

Tanulmány

A PARÁNYI GÉPEZETEK NAGY NAPJA – KÉMIAI NOBEL-DÍJ 2016 –

London Gábor

PhD, tudományos munkatárs,
MTA Természettudományi Kutatóközpont Szerves Kémiai Intézet
london.gabor@tkk.mta.hu

Bevezető

Molekuláris gépek nélkül nincs élet. Legalábbis jelen formájában nehezen elképzelhető. Az élő sejtek komplex szerveződésének és működésének fenntartásáért számos, a természet által évmilliárdok alatt tökéletesített fehérjealapú, meghatározott program szerint működő parányi motor és kapcsoló felelős. Biztosan sokan emlékeznek arra a középiskolai biológiaórára, amikor először láttak zöld szemes ostorost mikroszkóp alatt (komment: Próbálok kideríteni a hivatalos írásmódot, mert tankönyvekben, tanulmányokban, elfogadható forrásokban még ennyiféle írásmódot találtam: *zöld szemes ostoros*, *zöld szemes-ostoros*, *zöld szemesostoros*, *zöld-szemesostoros*, *zöldszemes ostoros*.) A sejtből kinyúló ostor vagy *flagellum* bonyolult szerkezetű, gyors és irányított forgó mozgásra képes szerkezet, a flagelláris motor része. Ennek a motornak a segítségével tud a sejt fényforrás vagy tápanyag felé haladni. Kevésbé könnyen észlelhetők, de fontos példák a sejteken belüli aktív transzportért felelős miozin, kinezin, illetve

dynein típusú motorfehérjék, amelyek kötött pályán mozognak fel és alá, hogy az általuk szállított rakomány célba érjen. De motorokat, illetve „fehérjeautomatikat” tartalmaznak a sejtfaon keresztüli anyagáramlásért felelős transzmembrán fehérjék, vagy az adenosin-trifoszfátnak (ATP), a szervezet energiaraktárának szintéziséért felelős ATP-szintáz enzim komplex is.

Hasonlóan a makroszkopikus, autókban vagy mosógépekben megtalálható motorokhoz, a molekuláris szintű motorok működéséhez is energiabefektetés, valamiféle üzemanyag jelenléte szükséges. Ilyen üzemanyag lehet például az imént említett ATP, amelynek a bomlása során felszabaduló energia számos sejt szintű folyamat hajtóereje, de hőenergia, koncentrációkülönbség okozta ionáramlás vagy a fény fotonjainak energiája is szolgálhat energiaforrásként. Utóbbira példák a szemünkben működő fényérzékeny receptorfehérjék, amelyeken belül egy A-vitamin-származéknak, a retinálnak fény hatására bekövetkező szerkezeti változása kapcsolja be a látás folyamatát.

Elnézve az élő szervezet komplexitását, hierarchikus felépítését, a térben és időben is irányított folyamatokat, amelyek segítségével a rendszer munkát tud végezni környezetén nemcsak molekuláris, de mikro- és makroszkopikus szinten is, nem csoda, hogy a sejt mint az élő rendszerek egysége inspirációforrásként jelent meg a szintetikus kémia területén.

Vajon lehetséges-e olyan molekuláris rendszereket felépíteni, amelyekben kémiai és/vagy fényenergiával működő, irányított mozgást végző nanoméretű gépezetek komplex feladatokat látnak el?

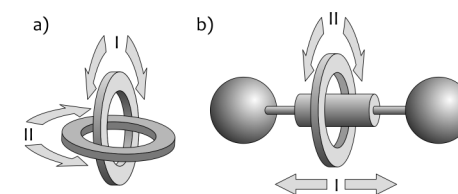
Erre a kérdésre keresve a választ alkotta meg *Jean-Pierre Sauvage*, *Sir J. Fraser Stoddart* és *Bernard (Ben) L. Feringa* azokat a dinamikus szerkezeteket, amelyek egy ilyen „nanovilág” alapvető építőelemei lehetnek.

Molekulaszerkezet-tervezés

A fizikai munkavégzés egyik kritikus eleme a mozgás, mégpedig az irányított mozgás. Nem sok haszna lenne egy autónak, ha a kerekei véletlenszerűen mozognának hol hátra, hol pedig előre. Molekuláris motorok tervezésénél sem a mozgás előidézése, hanem a mozgás irányítottságának a kikényszerítése volt az egyik fő kihívás. A molekuláris szintű irányított mozgás megteremtésének egyik első megközelítése a mechanikusan összekötött molekulák (*mechanically interlocked molecules*, *MIM*) kifejlesztéséhez fűződik (1. ábra). Ezekben a rendszerekben az egyes molekuláris egységek nem erős kovalens kötással, hanem mechanikai kötással, láncszemként kapcsolódnak egymáshoz. Ilyen típusú molekulák hatékony szintézisét valósították meg Sauvage és munkatársai (Dietrich-Buchecker et al., 1985), amely azután lehetővé tette a mechanikus kötésen alapuló kapcsolók és motorok kifejlesztését. Egy ilyen elrendezés-

ben, az ún. katenán és rotaxán típusú molekulákban az egyes komponensek egymáshoz képest elmozdulhatnak, azonban ez a mozgás még mindig csak véletlenszerű, főként a környezet hőtartalma alakítja (1. ábra).

