

Nobelova nagrada za kemijo za leto 2016 je bila podeljena za molekulske stroje

Barbara Hribar Lee

Švedska kraljeva akademija za znanost je letos podelila Nobelovo nagrado za kemijo trem znanstvenikom, Francozu Jean-Pierreu Sauvageu, Angležu siru Jamesu Fraserju Stoddartu in Nizozemcu Bernardu L. Feringi za »načrtovanje in sintezo molekulskih strojev«.

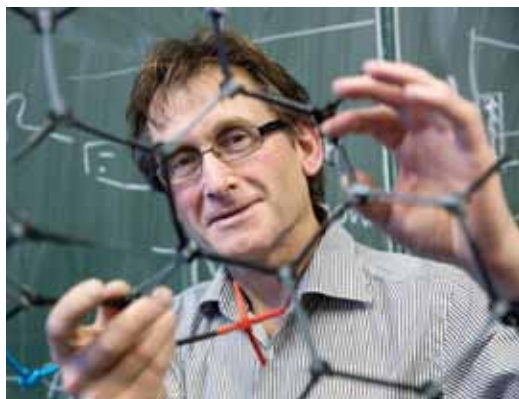
Stroji so mehanične naprave, sestavljene iz več mirujočih in gibajočih delov, ki prenašajo in pretvarjajo energijo ter s tem opravljajo delo. Z njihovo pomočjo je bil mogoč razvoj civilizacije, kot jo poznamo danes. V tisočletjih so se stroji razvijali od najbolj preprostih, vlečnih vodnjakov do letalskih



Jean-Pierre Sauvage je francoski kemik, ki se ukvarja s koordinacijsko kemijo. Deluje na Univerzi v Strasbourgu.
Vir: Institut de Science et d'Ingénierie Supramoléculaires.



Sir James Fraser Stoddart je britanski kemik, deluje pa na Univerzi Northwestern v Združenih državah Amerike. Ukvarja se s področjem nanotehnologije.
Vir: UCLA Newsroom.



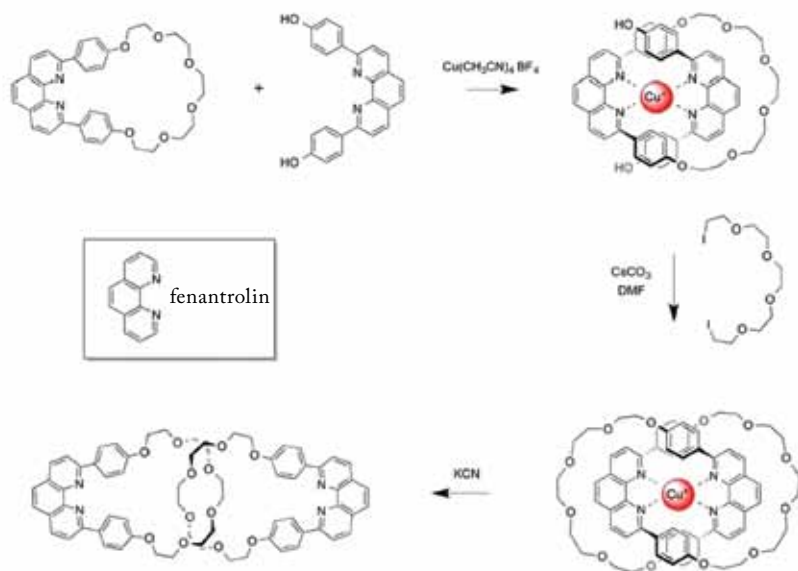
Bernard Lucas Feringa je nizozemski kemik, ki se ukvarja z organsko sintezo, molekulsko nanotehnologijo in homogeno katalizo. Deluje na Univerzi v Groningenu.
Vir: StarsUnfolded.

motorjev in superračunalnikov. Delo letošnjih Nobelovih nagrajencev je pripomoglo, da bomo lahko naredili še korak naprej – v stroje bomo lahko spremenili najkompleksnejše sestavne dele sveta, molekule, ki so tako majhne, da jih ne moremo niti videti. Stroj na molekulski ravni deluje podobno: molekula ali molekulski sestav izvede mehansko delo, če prejme energijo v ustrezni obliki. Takšne primere v biokemiji že poznamo. Miozin na primer je protein, ki skrbi za krčenje mišic, protein kinezin med drugim skrbi za transport snovi v celicah vzdolž mikrotubul, v ribosomih pa poteka sinteza proteinov. Vsi ti in še mnogi drugi delujejo kot naravni molekulski stroji, njihova funkcija pa je dana že z njihovim genetskim zapisom. Ali lahko iz molekul sestavi-

