Покретање наноробота – нерешен проблем

Р. Феликс¹

Undertaking Nanorobots - Standing Problem

R. Feliks

Сажетак: На почетку смо научнотехничке револуције. Реч је о наночестицама, наноматеријалима и нанотехнологији. Процене њиховог значаја су веома контрадикторне. Почев од очекивања да би људи за двадесетак година могли постати бесмртни захваљујући усавршавању нанотехнологије (Р. Крегвејл, амерички истраживач и футуролог - „Политика“, 20. 10. 2009. стр. 20), до веома озбиљних упозорења на последице по здравље људи и животну средину (ако се она неразумно користи). Због тога морамо бити веома пажљиви при доношењу закључака о употреби наночестица, наноматеријала и нанотехнологије.

Summery: We are at the beginning of the new scientific and technical revolution. It is the nanoparticles, nanomaterials and nanotechnology. Estimates of their importance are very contradictory. Starting from the expectations that people can become immortal in the next twenty years, thanks to the improvements of nanotechnology (R. Kregwail, american researcher and futurologist – „Politika“, daily newspaper, October 20. 2009, p. 20) and on the other hand there are serious concerns about the influence on the human life, biosphere and the environment. Therefore, we must be very careful when drawing conclusions on the use of nanoparticles, nanomaterials and nanotechnology.

Увод

Научници су научили да праве нанороботе, али још нису пронашли сигурне методе да их усмеравају на жељено одредиште и да их снабдевају у довољној мери потребном енергијом. Нанороботи се, иначе, крећу хаотично, што је последица судара са молекулима флуида – што је познато као Брауново кретање (Brownian motion).

У овом чланку се приказује начин који су открили Томас И. Малук (Thomas E. Mallouk) и Ајусман Сен (Ayusman Sen)² („Powering nanorobots“; Scientific American, May 2009, p. 72) како се може управљати нанороботима, и ево како они описују своје почетне успехе.

Кључни ставови

1. Нанотехнологија омогућује да микроскопски роботи састављају друге машине или путују унутар тела (људи или животиња) да испоруче лекове или обављају микрохируршке захвате.
2. Ове машине (нанороботи) ће се сучељавати са јединственим законима физике (који постоје на нанонивоу). За тако мале величине, флуиди постају вискозни као меласе, а Брауново кретање чини да се нанороботи крећу у разним правцима (сударају се са молекулима флуида).
3. Инспиришући се биолошким моторима живих ћелија (каталитички мотори), хемичари уче како да напајају и покрећу машине микро- и нано- величина помоћу каталитичких реакција.

1 Прим. др Радмило Феликс, специјалиста медицине рада, независни консултант.

2 Превод: Растко Томашевић, прим. др Радмило Феликс

Каталитички мотори омогућавају мајунским пливачима у природи да узимају гориво из свога окружења и да превазилазе чудне законе физике микроскопског света. Тврди се да на нивоу наносвета нема разлике између живе и неживе материје и да наночестице имају способност самоорганизовања.

Замислите да се могу правити кола, летилице и подморнице толико мале као бактерије или молекули. Микроскопски роботи – хирурзи, убризгани у тело, могли би да лоцирају и неутралишу узроке болести, на пример, плак унутар артерија или протеинске насlage које узрокују Алцхајмерову болест. Наномашине – роботи са својствима и компонентама нанометарске размере – могли би да продру у челичне греде мостова или крила авиона, да би поправили невидљиве пукотине пре него што се оне рашире и узрокују катастрофалне ломове.

Последњих година хемичари су креирали мноштво изванредних структура размере молекула које би могле постати делови сићушних машина. Џејмс Тур (James Tour) и његови сарадници на Рајс Универзитету (Rice University), САД, на пример, су направили кола, размере

молекула која имају за точкове четири сферичне структуре (угљенични молекули у облику фудбалске лопте), 5.000 пута мања од људске ћелије.

