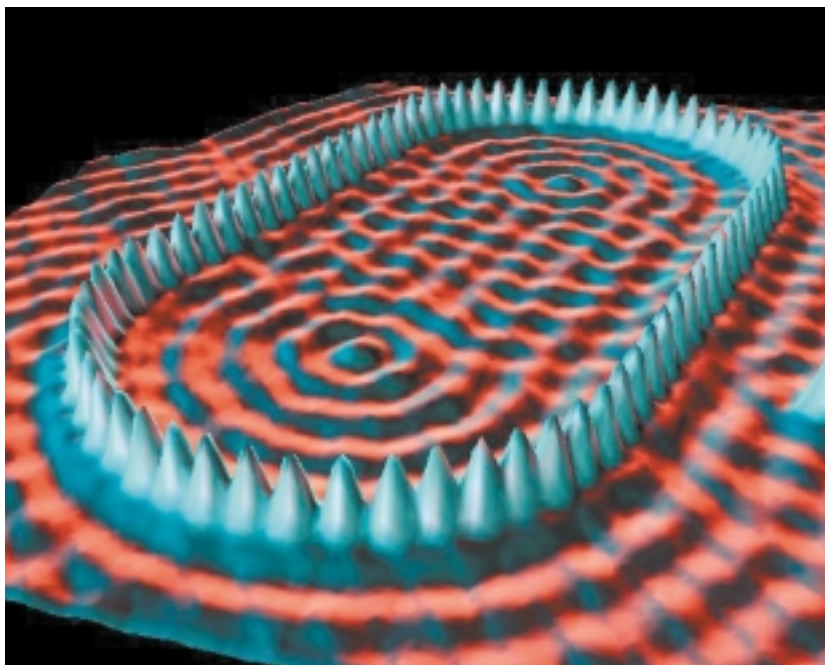


Nanoteknologia, txikiak nagusi

Guillermo Roa Zubia

Elhuyar

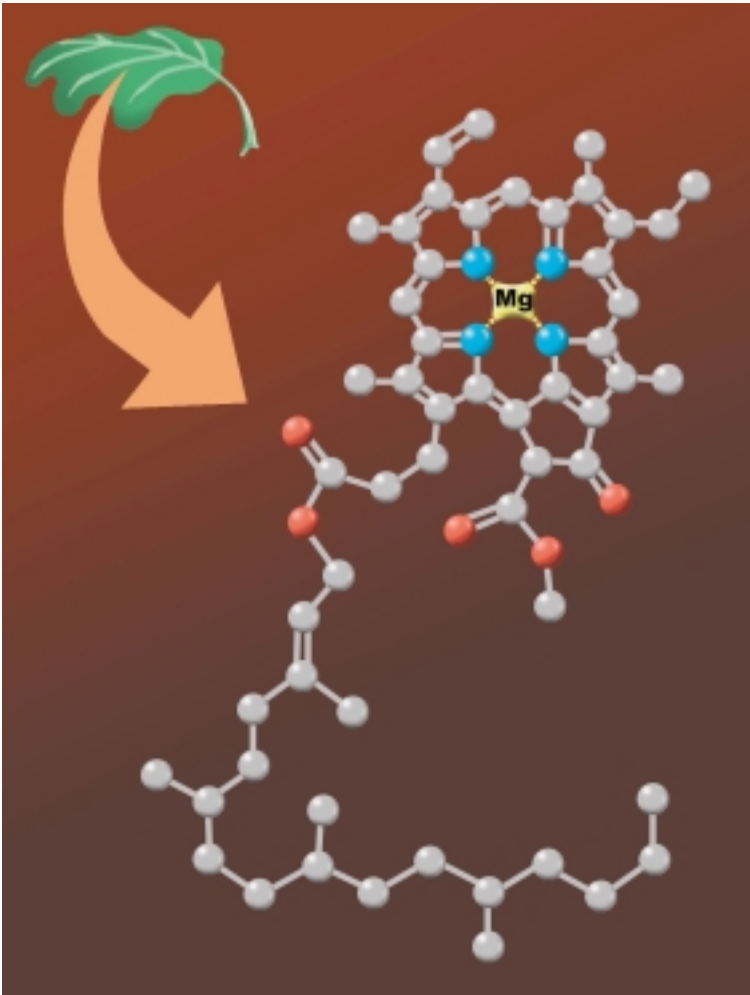
Zientziaren etorkizunari buruz idazten denean, erabateko iraultza sortuko duten aurrerakuntzak aipatzen dira. Oinarrizko zientziari igar ez daitezkeen kontzeptu berriak eskatzen dizkiogu eta ulertzeko zailak badira, hobe. Teknologiaren esparruan askotan iraultza horren neurria, kontzeptu berrien orde, makinaren tamaina izaten da. Batzuetan gogoak eta besteetan beharrak sustatzen du txikizaletasuna.



