Сканувальна тунельна мікроскопія органічних молекул на інтерфейсі "рідина — тверде тіло".  
**Автор:** Олександр Марченко, член-кореспондент НАН України, пров. наук. співр. Інституту фізики НАН України

звучання. Як не згадати емоційний і дотепний вислів одного з російських лідерів держкорпорації "Роснанотех", який якнайкраще стосується стану справ і в наших ділових колах, де ніхто не рветься у високотехнологічні сфери, що не гарантують швидкого прибутку: "Якщо вітчизняні бізнесмени не займуться нанотехнологіями, вони побудують всього на світі й у кращому разі будуть у куфайці працювати операторами біля газової або нафтової труби, власниками якої будуть наші закордонні друзі й партнери". Навряд чи його почули росіяни, а також візьмуть до уваги як керівництво до дій наші приватні промисловці.

Зрозуміло, що таке ставлення до розвитку високотехнологічних виробництв зберігатиметься з їхнього боку до того часу, поки надприбутки в Україні забезпечуватимуться лише за рахунок чи (пере)продажу природних багатств, чи металевих напівфабрикатів, чи необроблених заготовок. За таких обставин, а також за відсутності законодавчих та інших пільг ніхто не інвестуватиме в наноіндустрію, як це має місце в США, Японії, Південній Кореї, Тайвані, деяких інших країнах, де існує певний паритет і приватний капітал витрачає на нанорозробки не менше, ніж держава. При цьому за останні роки розміри таких приватних інвестицій там зросли у десятки(!) разів.

Для порівняння й уявлення про те, що відбувається в галузі нанодосліджень і нанозастосовувань, наведу деякі цифри щодо всім цікавого комерційного потенціалу цього сектору світової економіки. За оприлюдненими даними аналітиків з американської компанії Lux Research Сполучені Штати у 2001-2008 рр. інвестували в наноіндустрію приблизно \$70 млрд., водночас у світі за цей період вироблено та реалізовано різної нанотехнологічної продукції на \$240 млрд. У 2008-2015 рр. має бути вкладено близько \$3 трлн. При цьому співвідношення "прибуток/витрати" для першого періоду, як видно, склало десь на рівні 3.4, а на 2015 р. воно прогнозується досягти 20-21!

В Росії теж існують подібні плани витрат і продажів, але вони набагато скромніші, а згадане співвідношення за прогнозом не перебільшує 3-х. Це прямо свідчить, що у найближчі 5-10 років світ піде далеко вперед і значно віддалиться навіть від Росії. Що ж до України, то навряд чи вона є територією для навіть вкрай обмеженого оптимізму. Справа в тому, що, на превеликий жаль, наше власне внутрішнє інвестування у наноіндустрію таким (тобто недостатнім за розміром) насправді не є, оскільки, залишаючись по суті — чудова гра слів — "наноінвестуванням", не дозволяє не тільки розвивати технологічну базу, а й вести, якщо мати на увазі експеримент, повноцінні фундаментальні дослідження.

Крім того, в Росії, з якою ми всіляко намагаємось співпрацювати, створена спеціалізована Державна корпорація "Роснанотех", основною метою якої є істотна фінансова підтримка і комерціалізація всіх нанопропозицій, які за своїми параметрами не поступаються закордонним чи переважають їх, сформовано загальноросійське "Нанотехнологічне товариство" з досить великими повноваженнями, прийнято рішення щодо створення до 2015 р. Національної нанотехнологічної мережі, мета якої — забезпечення оснащення й ефективного функціонування, включаючи підготовку кваліфікованих кадрів, нанотехнологічного обладнання по всій території Росії. Нарешті, започатковано і розпочато видання спеціалізованого журналу "Российские нанотехнологии".

Скажу більше: слова "наноелектроніка" та "нанометрична технологія" з'явилися у Переліку критичних технологій, а "наноіндустрія" — серед всього восьми пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки в Росії на наступні 15 років. У Посланні Федеральним зборам 2006 року президент Росії

**В.В. Путин** проголосив розвиток нанотехнологій необхідним складником посилення могутності Російської Федерації шляхом її переведення на інноваційні рейки, а 2007 р. Росія, як було сказано, сформулювала і прийняла до виконання основні стратегічні напрями розвитку своєї наноіндустрії, серед яких і передбачалося саме створення шойно згаданої загальнодержавної нанотехнологічної мережі. І ця мережа, головною організаційною структурою якої став новозбудований і супероснащений новітньою дослідницькою і сертифікаційною технікою Інноваційний центр "Сколково" в однойменному наукограді під Москвою, вже не тільки створюється, а й почала реально функціонувати. Таким чином, і в цьому аспекті ситуація ззовні України виглядає для розвитку наноіндустрії помітно сприятливою і такою, що тільки небезпечно збільшує наше відставання. Тому властиве нам "нічоноероблення" смертеподібне — воно лише посилює відрив, поглиблюючи прірву, і треба вдатися до негайних рішучих дій.