Турова нанокола немају мотор и засада се крећу само онолико колико их гурају насумични судари са молекулима око њих. Тај процес је познат као Брауново кретање. Ово је највећи тренутни проблем са молекуларним машинама: зна се како се праве, али се не зна како да их покрећемо ка одредишту.

У јединицама величина живих ћелија, или мањим, овај задатак поставља неке јединствене изазове. Ваздух и вода се чине густим као меласе, а Брауново кретање се противи настојању да се молекули крећу прецизним трасама. У таквим условима, нановерзије мотора, као што су они који покрећу кола или фен за косу – под претпоставком да знамо како да их направимо, тако мале – не би могли ни да се покрену.

Природа нам, насупрот томе, даје многе примере каталитичких наномотора. Да би видели ствари које она може да уради, довољно је погледати живу ћелију. Ћелија користи наномоторе да мења свој облик, да раздваја хро-

Слика 0

мозоме током деобе, да конструише протеине, да обухвати хранљиве материје, да пребацује хемијска једињења унаоколо, и тако даље. Сви ови мотори, као и они који покрећу мишићне контракције и спирално кретање бактеријске флагеле, базирају се на истом принципу: они претварају хемијску енергију – обично ускладиштену као аденозин трифосфат, или АТФ – у механичку енергију. Сви они користе и катализаторе, једињења која олакшавају хемијске реакције, као што је разбијање АТФ-а. Истраживачи сада чине узбудљив помак ка прављењу вештачких наномотора примењујући сличне принципе.

1. Наноккола (која су приказана) само су нека од неколико типова синтетизованих машина на наноскали, са покретним деловима. Она се заснивају на угљеничним осовинама са четири точка који су састављени од букибал угљеникових молекула и изгледају као фудбалске лопте (слике 1. и 2). За сада, међутим, наноккола немају мотор, тако да се она крећу само насумично напред-назад на површини која се загрева.

2. Микроскопски роботи будућности (овде су приказани према једној уметничкој концепцији), можда су коначно добили извор енергије за кретање. Мотори који претварају хемијску енергију у кретање могу једног дана омогућити наномашинама да пливају упркос насумичном кретању и густини флуида који доминирају у свету микроскопских величина. (слика 3)

Током 2004. године аутори су били део тима Пенсилванија Стејт Универзитета (Pennsyl-

vania State University) који је развио једноставне наномоторе који каталитички преобрађавају енергију ускладиштену у молекулима горива у кретање. Они су били инспирисани значајно већим каталитичким мотором пријављеним 2002. од стране Рустем Исмагилова (Rustem Ismagilov) и Џорџа Вајтсајдса (George Whitesides), обојице са Харвард Универзитета (Harvard University). Харвардов тим је установио да се „бродови“ сантиметарских размера са каталитичким тракама од платине на њиховој крми спонтано крећу на површини резервоара испуњеног водом и хидроген пероксидом (H_2O_2). Платина је омогућила разбијање H_2O_2 на кисеоник и воду, а изгледало је као да мехурићи кисеоника који су се формирали гурају бродове напред помоћу трзаја, као што издувни гасови који излазе из задњег дела ракете дају ракети потисак ка напред (импулзивни мотори).

Веродостојно смањивање

Минијатурна верзија харвардског мотора аутора био је штап од злата и платине отприлике дугачак као бактеријска ћелија (два микрона) и упола широк (350 нанометара). Њихови штапови су били умешани у раствор, уместо плутања по површини. Истоветно молекуларним моторима који црпе снагу из АТФ-а унутар ћелије, ови мајушни каталитички цилиндри су у суштини били уроњени у сопствено гориво. Они су се уистину самостално кретали, брзинама које су биле десети-

Слика 1

Слика 2

Слика 3

не микрона у секунди, а посматрани под микроскопом, имали су језиве сличности са живим бактеријама које пливају.

