

Нанотехнологии. Азбука для всех.

под ред. Акад. Ю.Д. Третьякова



Азбука – первая книга, которую держит в руках любой грамотный человек. Авторы настоящей книги попытались в

максимально доступной форме рассказать о научных, индустриальных и социальных аспектах того, что называют сейчас нанотехнологиями и наноматериалами. Наша страна вступает в нанотехнологическую эру, и именно нанотехнологии будут определять ее будущее через 10 – 15 лет. Следовательно России уже сегодня нужны специалисты, способные эффективно работать в этой области.

Настоящая книжка рассчитана на любого читателя, включая школьников старших классов, людей, делающих политику или бизнес в нашей стране, студентов и домохозяек, инженеров и учителей, то есть на всех, кто хочет хотя бы для самого себя разобраться со ставшими модными сейчас терминами. Желание привлечь столь разнородную аудиторию предопределило структуру книги. Она состоит из двух основных разделов: достаточно краткого введения, рассчитанного на всех читателей без исключения, и развернутого глоссария, составленного в алфавитном (как в азбуке) порядке и призванного дать сжатую информацию об основных материалах, процессах и явлениях, связанного с нанотехнологиями. Мы надеемся, что после ознакомления с нашей «азбукой для всех» читатели будут объективно и без опаски смотреть на триумфальное шествие нанотехнологий в двадцать первом веке.

Уважаемый читатель!

Нанотехнологический бум, переживаемый в настоящее время международным и российским научным сообществом, формально во многом сродни буму, который почти 20 лет назад это сообщество пережило в связи с открытием высокотемпературной сверхпроводимости. Напомню, что скромная, появившаяся в конце 1986г, публикация И. Беднорца и К. Мюллера в журнале «Zeitschrift für Physik» дала старт гонке, которая несколькими месяцами спустя позволила исследователям Техасского университета под руководством профессора К. Чу создать керамические оксидные сверхпроводники с

критической температурой, превышавшей точку кипения жидкого азота.

Впервые в мировой практике благодаря электронной почте информация об этом открытии распространилась с огромной скоростью и потребовалось лишь считанные дни, чтобы исследователи многих стран воспроизвели, а в ряде случаев и превысили достижения группы Чу. В нашей стране это было впервые сделано совместно учеными химического и физического факультетов МГУ. Многие из отечественных исследователей, последовавших их примеру, располагали лишь дифрактометрами, печами и простейшими магнитными измерительными системами, функционировавшими при температурах жидкого азота, но и этого оказалось достаточно, чтобы продвинуться вперед и достичь определенного успеха. Напротив, квалифицированная активность в создании новых нанотехнологий и наноматериалов требует несомненно более дорогого синтетического и диагностического оборудования, включая чистые комнаты, электронные и атомно-силовые микроскопы, рамановские спектрометры, источники синхротронного излучения и многое другое.

Нет также никаких сомнений, что для развития нанотехнологий важнейшим критерием является научный и творческий потенциал исследователей. В МГУ – главном классическом университете России, усилия ученых из совершенно разных областей знаний объединены благодаря недавно созданному Координационному Совету по нано- и биотехнологиям. Авторы этой книжки – сотрудники факультета наук о материалах, активно участвующие в реализации университетской программы нанотехнологических исследований и имеющих большой опыт в получении новых наноматериалов.

Ректор МГУ им. Ломоносова

Академик

В.А. Садовничий.

Редакционный комментарий

Приставка «нано»,



означающая одну миллиардную часть целого, а вместе с ней и термины «нанометр», «наночастицы», «наноструктуры», «наноматериалы» и «нанотехнологии» распространились в научной литературе сравнительно недавно. Тем не менее, многие из давно используемых человечеством материалов являются именно «нанообъектами». Одним из самых древних примеров таких систем являются цветные стекла,



окрашенные наночастицами металлов, технология получения которых была известна еще в Древнем Египте. Эта технология дожила до наших дней, войдя в основу окраски кремлевских звезд. Мало кто знает, что рубиновое стекло в буквальном смысле является золотым, поскольку представляет собой наночастицы золота, «растворенные» в высококачественном стекле. Широкую гамму цветов – от фиолетового до желтого – можно наблюдать и в «Кассиевом пурпуре», представляющем собой наночастицы золота, распределенные равномерно в геле оловянной кислоты, и названном так по имени гамбургского стекловара Андреаса Кассия (XVII век).

В уникальном музее художественной керамики, размещенном в небольшом итальянском городе Фаенца, посетители могут любоваться экспонатами, украшенными цветной глазурью, технология которой была разработана гончарами Умбрии еще в XV веке и использовала отражающую способность ультрадисперсных металлических частиц для придания керамике необычного блеска. Как тут не вспомнить поэтические строки О. Хайяма

*«Я к гончару наведалься вчера
Его искусство – давняя игра»*

Во многих широко известных процессах (например, в фотографии и в катализе) традиционно реализуются нанодисперсные состояния веществ, хотя в некоторых случаях их роль до сих пор остается неясной. При любых обстоятельствах, прежде всего, было бы целесообразно определиться с содержанием понятия «нанотехнологии», впервые появившегося в литературе в 1974 г. с легкой руки Н. Танигучи (Япония). В самом общем смысле нанотехнологии включают создание и использование материалов, устройств и технических систем, функционирование которых определяется наноструктурой, то есть ее упорядоченными фрагментами размером от 1 до 100 нм.

Согласно рекомендации 7-ой Международной конференции по нанотехнологиям (Висбаден, 2004 г) выделяют следующие типы наноматериалов:

- нанопористые структуры;
- наночастицы;
- нанотрубки и нановолокна;
- нанодисперсии (коллоиды);
- наноструктурированные поверхности и пленки;
- нанокристаллы и нанокластеры.

Последние представляют собой частицы упорядоченного строения размером от 1 до 5 нм, содержащие до 1000 атомов. Собственно наночастицы диаметром от 5 до 100 нм состоят из 10^3 - 10^8 атомов. Нитевидные и пластинчатые частицы могут содержать гораздо больше атомов и иметь один или даже два линейных размера, превышающих пороговое значение, но их свойства остаются характерными для вещества в

нанокристаллическом состоянии. Если наночастица имеет сложную форму и строение, то в качестве характеристического рассматривают не линейный размер частицы в целом, а размер ее структурного элемента. Такие частицы, как правило, называют наноструктурами, причем их линейные размеры могут значительно превышать 100 нм. В зависимости от того, какую преимущественную анизотропию имеют структурные элементы наноструктур, последние также подразделяют на одно-, двух- и трехмерные (нульмерные).