A mozgás kontrollálásához szükség volt az aszimmetria mint szerkezeti elem beemelésére, azaz egymástól eltérő tulajdonságú „állomások” beépítésére a szerkezetekbe. Ilyen módon az egyes komponensek egymáshoz képest felvett helyzete befolyásolhatóvá vált különböző kémiai és/vagy fizikai tényezők (üzemanyagok) változtatásával. Az első reverzibilisen kapcsolható rotaxánt Stoddart és munkatársai fejlesztették ki (Bissell et al., 1994), amelyben a mozgás irányát a közeg sav/bázis tulajdonságai határozták meg (2. ábra). A pozitív töltésű makrociklus kezdetben az A állomáson helyezkedik el, amely állomáson található nitrogénatomok elektronpárjai erősebben hatnak kölcsön a makrociklus pozitív töltésével, mint a B állomás oxigénatomjai. Ha a rendszerhez savat (H^+) adunk, az A állomás nitrogénjei protonáló-



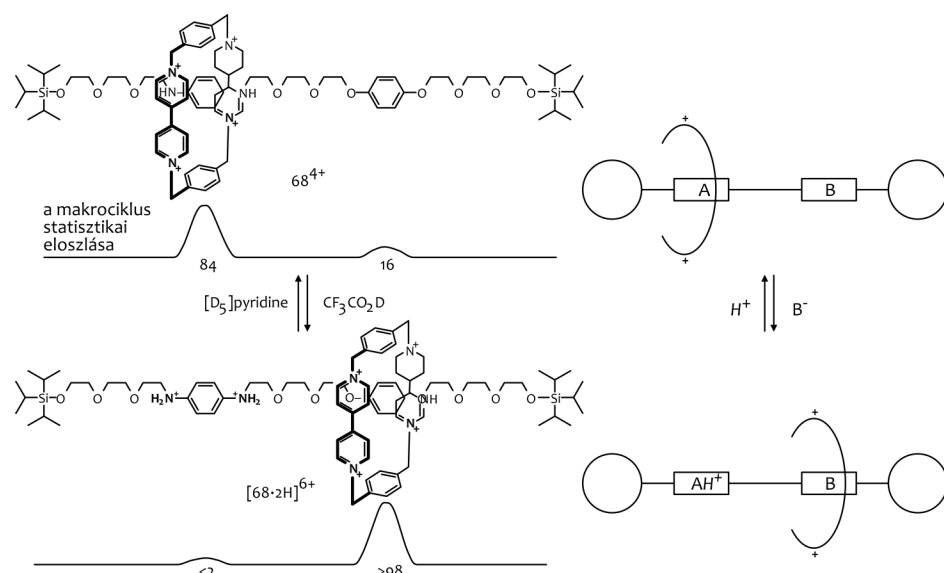
1. ábra • Mechanikusan összekötött molekulák típusai. (a) Katenánok: egymásba fűzött nagygyűrűs molekulák (makrociklusok). (b) Rotaxánok: egy makrociklus és egy hosszú, szálszerű molekula mechanikus kombinációja. A szürke gömbök nagy térkitöltésű csoportokat jeleznek, amelyek megakadályozzák, hogy a gyűrű elhagyja a szálát. A nyilak az egyes komponensek lehetséges mozgási irányait jelzik. (Forrás: Kay et al., 2007)

nak, ezáltal pozitív töltésűvé válnak. A makrociklus pozitív töltései és az A állomás pozitív töltései egymást taszítják, aminek hatására a makrociklus a B állomásra siklik át. A folyamat megfordítható: ha valamilyen bázis (B) hozzáadásával eltávolítjuk a pozitív töltést az A állomás nitrogénatomjairól, a makrociklus visszatér az A állomásra.

Ezt követően kezdődött meg a rotaxánok mint translációs motorok térhódítása a molekuláris kapcsolók és motorok területén (Amabilino – Stoddart, 1995). Nemcsak sav/bázis alapú, de elektrokémiailag és fényrel meg-hajtott rendszereket is kifejlesztettek (Kay et al., 2007).

