Akceptuję
W ramach naszej witryny stosujemy pliki cookies w celu świadczenia państwu usług na najwyższym poziomie, w tym w sposób dostosowany do indywidualnych potrzeb. Korzystanie z witryny bez zmiany ustawień dotyczących cookies oznacza, że będą one zamieszczone w Państwa urządzeniu końcowym. Możecie Państwo dokonać w każdym czasie zmiany ustawień dotyczących cookies. Więcej szczegółów w naszej Polityce Prywatności

Jakie są perspektywy rozwoju nanotechnologii?



Niektórzy twierdzą, że wszystko zaczęło się od Richarda Feynmana, sławnego amerykańskiego fizyka, laureata Nagrody Nobla w 1965 roku. Feynman był fascynującą osobowością, pozostawił po sobie nie tylko znaczący wkład w rozwój fizyki teoretycznej, ale także oryginalne wykłady z fizyki ogólnej1 oraz mnóstwo anegdot ze swojego barwnego życia2. Pod koniec 1959 roku na dorocznym zjeździe jednego z oddziałów Amerykańskiego Towarzystwa Fizycznego na terenie Caltechu (Kalifornijskiego Instytutu Technologicznego) Feynman wygłosił poobiedni wykład, w którym zastanawiał się nad granicami miniaturyzacji urządzeń i zagęszczenia zapisu informacji, nad możliwościami "syntezy fizycznej" - budowania materiału poprzez precyzyjną kontrolę położeń atomów i umieszczania ich tam, gdzie powinny się znajdować w zaprojektowanej cząsteczce czy nawet miniaturowym mechanizmie. W tym wykładzie można znaleźć następujący, dziś często cytowany, fragment:

Na poziomie molekularnym mamy nowe rodzaje sił, nowe możliwości, nowego rodzaju efekty. Problemy wytwarzania i replikacji materiałów będą tam zupełnie inne. Jak już wspomniałem, inspiracją są dla mnie procesy biologiczne, w których siły chemiczne wykorzystywane są w powtarzalny sposób do wytwarzania różnych dziwnych efektów (jednym z nich jest autor tego wystąpienia!).

Zasady fizyki na tyle, na ile zdolny jestem dostrzec, nie każą nam odrzucać możliwości wytwarzania obiektów poprzez manipulowanie pojedynczymi atomami. Nie wiąże się z tym próba podważenia jakichkolwiek praw fizycznych: jest to coś, co w zasadzie można zrobić, a co w praktyce nie zostało zrobione, dlatego że jesteśmy zbyt duzi.

W końcu dokonuje się przecież syntez chemicznych. Chemik przychodzi do nas i mówi: Popatrz, potrzebna mi cząsteczka, która ma atomy ułożone w taki sposób. Zrób mi taką cząsteczkę. Chemik dla uzyskania takiej cząsteczki robi różne tajemnicze rzeczy. Potrzebna mu pierścieniowa konfiguracja atomów, miesza więc coś z czym innym, potrząsa, poddaje różnym oddziaływaniom i na końcu trudnego procesu udaje mu się zsyntetyzować to, czego pragnął. Zanim moje urządze-nia zaczną działać, tak abym mógł do- konać syntezy fizycznej, on już pewnie znajdzie sposoby na zsyntetyzowanie absolutnie wszystkiego i moje urządzenia będą właściwie bezużyteczne.

Tym niemniej jest niewątpliwie czymś interesującym, że w zasadzie (jak sądzę) fizyk mógłby zsyntetyzować dowolną substancję, jakiej zażyczy sobie chemik. Złóż zamówienie, a fizyk je wykona. Jak? Rozmieść atomy tak, jak chemik sobie życzy i już to zrobiłeś. Gdybyśmy się nauczyli widzieć, co robimy, i wykonywać czynności na poziomie atomowym, mogłoby to rozwiązać wiele problemów chemii i biologii - rozwój w tym kierunku wydaje mi się nieunikniony (tłum. J.A.K.).