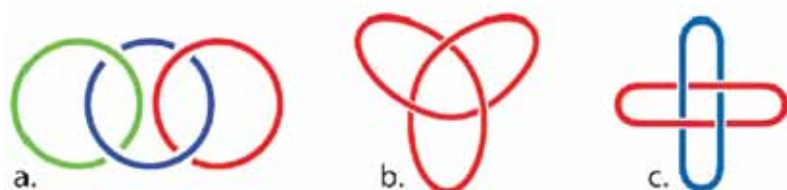
mo molekulski stroj, ki bo opravljal vnaprej predpisano funkcijo?

Za konstrukcijo stroja je treba najprej izdelati njegove sestavne dele. K temu je veliko prispeval Jean-Pierre Sauvage, ko je leta 1983 uspešno povezal dve molekuli v obliki obroča v verigo, imenovano katenan (slika 1). Podobno kot v mehanskih verigah sta v teh molekulskih skupkih sestavna dela prosto gibljiva glede drug na drugega, mehanska vez med njima pa ju omejuje na dani del prostora.

Čprav so bile podobne strukture znane že prej, je Jean-Pierre Sauvage z uporabo bakrovega iona uspel za sintezo izkoristek z nekaj odstotkov povečati kar na 42 odstotkov. Sintezni postopek so Sauvage in sode-



Slika 1: Jean-Pierre Sauvage je s pomočjo bakrovega iona uspel povezati dve molekuli z mehansko vezjo (Dietrich-Buchecker, Sauvage, Kintzinger, 1983).



Slika 2: Različne topološke strukture, ki jih je uspela sintetizirati skupina Jean-Pierrea Sauvagea (Molecular Machines, Scientific Background on the Nobel Prize in Chemistry 2016).

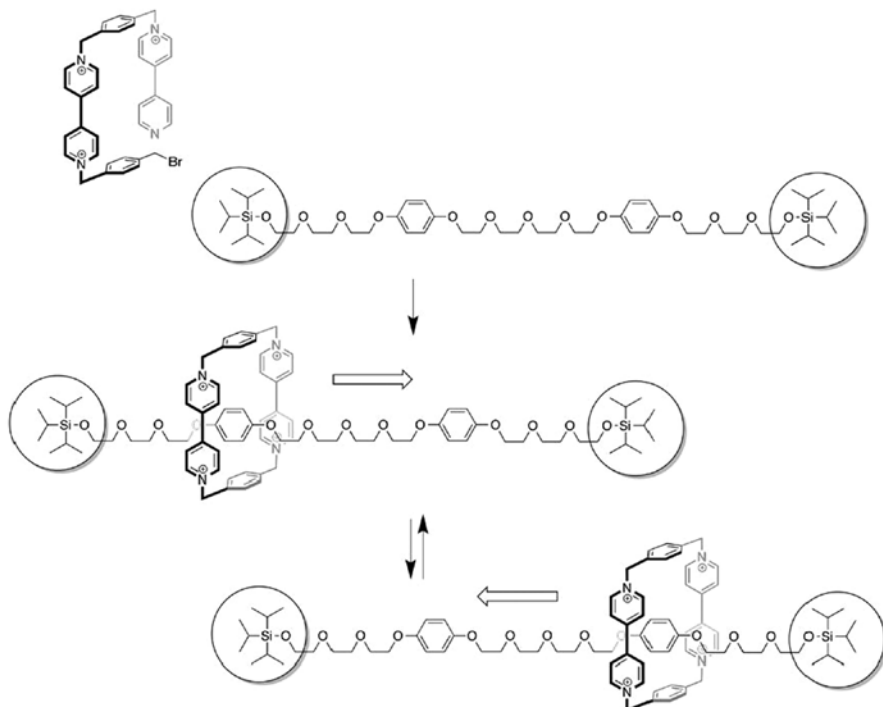
lavci uporabili za sintezo cele vrste topološko različnih verig (slika 2) in leta 1994 sintetizirali katenene, v katerih se je en obroč okrog drugega vrtel nadzorovano. To je bil prvi korak k sintezi molekularskih strojev.