Nem sokkal az irányított translációs mozgásra képes rotaxánok megjelenését követően Feringa és munkatársai (Koumura et al., 1999) kifejlesztették az első irányított forgómozgásra képes molekuláris motort (3. ábra). Ezen motorok első példái, az ún. első generációs motorok, egy központi kettős kötés

körül naftalin egységeket tartalmaztak, illetve két királis metil-csoportot, ami az aszimmetriát biztosította. A központi kettős kötés mint tengely körüli egyirányú rotációt fény- és hőenergia betáplálása idézi elő két fotokémiai *cisz-transz* izomerizációs és az ezeket követő termális átrendeződési lépéseken keresztül. A motor működésében kulcsszerepe van az egyes állapotok relatív termodinamikai stabilitásának. A metil-csoportok kevésbé zsúfolt, axiális (Me_{ax}) térállása esetén a központi kettős kötés kevésbé „kicsavarodott”, ezért ezekben az állapotokban a molekula energiája alacsonyabb. A folyamat első lépésében az A molekula UV-sugárzás hatására átalakul a B formába fotokémiai izomerizációs folyamatban. Megfelelő hőmérsékleten a B állapot spontán, termális folyamatban C-vé alakul. Ebben a lépésben az aromás naftalin molekularészek „átsiklanak” egymáson, ennek eredményeképpen a metil-csoportok az ekvatoriális (Me_{eq}) térállásból újból a kedvezménye-



2. ábra • Az első irányítottan kapcsolható rotaxán működési mechanizmusa (Bissell et al., 1994)

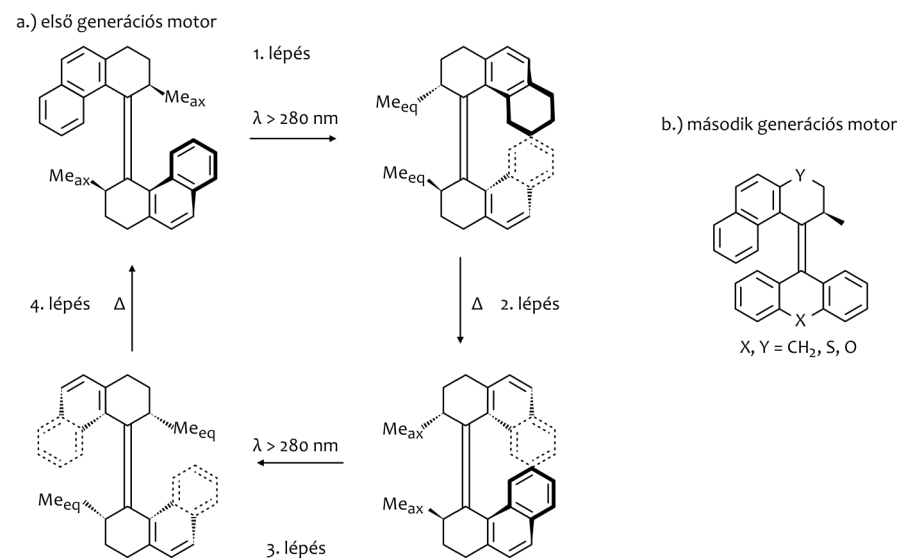
zett axiális állásba jutnak. A C forma UV-sugárzás hatására D állapotba kerül, amelyből termális átrendeződéssel a molekula a kezdeti A állapotba jut, teljesítve egy 360°-os fordulatot. Fontos kiemelni, hogy a fotokémiai izomerizáció egyensúlyi folyamat az A és B, valamint a C és D állapotok között, míg a termális lépések irreverzibilisek, ami biztosítja a forgás egyirányúságát. Továbbá, a sztereocentrumban lévő metil szubsztituensek konfigurációja határozza meg a forgás irányát.

Röviddel a 3.a ábrán bemutatott első generációs motorok kifejlesztése után megjelentek a második generációs motorok (3.b ábra), amelyekben a molekula kettős kötéshez kapcsolódó két fele szerkezetiileg különböző. A második generációs szerkezetek forgási mechanizmusa megegyezik a korábbi verzióéval, ám a nagyobb szerkezeti aszimmetria kedvez a molekulák sokszínűbb szintetikus módosításának, ami kulcsfontosságú alkalmazhatóságuk szempontjából. A szintetikus módosít-

hatóság meghatározó szerepet játszott a motorok forgási sebességének szabályozásában is. Mivel a fotokémiai izomerizáció nagyon gyors folyamat, a termális lépés határozza meg a motor sebességét a rotáció során. Az elsőként közölt molekulák forgási ciklusában a leglassabb termális lépés mintegy 400 órát vett igénybe szobahőmérsékleten. Ha ezt összevetjük az ATP-szintáz 130 fordulat/másodperces sebességével, egyértelmű, hogy szükséges volt a szintetikus motorok meggyorsítása. A sebesség szabályozására tett erőfeszítések olyan széles portfóliót eredményeztek, amelyben az 1000 év/ciklust meghaladótól a MHz nagyságrendű forgási sebességre képes szerkezetek is megtalálhatók (Feringa, 2007).