**Б**ажаячи знайти відповідь на одне з сакраментальних для нашого менталітету і ключових для всіх тих, хто щось планує, питань, яке давно сформулював **М.Г. Чернишевський**: "Що робити?", хотів би вслід за деканом факультету наук про матеріали МДУ академіком РАН **Ю.Д. Третьяковим** спробувати назвати кілька бажаних кроків, зробивши які Україна могла б сподіватись на хоча б деяке просування вперед.

**1. Зрозуміти**, нарешті, що нема ані ресурсів, ані достатньої кількості спеціалістів для результативного здійснення, образно кажучи, фронтального поступу на всіх напрямках не тільки наук взагалі, а й в галузі нанотехнологій зокрема, що спонукає обмежитись лише пріоритетними для нас напрямками, які при цьому обцяють комерціалізацію і затребуваність праймайні на внутрішньому ринку.

**2. Якогомога швидше вирішити** питання про оснащення наших дослідників найновішим обладнанням, необхідним для синтезу, вивчення властивостей і діагностики нанопродуктів, започаткувавши Державну програму типу "Наноіндустрія України", створення в її рамках національної нанотехнологічної мережі з хоча б однією ключовою, як тепер прийнято визначати, лабораторією багатоцільового призначення типу вже створеної в російському ННЦ "Курчатинський інститут" лабораторії "НБІК", або лабораторії нано-, біо-, інформаційних і когнітивних технологій, де одночасно працюють фізики, хіміки, біологи, фахівці з інформатики та медицини. При цьому важливо, що вона діє не тільки як колективний дослідницький центр, а й загальнодержавний центр підвищення кваліфікації та перенавчання великої кількості спеціалістів із вищою технічною освітою. Якщо б щось подібне було започатковане у нас, то на її, тобто вітчизняної структури, про яку йдеться, базі необхідно було б також організувати незалежну сертифікаційну службу для вироблення стандартів, спроможну об'єктивно оцінювати якість нанопродуктів і їхню (не)безпеку для живої природи, включаючи людину.

**3. Налагодити** (можливо, на базі НТУУ "КПІ") всеукраїнську систему підготовки дослідників, інженерів і технологів, що володіють міждисциплінарними фундаментальними знаннями і вміють працювати на сучасному обладнанні (на думку деяких експертів, у найближчі 5-7 років світу знадобиться 2-3 мільйони відповідних спеціалістів, а отже державне замовлення в Україні може становити приблизно 5-7 тисяч, або близько тисячі підготовлених вищою школою фахівців на рік, що, треба визнати, немало. Тому, очевидно, треба визнати, тільки одного-двох університетів для такої грандіозної задачі замало.

**4. Через ЗМІ пропагувати** для розуміння суспільством переваг, а також небезпек, пов'язаних з упровадженням нанотехнологій і використанням наноструктурованих і нанорозмірних продуктів різного призначення, починаючи зі школи, де мають бути ознайомчі курси, експозиції, науково-популярна література, гуртки наукової творчості. Спеціальні програми щодо ролі нових підходів і уявлень, зумовлених входженням людини до наносвіту, мають бути запроваджені в рамках щорічних Фестивалів науки, було б чудово, якби до цих заходів долучилося і телебачення, чий вплив на різні верстви населення, включаючи молодь, безпосередній та ефективний.

**5. Розробити** систему заходів, спрямованих на заохочення бізнесменів працювати в царині наноіндустрії, що припускає прийняття низки законодавчих актів. Наукова спільнота чекає відміни безглузких тендерних процедур при закупівлі наукового обладнання і матеріалів для наукових експериментів, усунення мита при імпорті науково-технічних і технологічних установок, витратних матеріалів, хімічних і біологічних реактивів тощо і, навпаки, введення пільг для виробників і користувачів нанопродукції. Між тим, доречно зауважити, що сьогоднішні реалії, на жаль, свідчать про прямо протилежну картину на цих напрямках нашого "наукового" буття, і частенько приписні бюрократичні процедури суворо перешкоджають навіть там, де те чи інше питання було б легко вирішити без зайвих фінансових витрат.

**П**ерераховані, а також деякі інші заходи допомогли б нашим спеціалістам відчувати допомогу, а Україна з розряду безнадійно відсталих пересунулася хоча б у "нижчу лігу" країн "графенового товариства", де нанодослідження займають гідне місце і дають певний результат. Саме до цієї ліги експерти відносять Росію, яка, треба окремо підкреслити лише у 2008-2011 рр. витратила на придбання унікальних приладів близько 20 трлн. рублів, ми ж у відповідному переліку взагалі не згадані. Звичайно, у нас і тепер дещо робиться, ми навіть уже встигли у 2009 р. обрати перших двох членів НАН України на вакансію "нанофізика", на якій конкурс перевищував 10 претендентів на місце, про комплекс НаноФаб згадано вище, проходять конференції і семінари, проте державної уваги і підтримки все ж таки катастрофічно не вистачає, наноіндустрія не виділена в окрему галузь, як і Міністерство освіти, науки, молоді і спорту України ще не включилося у відповідний процес оновлення навчальних програм у класичних і технічних університетах, майже відсутні відповідні кафедри, підручники, посібники. Можна тільки згадати колись популярний роман-хроніку Валентина Петровича Катаєва про 20-і роки емоційно піднесеного будівництва нового життя в СРСР, назва якого "Час, вперед!", попри повну зміну ідеалів і устремлінь, дуже точно відображає пафос саме нанотехнологічної епохи, в яку людство поступово, але з неабияким прискоренням входить, щоб змінювати на краще те, що є...