Estadio-itxurako nanoegitura, kobre-azal baten gaineko burdina-atomoez eginda.

NATURAN NANOMEKANISMOEN ADIBIDE ASKO DAGO. Nabarmenena, agian, erreazio kimikoen katalizatzaile naturalak dira eta, horien artean, entzimak. Molekulen munduan erraldoiak badira ere, gehie- nez 200 nanometroko luzera izaten dute. Espezifikotasun handiko molekulak dira, hau da, bakoitzak eginkizun bakarra eta zehatza du. Erreakzio baten behar kimi- ko eta geometrikoari erantzuteko disei- natuta daude. Modu horretan ez da akatsik gertatzen. «Makina» horiek ato- moz atomo planifikatuta daude. Ez da harritzekoa bizia horrelako nanomeka- nismo zehatzetan oinarrituta egotea.

Beste adibide polita fotosintesiarena da. Argi-izpiak harrapatzeko mekanismo molekularra da. Protagonista klorofila izeneko antena paraboliko nanoskopi- koa da. Antena porfirina molekula da, argiak kitzikatutako elektroiak jasoko dituen magnesio atomoa erdian kokatu- ta duena. Egitura hori adar molekular luze batez kloroplastoen zelulen barne- -mintz batzuetara lotuta dago. Naturak diseinatutako makina guztiz eraginkorra da. Gizakiarentzat eredu bihur daiteke. Zergatik ez?



Landare berdeek duten A klorofila molekularen egitura. Argiaren fotoietako energia erdian kokatutako magnesio-atomoak jasotzen du.

G. ROA

Fisikari eta kimikarientzat nanometroa garrantzi handiko neurria da, molekula askoren tamaina gutxi gorabehera nanometro batekoa izaten baita. Nanoteknologiak atomo eta molekulen tamainako makinak diseinatzea dakar. Beraz, nanomakinak egiteko, atomo eta molekulak banaka ikusi eta mugitu behar dira.

“nanoteknologiak atomo eta molekulen tamainako makinak diseinatzea dakar”

Mekanika zehatza ez da nahikoa

Horretan datza, hain zuzen, nanoteknologiaren zailtasun nagusia. Atomoak eta molekulak gobernatzen dituzten lege fisikoak mekanika kuantikoarenak dira. Atomo bakarra toki egokian kokatzeko behar den tresnak lege kuantikoetan oinarrituta egon behar du. Makina hori IBMko laborategiko Gerd Binnig eta Heinrich Rohrer fisikariek asmatu zuten 1981. urtean. (ikusi *Elhuyar Zientzia eta Teknika*, 2000ko ekaineko alea, 13. orria).

Tunel efektuko mikroskopia deritzo (*Scanning Tunnel Microscope*, STM). Asmakari horrengatik Nobel saria jaso zuten 1986. urtean. Oinarri fisiko baren eskutik, zientzialariek beste hainbat tresna asmatu zituzten. Handik aurrera, fisikariek atomoak ikusi zituzten, eta pixkanaka mugitzen ikasi ere bai. Izan ere, gaur egun «nanomaneia gailua» izeneko tresna garatzen ari dira Ipar Carolinako unibertsitatean, atomoak denbora errealean mugitu ditzakeena. ➔

Mikroteknologiaren azpitik

Tresneria gero eta txikiagoa egin ahal izateko, materialak ondo ikertu behar dira. Izan ere, azken urteotan txikitasunaren mugak fisikarien arreta piztu du. Gauzak molekulez eginda daude. Molekulak, atomoak, elektroiz, neutroiz eta protoiz. Horiek, berriz, quarkez. Materiaren egituraren analisia inoiz bukatuko ote den, zaila da esatea. Baina teknologia-erentzat, oraingoz, muga atomoak eta

molekulak dira. Horretarako, arrazoi argia dago. Atomoak eta molekulak materia egonkorra egiteko azpiunitaterik txikiak dira. 1990. urtean, Jerome I. Friedman fisikariak quarken izaera frogatzeagatik Nobel saria jaso zuen. Bere ustez, teknologiaren muga luzaroan atomoa izango da, hurrengo urratsetara jotzeko, energian alde handia dagoelako. Partikula txikiagoak maneiatu ahal izateko energia asko behar da.