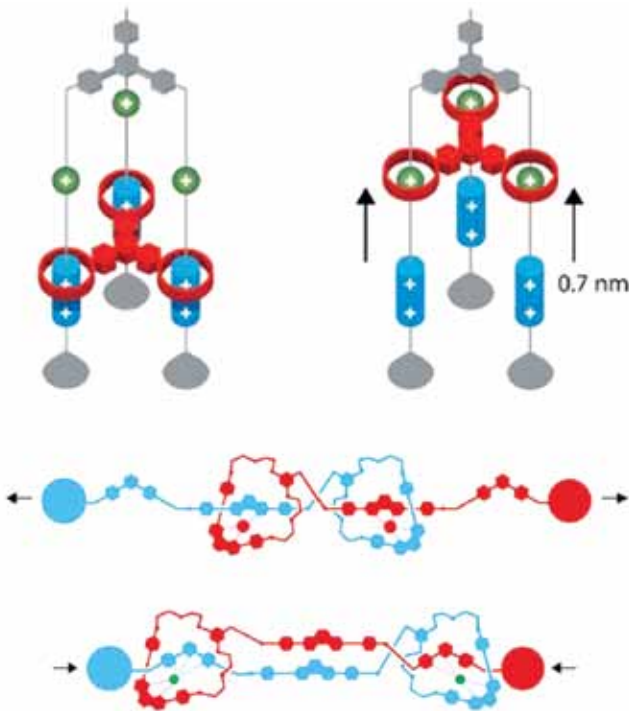
Naslednji preskok v smeri konstrukcije molekularskih strojev se je zgodil po zaslugi sira Jamesa Fraserja Stoddarta, ki je leta 1991 uspel molekularski obroč naviti na molekularsko os tako, da se je obroč lahko premikal vzdolž osi (slika 3). Med sintezo se je odprti obroč s primanjkljajem elektronov vezal na del molekularske osi s povečano elektronsko gostoto. Ko so obroč zaprli, je bil obroč mehansko pritrjen na molekularsko os in se je lahko prosto gibal vzdolž osi med obema hidrokinoloma, vezanima na koncih molekularske osi. Z velikim izkoristkom so uspeli sintetizirati rotaksan.

Do leta 1994 je Stoddart uspel gibanje nadzorovati. S pomočjo rotaksanov je njegova skupina uspela sestaviti molekularsko dvigalo in umetno »mišico« – elastično strukturo, ki se je lahko raztezala in krčila, podobno kot mišična vlakna v tkivih (slika 4).

Da bi iz različnih gradnikov sestavili stroj, bi potrebovali še motor, v katerem bi se rotor stalno vrtel v isto smer. Zanj gre zasluga Bernardu (Benu) L. Feringi. Ta je leta 1999 sintetiziral molekulo, ki je bila sestavljena iz dveh ploščatih delov, povezanih z dvojno vezjo med ogljikovima atomoma (slika 5). Na vsak del molekule je bila vezana po ena metilna skupina, ki je delovala kot zaskočni mehanizem in poskrbela za to, da se je molekularski rotor vrtel le v eno smer. Vrtenje je bilo spodbujeno z ultravijolično svetlobo.

Slika 3: *Sinteza in translacijsko gibanje rotaksana* (Molecular Machines, Scientific Background on the Nobel Prize in Chemistry 2016; Anelli, Spencer, Stoddart, 1991).