Komplex struktúrák, kezdeti alkalmazások

A prototípusok megjelenését nagy számban követték az irányított és reverzibilis mozgásokra képes új szerkezetek. Az újabb és újabb variációk (molekuláris ollók, csipeszek, liftek,

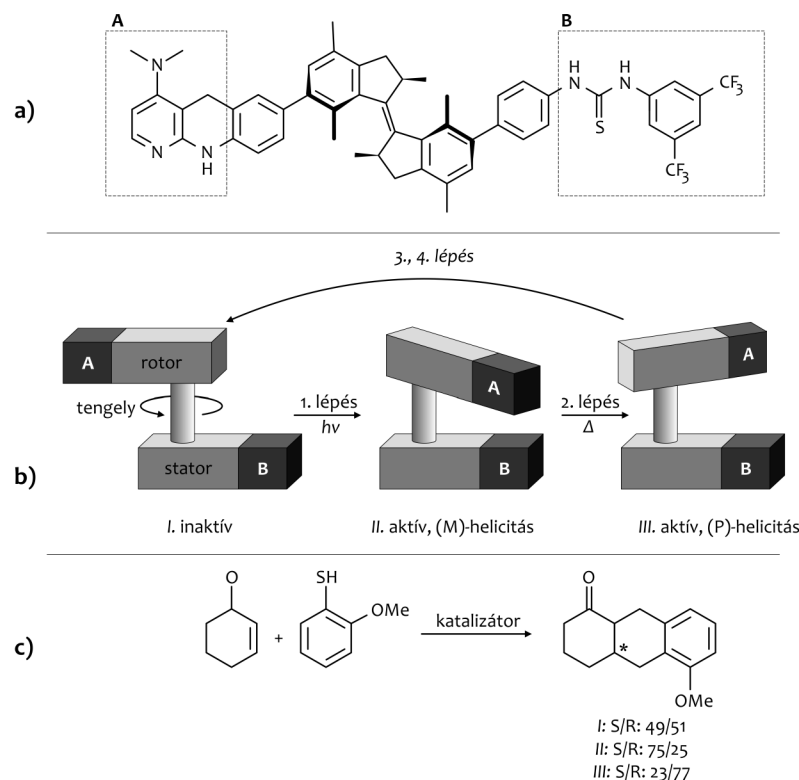


3. ábra • Molekuláris rotációs motorok típusai és működési mechanizmusuk (Koumura et al., 1999).

propellerek, váltók, fékek, szelepek stb.) szintézisének azonban jóval érdekesebb kérdésre vált olyan molekulák, illetve molekuláris rendszerek előállítása, amelyek valamiféle munkavégzésre is képesek (Browne – Feringa, 2007). Az utóbbi szűk tíz évben egyre jobban kirajzolódott az a kétféle megközelítés, amely napjaink két fő irányvonala a munkavégzést tekintve. Az egyik irány olyan molekulák előállítása, amelyek a saját – molekuláris – szintjükön képesek hasznos feladatokat ellátni. Ilyen feladat lehet más nanostruktúrák előállítása, vagy, a természetes enzimekhez hasonlóan, kémiai reakciók katalizálása. A

másik megközelítés a molekulárisnál jóval nagyobb mérettartományokat célozza. Mikro- és makroszkopikus szintű hatásokat egyetlen molekula nem képes kiváltani, ezért ez az irányvonal molekulák sokaságát integrálja, hogy azok együttes, szinkronizált mozgása kihasználhatóvá váljon. Nem meglepő módon, a molekulákkal történő munkavégzés első példái is a díjazottak nevéhez köthetők.

Az irodalomban talán az egyik legösszetettebb rendszert molekuláris szintű, hasznosnak tekinthető munkavégzésre Jiaobing Wang és Feringa fejlesztették ki (2011), amely egy első generációs molekuláris motoron alapuló