Nanos hitzak grekoz *nimiño* esan nahi du. Zientzian *nano* aurrizkia erabiltzen da zerbaiten mila milioiren zatia adierazteko. Adibidez, litro bat mila milioi zatitan banatuz gero, zati bakoitza nanolitro bat da. Eta litro baten lekuan metro batekin gauza bera egiten badugu, nanometroak lortuko ditugu.



Xenon-atomoek IBM letren irudia osatzen dute nikel-azalaren gainean.

IBM

Historia

Gailuak gero eta txikiagoak egitea aspaldiko erronka da. Gaur egun poltsikoetan eramenten ditugun asko ez ziren aspaldian etxe batean sartzeko modukoak. Erlojuen historia, esate baterako, oso adierazgarria da. XIV. mendean kanpandorreetako lehen erlojuak zabaldu ziren. Teknologiarri begiratzen badiogu, ordea, duela 400 bat urteko esku-erlojuen tamaina harrigarria da. Ezagutzen den zaharrena Alemaniako Nurenberg hirian egin zen 1504. urtean. Baina XIX. mende arte ez zen erlojuak seriean egiteko modurik izan. Gaur egungo erloju txikiak ia ez dira ikusten eta txipen barrunbeetan gordeta egoten dira.

Teknokratak XX. mendea injeniarrien mendetzat jo dezakete, dudarik gabe. Material berriak eta Fisikako kontzeptu berriak etekin oparoa eskaini dute ehun urte horietan. Eraikin erraldoien eta poltsikoan gordetzeko moduko garun artifizialen mendea da. Horrekin batera, gizartea ere horren isla izan da. Besteak beste, fikzioak zientziari begira izan du garapena neurri handi batean. Bomba atomikoaren beldurra eta bidaia espazialen lilura jaso eta barreiatu ditu.



XVIII. mendeko esku-erlojua.

Nanoteknologiaren jatorrizko ideia lehenengo aldiz Richard P. Feynman fisikariak, 1965. urteko Fisikako Nobel saridunak, aipatu zuen. Feynman-ek elektrodinamika kuantikoaren esparruan egiten zuen lan, baina biokimika ere izugarri zuen gogoko. 1959. urtean Kaliforniako Institutu Teknologikora joan zen hitzaldia ematera. Hitzaldi horren izenburua «Hor behean toki asko dago» (*There is plenty of room at the bottom*) zen. Feynman-ek aipatu zuen makina handiak, beste makina txikiagoak egiteko gai direnak, egin daitezkeela. Makina horiek beste txikiago batzuk egiteko erabil daitezke eta abar. Hala, atomoak eta molekulak zuzenean maneiatzeko tresnak izango ditugu azkenean. Ideia berri hori azkar zabaldu zen fisikarien artean.

1966. urtean adibide polita kaleratu zen zinearen bitartez. Pelikula ospetsu batean ebakuntza medikoa egiteko itsaspeko oso bat txikitu eta odolean sartzen zioten gaixoari. Antzeko zerbait egiteko proiektuez hitz egin da aurtengo egunkarietan. Bidezkoa al zen hain makina txikiak egitea? Ideia polita izan arren, fikzioaren kontuak ziren.

Garai hartako fisikariak, ordea, partikula azpiatomikoekin lanean ari ziren. Nahiz eta burutazio teoriko asko asmatu, oso zailtzat jotzen zuten manipulazio mota hori eta, segituan, partikulen esperimientuetara itzuli ziren. Hala ere, hirurogeita hamarreko hamarkadan sortu ziren behar teknologikoen, ADNarekin zerikusia zutenek adibidez, nanoteknologiaren aitzindarien garapena jorratzea eskatzen zuten.

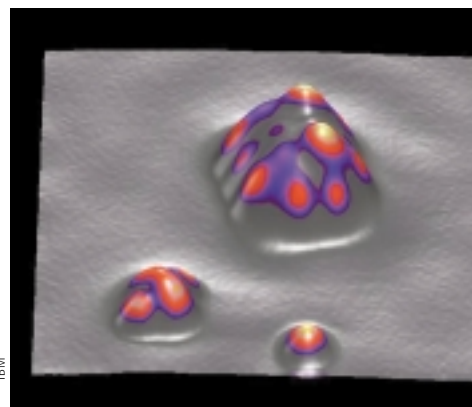
Ikerketaren eskutik, mekanika kuantikoak etekin berriak eman zituen eta 1981. urtean atomoak banaka mugi zitezkeen makina asmatu zen. Oinarri fisikoa tunel efektua zen, alegia, partikulek potentzial-langak zeharkatzeko duten ahalmen estatistikoa. Atomoak «ikusteko» gai den mikroskopioa garatu zen. Ez da hori gailu horren ahalmen bakarra, atomoak «harrapatu» eta mugitzeko ere erabil baitaiteke.