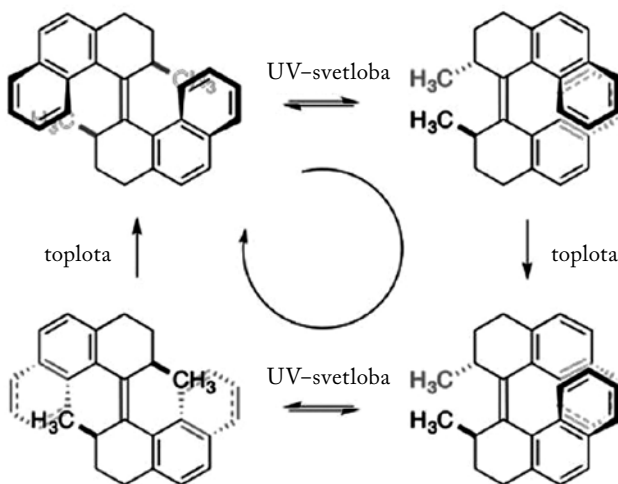




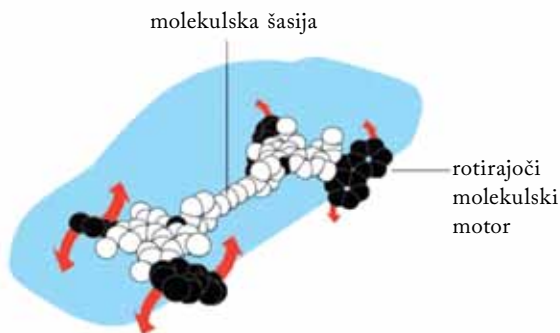
Slika 4: Molekularno dvigalo (zgoraj) in molekularna mišica (spodaj), sestavljena iz rotaksanov (Molecular Machines, Scientific Background on the Nobel Prize in Chemistry 2016).

Prvi molekularni motor je bil razmeroma počasen, že leta 2014 pa se je vrtil s hitrostjo 12 milijonov obratov v sekundi.

Feringa in sodelavci so leta 2006 pokazali, da lahko s podobnimi molekularnimi motorji v tekočih kristalih vrtijo steklene cilindre, 10.000-krat večje od samih sebe (posnetek poskusa je dostopen na www.nature.com/nature/journal/v440/n7081/supinfo/440163a.html), leta 2011 pa so uspeli sestaviti »nanoavto«, v katerem iz molekul sestavljeno ogrodje avtomobila poganjajo štirje molekularni motorji v vlogi koles (slika 6).



Slika 5: Enosmerni molekularni motor na svetlobo (Koumura, Zijlstra, Delden, Harada, Feringa, 1999).



Slika 6: *Nanoavto s pogonom na štiri »kolesa«* (Molecular Machines, Scientific Background on the Nobel Prize in Chemistry 2016).

Čeprav so molekularni stroji danes sicer še na stopnji razvoja, na kateri so bili električni motorji leta 1830, so Jean-Pierre Sauvage, sir James Fraser Stoddart in Bernard L. Feringa s svojimi odkritji odprli vrata v nov svet kemije. Omogočili so sestavo molekularnih strojev, ki so vsaj tisočkrat manjši od lasu. S tem so dali besedi miniaturizacija popolnoma nov pomen in samo ugibamo lahko, kaj bo prinesla nova industrijska revolucija.

Literatura:

Anelli, P. L., Spencer, N., Stoddart, J. F., 1991: *A Molecular Shuttle. Journal of the American Chemical Society*, 113 (13): 5131–5133.

Dietrich-Buchecker, C. O., Sauvage, J. P., Kintzinger, J. P., 1983: *Une nouvelle famille de molécules: Les métallo-caténanes. Tetrahedron Letters*, 24 (46): 5095–5098.

How molecules became machines, Popular Science Background on the Nobel Prize in Chemistry 2016. The Royal Swedish Academy of Science.

Koumura, N., Zijlstra, R. W. J., Delden, R. A. van, Harada, N., Feringa, B. L., 1999: *Light-Driven Monodirectional Molecular Rotor. Nature*, 401 (6749): 152–155.

Molecular Machines, Scientific Background on the Nobel Prize in Chemistry 2016. The Royal Swedish Academy of Science.

Naše nebo • Astronomi odkrili »okroglo« zvezdo

Astronomi odkrili »okroglo« zvezdo

Mirko Kokole

Morda se taka označba zdi na prvi pogled precej absurdna, a za njo se skriva pomemben dosežek na področju astronomije. Vsi namreč vemo, da se zvezde pod vplivom centrifugalne sile na ekvatorialnem delu nekoliko napihnejo in tako dobijo obliko sploščenega elipsoida. Hitreje kot se zvezda vrtili, bolj je sploščena. Skupina astronomov je v nedavni številki revije *Science Advances*

objavila zanimiv članek, v katerem pišejo, da so odkrili zvezdo z izjemno majhno sploščenostjo. Ta zvezda je za zdaj najbolj okrogel nebesni objekt, ki ga poznamo. A bolj kot dejstvo, da je zvezda skoraj popolnoma okrogla, je pomemben način, kako so prišli do tega rezultata. Uporabili so namreč razmeroma mlado astronomsko vedo - asteroizmozologijo.