Следует отметить, что многие свойства материалов (в том числе магнитные, оптические, электрические) являются следствием коллективных взаимодействий в твердом теле и не сохраняются при переходе от объемного к наноматериалу. В этом случае свойства веществ не могут быть объяснены только увеличением их удельной поверхности и ростом числа поверхностных атомов без учета квантоворазмерных эффектов. Примерами могут служить такие явления, как образование квантовых точек в случае, когда размеры частиц полупроводника соизмеримы с дебройлевской длиной волны электрона, изменение ширины запрещенной зоны за счет локализации экситонов, переход ферромагнитных материалов в суперпарамагнитное состояние. Однако иногда размерный эффект проявляется даже в таких свойствах веществ, как их каталитическая активность или реакционная способность: с уменьшением размера частиц может наблюдаться как резкое увеличение, так и уменьшение удельной активности, т.е. активности, отнесенной к одному атому металла. Как правило, этот эффект особенно ярко выражен у кластеров.

Важнейшей стадией нанотехнологий является химический синтез нанопродуктов. В связи с этим уместно напомнить, что Нобелевский лауреат Р. Хоффман (кстати, сам по образованию физик, проработавший некоторое время в Московском Университете) в ответ на вопрос, что такое нанотехнология, остроумно заметил, что рад тому, что для химии люди нашли новое название. Теперь у них появился стимул изучать то, что они не желали делать в школе. В этом смысле химики занимаются нанотехнологиями уже на протяжении двух с половиной столетий. Современная нанотехнология отличается тем, что она соединяет талант химика-синтетика с мастерством инженера, и именно этот союз позволяет создавать самые замысловатые наноструктуры. Не менее важным с точки зрения перспективы является и то обстоятельство, что переход от традиционных микротехнологий к нанотехнологиям открывает путь к созданию нанопродуктов и наносистем, обеспечивающих существенную экономию сырья и энергии и открывающих путь к более эффективному решению экологических проблем.



Введение

Человеку, особенно не искушенному в научных изысканиях, свойственно верить в чудеса и искать универсальные средства для достижения всех своих желаний, чтобы легко получить все и сразу. Как философский камень – для алхимиков древности или как волшебная палочка Гарри Поттера – для мечтателей современности. Судя по тому, с чем приходится сталкиваться в средствах массовой информации, сейчас как средство быстрого решения почти всех проблем, стоящих перед Человечеством, как своеобразная чудодейственная панацея, рассматриваются нанотехнологии. Оправдан ли этот эйфорический оптимизм и как можно воплотить нанотехнологические мечты в реальность?

Исследовательские работы последних 10-15 лет, действительно, открыли важную роль нанотехнологий в различных областях науки и техники (информационных технологиях, медицине, физике, химии, материаловедении, биологии, экологии и т.д.). Произошла своеобразная революция, поскольку нанотехнологический подход означает целенаправленное регулирование свойств объектов на молекулярном и надмолекулярном уровне, что не было реализуемо еще несколько лет назад. Лучшим символом идеи универсального получения наноматериалов (и вообще материалов с контролируемыми свойствами) можно считать «демона Максвелла» - гипотетического существа, которое способно сортировать молекулы и благодаря этому «собирать» любой материал с любыми свойствами из элементарных «кирпичиков» - атомов.

Увы, дойти до такой фантастической «детализации» процесса синтеза принципиально невозможно. Действительно, сейчас с помощью очень тонких игл (например, острый атомно-силовых микроскопов) можно упорядочить нужные атомы по-штучно (как это впервые сделали ученые фирмы IBM с атомами газа кислорода, которым мы дышим). Но... в количестве всего лишь нескольких штук. Чтобы собрать таким образом сколько-либо полезную и реально работающую на человека структуру, потребуется бесконечно много времени и бесконечно большое количество энергии (работы), причем в условиях космически низких температур - иначе атомы самопроизвольно разбредутся во все стороны. Это – одно из проявлений второго закона термодинамики, который уж точно носит универсальный характер и в своей простейшей формулировке гласит: чудес не бывает – вода в чайнике сама собой не может закипеть или замерзнуть, а сам чайник (все его миллиарды миллиардов атомов) не могут одновременно «прыгнуть» в одном направлении, так чтобы чайник самопроизвольно переместился в пространстве. Да, действительно, сейчас очень много говорят о «нанороботах» - подобных демону Максвелла искусственных машинах небольшого размера, которые, как предполагают, могут делать

все. Однако кто сделает сами «нанороботы» настолько сложными, чтобы они могли выполнять требуемые от них действия? Демон Максвелла мог бы, но он не существует, иначе наш мир был бы не таким, каков он есть!

И тут мы приходим к основному вопросу – сроках реализуемости нанотехнологических идей и путей создания эффективных (в том числе - экономически) нанотехнологий для массового использования. Решения есть, например, при использовании принципов самоорганизации вещества наноматериалы можно создавать «снизу вверх», то есть, как и предполагалось выше, от молекул к надмолекулярным структурам, в отличие от практиковавшегося до последнего времени подхода создания наноматериалов «сверху вниз», когда мелкие объекты создаются из крупных путем измельчения. Управляя размерами и формой наноструктур, можно в определенных рамках придавать таким материалам совершенно новые, практически выгодные (часто рекордные!), свойства, резко отличающиеся от имеющихся у обычных материалов – прародителей, то есть добиться желаемой цели. Однако для этого нужно детально исследовать всю систему, а система должна быть сложной и открытой, т.е. способной обмениваться с окружающей средой как веществом, так и энергией. Иначе упорядочения с образованием заданной наноструктуры не произойдет. Подходы самоорганизации (коллективного поведения атомов с образованием упорядоченной структуры) сокращают наши усилия, однако такие процессы реализуются в узком диапазоне условий – и при полном соблюдении всех законов нелинейной термодинамики, то есть при наличии большого числа ограничений. На этом примере становится понятно, что на самом деле основным условием развития нанотехнологий должен быть выверенный, профессиональный научный подход, требующий больших усилий, знаний и финансовых вложений в дорогостоящие фундаментальные исследования. Поэтому нанотехнологии не могут быть мгновенной панацеей от всех наших проблем, а их развитие займет длительное время даже в условиях жесточайшей нанотехнологической гонки, стартовавшей во всем мире.

Если не учитывать налет ажиотажа, существование наноматериалов закономерно и не подрывает никаких известных нам основ мироздания, просто пришло их время. Возникновение нанотехнологий «просто» означает качественный скачок в философии получения практически важных веществ - создание невидимых простым глазом *сложных* устройств и систем, размеры которых находятся в диапазоне размеров надмолекулярных образований. «Обычная» химия работает с молекулами и атомами, в этом уже давно нет ничего необычного. «Обычная» промышленность работает с тоннами и кубометрами, к этому тоже все привыкли.