Wykład przyjęto z mieszanymi uczuciami. Feynman był znany z poczucia humoru, część słuchaczy przypuszczała, że sławny fizyk po prostu z nich za- kpił. Wykład opublikowano w mało znanym, lokalnym piśmie i został przypomniany dopiero po prawie dwudziestu latach, gdy na MIT (Massachusetts Institute of Technology), jednej z najlepszych amerykańskich uczelni technicznych, pojawił się Eric Drexler poszukujący tematu do pracy doktorskiej. Zajmując się początkowo zagadnieniami wykorzystania "wiatru słonecznego" w podróżach kosmicznych i możliwościami wytwarzania materiałów w warunkach pozaziemskich, dostrzegł w pewnym momencie perspektywy, jakie otwiera przed ludzkością możliwość syntezy fizycznej - "mechanosyntezy" - czy też, jak to później określił - molekularnej nanotechnologii. Zainteresował tym tematem prof. Marvina Mirsky'ego i napisał, z talentem i pasją, książkę adresowaną do szerokiej publiczności, o nieco prowokacyjnym tytule Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology.

Książka okazała się sukcesem na rynku wydawniczym, Drexler stał się znaną postacią, ale odezwali się też liczni krytycy wytykający mu nie tylko błędy i niezbyt precyzyjne sformułowania, ale kwestionujący (zresztą bez przekonującej argumentacji) niektóre z jego przewidywań. Następne kilka lat Drexler poświęcił więc szczegółowym studiom nad problemami, które wzbudziły najwięcej kontrowersji. Powstała w ten sposób druga książka, tym razem adresowana do ludzi z wykształceniem technicznym, wydana w 1992 roku pod tytułem Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing and Computation. Materiał zawarty w niej stał się podstawą uzyskania przez Drexlera doktoratu na MIT. Promotorem był Marvin Mirsky, który tak o tym napisał: Jednym z przywilejów bycia profesorem na MIT jest to, że można tam spotkać najlepszych nauczycieli, takich jak Eric Drexler. Nazywa się ich "studentami", ale jeśli uważnie się ich słucha, to nie tylko można się od nich wiele nauczyć, ale zyskać trochę uznania za ich pracę. Rzeczywiście podpisałem jego rozprawę doktorską na temat nanoukładów, ale gdybym to ja próbował podobną rozprawę napisać, on by jej pewnie nie podpisał.

PERSPEKTYWY RADYKALNEJ ZMIANY TECHNOLOGII

Gdy przyjrzeć się sposobom wytwarzania narzędzi, a później maszyn i urządzeń, jakie ludzie stosowali, począwszy od naszych przodków z epoki kamienia łupanego, a kończąc na współczesnych inżynierach pracujących w najnowocześniejszych przedsiębiorstwach przemysłu elektronicznego, to łatwo można zauważyć jedną dominującą linię rozwoju technologii. Polegała ona na wydobyciu (najpierw może raczej znalezieniu) surowca, oczyszczeniu go, wytworzeniu materiału o poszukiwanych właściwościach i ukształtowaniu go w końcowy produkt - narzędzie, część bardziej złożonego mechanizmu itp.

Jedną z charakterystycznych tendencji było tu przechodzenie od większej skali do mniejszej, odrzucanie nadmiaru, olbrzymia materiałochłonność, której towarzyszyła równie wielka produkcja przemysłowych odpadów. Drugą tendencją wyraźnie zauważalną od ponad stu lat, odkąd ludzie zaczęli poznawać strukturę materiałów i prawa rządzące jej zmianami, było coraz dokładniejsze sterowanie przebiegiem procesów, w których olbrzymia liczba atomów w procesach metalurgicznych czy też jonów lub cząsteczek w procesach syntez chemicznych, oddziałujących ze sobą i podlegających statystycznym prawom termodynamiki, tworzyła pożądany materiał. Prawa statystyczne z natury rzeczy określają jedynie pewne wartości średnie, trzeba się więc liczyć z istnieniem odstępstw, takich choćby jak występowanie w strukturze wytwarzanych materiałów różno-
rodnych defektów, których badaniu i usuwaniu tyle wysiłku poświęca się dziś w technologiach materiałów elektronicznych, a świadomemu kreowaniu i stabilizacji - w technologiach materiałów konstrukcyjnych.