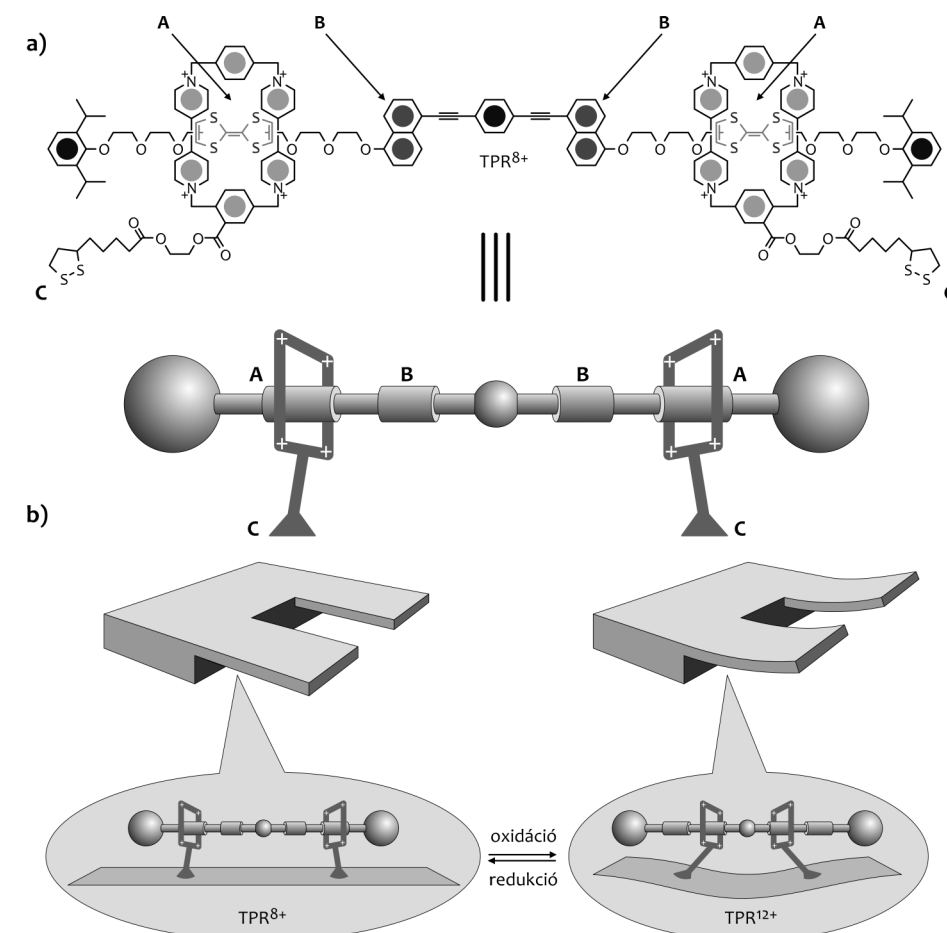


4. ábra • (a) a Wang és Feringa által kifejlesztett katalitikus molekuláris motor szerkezete
(b) a katalizátor működésének sematikus ábrája (Forrás: Wang – Feringa, 2011).
(c) a motor által katalizált modellreakció.

sztereoselektív katalizátor (4.a ábra). Ebben az esetben egyetlen molekulával lehetséges kontrollálni, hogy egy kémiai reakció végbemenjen-e, és ha végbemegy, akkor milyen térszerkezetű termék keletkezzen. Ehhez a többszintű katalitikus szabályozáshoz mindössze fény és hőenergia befektetése szükséges.

A pontosan megtervezett és előállított molekula két alegységet tartalmaz (A és B), amelyek egymáshoz közel kerülve kémiai

reakciókat képesek kiváltani. Az I-es állapotban, mivel A és B egymástól távol helyezkedik el, a motormolekula katalitikusan inaktív (4.b ábra). UV fényvel való besugárzás aktiválja a katalitikus hatást, mivel a fotokémia- ilag kiváltott izomerizáció térközelbe hozza a kémiai átalakításért felelős A és B csoportokat. A fény hatására előállt II-es állapotban a motor (M)-típusú helikális szerkezetű, amely térszerkezet meghatározza a molekula által



5. ábra • (a) a molekuláris izomként funkcionáló rotaxán szerkezete és sematikus ábrázolása
(b) a nagyszámú rotaxánnal módosított vékony aranyrelemez a molekulák együttes mozgásának eredményeként meghajlik (Forrás: Liu et al., 2005).

katalizált reakció termékének térszerkezetét is (4.c ábra). A II-es forma megfelelő hőmérsékleten spontán termális folyamatban III-má rendeződik át, amely forma térszerkezetére az előzővel ellentétes (*P*)-helicitás jellemző. Így, a molekula ebben a formájában az előzővel ellentétes (tükröképi) térszerkezetű molekula előállítását teszi lehetővé ugyanazon reakcióban. Érdeemes megjegyezni, hogy a természetben megtalálható enzimek, illetve más, szintetikus szelektív katalizátorok döntő többsége hasonló reakciókban csak az egyik térszerkezetű molekulát képes előállítani.

A molekuláris mérettartományban végezhető munka kutatásával párhuzamosan, a molekulák sokaságának szinkronizált mozgását vizsgáló kísérletek is fejlődtek. Ezeknek a kísérleteknek a célja, hogy nagyszámú molekula együttes mozgását valamilyen mikro- vagy makroszkopikus szinten érzékelhető változás előidézésére lehessen fölhasználni.

A molekuláris izmok koncepcióját Stoddart és munkatársai alkalmazták először a gyakorlatban (Liu et al., 2005). Az általuk felépített rendszerhez az inspirációt a vázizom feszülése és elernyedése adta. Az izom lényegében egymáson hosszirányban „elcsúszni” képes párhuzamos fehérjemolekulákból áll. Az egyes komponensek egymáshoz viszonyított lineáris mozgása alapvető hasonlóság Stoddart rotaxánjai és az izmok között.