Наноматериалы – продукт нанотехнологий – это нечто особое, что гораздо сложнее атомов и молекул, но как продукт высоких технологий не требует многотоннажного производства, поскольку даже один грамм такого «хайтековского» вещества способен решить множество проблем. Это – пример современной «гомеопатии», которая поставлена на вполне научную основу и глубоко продумана.

Наноматериалы – не один «универсальный» материал, это обширный класс множества различных материалов, объединяющий их различные семейства с практически интересными свойствами. Заблуждением является и то, что наноматериалы – это просто очень мелкие, «нано»частицы. На самом деле, многие наноматериалы являются не отдельными частицами, они могут представлять собой сложные макро- или микрообъекты, которые наноструктурированы на поверхности или в объеме. Такие наноструктуры можно рассматривать в качестве особого состояния вещества, так как свойства материалов, образованных с участием наноструктурных элементов, не идентичны свойствам объемного вещества.

Итак, наноматериалы характеризуются несколькими основными чертами, делающими их вне конкуренции по сравнению с другими веществами, находящими практическое использование в деятельности человека.

Во – первых, все наноматериалы действительно состоят из очень мелких частиц, которые нельзя увидеть невооруженным глазом. Это первый плюс – суперминиатюризация, приводящая к тому, что на единице площади можно разместить больше функциональных наноустройств, что жизненно важно, скажем, для нанoeлектроники или для достижения суперплотной магнитной записи информации соответствующей 10 Тиррабит на 1 квадратный сантиметр. Кроме того, ничтожный размер делает для наноустройств доступным почти любые закоулки человеческого тела или части макромашин, в которые не проникнет ничто другое.

Во-вторых, наноматериалы обладают большой площадью поверхности, ускоряющей взаимодействие между ними и средой, в которую они помещены. Например, каталитически активные материалы позволяют в десятки, сотни, тысячи и даже миллионы раз ускорить химические или биохимические реакции. Интересное применение – разложение воды для водородной энергетики на водород и кислород в присутствии наночастиц диоксида титана, который всем нам известен как компонент титановых белил. Нанофильтры позволяют отсеять бактерии или эффективно поглотить примеси или токсины. Наночастицы также могут «таскать» за собой необходимые лекарства программируемо доставляя их к заранее выбранной цели, например, раковой опухоли, а также при гипертермии (дозированном перегреве

опухоли вплоть до гибели раковых клеток среди окружающих их нормальных тканей).

В – третьих, наноматериалы уникальны тем, что такое вещество находится в особом, «наноразмерном», состоянии. Изменения основных характеристик обусловлены не только малостью размеров, но и проявлением квантовомеханических эффектов при доминирующей роли поверхностей раздела. Эти эффекты имеют место при таком критическом размере, который соизмерим с так называемым корреляционным радиусом того или иного физического явления (например, с длиной свободного пробега электронов, фононов, длиной когерентности в сверхпроводнике, размерами магнитного домена или зародыша твердой фазы и др.). Характерной особенностью наночастиц является также отсутствие точечных дефектов. Это делает, в частности, полупроводниковые наночастицы («квантовые точки») идеальными элементами совершенных энергосберегающих лазерных и светоизлучающих элементов. А индивидуальные углеродные нанотрубки обладают прочностью, в десятки раз превышающей прочность лучшей стали. При этом они во много раз выигрывают у стали и по своей удельной массе. Все эти признаки вполне объясняют тот факт, что даже грамм наноматериала может быть более эффективен, чем тонна обычного вещества, и что их производство – вопрос не количества, не тонн или километров, а качества человеческой мысли, «ноу-хау» (от английской know how – «знаю как»).

Возникновение нанотехнологий и исследование наноматериалов глубоко закономерно. Сначала были путешествия, великие географические открытия и новые торговые пути. Люди изучили сполна два измерения земного шара – географические широту и долготу. Затем храбрые капитаны Немо исследовали глубины мирового океана, а Юрий Гагарин первым вышел за рамки Земли – человек начал покорять Космос. Это, несомненно, дало чрезвычайно много – и перспективы освоения новых горизонтов, и понимание процессов, происходящих на Земле и вне ее, особенно в области освоения новых источников энергии. Людям покорилось третье измерение. Потом они задумались о времени и постепенно научились изучать как геологические и космические события, длящиеся миллиарды лет, так и быстротечные фемтосекундные процессы, значительны более быстрые, чем, скажем, выстрел или удар молнии. Так покорилось четвертое измерение, давшее ключ к пониманию того, как именно все ранее изученные процессы происходят в действительности. Наконец свершилось новое чудо – мы вплотную приблизились к освоению пятого измерения, связанного с возникновением нанотехнологий.

Первопроходцем микрокосмоса оказался изобретатель первой увеличительной линзы – Левенгук. Однако даже самые дорогие оптические микроскопы принципиально неприемлемы для



визуализации нанообъектов в силу своего малого разрешения и увеличения, которое должно составлять не тысячу крат (а это предел оптических микроскопов), а сотни тысяч и миллионы раз. Типичные нанообъекты в сотни и тысячи раз меньше бактерий, которые наблюдал Левенгук. Они во столько же раз меньше нас с вами, во сколько раз человеческое тело меньше планеты Земля. Поэтому сейчас бороздить просторы микромира могут лишь те, кто обладает наисовременнейшими электронными и атомно-силовыми микроскопами, которые, в отличие от оптических микроскопов, стоят сотни тысяч и даже миллионы долларов. Но и этого мало - таким оборудованием нужно уметь профессионально пользоваться. Между тем, добиться стадии визуализации – необходимо, но совершенно недостаточно для принадлежности к касте исследователей наномира.

Нанотехнологии – чрезвычайно сложная, профессиональная, междисциплинарная область, объединяющая на равных усилия дипломированных химиков, физиков, материаловедов, математиков, медиков, специалистов в области вычислительной техники и др. Талантливые дилетанты и романтики, к сожалению, часто не обладают необходимой подготовкой или необходимыми возможностями, а также не всегда могут распознать, что они изобретают (в который раз!) велосипед, не зная текущего положения дел в том ворохе разноплановой научной информации, которая появляется ежечасно. В области наноматериалов удивительным образом переплетены как глубоко фундаментальные научные основы, так и прорывные (как любят говорить наши официальные лица) аспекты практического использования человеческих знаний. Только полностью контролируемая исследователем цепочка от новой (или на современном политико-экономическом языке - инновационной) идеи до синтеза, анализа и установления практически-важных свойств могут помочь войти в элитный клуб исследователей наномира.