Czy idąc za na poły żartobliwą sugestią Feynmana, możemy sobie wyobrazić sytuację odwrotną: wyjście od małej skali, od kontrolowanej syntezy fizycznej, w której steruje się położeniem pojedynczych atomów, budowanie coraz bardziej złożonych molekularnych mechanizmów aż do skali makro, czyli wytwarzania maszyn i urządzeń, jakimi się posługujemy? Na to pytanie próbują odpowiedzieć Eric Drexler, Ralph Merkle i rosnąca grupa rozsianych po całym świecie ludzi, którzy stali się entuzjastami tak rozumianej nanotechnologii.

Trzeźwo myślący czytelnik odpowie sobie w tym miejscu sam na to pytanie, zadając inne: Na pewno można sobie wyobrazić taką radykalną zmianę technologii, ale jakie są możliwości jej realizacji?

CZY TO SIĘ DA ZROBIĆ?

Sceptyków najłatwiej dałoby się przekonać, budując pierwszy molekularny mechanizm ze składających się nań atomów. To jednak nikomu się jeszcze nie udało. Nikomu z ludzi, zrobiła to jednak Natura wraz z pojawieniem się życia. W procesie ewolucji wytworzyła szereg molekularnych mechanizmów, w tym również molekularne silniczki (patrz ramka obok), w których energia chemiczna napędza "wirnik" obracający się w "stojanie"; całość ma rozmiary rzędu nanometrów, a znaleźć je można w każdym mitochondrium - w jakimś sensie zawdzięczamy im więc nasze istnienie.

Życie jednak powstało w środowisku wodnym i nadal woda stanowi podstawę jego istnienia. Złożone mechanizmy replikacji genetycznej i syntez białkowych, prowadzące do utworzenia takiego właśnie silniczka w błonie mitochondrium, przebiegają w roztworze, z którego wychwytywane są potrzebne cząsteczki i syntetyzowane z nich większe makromolekularne struktury. Ten ciąg zaprogramowanych aktów syntezy zachodzi w chaotycznym środowisku wodnego roztworu i jest wynikiem delikatnej równowagi pomiędzy chaosem a porządkiem, będącej charakterystyczną cechą życia.

Nanotechnolodzy nie zamierzają naśladować natury, której potrzeba było miliardów lat na wynalezienie mechanizmów molekularnej syntezy. Nie chcą posługiwać się ani "miękkimi" strukturami białkowymi, ani wykorzystywać wodnego środowiska. Myślą raczej o znacznie sztywniejszych strukturach molekularnych również opartych na węglu, jak cząsteczki organiczne, ale wykorzystujących inny rodzaj wiązań pomiędzy atomami węgla, występujących np. w diamencie lub pojedynczej warstwie grafitowej (grafenie). Synteza zaś zachodziłaby raczej w próżni, a nie w środowisku wodnym lub gazowym.

Badanie układów biologicznych dostarcza jednak bezcennej lekcji. Przez ponad 3.5 mld lat życie na Ziemi było kształtowane przez prawa rządzące oddziaływaniem cząsteczek. Badając układy biologiczne na poziomie molekularnym, poznajemy te prawa, a składniki strukturalne wytworzone w procesie ewolucji są niewyczerpanym zbiornikiem elementów, które można zastosować, gotowe lub ulepszone, w maszynerii molekularnej projektowanej przez nanotechnologów.