Bestalde, nanoegiturak osatzeko beste teknika interesgarria molekula-sortaren epitaxia (*Molecular Beam Epitaxy*, MBE) da. Teknika horrek molekula edo atomo bakarrek lodiera duten geruzak sortzen ditu azal baten gainean. Horrela, geruzak material erdieroaleenak jarrita nanotransistoreak egin daitezke. Agian molekula bakarrek ere lor daitezke. Gaurko txip batean milioika transistore sartzeko aukera badago, baina ez dakigu nanoteknologiak kopuru hori zenbat biderkatuko duen.

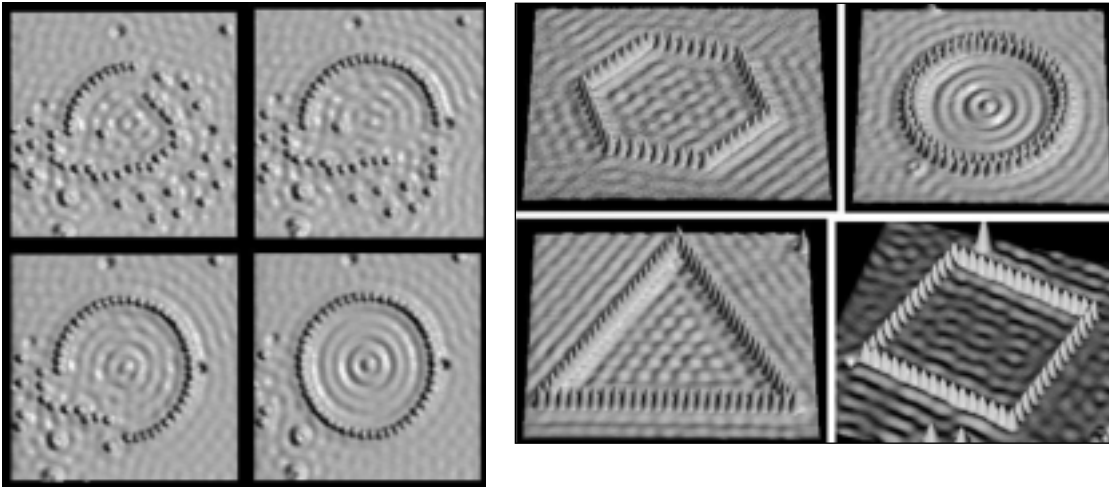
“atomoak eta molekulak gobernatzen dituzten lege fisikoak mekanika kuantikoarenak dira”

Gure inguruko nanogiro berria

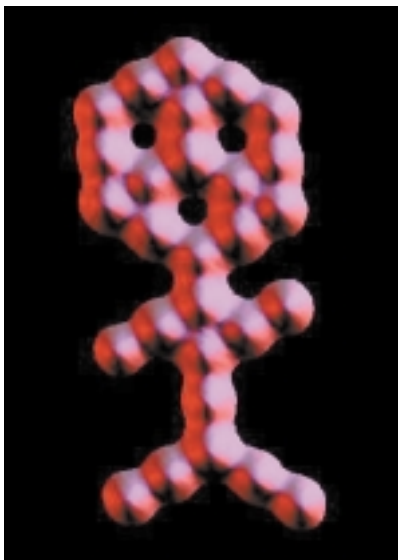
Nanotransistoreen eskutik informatikaren lehen iraultza etorriko da. Izan ere, Intel enpresan teknika hori mikroprozesatzaile berrietan erabiltzen ari dira (eta nanoprozesatzaile izena eman beharko litzaieke). Metatzeko ahalmenean zein azkartasunean datza aurrerakuntza. Ordenagailuak txikiagoak, merkeagoak eta ahaltsuagoak izango dira. Horiek batera sistema elektronikoak dituzten



Kobre-azal gaineko sodioa eta iodoa.



Tunel efektuko mikroskopia erabilia atomoak ordenatzeko prozesuaren adibidea (ezkerrean) eta metodologia horren bitartez lortutako hainbat irudi (eskuinean).