Нанотехнологии – детище современной фундаментальной науки. Последние достижения свидетельствуют о возможности создания новых поколений функциональных материалов, а проекты возможного использования нанотехнологий затрагивают практически все области человеческой деятельности. В то же время, постепенно происходит переосмысление научных фантазий, которые приобретают черты реалистичности. Нанотехнологии - капиталовложение человечества на долгие годы, но только если им разумно распорядиться и позволить ученым, а не только политикам или менеджерам, использовать наногаммы высокотехнологичной продукции для будующих мегаоткрытий.

Что можно сказать об истоках нанотехнологии и о фундаментальном вкладе

российских исследователей в развитие нанотехнологий. Отправной точкой следует считать найденные Г.А. Гамовым еще в 30-х годах прошлого века решения уравнения Шредингера, которые означали возможность преодоления частицей энергетического барьера даже в том случае, когда энергия частицы меньше высоты барьера. Это явление, называемое туннелированием, позволило объяснить многие экспериментально наблюдавшиеся процессы. Развитие электроники подошло к использованию процессов туннелирования лишь тремя десятилетиями позже, когда появились туннельные диоды, открытые японским ученым Л. Есаки, удостоенным позднее Нобелевской премии. В настоящее время процессы туннелирования положены в основу технологий, позволяющих оперировать со сверхмалыми величинами порядка нанометров.

Другим эпохальным событием нанотехнологической революции обычно считают легендарную лекцию Нобелевского лауреата Р. Фейнмана «Там внизу еще много места» («There's Plenty of Room at the Bottom»), в которой он предложил манипулировать отдельными атомами для создания очень малых объектов с необычными свойствами. Эта идея была реализована в дальнейшем благодаря созданию сканирующего туннельного микроскопа (Г. Биннинг, Г. Рорер, 1981 г.) и атомно-силового микроскопа (Цюрихское отделение IBM, 1986 г.).

Многие фундаментальные исследования, без которых было бы немыслимо развитие современных нанотехнологий, проводились на протяжении десятилетий научными школами академиков В.А. Каргина, П.А. Ребиндера, Б.В. Дерягина и особенно Нобелевского лауреата Ж.И. Алферова. Было бы несправедливо замалчивать пионерские работы В.Б. Алесковского по развитию методов «химической сборки», т.е. послойного (layer-by-layer) синтеза, заложившие начало успешно функционирующей и сейчас Санкт-Петербургской научной школе (С.И. Кольцов, А.А. Малыгин, И.В. Мурин, В.М. Смирнов, В.П. Толстой).

Несомненным пионерским и практически чрезвычайно важным для своего времени достижением является создание и внедрение в атомную энергетику оригинальных технологий получения ультрадисперсных (нано-) порошков, выполненное группой советских ученых под руководством И.Д. Морохова (И.Д. Морохов, Л.И. Трусков, С.П. Чижик, Ультрадисперсные металлические среды. Атомиздат, Москва, 1977г.).

Примерно к тому же времени относятся фундаментальные исследования научной школы академика И.В. Тананаева, впервые предложившего дополнить классические диаграммы «состав-структура-свойство» координатой дисперсности (Физико-химия ультрадисперсных систем. Под ред. И.В. Тананаева. Наука. Москва, 1987 г.), а также



оригинальные исследования акад. И.И. Моисеева и М.Н. Варгафтика по созданию так называемых «гигантских кластеров» палладия, ядро которых насчитывает около 600 атомов металла.

Систематическое изучение частиц малых размеров началось с развития коллоидной химии и в этой связи следует упомянуть знаменитую книгу Вольфганга Оствальда «Мир обойденных величин», написанную им в окопах Первой мировой войны. Именно коллоидные системы («золи», «коллоидные растворы», «прямые и обращенные мицеллы», «жидкие кристаллы», «адсорбционные слои», «пленки Лэнгмюра-Блоджетт», «мини- и микроэмульсии») можно назвать прямыми предшественниками наносистем. Формирование коллоидных систем обычно происходит в результате нековалентных (лиофильных/лиофобных, Ван-дер-Ваальсовых, электростатических) взаимодействий молекул между собой, причем характеристический размер элементов коллоидных систем находится в интервале от 1 до 1000 нм. Например, золи содержат частицы размером 1-100 нм, равномерно распределенные в какой-либо среде (вода, масло, воздух или другой газ). Наиболее часто встречаются коллоидные системы, формируемые в результате лиофильных/лиофобных (или гидрофильных/гидрофобных) взаимодействий. В этом случае молекулы, формирующие нанообъект, должны являться «амфифильными», то есть иметь неполярный «хвост», растворимый в неполярных растворителях, или гидрофобный «хвост», и полярную «головку», обладающую гидрофильными свойствами. В воде гидрофобные части таких молекул стремятся объединиться, формируя неполярный «островок» (часто сферической формы) в полярном растворителе. Самыми яркими амфифильными свойствами обладают молекулы и ионы «поверхностно-активных веществ» (ПАВ). Примером ПАВ может служить додецилсульфат натрия $C_{12}H_{25}SO_4Na^+$ – один из наиболее распространенных компонентов моющих средств.

Именно на этом принципе построены природные «нанореакторы» и «наноконтейнеры»: нековалентно связанные молекулярные системы ограничивают реакционную зону, а встраиваемые в стенки реактора органические мембраны служат для регулировки потока веществ. Так происходит биоминерализация, транспорт и хранение биологически активных компонентов в живых организмах. Однако биологические нанореакторы и процессы, происходящие в них, оказываются слишком сложны для непосредственной репликации в технологии. Синтез наноструктур в пространственно-ограниченных коллоидных системах является наиболее распространенным способом получения наноразмерных систем.

По целому ряду известных всем причин активность российских ученых в области нанотехнологий и наноматериалов, равно как и в других научных направлениях значительно

сократилась в последнее десятилетие прошлого века. Парадокс заключается в том, что именно в этот период за рубежом, в первую очередь в США и в Японии, были сделаны важные открытия, включая создание объемных фотонных кристаллов с запрещенной оптической зоной (Яблонович, 1991 г.), синтез углеродных нанотрубок (Ижима, 1991 г.), а в дальнейшем и нанотрубок BN (Чопра, 1995 г.), MoS_2 и WS_2 (Тенне, 1995 г.), V_2O_5 (Ажайян, 1995 г.), TiO_2 (Хойер, 1996 г.). В этот же период были предприняты попытки создания молекулярных переключателей и измерения электропроводимости отдельных молекул, продемонстрирован полевой транзистор на углеродной нанотрубке, продолжены исследования по самосборке молекул на металлической поверхности.