Ez azonban még nem elég ahhoz, hogy a rotaxánmolekulák az izmokhoz hasonlóan értékelhető fizikai munkát végezzenek. A munkavégzés megvalósításához Stoddart és munkatársai egy olyan molekulát állítottak elő, amely négy, páronként azonos állomást (A és B) tartalmazott (5.a ábra). Az egymással szomszédos A és B állomások között két makrociklus relatív helyzete változtatható volt a molekula kémiai vagy elektrokémiai

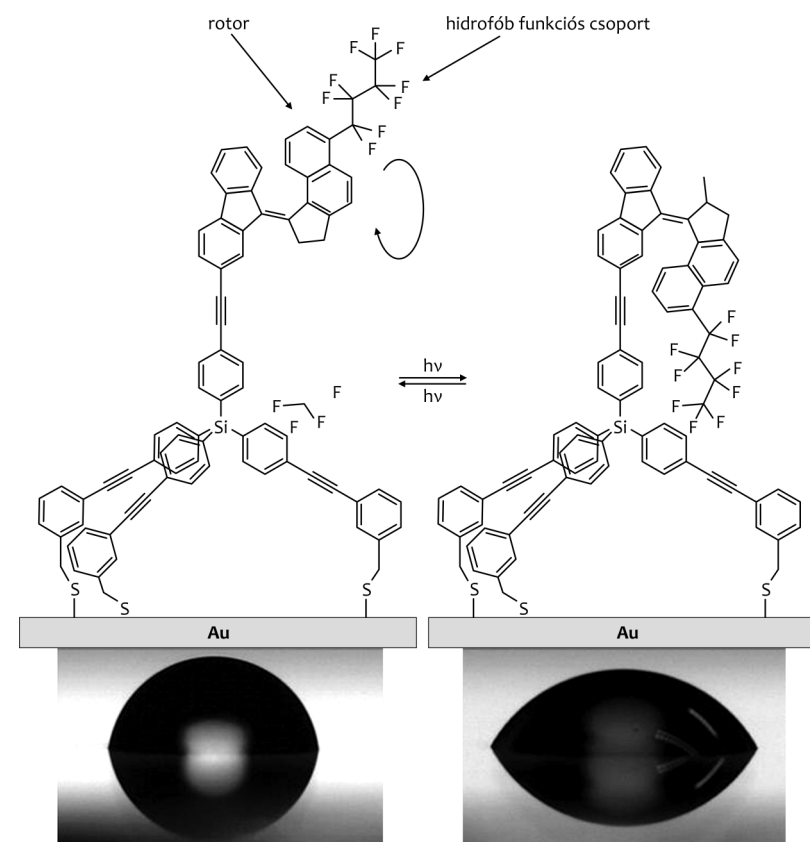
létrehozott töltöttségének megfelelően. Ha az A állomások pozitív töltésre tettek szert, a pozitív töltésű gyűrűk a B állomásra siklottak, azaz egymáshoz közeledtek; ha az A állomás töltése megszűnt, a gyűrűk visszatértek kezdeti állapotukba, azaz egymástól távolodtak. A molekulatervezés másik fontos eleme, hogy az egyes gyűrűk hozzákapcsolhatók valamilyen (szilárd) felülethez a C egységen keresztül. Könnyen belátható, hogy ha a gyűrűket rögzítjük egy jóval nagyobb objektumhoz, miközben egymástól távol, az A állomáson tartózkodnak, az egymás irányába (B állomásra) történő elmozdulásuk során erőt fejthetnek ki a mikro- vagy makroszkopikus objektumra. Ha nagyon nagy számú molekula fejt ki erőt, elképzelhető, hogy ez mikro- vagy makroszkopikus változásban is megnyilvánul. Ezt a hipotézist megvizsgálandó, Stoddarték nagyszámú rotaxánt rögzítettek vékony, 500×100×1 mikrométeres aranyszálakhoz, és előidéztek az egyes gyűrűk egymás irányába való elmozdulását (5.b ábra). Valóban, az aranyszálak a mintegy 6 milliárd molekula erő kifejtésének köszönhetően mérhetően meghajlottak, és ez a fizikai változás a gyűrűk helyzetének változtatásával oda-vissza előidézhetővé vált.

A molekuláris rotációs motorok sokaságával való munkavégzés egyik illusztratív példája a makroszkopikus felületek nedvesedésének fény- és hőenergiával való dinamikus változtatása (Chen et al., 2014). Tetszés szerint változtatható nedvesedési tulajdonságokkal bíró felületek alkalmazhatók lehetnek szerves határfelületek és élő sejtek közötti kölcsönhatások befolyásolására, vagy éppen öntisztuló rétegek kialakításában tölthetnek be szerepet.