Karbono monoxidozko gizakia. CO molekulak platino-azalaren gainean ordenatuta, IBM enpresako laborategi batean osatu zuten nanoirudi ospetsua.

ra aurkeztu zen. Kamera hori irentsita, digestio-hodiaren azterketa medikoa egin daiteke. Kamera hori, seguru asko, medikuek laster erabiliko dituzten tresnen aitzindaria da.

“nanotransistoreen eskutik informatikaren lehen iraultza etorriko da”

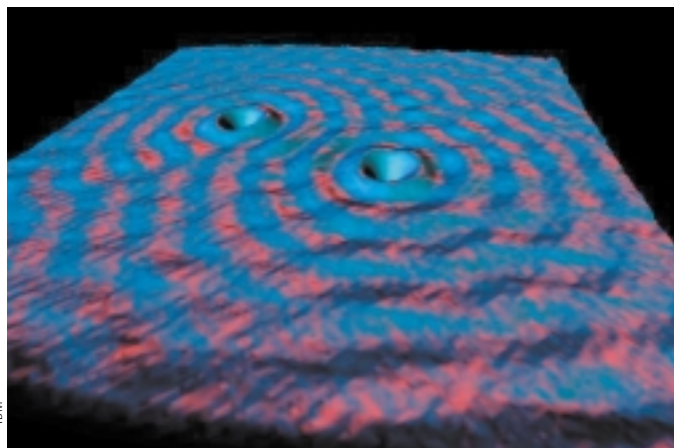
Prozesu industrialetan ere nanoteknologiak berrikuntza handiak ekar litzake. Katalisiaren bitartez egiten diren erreakzio kimikoak, esate baterako, zehatzago

egin ahal izango dira, katalizatzailea maila atomikoan diseinatu ahal izango delako. Horrela, erreakzioen etekina handitu egingo da, eta hondakinak neurri handi batean desagertuko dira. Kerik gabeko industriarako pauso garrantzitsua izango litzateke.

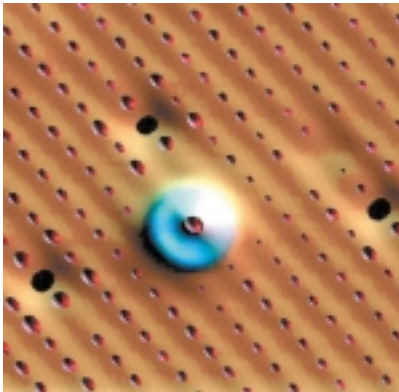
Materialen egoera, gainera, maila molekularrean kontrola daiteke. Adibidez, hormigoian sor litezkeen pitzadurak edo korrosio-arazoak detektatu ahal izango dira eraikuntzaren ahuleziak iragartzeko. Bestalde, material horiek sendoago bilakatzeko teknikak eskura izango dira. Oro har, gauzak haustezinak izateko erronkari irtenbidea bilatuko zaio. ➔

tresnak eta seinale elektromagnetikoak igortzen dituzten guztiak ere garatuko dira.

Medikuntzan ere aplikazio askotan nabaritu dira nanoteknologiaren abantailak. Gorputzarekin elkarrekintza izateko azalak, transplanteetan adibidez, maila atomikoan diseinatu ahal izango dira. Diagnostikoak egiteko tresnak ere merkatura ateratzen hasi dira. Aurtengo apirilean pilula baten tamainako kame-



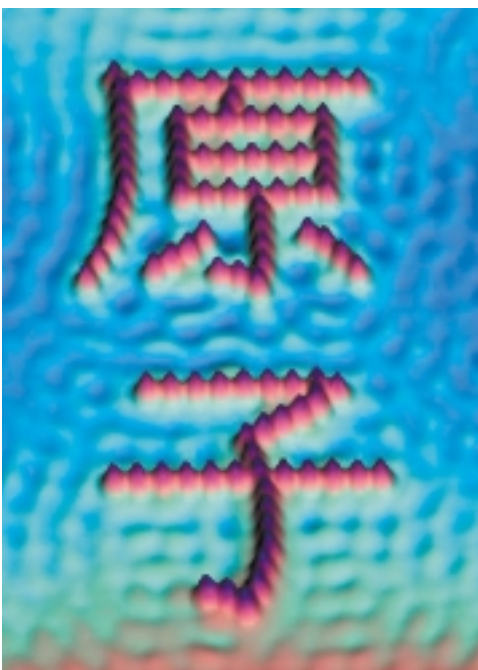
Kobre-azal batean aurkitutako bi egitura-akats.