Почти одновременно группа экспертов Национального Научного фонда (NSF) США сделала заключение о безусловной приоритетности исследований в области нанотехнологий и наноматериалов, а в 2000 г. в США была принята долгосрочная комплексная программа, названная Национальной нанотехнологической инициативой. В соответствии с этой программой объем бюджетного финансирования нанотехнологических исследований в США уже в 2001 г. составил 420 млн. долларов, в 2004 г. вырос до 900 млн. долларов, а в дальнейшем вышел на стационарный уровень, немногим превышавший 1 млрд. долларов/год. В Японии и в странах Европейского Союза государственная поддержка нанотехнологических исследований немногим уступала США. Вместе с тем значительно возросла активность частного капитала. В 2002 г. число венчурных компаний, занимавшихся производством нанопродуктов, достигло в мире 320, причем среди них преобладали компании, специализировавшиеся на производстве нанопорошков, нанотрубок, нанопористых материалов, фуллеренов, квантовых точек, нановолокон, нанокапсул, нанопроволок и дендримеров. Производство нанопорошков оказалось довольно масштабным и было связано с изготовлением катализаторов дожигания выхлопных газов автомобилей (11.5 тыс. тонн), абразивов (9.4 тыс. тонн), материалов для магнитной записи (3.1 тыс. тонн) и солнцезащитных материалов (1.5 тыс. тонн). Согласно прогнозам, рынок нанопорошков, оцениваемый сейчас в 1 млрд. долларов, должен к 2010 г. возрасти до 11 млрд. долларов, тогда как мировой рынок нанотехнологий в целом к этому времени предположительно должен превысить 1 триллион долларов США.

Акт об исследованиях и развитии нанотехнологий в XXI веке, подписанный президентом Бушем в 2003 г, предполагает фронтальное решение проблем нанотехнологии как в фундаментальном, так и в прикладном направлениях с выделением свыше тысячи направлений поиска, объединенных вокруг



наноэлектроники, нанобиотехнологии, молекулярной электроники, наноэлектромеханики, наноэнергетики, оптоэлектроники, создания новых поколений функциональных и конструкционных наноматериалов, наноматериалов для медицины, машиностроения и робототехники, компьютерных технологий, экологии, авионавтики, систем безопасности и борьбы с терроризмом. Созданная в США инфраструктура включает ведущие университеты, национальные лаборатории и производственные структуры, функционирующие в составе венчурных компаний. Число производимых в США с помощью нанотехнологий, уже сейчас превысило 3 тысячи, а более половины патентодержателей составляют американские компании, университеты или частные лица. Даже Японии оказалось довольно трудно конкурировать с США и ей пришлось ограничить активность в области нанотехнологий более узким кругом решаемых задач. По числу нанотехнологических публикаций в международных журналах лидируют 6 стран, три из которых, представляющие запад (США, Германия, Франция), несколько опережают восток (Япония, Южная Корея, Китай), причем на второе место уже в 2004 г., безусловно, вышел Китай, увеличивший за десятилетие число нанотехнологических публикаций более, чем в 20 раз и лишь немногим (на 25 %) уступивший США. Вместе с тем по числу полученных патентов Китай намного уступает другим странам, находясь пока лишь на 20 месте.

Ну а что же Россия? Научному сообществу нашей страны сильно не повезло. Прежде всего потому, что оно в целом потеряло для интенсивной творческой активности почти целое десятилетие, последовавшее после распада СССР и мучительных поисков путей элементарного физического выживания. Разумеется, что это касалось не только развития нанотехнологий, но, прежде всего именно их, поскольку визуализация и контролируемое создание нанопродуктов требовало крайне дорогостоящего оборудования, которым наши исследователи в большинстве своем не располагали, а многие не располагают и сейчас. Исключение составляли лишь те, кто сотрудничал с зарубежными коллегами, имевшими такое оборудование. В этой связи заслуживает одобрения инициатива РФФИ (Российского Фонда Фундаментальных Исследований, www.rffi.ru) по поддержке международных грантов, позволяющих эффективно использовать уникальное диагностическое оборудование научных центров ФРГ, Франции, Италии, Бельгии, Голландии, Японии, а в последнее время и США. Достаточно вспомнить, что 10 лет назад в Москве не было ни одного функционирующего сквид-магнетометра, а молодым сотрудникам Московского университета пришлось (да и по сей день приходится) проводить исследования синтезированных ими магнитных нанокompозитов в Иене (ФРГ).

Тем более удивительно, что и в трудные 90-е годы фундаментальные исследования, вносящие несомненный вклад в развитие нанотехнологий, не прекращались в России. Достаточно назвать научные группы, которые возглавляли М.В. Алфимов, Р.А. Андриевский, В.В. Болдырев, А.Л. Бучаченко, Р.З. Валиев, С.П. Губин, Б.В. Дерягин, А.Л. Ивановский, Ю.А. Котов, И.В. Мелихов, И.И. Минкин, А.Д. Помогайло, А.И. Русанов, И.П. Суздальев, Ю.В. Цветков, А.Ю. Цивадзе и многие другие. В 1996 г. по инициативе М.А. Ананяна был организован институт нанотехнологий, а в 2001 г. – концерн «Наноиндустрия». Созданные В.А. Быковым с сотрудниками сканирующие зондовые микроскопы получили международное признание и оказались востребованными научным сообществом многих зарубежных стран.