Ahhoz azonban, hogy egy makroszkopikus szilárd felület tulajdonságait molekuláris motorokkal befolyásolni tudjuk, nagyszámú motort úgy kell a felülethez rögzíteni, hogy

a tengelyként szolgáló központi kettős kötések a felülettel párhuzamosan álljanak (London et al., 2009). Ezáltal lehetővé válik a molekulák rotoregységére kötött különböző tulajdonságú funkciók csoportok határfelülethez viszonyított orientációjának kontrollált változtatása. Amennyiben vizet taszító, hidrofób funkciók csoportokat a felületen elhelyezkedő vízcsepp felé irányítunk, a vízcsepp „összehúzódik”, csökkenti a közte és a hidrofób felület közti érintkezés kiterjedését. Ha e csoportokat a vízcsepp elől „elrejtjük”, az jobban szétterül a már kevésbé taszító felületen.

A fenti példák valamelyest illusztrálják a molekuláris motorokban és kapcsolókban rejlő lehetőségeket a molekuláris mérettartományoktól a mikro- és makroszkopikus szintekig, de semmi esetre sem kimerítőek a terület mélységét illetően. Az itt röviden bemutatott dinamikus rendszerekkel ugyanis megvalósítható molekuláris és makroszkopikus irányított mozgás négykerék-meghajtású nanoautó és üveglapon irányíthatóan vándorló folyadékcsepp formájában, de ezek adják egy lehetséges molekuláris számítógép memóriaelemeit is. Alkalmazásaik biológiai



6. ábra • Makroszkopikus felületek nedvesedési tulajdonságainak változtatása a felülethez kötött nagyszámú motor segítségével. A rotorokon található hidrofób csoportok felülethez viszonyított helyzete fény- és hőenergia befektetésével változtatható.

rendszerekben is megállíthatatlanul terjednek az utóbbi években fejlődésnek indult optokémiai genetika (Fehrentz et al., 2011) és fotofarmakológia területén (Velema et al., 2014), vagy mint a gyógyszermolekulákat célba juttató nanokapszulák mozgó alkatrészei. Sokan gondolhatják, hogy ezek mind csupán laboratóriumi kuriózumok, hiszen már az egyszerűbb komponensek előállítása is szintetikus kémiai *tour de force*. Ez talán részben igaz, azonban a terület alapvető elemei megtalálják útjukat a laboratóriumon kívüli világba. Ennek egy példája a Nissan és japán kutatók közös fejlesztéseként megjelent önregeneráló mobiltelefon-bevonatok, amelyek képesek

felületi karcolásokat önmaguktól kijavítani. Ezeknek a bevonatoknak az anyaga egy rotaxán alapú polimer (Noda et al., 2014).

A 2016-os kémiai Nobel-díj a molekuláris gépezetek korának hajnalát jelzi. A következő évtizedek minden bizonnyal a tudományág további virágzását hozzák, annál is inkább, mivel várhatóan még inkább az alkalmazásokra terelődik a hangsúly. Emiatt is sajnálatos, hogy a hazai kémiai kutatási portfólióból a dinamikus molekuláris rendszerek vizsgálata csaknem teljesen hiányzik.