IBM

Nikel-azal baten gainean kokatutako xenon-atomo bat.

Erronka hori ibilgailuen esparruan ere ezinbestekoa da. Horrez gain, motor molekularren diseinua, maila teorikoan behintzat, aztertzen ari dira zenbait enpresa. Ibilgailu-industriaren betiko kezkei ikuspuntu berri batetik aurre egin dakieke. Besteak beste, lurretik, airetik edo uretatik mugitzeko ibilgailu arinagoak eta erregai gutxiago beharko dutenak diseinatuko dira. Bere burua konpontzeko gai diren gailuez ere hitz egingen da.

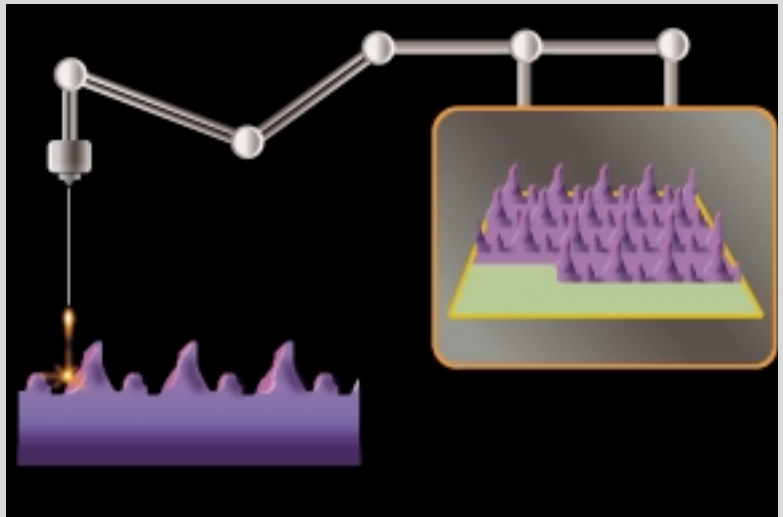


IBM

«Atomo» hitza osatzeko karaktere japoniarrak (kanji), kobre-azal baten gaineko burdina atomoez eginda.

Tunel efektuko mikroskopia

1981. urtean, IBM enpresak Zurich-en duen egoitzan, Heinrich Rohrer eta Gerd Karl Binnig fisikariek aurrerapauso ederra eman zuten. Mekanika kuantikoaren ekuazioek elektroiek molekula batetik bestera salto egiteko ahalmena dutela iragarri zuten. Probabilitate erreala bazegoen, behintzat. Ideia horren eskutik, inoiz lortutako zehaztasun handieneko mikroskopia asmatu zuten (*Scanning Tunnel Microscope, STM*).



G. ROA

Elektroiek metalezko orratz batetik edozein azaletara salto egin dezakete, nahiz eta bien arteko distantzia handia izan. Beraz, orratza azalaren gainetik pasatuz gero, elektroik gehiagok egingo dute salto distantzia hori txikiagoa denean (azaleko atomo bat besteen gainean dagoenean, adibidez) eta korrante elektrikoaren intentsitatea handitu egingo da. Hortik abiatuta, STMk azal horren irudikapena egin dezake maila atomikoan. Atomoak «ikusteko» modua da. Gainera, elkarrekintza handia lortzen bada, tresna hori atomoa hartu eta lekuz aldatzeko gai da. Horrela, nahi diren egiturak sor daitezke, nanomakinak barne.

Hori guztia ez da soilik aplikazio industrialetan ikusiko. Etxetresnagintza astinduko duen kontua ere bada. Orain egunero erabiltzen duguna arinagoa, hobe eta iraunkorragoa izango da etorkizun hurbilean. Baina nanoteknologiaren eskutik kontzeptu berriak asmatzea eta garatzea espero da. Nork daki zer asmatuko den... Esan daiteke, ordea, inspirazio-iturri nagusia dugula, betidanik gertatu den bezalaxe; naturaren diseinuak, alegia. Fotosintesi artifiziala lortzeak, adibidez, iraultza handia ekar lezake, gutxienez energiaren arloan.

Nanoteknologiak nora eraman gaitzakeen zaila da iragartzen. Bizimodua aldatuko digu. Txikitutasunaren muga ikusi

“kontzeptu berriak garatzeko, inspirazio-iturri nagusia naturaren diseinua da”

dugu, baina oraindik ustiatzen hasi besterik ez dugu egin. Agian, nanoteknologia normalizat jotzen dugun unetik, tresnak txikiagoak izatea ez da gehiagore kezka izango. 