Справедливости ради надо сказать, что после 2000 г. отечественные исследования в области нанотехнологий и наноматериалов заметно оживились. Этому способствовал ряд причин, среди которых немаловажным было плодотворное обсуждение этой проблемы в 2002 г. на заседании Президиума РАН, которому предшествовал постановочный научный доклад чл.-корр. И.В. Мелихова «Физико-химия наносистем – успехи и проблемы». В 2002 г. был создан Научный Совет по наноматериалам при Президиуме РАН, а в программе фундаментальных исследований РАН выделено (правда, довольно ограниченное) финансирование работ по разделу «Фундаментальные проблемы физикохимии наноматериалов». Примерно в это же время началось финансирование инициативных проектов РФФИ по нанотехнологиям и наноматериалам, а также по отраслевым программам Минобороны, Минатома (Росатома), Роскосмоса, Минпромэнерго, что по приближенным оценкам в сумме составляло 20-25 млн. долларов/год и в 30 - 40 раз уступало размерам государственной поддержки нанотехнологий в США. Тем не менее, некоторые академические, вузовские и отраслевые лаборатории были быстро переориентированы на исследования в области нанотехнологий и наноматериалов, хотя большинство из них по-прежнему не располагало и до сих пор не располагает необходимым современным оборудованием. Достаточно сказать, что электронный микроскоп высокого разрешения HREM TECHNAI стоит около 4 млн. долларов, а чистая комната достаточно высокого класса – и того больше. Ситуация несколько улучшилась, когда в соответствии с постановлением Правительства № 540 от 12.10.2004 г. в федеральную целевую научно-техническую программу (ФЦНТП) «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники на 2002-2006 годы» были внесены существенные изменения, а в перечне приоритетов появилось направление «Индустрия наносистем и материалы», на поддержку которого было



предусмотрено выделить из средств федерального бюджета в 2005 г. 2 млрд. рублей (около 70 млн. долларов), а в 2006 г. – 2.12 млрд. рублей (около 80 млн. долларов, с учетом изменения курса доллара). Рабочая группа экспертов, возглавляемая академиком М.В. Алфимовым, определила следующие приоритеты:

1. Углеродные наноматериалы.
2. Новые материалы и технологии для наноэлектроники, оптоэлектроники и спинтроники.
3. Органические и гибридные наноматериалы.
4. Полимеры и эластомеры.
5. Кристаллические материалы со специальными свойствами.
6. Мехатроника и микросистемная техника.
7. Композиционные и керамические материалы.
8. Мембраны и каталитические системы.
9. Биосовместимые материалы.
10. Нанодиагностика и зондовые методы.

Очевидно, что направление «Индустрия наносистем и материалы» объединяет две не вполне совместимые составляющие, из которых вторая включает многотоннажные продукты, такие как полимеры и эластомеры, композиты и керамику, кристаллические материалы на основе металлов и сплавов, а в определенной мере также мембраны и каталитические системы. Их технология помимо всего прочего базируется на использовании подходов макрокинетики, гидродинамики, тепло- и массопереноса, которые, как правило, не являются определяющими в процессе формирования наноматериалов. Следовательно, указанное выше финансирование лишь частично относится к нанотехнологиям. Другая особенность, нередко вызывающая непонимание и недовольство научного сообщества, состоит в том, что оно воспринимает возможность получить финансовую поддержку в рамках ФЦНТП как конкурс на получение гранта, тогда как в действительности необходимо работать в рамках закона о госзакупках и скрупулезно выполнять требования заключенного контракта. Другое дело, насколько именно научные эксперты, а не чиновники определяют формулировку выставленных на торги лотов, которая нередко вызывает недоумение и даже подозрение в том, что она (эта формулировка) предопределяет победителя конкурса. Несомненный оптимизм вызывает то обстоятельство, что правительство Российской Федерации 6 июля 2006 г. утвердило концепцию ФЦНТП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы», установив объем финансирования за счет федерального бюджета в объеме 134 млрд. рублей (примерно 5 млрд. долларов). Есть основания полагать, что в рамках этой суммы значительно возрастает господдержка приоритетного направления «Индустрия наносистем и материалы».

Напрашивается вопрос, насколько реально в России создание самостоятельной федеральной программы по нанотехнологиям и наноматериалам. Потребность в существовании такой программы была осознана научным сообществом давно, особенно после старта в США упомянутой выше «Национальной нанотехнологической инициативы». Но время шло, примеру США последовало около 50 стран, но среди них по-прежнему отсутствовала Россия. Многочисленные совещания и круглые столы, в том числе слушания в Госдуме и Совете Федерации однозначно высказывались в пользу открытия национальной нанотехнологической программы, но, как сказал один уважаемый физик: «Чтобы дожидаться открытия Нанопрограммы в России, надо быть бессмертным». Справедливости ради следует отметить, что Минобрнаукой с участием представителей заинтересованных ведомств в 2005 г. была разработана концепция развития нанотехнологий в России, далее была подготовлена рамочная «Программа развития в РФ работ в области нанотехнологий и наноматериалов до 2015 года (национальная технологическая инициатива по развитию наноиндустрии)» и, наконец, составлен проект Федеральной целевой программы «Развитие исследовательской и технологической инфраструктуры для наноиндустрии РФ на 2007-2009 годы». Реализация последней программы, по нашему мнению, была бы наиболее важным шагом, способным в достаточно короткий срок вооружить наше нанотехнологическое сообщество совершенно необходимым, но отсутствующим сейчас современным научным и технологическим оборудованием. Мы и так потеряли целое десятилетие и только чудо может спасти то, что кажется безвозвратно утерянным.

Такие чудеса случались в прошлом и в России, и за рубежом. Всякий раз они были связаны с появлением нового поколения исследователей в результате национального образовательного прорыва. Достаточно вспомнить о знаменитом атомном проекте, успешная реализация которого, казалось, поставила США вне всякой конкуренции впереди остального мира. Однако потребовалось менее 10 лет, чтобы наша страна сумела успешно реализовать собственный атомный проект и стать могучей ядерной державой. Исключительно важный вклад в этот успех внесли выпускники МГУ и рожденного в его стенах по инициативе Нобелевского лауреата П.Л. Капицы и акад. С.А. Христиановича знаменитого Московского физтеха, впервые наиболее удачно соединившего фундаментальную и инженерную подготовку специалистов.

Другой пример образовательного прорыва связан с космическим проектом. 12 апреля 1961 г., когда Ю. Гагарин первым побывал в космосе, стал днем поражения США, затративших колоссальные средства на реализацию альтернативной программы «Аполлон». И если 8 с небольшим лет спустя Нейл



Армстронг первым ступил на поверхность Луны, то в этом огромную роль сыграло решение бывшего в 1961 г. президентом США Джона Кеннеди кардинально перестроить подготовку специалистов-материаловедов в крупнейших американских университетах. Успешная реализация нанотехнологического проекта невозможна ни в одной стране, если ей не удастся подготовить или привлечь со стороны специалистов, хорошо владеющих одновременно фундаментальными знаниями в области математики, физики, химии, механики, биологии. Лишь междисциплинарные образовательные программы способны обеспечить нанотехнологический прорыв.