Ипак, као што то обично бива у науци, претпоставка која је довела до експеримента била је погрешна. Замишљали су наноштапове како избацују сићушне мехурове са своје задње стране и како бивају гурани трзајем. Али оно што они у ствари раде је интересантније, што подсећа нанотехнологе да се мора размишљати другачије о кретању на нивоу микро и наноскале.

У јединицама макро величина, појам трзаја има доста смисла. Када неко плива или весла, његове руке, ноге или весла гурају воду уназад, а трзајна сила гура тело или чамац напред. На овај начин, пливач или чамац могу да клизе унапред чак и када се престане са гурањем. Колико далеко објекат клизи одређују вискозна сила, или отпор кретању тела у флуиду, и инерција, отпор тела промени сопствене брзине. Отпор кретању тела у флуиду је пропорционалан ширини објекта, док је инерција пропорционална маси објекта, која је узврат пропорционална ширини на трећи степен. За мање објекте, инерција се много брже смањује у односу на отпор кретању тела у флуиду, постајући занемарива, тако да отпор кретању тела у флуиду побеђује. У микронским размерама, свако клижење се завршава у року од једне микросекунде, а пређена даљина је мања од стотог дела нанометра. Стога, за тело микронске величине које се налази у води, пливање је као гацање кроз мед. Наномотор не памти ништа што га је гурнуло – нема инерције и инерцијалне шеме пропулзије (као што је пловљење после трзаја од мехурића) су безнадежне.

Начин на који наноштапови аутора раде је да они примењују непрекидну силу да би превладали отпор кретању тела у флуиду без потребе за клижењем. На крају штапа са платином, сваки H_2O_2 молекула се разбија на молекула кисеоника, два електрона и два протона. На крају са златом, електрони и протони се комбинују са сваким H_2O_2 молекулом да произведу два молекула воде. Ове реакције генеришу вишак протона на једном крају штапа и нестацицу протона на другом крају; стога,

протони морају да се крећу са платине на злато по површини штапа.

Као сви позитивни јони у води, протони привлаче негативно наелектрисане регионе молекула воде и тако вуку молекуле воде са собом док се крећу, покрећући штап у супротном смеру, као што Њутнов закон кретања одређује да свака акција има своју једнаку и супротну реакцију.

Једном када је тај принцип установљен (уз помоћ ауторових студената и Пен Стејт (Penn State) сарадника, Винсент Х. Креспија (Vincent H. Crespi), Дерел Велегола (Darrell Velegol) и Џефри Кечмарка (Jeffrey Catchmark), уследио је дизајн још неколико типова каталитичких наномотора. Адам Хелерова (Adam Heller) истраживачка група са Универзитета Тексас у Остину (University of Texas at Austin) и Џозеф Вангова (Joseph Wang) група са Аризона Стејт Универзитета (Arizona State University) показали су да мешавине различитих горива – глумозе и кисеоника или H_2O_2 и хидразина – могу омогућити моторима да иду брже него што могу са само једним горивом.

Док се слободно лебдећи метални наноштапови крећу у односу на целокупан раствор, имобилизована метална структура у присуству H_2O_2 узроковаће проток флуида у међупростору између структуре и флуида, и тиме потенцијално омогућавати покретање нечег другог уроњеног у флуид. Аутори су демонстрирали овај ефекат пумпања флуида на златној површини прошараној сребром.

Комитет за усмеравање

Једно од ограничења првих наноштапова уроњених у флуид је било то да су се кретали у случајним правцима и да су непрестано насумично кретали услед Брауновог кретања. У стварној примени, наравно, наномашине ће морати да имају неке механизме који ће их усмеравати према њиховој дестинацији.