Nic więc dziwnego, że nie tylko biotechnolodzy, ale także nanotechnolodzy tak wiele uwagi poświęcają inżynierii białek, w której bada się efekty modyfikacji struktur istniejących już białek lub nawet wytwarza białka nie istniejące w przyrodzie. Równie cenne są dla nanotechnologii badania przeciwciał, a także ich oddziaływania z antygenami uruchamiające układ odpornościowy organizmów. W miarę jak biochemia i biologia molekularna odkrywają przed nami coraz więcej szczegółów działania żywych organizmów, rośnie nasza wiedza i możliwości budowania struktur molekularnych dla określonych celów. Badanie żywych organizmów dostarcza niezwykle cennych informacji, ale trzeba zdawać sobie sprawę z ograniczeń procesu ewolucyjnego, w którym powstały.

Jak pisze jeden z badaczy, Richard Terra: Ewolucja nie zajmuje się poszukiwaniem prostszych lub bardziej eleganckich rozwiązań, zadawala się tym, co działa. Wiele możliwych struktur i funkcji nigdy nie zostało wypróbowanych, wiele materiałów nie wykorzystanych, na wiele cykli reakcji chemicznych przyroda nigdy nie "wpadła", tylko dlatego, że nigdy nie pojawiły się w żadnej żywej komórce.

Odkrycie fullerenów, piłkopodobnych węglowych struktur, za które Richard Smalley, Harold Kroto i Robert Curl dostali Nagrodę Nobla w 1996 roku w dziedzinie chemii, a następnie fullerenowych rurek węglowych, intensywnie dziś badanych w wielu laboratoriach na świecie, przyniosło wiele podstawowych informacji o wiązaniach pomiędzy atomami węgla. To z kolei umożliwiło prace w dziedzinie, którą można by było nazwać "inżynierią poszukiwawczą" (ang. exploratory engineering), w której modeluje się w komputerze wymyślone struktury molekularne, bada ich stabilność i określa właściwości ważne ze względu na ewentualne nanotechnologiczne zastosowania. W końcu jeśli można dziś w komputerze zaprojektować samolot Boeinga, to czemu by nie zaprojektować molekularnego łożyska?

Dzięki pracom Drexlera i jego studentów, a także innych badaczy, udało się odeprzeć większość zarzutów, jakie sceptycy wy-suwali wobec molekularnej nanotechnologii. Przypatrzono się prawom skalowania, czyli temu, jak zmieniają się niektóre właściwości struktur wraz z miniaturyzacją, określono margines błędów komputerowej symulacji konstrukcji molekularnych, zbadano problem niepewności położenia w strukturze molekularnej poddanej wzbudzeniom termicznym, oszacowano jej odporność na niszczący wpływ otoczenia i zajęto się skatalogowaniem molekularnych narzędzi, których można by użyć do kontrolowanej, fizycznej syntezy. W tym wszystkim, zgodnie z sugestią Feynmana, nie natrafiono na żadne podstawowe ograniczenia ze strony praw fizyki, które kazałyby umieścić nanotechnologię w dziedzinie science fiction.

Na początku lat osiemdziesiątych nanotechnolodzy uzyskali nieoczekiwaną pomoc. Jak mówił

Feynman: Gdybyśmy się nauczyli widzieć, co robimy, i wykonywać czynności na poziomie atomowym… Wynalazek skaningowego mikroskopu tunelowego (STM), za który Gerd Binning i Heinrich Röhrer dostali Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki w 1986 roku, umożliwił takie obserwacje. Mało tego, możliwe stało się celowe manipulowanie najpierw atomami, a potem i całymi cząsteczkami leżącymi na atomowo gładkiej powierzchni podłoża, układanie ich we wzory, które ograniczała jedynie fantazja i cierpliwość układających. Udowodniono więc, wbrew poglądom sceptyków, że przynajmniej w ograniczonym zakresie, jeśli skorzystać z pomocy STM, już dziś można składać wymyślone uprzednio struktury z pojedynczych atomów czy cząsteczek, a także modyfikować zaabsorbowane na podłożu makrocząsteczki.