Созданный в МГУ 16 лет назад Факультет Наук о Материалах может служить своеобразной моделью междисциплинарного естественно-научного образования, обеспечившего многоуровневую подготовку материаловедов-исследователей, включая бакалавров, специалистов и магистров в направлении «Химия, физика и механика материалов», кандидатов и докторов наук по специальностям «Химия твердого тела» и «Физика конденсированного состояния». В 2003 г. Министерством образования РФ в порядке эксперимента в технических университетах было открыто образовательное направление «Нанотехнология» с введением двух специальностей: «Наноэлектроника» и «Наноматериалы». В настоящее время подготовка по этим специальностям проводится в таких вузах, как РХТУ им. Д.И. Менделеева, МВТУ им. Баумана, Санкт-Петербургский государственный технологический университет, Санкт-Петербургский политехнический университет и другие. Специальные образовательные программы по нанотехнологии разработаны и реализуются в ряде европейских стран, включая Германию, Данию, Швецию и Швейцарию. Вместе с тем ведущие американские университеты считают целесообразным осуществлять подготовку специалистов по нанотехнологиям в рамках образовательных программ по фундаментальному материаловедению. В тесной связи с такой идеологией находится выраженное профессором Гарвардского университета Д. Вайтсайдом и полностью разделяемое авторами представление о том, что при создании материалов с разнообразными свойствами наноразмерные особенности структуры не всегда являются определяющим фактором. Для большинства материалов, особенно объемных, целесообразно рассматривать различные уровни структуры от нанометровых до миллиметровых и понимать, что они тесно взаимосвязаны. В некоторых случаях определяющими являются фрагменты не нано-, а микрометровых размеров (например, фотонные кристаллы или клетки млекопитающих) и поэтому в общем случае следует стремиться к созданию материалов с оптимальным размером фрагментов

их структуры, определяющим функциональные или конструкционные свойства.

Итак, если мы сумеем сохранить то лучшее, что было заложено в отечественной системе университетского образования (прежде всего, его фундаментальность) и пополним последнее междисциплинарностью и способностью владеть современным синтетическим и диагностическим инструментарием, то появится надежда на возможность преодоления нашей страной нанотехнологического отставания.

Однако нельзя сбрасывать со счета, что нанотехнология в отличие от обычных традиционных технологий, отличается повышенной «наукоемкостью» и затратностью. В ней резко снижена вероятность решения задач методом «проб и ошибок», который традиционно используется в прикладных разработках. Поэтому путь от лабораторных исследований к nanoиндустрии несомненно более сложен, чем при промышленном создании обычных продуктов. Если же учесть, что в России не удалось сохранить даже традиционные промышленные производства в тех объемах, которые существовали 15-20 лет назад, то ускоренное развитие nanoиндустрии в нашей стране может показаться утопией. Вряд ли на активность бизнес-сообщества может повлиять позиция главы правительства М. Фрадкова, породившего очередной незабываемый афоризм: «Если бизнес не пойдет в нанотехнологии, он пропустит все на свете и будет в лучшем случае в телогрейке работать на скважине, которой будут управлять и обслуживать наши зарубежные друзья и партнеры». Есть серьезные основания сомневаться в том, что до тех пор, пока экстраприбыли будут обеспечиваться в нашей стране за счет нефтяного, газового и строительного бизнеса, кто-то предпочтет инвестировать значительные средства в развитие инновационных производств типа nanoиндустрии.

В этом смысле ситуация за рубежом кажется несомненно более благоприятной. Уже сейчас в США, Японии и Южной Корее частный бизнес инвестирует наноразработки в объеме, не уступающем бюджетной поддержке, причем за 5 лет – с 1999 по 2004 г. размеры частных инвестиций в nanoиндустрию выросли в 10 раз. Быть может, одобренное Правительством РФ 10.08.2006 г. создание венчурных компаний на основе государственно-частного партнерства станет шагом вперед в развитии nanoиндустрии. Пока же авторам известен только один случай поддержки нанотехнологий со стороны отечественных коммерческих структур. Коммерческий банк «Юниаструм-Банк» спонсировал проведение Всероссийских конкурсов молодежных проектов в области нанотехнологий и издание научно-популярной книги М. Рыбалкиной «Нанотехнология для всех». И хотя в этой книге специалист найдет немало проколов и промахов, она, несомненно, окажет и уже оказала



положительное влияние на формирование общественного мнения о нанотехнологиях, особенно среди поколения молодых. Организованное молодыми же аналитическое агентство Nanotechnology News Network предлагает через открытые им сайты новейшую информацию по нанотехнологиям для российских (www.nanonewsnet.ru) и зарубежных (www.nanonewsnet.com) читателей. На факультете наук о материалах МГУ им. М.В.Ломоносова создан нанотехнологический портал www.nanonewsnet.ru и ежемесячно издается одноименный информационный бюллетень «Нанометр» (www.fnm.msu.ru). В известной же широком академическим кругам электронной газете Перст (Перспективные технологии) уже давно публикуются нанотехнологические эссе, которые составляются российскими специалистами в области нанотехнологий.

Российский опыт преодоления барьеров на пути от нанонауки к промышленному созданию и коммерческому сбыту нанопродуктов пока невелик. Одним из немногих примеров такой деятельности является концерн «Наноиндустрия», организовавший производство наноразмерных порошков на основе серпентитов – так называемых ремонтно-восстановительных составов (РВС), предназначенных для ремонта и восстановления до первоначальных параметров изношенных узлов и механизмов, работающих в режиме трения (двигатели внутреннего сгорания, металлорежущие станки, топливные насосы, турбокомпрессоры, все виды горношахтного и металлургического оборудования). Созданный по РВС-технологии модифицированный высокоуглеродный защитный слой на поверхности трения при эксплуатации приводит к снижению потребления энергии, показателей вибрации и шума, а у двигателей – также содержания СО и сажи в выхлопных газах. Другим коммерческим продуктом деятельности концерна являются коллоидные растворы наночастиц серебра, обладающие высокой антибактериальной активностью и придающие биоцидные свойства краскам, лакам, пастам, моющим и дезинфицирующим средствам. М.А. Ананян был также инициатором создания журнала «Нанотехника», ставшего, по-видимому, первым российским периодическим изданием по нанотехнологии. Следующим таким изданием оказался международный журнал «Наноструктурное материаловедение», издаваемое в Украине и печатающий материалы на русском или английском языках. Наконец, с конца 2006 года начал издаваться журнал «Российские нанотехнологии» (гл. редактор акад. М.В. Алфимов), запущен и «Российский электронный наножурнал». В последних двух журналах в роли учредителя выступает «Федеральное агентство по науке и инновациям».