Први покушај да се реши проблем усмеравања заснивао се на магнетном пољу. Аутори су уградили дискове од никла у штапове. Ти дискови реагују на магнетна поља као сићушни компаси чије су осе север – југ управне

на дужину цилиндара. Магнет за фрижидер удаљен пар милиметара прави довољно јак моменат на цилиндар којим превладава тежњу Брауновог кретања да насумично окреће цилиндар. Једина преостала сила је она дуж штапа створена каталитичком реакцијом. Наноштапови се онда крећу у правој линији и могу бити усмеравањем окретањем магнета (види илустрацију на страни 7). Ово кретање је аналогно понашању бактерија које се равнавају према Земљином слабом магнетном пољу. Слични мотори могу да се крећу у магнетном лавиринту микронске размере, следећи линије поља кроз кривине и окрете.

Године 2008, Креспи и Сен су показали да мотори усмеравањем магнетима могу да вуку „теретне“ контејнере – пластичне сфере десет пута веће од њих. Могу се замислити многе интересантне примене за такве моторе који носе терет. На пример, они би могли да достављају лекове појединим ћелијама у телу или да преносе молекуле дуж монтажне траке наноразмера, где би се терет могао хемијски сјединити са другим молекулима.

Управљати нанороботима споља би могло да буде корисно у неким применама; за друге, било би од пресудног значаја да нанороботи могу да се крећу аутономно. Велегол и Сен су били узбуђени када су недавно открили да описани каталитички наноштапови могу пратити хемијске „трагове од мрвица“ као што то раде бактерије. Типично, бактерија се креће у серији правих линија прекинутој насумичним скретањима. Али када праволинијским кретањем наиђе на хемијски састојак (на пример, мирис хране који постаје интензивнији ближе самој храни), бактерија продужава дужину праволинијског кретања. Тиме што кретање у пожељном правцу траје дуже од оног у непожељном, крајњи резултат је да се бактерија коначно усмерава ка свом циљу, иако она нема директни начин да управља својим кретањем (стратегија названа хемотаксис).

Наномотори се крећу брже када су концентрације горива веће, и ова тенденција ефективно продужава њихова праволинијска кретања. Последица тога је да се они у просеку крећу према извору горива, као што је честица гела натоњена водородом пероксидом.

Још скорије, аутори су такође демонстрирали моторне честице које су вођене светлосћу, или фототаксис. Ове честице користе светлост да разбију молекуле и да креирају позитивне и негативне јоне. Два типа јона се разилазе различитим брзинама, стварајући тако електрично поље које узрокује кретање честица. У зависности од природе јона који се ослобађају и од наелектрисаности честице, честице бивају вођене ка, или, од подручја са највећим интензитетом светлости. Занимљив обрт ове технике је светлосћу вођен систем у коме поједине честице глуме „грабљивице“, а друге „плен“. У том случају, једна врста честица емитује јоне који узрокују то да друга врста честица буде тиме вођена. Такав међусобно повезани покрет ових честица има запањујућу сличност са белим крвним ћелијама које јуре бактерију.

Хемотаксис и фототаксис су још увек у стадијуму „докажи принцип“, али они би могли довести до пројеката „паметних“ аутономних наноробота, који би могли да се независно крећу према свом циљу, можда користећи енергију глукозе или других горива којих има у изобиљу унутар организама или у животној средини. Рад аутора би такође могао бити полазна тачка за дизајн нових робота који би могли комуницирати хемијским путем један са другим и вршити колективне функције, као што су кретање у ројевима или формирање образаца (мустри-шара-шаблона).

Смањивање

Иако су честице које показују таква колективна понашања „неживе“, њихово кретање се заснива на сличним физичким феноменима као код живих ћелија. Тако наномотори, не само што су инспирисани биологијом, већ нуде увид у то како покретни системи живих ћелија функционишу. Једно од једноставних правила које су научили проучавајући каталитичке наномоторе јесте да би типична брзина кретања наномотора требало да буде отприлике пропорционална његовој линеарној величини (димензији као што је дужина или ширина). Овај закон сразмерности произилази из чиње-

нице да је јачина отпора кретању тела у флуиду пропорционална јединици величине, а брзина каталитичке реакције је пропорционална површини, која је квадрат те јединице величине.