Można więc myśleć o molekularnym "monterze" (Eric Drexler używa terminu assembler), który przypominałby sterowanego przez komputer robota przemysłowego, byłby jedynie prawie miliard razy od niego mniejszy i za pomocą zestawu molekularnych narzędzi wytwarzałby zaprogramowaną molekularną strukturę. Mógłby równie dobrze wytwarzać kopie siebie samego. Wiele takich miniaturowych układaczy pracujących równolegle wytwarzałoby nie tylko olbrzymią ilość elementów, ale składało z nich większe całości aż do struktur w naszej ludzkiej skali (w końcu piramida Cheopsa też jest znacznie większa od swych budowniczych!).

Niektórzy z krytyków nanotechnologii molekularnej w ujęciu Drexlera zwracają uwagę, że ta analogia z robotem przemysłowym jest tyleż kusząca, co zwodnicza. Główna trudność w realizacji wizji Drexlera może się kryć w sterowaniu działaniem takiego molekularnego układacza - układy sterujące robotów przemysłowych są zwykle od nich mniejsze, ale znacznie bardziej skomplikowane w sensie systemowym. Z kolei sterowanie sekwencjami syntez w żywej komórce zależy w bardzo złożony sposób od działania całego systemu komórkowego, jest więc w jakimś sensie nadrzędne w stosunku do enzymów bezpośrednio zaangażowanych w reakcjach chemicznych.

Na podobną trudność natrafili obecnie badacze zajmujący się wyrafinowanymi hodowlami tkankowymi, zamierzający hodować z komórek pacjenta całe organy do przeszczepu. Perspektywa taka jest kusząca z uwagi na brak reakcji odpornościowej, ale organ to nie tylko tkanka, to też swego rodzaju system i bez dogłębnego poznania mechanizmów sterowania rozwojem w fazie embrionalnej wyhodować się go najprawdopodobniej nie uda.

CO DALEJ?

Co przynieść może ludzkości taka radykalna zmiana technologicznego parady-gmatu, zamiana sposobu "od dużego do małego" na "od małego do dużego"? W skali globalnej można by się spodziewać pokonania problemów ograniczeń surowcowych (nanotechnologia bazuje na węglu, krzemie, azocie, borze i kilku jeszcze innych, raczej lekkich i łatwo dostępnych pierwiastkach), zahamowania tendencji do zanieczyszczania środowiska (nanotechnologia nie wytwarza odpadów), a nawet przyspieszenia odnawiania zniszczonych środowisk, zwiększenia wykorzystania odnawialnych źródeł energii (wykorzystanie energii słonecznej w przestrzeni pozaziemskiej, nanotechnologiczne wytwórnie w przestrzeni kosmicznej itp.).

Najbliższe realizacji wydają się jednak perspektywy nanotechnologii w miniaturyzacji komputerów i budowie miniaturowych sensorów mierzących różne wielkości fizyczne, lokalne stężenie różnych jonów itd. Stosowana dziś powszechnie w technologii obwodów scalonych litografia (dosłownie "pisanie na kamieniu", w tym przypadku na krzemie), mimo ciągłego postępu, ma swoje naturalne ograniczenia. Zbudowanie komputerów przyszłości wymaga stworzenia układów, w których rozmiar czynnych elementów (bramek logicznych) będzie musiał być rzędu nanometrów, a to oznacza zmniejszenie dzisiejszej skali co najmniej tysiąckrotnie. Nie da się tego najprawdopodobniej osiągnąć, ekstrapolując dzisiejsze technologie, konieczna jest radykalna zmiana. Nanotechnologia jest tu

naturalną alternatywą, tym bardziej iż aktualnie prowadzone badania fullerenowych rurek o średnicy rzędu nanometra wskazują na to, że są to struktury o bardzo dużej wytrzymałości mechanicznej, o przewodności elektrycznej lepszej od miedzi, mogące poprzez dodanie innych atomów radykalnie zmieniać swoje własności - aż do pojawienia się efektów nadprzewodnictwa włącznie.