Kulcsszavak: *kémia, Nobel-díj, rotaxán, kate-nán, molekuláris motor*

IRODALOM

- Amabilino, David B. – Stoddart, J. Fraser (1995): Interlocked and Intertwined Structures and Superstructures. *Chemical Reviews*. 95, 2725–2828. DOI:10.1021/cr00040a005
- Bissell, Richard A. – Cordova, E. – Kaifer, A. E. et al. (1994): A Chemically and Electrochemically Switchable Molecular Shuttle. *Nature*. 369, 133–137. doi:10.1038/369133a0
- Browne, W. R. – Feringa, Bernard L. (2007): Making Molecular Machines Work. *Nature Nanotechnology*. 1, 25–35. doi: 10.1038/nnano.2006.45
- Chen, Kuan-Yen – Ivashenko, O. – Carroll, G. T. et al. (2014): Control of Surface Wettability Using Tripodal Light-activated Molecular Motors. *Journal of the American Chemical Society*. 136, 3219–3224. DOI: 10.1021/ja412110t
- Dietrich-Buchecker, Christiane O. – Sauvage, J. P. – Kern, J. M. (1985): Templated Synthesis of Interlocked Macrocyclic Ligands: The Catenands. *Journal of the American Chemical Society*. 106, 3043–3045. DOI:10.1021/ja00322a055
- Fehrentz, Timm – Schönberger, M. – Trauner, D. (2011): Optochemical Genetics. *Angewandte Chemie International Edition*. 50, 12156–12182. DOI:10.1002/anie.201103236
- Feringa, Ben L. (2007): The Art of Building Small: From Molecular Switches to Molecular Motors. *The Journal of Organic Chemistry*. 72, 6635–6652. DOI:10.1021/jo070394d
- Kay, Euan R. – Leigh, D. A. – Zerbetto, F. (2007): Synthetic Molecular Motors and Mechanical Machines. *Angewandte Chemie International Edition*. 46, 72–191. DOI: 10.1002/anie.200504313
- Koumura, Nagatoshi – Zijlstra, R. W. J. – van Delden, R. A. et al. (1999): Light-driven Monodirectional Molecular Rotor. *Nature*. 401, 152–155. DOI:10.1038/43646
- Liu, Yi – Flood, A. H. – Bonvallet P. A. et al. (2005): Linear Artificial Molecular Muscles. *Journal of the American Chemical Society*. 127, 9745–9759. DOI: 10.1021/ja051088p
- London Gábor – Carroll, G. T. – Landaluce, T. F. et al. (2009): Light-driven Altitudinal Molecular Motors on Surfaces. *Chemical Communications*. 1712–1714. DOI:10.1039/B821755F
- Noda, Yumiki – Hayashi, Y. – Ito, K. (2014): From Topological Gels to Slide-ring Materials. *Journal of Applied Polymer Science*. 131, 40509. DOI: 10.1002/app.40509
- Velema, Willem A. – Szymanski, W. – Feringa, B. L. (2014): Photopharmacology: Beyond Proof of Principle. *Journal of the American Chemical Society*. 136, 2178–2191. DOI:10.1021/ja413063e
- Wang, Jiaobing – Feringa, Ben L. (2011): Dynamic Control of Chiral Space in a Catalytic Asymmetric Reaction Using a Molecular Motor. *Science*. 331, 1429–1432. DOI: 10.1126/science.1199844

PILLANTÁS A HÍDRA

Néhány szó *A fizika kultúrtörténetéről**

Schiller Róbert

a kémiai tudományok doktora
MTA Energiatudományi Kutatóközpont

Simonyi Károly az ajándékot, amelyet olvasóinak készített, gondosan becsomagolta. Nyilván meg akart lepni bennünket. A könyv fülszövege – idézet *Staar Gyula* nagyszerű interjúkötetéből – igencsak szerényen hangzik. A szerző korábbi egyetemi előadásaira emlékszik: „A lankadó figyelem élénkítésére, pihentetésre én történelmi anekdotákat, verseket mondtam. Ezek mindig kapcsolatban álltak a konkrét szakmai mondanivalómmal. Pontosan emlékszem arra az időre, amikor elhatároztam, hogy ebből a »lazításból« könyv lesz, megírom a fizika kultúrtörténetét.” Ennyi lenne tehát ez a munka? Anekdotafűzér és szép idézetek gyűjteménye?

Az első fejezet ennél már magasabbra teszi a mércét. *C. P. Snow* könyvéből, *A két kultúrából* idéz: „Azt hiszem, hogy a nyugati társadalom egészének intellektuális élete egyre növekvő mértékben hasad szét két szemben álló csoportra [...] az irodalmárok az egyik oldalon, a tudósok – és ezek között is elsősorban a fizikusok – a másikon.” A tétel illusztrálására *Snow* azt az öt elretentő tapasztalatát idézi fel, hogy művelt íróemberek társaságában senki nem tudta, micsoda a termodina-

mika második főtétele. Olyan ez – írja –, mintha egy fizikus semmit se tudna Shakespeare-ről! A tapasztalat szomorú valóban, de nem hiszem, hogy *A fizika kultúrtörténete* ennek a dichotómiának lenne az orvossága. Nem ezért írták!

A tudománytörténész, *George Sarton* írta egyszer, egyebek mellett nyilván saját területének az igazolására is, hogy „a tudománytörténet jelenti az egyetlen hidat a természettudományok és a humaniorák között”. Ez bizonyára igaz is, lényeges is. De *Simonyi* könyve nem a fizika tudományának a története, amely kitekint a humaniorákra. A könyv az emberi kultúra története, amelynek tenge-lyébe a szerző a fizikai megismerést helyezi.

Nézzük például *Quentin de la Tour* festményét, a Mme. Pompadourt ábrázoló szép portrét! Az előkelő gazdagságot sugalló környezetben *Simonyi* észreveszi a hölgy melletti asztalon álló könyveket – a *Nagy Enciklopédia* köteteit. A királyi szerető, aki bizonnyal nem pusztán szellemi kiválóságának köszönhetette fejedelmi pályafutását, gondot fordított arra is, hogy korszerűen művelt asszonynak tekintse; ezt a felvilágosodás korának nagy művével akarta demonstrálni. A francia arisztokrácia világát, egy egész korszak szellemi szerkezetét állítja elének a kép – a képalírás még a közelítő forradalmat is megidézi.

* A *Simonyi Károly* születésének 100. évfordulója alkalmából az MTA székházában 2016. október 18-án tartott emlékülésen elhangzott előadás szerkesztett változata.