Насамкінець, дозволю собі одне коротке зауваження. У зв'язку з необхідністю прискореного розвитку і справді багатообіцяючими перспективами наноіндустрії, яка надзвичайно впевнено набирає ходу, тепер дуже багато, а як для мене — прихильника і популяризатора, насамперед, фундаментальних і світоглядних знань, невиправдано оптимістично і гучно проголошують першочерговість створення саме промислового нанопродукту, націленого на конкретні корисні потреби. В КПІ, наприклад, де я маю честь викладати, в останні роки головну увагу акцентують на комерціалізації взагалі всіх знань як на магістральному шляху розвитку цього славетного навчального закладу.

Мені здається, що фетишизація лише прикладних досліджень, спрямування фахівців переважно на технологічні пошуки з майбутнім зароблянням коштів, на чому наголошують майже повсюдно, у нашому випадку "напівлежачої" електронної — і не тільки електронної — промисловості є недалекою політикою. Доки не буде працюючої промисловості, нема можливості по-справжньому розвивати технологічні або прикладні напрями. Та й важко собі уявити або повірити в те, що якась країна зможе перешугнути через фундаментальний етап, використовуючи винятково те, що відкрито на заході чи сході, тобто за її межами. Не згадуючи вже про такий сумний факт, що ми практично повністю втратили 90-і роки для креативної наукової активності, а за кордоном це був період створення багатьох революційних технологій.

Тому, на мою думку, у нашій ситуації було б важливіше концентруватись на здобуванні нових знань, тобто на фундаментальних дослідженнях і їхньому максимальному поглибленні, оскільки відкриття нових явищ і закономірностей триватиме завжди, оновлюючи наші уявлення щодо принципово можливого. Знання сприятимуть новим застосуванням, де наздогнати західні країни нам набагато складніше. А маючи або отримуючи фундаментальні результати, які до того ж відстежують оборонні аспекти і часто помітно дешевші, ми можемо спробувати зробитися для цих же розвинених країн з "вищої ліги", що мають нановиробництва, необхідно-неминучою ланкою в їхньому власному розвитку. До того ж, за таких умов можна відносно спокійно займатися не такими дорогими справами, приділяючи підвищену увагу здоров'ю нації, екології і певним напрямкам безпеки. Якщо при цьому з пафосної риторики, такої властивої нашим державним мужам, прибрати деякі гучні лозунги і взятися за справу по-справжньому, то складання виконуваних планів і рутинна калькулятивна робота — єдине, що залишиться для осмислення. У згаданому вище історичному прикладі зі створенням атомної зброї, що стала остаточним — втіленим у неабияку практику — результатом, успіх був, як не дивно, зумовлений пріоритетом фундаментальних досліджень над технологіями, які були введені поглибленими першими.

А наші ж часті посилання на "доробки" і приблизний науковий паритет із західними країнами, за великим рахунком, на жаль, не відповідають дійсності, якщо не брати до уваги окремі напрями і, звичайно, теоретичні дослідження, в яких де-не-де ми навіть ідемо попереду. Саме вони разом з іншими фундаментальними дослідженнями мають залишатися вирішальним компонентом нашого дослідницького портфеля. Якщо в США частка фінансування на фундаментальні роботи становить від 42-45%, то в Росії — десь 5-6, але ніяк не більше 10 відсотків від загального кошторису. Різниця контрастна, і навряд чи у нас вона краща. Ми запізнюємося не тільки з організаційними заходами, а з політичними рішеннями, що може породити своєрідний комплекс — "тепер уже ніколи не наздогнати", а постійне акцентування на комерційних аспектах, які вимагають ще більших грошових вливань, ситуацію, що склалася, може лише погіршити. Моє ж бачення необхідних заходів викладене вище, а дискусія з цього приводу була б, гадаю, надзвичайно корисною.

**О**тже, на мій погляд, вище керівництво України, а разом з ним і всі ми як найосвіченіші представники народу, повинні скоріше усвідомити, що якщо наша країна хоче бути сильною і процвітаючою, з якою в світі рахуються і яку поважають, вона не має часу на зволікання з початком розбудови загальнодержавних наноіндустріальних структур і установ, бо довге пасіння задніх дуже дорого їй і всім нам коштуватиме.