Perspektywy zastosowania produktów nanotechnologii w medycynie wydają się już obecnie fantastyczne. Zwróćmy uwagę, czym jest dziś leczenie chorób. To leczenie farmakologiczne, polegające na dostarczaniu do organizmu pacjenta leku (substancji chemicznej, nierzadko trucizny w odpowiednio małym stężeniu), który bądź niszczy chorobotwórczy mikroorganizm, hamuje jego rozwój, bądź też uzupełnia funkcje biochemiczne organizmu tam, gdzie wskutek czynników zewnętrznych lub wad genetycznych zostały zaburzone. Przy okazji taka substancja chemiczna wywiera szereg skutków ubocznych, z których istnieniem, mimo ciągłego postępu w chemii leków, trzeba się liczyć. Może też być to leczenie chirurgiczne, w którym nadal, mimo ciągłego postępu w chirurgii, dokonuje się brutalnej makroingerencji w organizm, wycinając z niego chorą tkankę, wszczepiając element zastępczy, ewentualnie dokonując całkowitej amputacji.

Produkty nanotechnologii mogą to zmienić. Wstrzyknięte do organizmu pacjenta molekularne mechanizmy spełniałyby rolę lokalnego diagnosty mogącego dotrzeć bezinwazyjnie do chorej tkanki, dokonać na miejscu niezbędnych specjalistycznych analiz, zakomunikować wynik lekarzowi i zostać wydalone z organizmu. Mogłyby również pełnić rolę posłańca dostarczającego wybrany lek tylko tam gdzie trzeba, a więc bez skutków ubocznych, czy też rolę nanochirurga niszczącego wybiórczo chorobo-twórczy, obcy mikroorganizm bądź usuwającego w wybranym miejscu komórki wykazujące zmiany nowotworowe albo inne odbiegające od normy cechy.

Nanotechnologia pozwoliłaby wytwarzać materiały funkcjonalne o złożonej strukturze, które już dziś można sobie wyobrazić, a ich własności przewidzieć, ale których nie można wytworzyć w procesach, rządzonych prawami dyfuzji i statystycznymi prawami termodynamiki. Nanotechnolodzy przyszłości patrzeć pewnie będą na dzisiejszą inżynierię materiałową tak, jak my patrzymy na kunszt człowieka z Cro-Magnon, podziwiając jego umiejętność wykonania grotu do strzały czy skrobaka do skóry poprzez cierpliwe odłupywanie okruchów krzemienia, świadomi jednak prymitywizmu i wszystkich ograniczeń jego technologii.

Poznanie i opanowanie w praktyce zasad fullerenowego "tkactwa", czyli wytwarzania węglowych sieci o dowolnych kształtach i rozmiarach, może sprawić - wziąwszy pod uwagę olbrzymią wytrzymałość takich sieci i ich nieprzenikliwość dla gazów i cieczy - że problem lekkich kostiumów umożliwiających pracę w przestrzeni kosmicznej czy pod wodą zostanie rozwiązany, poszerzając niepomiernie ludzkie środowisko ograniczone dziś do powierzchni lądów.

Naiwnością byłoby jednak sądzić, że nanotechnologia przynieść może ludzkości jedynie dobroczynne skutki. Trzeba się liczyć z różnorodnymi skutkami społecznymi, które muszą objąć wiele obszarów. Dla przykładu wystarczy tu wymienić przewidywaną łatwość dostępu do całej informacji zgromadzonej przez ludzkość (początki już dziś obserwujemy w miarę oplatania siecią informatyczną całego globu). Z pozoru nie wygląda to groźnie, ale jak się uporać z takim morzem informacji? Nieunikniona będzie zmiana systemu edukacji, tak aby punkt ciężkości przesunął się z gromadzenia (zapamiętywania) informacji na umiejętność jej wyszukiwania i posługiwania się nią.

Trzeba się również liczyć ze świadomą złą wolą, terroryzmem, szaleństwem oraz tendencją do dominacji i panowania nad innymi w skali indywidualnej, społecznej czy globalnej. Tu otwiera się szerokie pole do popisu dla twórców katastroficznych scenariuszy, począwszy od możliwości niszczenia linii energetycznych, przez nanomechanizmy kontrolowane przez wroga, a skończywszy na nanomechanizmach zatruwających ludzką psychikę i poddających ją obcym wpływom.