Среди проблем, связанных с развитием нанотехнологий, реализуемая в США программа

«Национальная нанотехнологическая инициатива» считает приоритетным анализ социальных и экономических последствий так называемой нанотехнологической революции. Речь идет о доступе к благам, которые возникают в результате развития nanoиндустрии, ее позитивном влиянии на рынок труда и на прогресс медицины, а также о возможных негативных последствиях накопления нанопродуктов на здоровье человека и на окружающую его среду. Позитивные аспекты развития нанотехнологии уже сейчас широко рекламируются в печати и на телевидении. Для 120 млн. человек, ежегодно посещающих научные музеи США, в качестве пиар-акции предлагается экспозиция, посвященная развитию нанотехнологии. Передвижную выставку «Это – наномир» в 2004 г. увидели почти 800 тысяч посетителей, среди которых доминировали 8-13 летние дети. Разнообразные направления развития наномедицины включают биосенсорную нанодиагностику, наночастицы как средство доставки лекарств и новые формы лекарственных препаратов, создание нанороботов, наноинструментов и наноманипуляторов для медицинских целей и многое другое. Не меньшее внимание в США и в странах Европейского Союза уделяется изучению потенциального ущерба, который наноматериалы могут нанести здоровью человека и окружающей среде. Речь идет, прежде всего, о респираторных и легочных заболеваниях, включая рак легких. Любопытно, что в Белой книге, содержащей информацию об основных организациях, занимающихся нанотехнологиями в России и подготовленной под редакцией акад. В.Я. Шевченко по результатам всероссийского опроса ученых, инженеров и производителей в области нанотехнологий, среди многочисленных направлений наноисследований, проводимых в России, отсутствует даже упоминание о возможных рисках и негативных социальных последствиях развития нанотехнологий и применения наноматериалов.

Есть ли у нас основания испытывать чувство удовлетворения нынешними темпами и состоянием нанотехнологических разработок в России? Как уже отмечалось ранее, после 2000 г. отечественные исследования в области нанотехнологий заметно оживились, но все познается в сравнении. Напомним написанную известным ученым и некогда любимую детскую сказку «Алиса в стране чудес», персонажам которой, чтобы оставаться на месте, надо было быстро-быстро бежать, а чтобы продвигаться вперед – бежать еще быстрее. Боимся, что по причинам, изложенным выше, нам этого сделать пока не удалось. Достаточно сказать, что информационный вклад российских ученых в мировую нанотехнологическую науку за последние 5-6 лет заметно снизился и составляет сейчас 1.5 % против 6 % в 2000 г. Еще в большей степени это касается числа международных патентов, полученных россиянами и особенно лицензионных



выплат, которые в пересчете на 1 млн. жителей оказались в 100 раз меньше, чем в США. О скромности российского нанотехнологического вклада свидетельствует и наше участие в международных встречах-конференциях и конгрессах по нанотехнологии. Приведу в качестве примера Девятую Международную конференцию по нанонауке и технологии (9th International Conference on Nanoscience and Technology), проходившую с 30.07 по 5.08.2006 г. в Базеле (Швейцария). В этой конференции участвовало свыше 5 тыс. человек, включая четырех Нобелевских лауреатов. Из 600 с лишним устных докладов (а помимо них было еще 900 постеров), представленных на конференции учеными 30 стран, лишь 40 докладов имели российских соавторов, но и они в большинстве случаев представляли не российские, а зарубежные организации (феномен «утечки умов»). Лишь в 9 докладах в качестве соавторов фигурировали ученые, представлявшие российские университеты и академические институты и лишь один доклад из 600 был сделан учеными РФ без иностранного участия (его авторы – сотрудники Института физики полупроводников из Новосибирска и Института микроэлектроники и информатики из Ярославля). Извечный сакраментальный для российского менталитета, во всяком случае, со времен Н.Г. Чернышевского вопрос «Что делать?» заставляет авторов предложить перечень первоочередных действий, которые надо совершить, чтобы заметно продвинуться вперед:

1. Осуществить отбор приоритетных направлений нанотехнологических разработок с учетом перспектив их дальнейшей коммерциализации, конкурентоспособности и востребованности, в первую очередь на внутреннем рынке, а также учитывая невозможность осуществления фронтального подхода, ориентированного на одновременное решение всех проблем нанотехнологии (как это делается в США).

2. В кратчайший срок оснастить отечественных исследователей новейшим (как правило, импортным) оборудованием, необходимым для синтеза и диагностики нанопродуктов, реализовав проект федеральной целевой программы «Развитие исследовательской и технологической инфраструктуры для наноиндустрии Российской Федерации» и предусмотренное в этом проекте создание национальной нанотехнологической сети, включая национальную лабораторию, научно-исследовательские центры и центры коллективного пользования современным оборудованием.

3. Создать целостную образовательную систему подготовки нового поколения исследователей, материаловедов и технологов, обладающих междисциплинарными фундаментальными знаниями и владеющих новейшим синтетическим и диагностическим оборудованием, используемым в нанотехнологиях

(по приближенным оценкам, в ближайшее десятилетие миру потребуется не менее 2-3 млн. специалистов, а, следовательно, по самым скромным масштабам в России их должно быть не менее 40 - 50 тысяч).

4. Организовать независимую сертификационную службу для выработки стандартов, метрологии и сертификации, способную объективно оценивать качество нанопродуктов.

5. Создать и реализовать целостную систему подготовки всего российского общества к переменам, связанным с фронтальным развитием нанотехнологий и использованием нанопродуктов, включая соответствующие школьные курсы, музейные экспозиции, выпуск научно-популярной литературы, телевизионные передачи, фестивали науки и прочее.

6. Разработать систему мер, обеспечивающих развитие нанобизнеса, в том числе устранение таможенных сборов на импорт нанотехнологического оборудования и введение льгот для потребителей и производителей нанопродукции.

Разумеется, что мы и сейчас не стоим на месте. В конце мая 2006 года РАН впервые пополнила свои ряды новыми членами, избранными по специальности «наноматериалы и нанотехнологии» в результате серьезного конкурсного отбора с ограничением возраста. В конце июня принято решение об учреждении Российской Ассоциации Наноиндустрии. В июле вышел первый номер информационного бюллетеня «Нанометр», издаваемого в МГУ. В июле вышел первый номер информационного бюллетеня «Нанометр», издаваемого в МГУ. В августе проведен очередной конкурс проектов в рамках приоритетного направления «Индустрия наносистем и материалы». Распоряжением Правительства РФ от 25 августа с.г. была утверждена программа координации работ в области нанотехнологий и наноматериалов в Российской Федерации, которая, к сожалению, даже теоретически не может получить поддержку из федерального бюджета ранее 2008 г. Как тут не вспомнить когда-то популярный роман-хронику В. Катаева «Время, вперед», название которого как никакое другое, выражает пафос нанотехнологической эпохи.