Анатомија каталитичког мотора

аутори су направили два микрона дугу шипку од злата и платине која се креће унапред у раствору (флуиду) воде и хидрогена (H_2O_2) гурајући флуид дуж њених страна. Кретање флуида је омогућено снабдевањем енергијом из две различите хемијске реакције које се догађају на површинама од злата и платине (види слику). Непрекидан ток флуида омогућава јој да савлада отпор вискозитета.

Каталитички мотори би могли да помогну роботима величине бактерија да плове унутар човечијег тела, а могли би и да покрећу делове микроскопских машина као што су зупчаници (микрограф, доле десно).

Биолог са Пен Стејта, Џејмс Х. Марден (James H. Marden), пронашао је општији закон сразмерности, који успоставља однос између масе мотора и максималне силе коју он може да произведе. Резултат овог закона, који важи од мотора молекуларне величине, па све до млазних мотора, јесте да су мањи мотори увек спорији. Што се тиче крајњег умањења каталитичких наномотора, постоји тачка (око 50 до 100 нанометара) где Брауново кретање гуши сваку пропулзију изазвану каталитичком реакцијом. Последица тога је да су бактерије величине микрона најмањи слободни пливачи

1. Потребни протони	2. Протони вуку воду	3. Производња протона	4. Ротациони мотор
Златна површина катализује реакцију која узима протоне, електроне и H_2O_2 и производи H_2O . Реакција употребљава протоне и електроне који плове од стране где је платина.	Електрони плове унутар шипке, а исти број протона клизи дуж површине шипке. Позитивно неелектрисање протона привлачи молекуле воде, који онда протони вуку за собом.	Површина платине стално производи протоне помоћу цепања H_2O_2 на електроне, протоне и O_2 .	Исти пар хемијских реакција покреће протоне и воду око зубаца овог 100 микрона широког точка, који га својим кретањем обрћу.

Слика 4

у целој биологији. Код још мањих размера, Брауново кретање онемогућава да се одржава сталан правац кретања за време поринућа у флуид. Заправо, сви мотори молекуларне величине у природи – укључујући мишићне протеине и ензими који производе АТФ, или су ограничени да се крећу дуж неке стазе или су уграђени у мембрану. Исто то би морало да важи за све будуће роботе молекуларне величине.

кретања, која не користи енергију хемијске катализе да креира покрет, већ да дозволи гуркања Брауновог кретања само у пожељном правцу, док их блокира када иду у супротном смеру (види „Претварање молекула у моторе“, од Дин Астумиана (Dean Astumian); “Scientific American”, Јул 2001.). Последњих година истраживачи су почели да експериментишу са првим вештачким Брауновим механизмима једносмерног кретања.

Компасна навигација

Слика 5

За покретање наноробота, налажење одговарајуће пропулзије (погона) само је пола проблема. Друга половина проблема је како усмерити роботе да иду једним правцем и како их наводити ка њиховом одредишту. Специјалне наношипке са уграђеним компасима (са осом север - југ нанешеном по обиму шипке) омогућавају навођење коришћењем магнетног поља.

Неконтролисане шипке

Када је магнетно поље искључено, кретање је насумично.

Навођене шипке

Укључивање магнетног поља оријентише шипке управно према магнетном пољу. Шипке се онда крећу само у једном правцу, који се може мењати променом оријентације магнетног поља.

Механизми једносмерног кретања

За моторе молекуларне величине, једноставна површинска катализа, као она демонстрирана наноштаповима аутора, могла би да буде недовољно ефикасна да се супротстави Брауновом кретању, без обзира на то да ли је роботово кретање ограничено или не. Природа је ипак нашла начина да упрегне Брауново кретање да ради за њу, уместо да се бори са њим. Многи биолошки мотори су базирани на принципу Браунових механизма једносмерног