FANTAZJA CZY RZECZYWISTOŚĆ?

W świetle oszacowań przeprowadzonych przez Drexlera i współpracowników, symulacji komputerowych i badań naukowych nad strukturami fullerenowymi i możliwościami skaningowego mikroskopu tunelowego nanotechnologia molekularna wydaje się realna. Na tyle realna, że zainteresowane jest nią NASA sponsorująca wiele programów badawczych, iż Erica Drexlera zaproszono na kilka wystąpień przed komisjami Kongresu Stanów Zjednoczonych zajmującymi się polityką naukową, a w Japonii uruchomiono kilka wieloletnich programów badawczych w dziedzinie szeroko pojętej nanotechnologii, których koszty sięgają setek milionów dolarów.

Na pierwsze konkretne zastosowania produktów nanotechnologii trzeba będzie jednak jeszcze poczekać, być może nawet kilkadziesiąt lat. Pouczającym przykładem mogą tu być oczekiwania wiązane z kontrolowaną syntezą jądrową, która trzydzieści lat temu wydawała się w zasięgu ręki, a jednak do dziś mimo nieustannych badań, postępu technologicznego i zaangażowania bardzo dużych środków finansowych nie została zrealizowana w skali technicznej. W sensie konkretnych zastosowań nanotechnologia jest więc jeszcze fantazją. Jest jednak przy tym wizją o olbrzymich, trudnych dziś do przewidzenia w pełni konsekwencjach. Ma więc chyba rację Eric Drexler, uparcie nawołujący, aby nie tracić czasu, dostrzegać te perspektywy, przygotowywać społeczeństwa (na to potrzeba czasu!), by gdy era nanotechnologii nadejdzie, wprowadzić ją z możliwie najmniejszymi ujemnymi skutkami.

Dziś nanotechnologia wydawać się może wielu ludziom czymś niezbyt poważnym, czymś z pogranicza science fiction czy naukowego hochsztaplerstwa. Byłbym jednak ostrożny w formułowaniu takich sądów. To grono "dorosłych chłopców" konstruujących swoje zabawki w komputerze, dopóki nie uda się ich wytworzyć materialnie, ma porywającą wizję rozwoju techniki. Owa wizja nie jest sprzeczna ze znanymi dziś prawami fizyki, a więc w zasadzie realizowalna mimo trudności technicznych, które wydają się chwilami nie do pokonania. Podobnie jak we wszystkich wielkich przedsięwzięciach technicznych, początkiem jest zawsze wizja, potem analiza możliwości i środków, a dalej już tylko wytrwała praca wspierana nieustannie twórczą inwencją. Czas pokaże, w jakim stopniu nadzieje i obawy związane z nanotechnologią były zasadne.

Autor: Dr hab. JAN A. KOZUBOWSKI jest profesorem na Wydziale Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej.
Źródło: http://www.nanonet.pl/

http://laboratoria.net/home/13188.html
Informacje dnia: Jazda na rolkach - Czy jest dobrym sportem? Polimer o właściwościach przeciwgrzybiczych Stypendia ministra nauki dla niemal 400 studentów Skuteczniejsze leczenie chorych na nowotwory krwi Tylko 36% transgranicznych wód podziemnych ma ochronę Technologia ultradźwiękowa w diagnostyce chorób Jazda na rolkach - Czy jest dobrym sportem? Polimer o właściwościach przeciwgrzybiczych Stypendia ministra nauki dla niemal 400 studentów Skuteczniejsze leczenie chorych na nowotwory krwi Tylko 36% transgranicznych wód podziemnych ma ochronę Technologia ultradźwiękowa w diagnostyce chorób Jazda na rolkach - Czy jest dobrym sportem? Polimer o właściwościach przeciwgrzybiczych Stypendia ministra nauki dla niemal 400 studentów Skuteczniejsze leczenie chorych na nowotwory krwi Tylko 36% transgranicznych wód podziemnych ma ochronę Technologia ultradźwiękowa w diagnostyce chorób

Partnerzy