Мотори величине молекула

„Бесплатан ручак (не постоји)“

Молекули никада нису потпуно мирни. У случају течности, насумично кретање је познато као Брауново кретање. Хемичари стварају прве вештачке Браунове механизме, машине величине молекула, које упрежу Брауново кретање уместо да се боре против њега. Дејвид Леј (David Leigh), са Универзитета у Единбургу (University of Edinburgh) и његов тим, на

пример, развијају једношински систем који претвара насумичне кораке у усмерено кретање (илустровано испод). Њихов изум личи на машину која се непрекидно креће, противећи се законима термодинамике, или правило „нема бесплатног ручка”. Ипак било који метод избора Брауновог кретања користи енергију у процесу бирања, па ни овај није изузетак: ако се прекине са снабдевањем енергије, кретање ће престати.

1. Возило се креће насумице

Молекулско „возило” може да се креће у корацима дуж „моношине” уроњене у течност. То возило без мотора је подложно Брауновом кретању флуида, тако да одскакује напред или

назад, сваки пут када је ударено од стране неуобичајено брзог молекула из течности.

2. Препреке улазе у игру

Молекули у течности могу такође да се вежу за шину и да делују као препреке. Возила су пројектована да буду асиметрична, да би тиме спречавала молекуле препреке да се везују испред њих.

3. Насумично постаје усмерено

Сада када Брауново кретање удари возило, препрека иза њега спречава да оно крене уназад. Препреке тако повећавају шансу возила да крене корак унапред уместо корака уназад.

Слика 6

4. Све из почетка

Раствор повремено разгради молекуле препреке, тиме омогућавајући возилу да настави да се креће унапред. Сваки корак возила је насумичан и користи енергију Брауновог кретања. Али разградња препрека троши енергију, као што то захтева други закон термодинамике.

Други приступ, пропулзија и усмеравање демонстрирали су Орлин Велев (Orlin Velev) са Норт Каролајна Стејт Универзитета (North Carolina State University) и његови сарадници. Ови истраживачи су недавно показали како покренути објекте у флуидима који не садрже никакво гориво. Њихова пловила садрже диоду, уређај који дозвољава електричним струјама да прођу у једном смеру, али не и у супротном смеру. Истраживачи примењују наизменично електрично поље. У близини пловила, диода претвара наизменично поље у статично. То статично поље је увек уперено у једном смеру, производећи силу која даје потисак.

Диодни мотори, зато што су екстерно напajани, следе различите законе скалирања од каталитичких мотора. Велев је показао да у размерама од сантиметарске до милиметарске, брзина диодног мотора не варира са променом његове величине, у складу са теоријом. Тај резултат упућује да би такви мотори могли да буду веома снажни у размерама десетина микрона, што је отприлике величина људске ћелије.

Захваљујући напретку технологије компјутерских чипова, тренутно је могуће направити диоде знатно испод микронске размере, а молекуларне диоде дуге само два до три нанометра су одавно хемијски синтетизоване. Све то чини могућим прављење микроскопских скампела који би се састојали од пропулзивних, управљачких и сензорских компоненти нанесених по обрасцима на сићушне силиконске чипове. Могуће је замислити и бежично и даљинско управљање диодно покретаним скампелима помоћу радио-фреквенцијских електричних поља, која тело не апсорбује. Напослетку, ови микроскопски скампели би могли бити убризгани веома финим иглама и пилотирани до њихове дестинације путем даљинске контроле.

Научници (и писци научне фантастике) размишљали су о наномашинама у најмању руку још од 1959. године, када је физичар Ричард Фејнмен (Richard Feynman) разматрао лимите размера за машине и системе за складиштење информација у далековидном предавању названом „Доста простора на дну“. Он је указао на то да закони физике важе и у размери величина молекула. Онда нема разлога да, изузев очигледних изазова њиховог прављења, неком буде онемогућено да конструише возила или чак фабрике које би масовно производиле наномашине од атомски прецизних молекуларних делова.

У деценијама које су уследиле, Фејнменово предавање је наставило да инспирише истраживања у области нанотехнологија. У међувремену се преовлађујуће размишљање о живој ћелији променило, од лонца за супу, од ензима који врше метаболичке реакције, до куцајућег швајцарског сата механички повезаних наномотора. Тако су ћелије, на много начина, молекуларне фабрике које је Фејнмен предвиђао.

Истраживачи су научили доста тога о томе како направити неболошке моторе инспирисане биолошким моторима, али има још много тога да се сазна о принципима каталитичког кретања у јединицама таквих величина. Нема сумње да ће будући радови пронаћи још тренутно незамисливих начина да се искористи такво знање у биомедицини, конверзији енергије, хемијској синтези и другим пољима.”

Научници су научили како да праве нанороботе, али нису научили да управљају њима и да их усмеравају ка жељеним одредницама.

Међутим, „Политика“, N°34.688, CVII, Културни додатак, стр. 8, објављује прилог под насловом: „Србин творац сићушног робота“, што је свакако за похвалу. Проблем није у томе да се нанороботи направе, већ да се они усмеравају у жељеном правцу на одређене циљеве, где треба да обаве планиране задатке. У поменутом чланку се не наводи да ли је успех Милована Стојановића потврдио неки научни институт и који, и да ли се односи и на управљање нанороботом, и да ли је поступак патентиран у најмање три земље (држа-

ве) које признају патенте у области нанотехнологије, што је иначе међународни стандард за изуме и открића у овој области.

Није ми довољно познато докле се стигло у практичној примени научних сазнања у области наночестица, наноматеријала и нанотехнологије и шта се планира за ближу и даљу будућност, али пример доктора др М. Поповића, који живи и ради у САД, охрабрује.

Наиме, „Новости“ од 22. 3. 2009. на страни 13, доносе вест да је доктор М. Поповић најбољи светски иноватор у области медицинске технологије који је још 2007. године изумео интелигентне протезе за инвалиде и стварног „Робокапа“, то јест моторизовани вештачки ножни чланак који ради по команди људских нерава. Ово је савршен спој човека и робота „човек шаље нервни сигнал у уређај и преко њега свесно или несвесно контролише вештачки чланак“, што је проглашено за најбољу иновацију у свету. „TIME magazine“ и CNN су објавили да је ово епохални изум „јер се овим отвара потпуно ново поље науке којим се омогућава да човек путем мисли и

нервних сигнала директно или индиректно управља врло комплексним уређајима и роботима“.

У своме интервјуу „Политици“, Б. Ђелић, потпредседник Владе Републике Србије и министар за науку, истиче Седам приоритета српске науке („Политика“, N°34 536, CVII од 29. децембра 2009., стране 1 и 9), и наглашава да су то у првом реду: биомедицина, нови материјали и нанонауке, заштита животне средине, климатске промене, итд.

Према речима Б. Ђелића, јавна расправа је потврдила ове националне приоритете, а Управни одбор Европске инвестиционе банке одобрио је 200 милиона евра за науку и технологију и технолошку инфраструктуру наше земље. Србија је добила 8,5 милиона евра, бесповратних средстава за науку, а у 2010. години у буџету Владе Републике Србије за науку се предвиђа 11 милијарди динара, то јест десет одсто више и да ће по први пут, ефективно и циљано улагање у науку достићи 0,5 одсто бруто домаћег (националног) производа, што је у односу на досадашњих 0,3 одсто, значајан помак.

Литература

1. Крегвејл Р: Политика, 20.10.2009, стр. 20.
2. Thomas E. Mallouk TE, Sen A: Powering nanorobots. Scientific American, May 2009, p. 72.).
3. Astumian D: Претварање молекула у моторе. Scientific American, Јул 2001,
4. Србин творац сићушног робота. Политика, N°34.688, CVII, Културни додатак, стр. 8.
5. Доктор М. Поповић. Новости, 22. 3. 2009. стр. 13.
6. Ђелић Б: Седам приоритета српске науке. Политика, N°34.536, CVII 29. 12. 2009., стр. 1 и 9.