

# Kavli-díj, 2010

## A karámba zárt atomoktól a DNS-ből „ácsol” 3D szerkezetekig

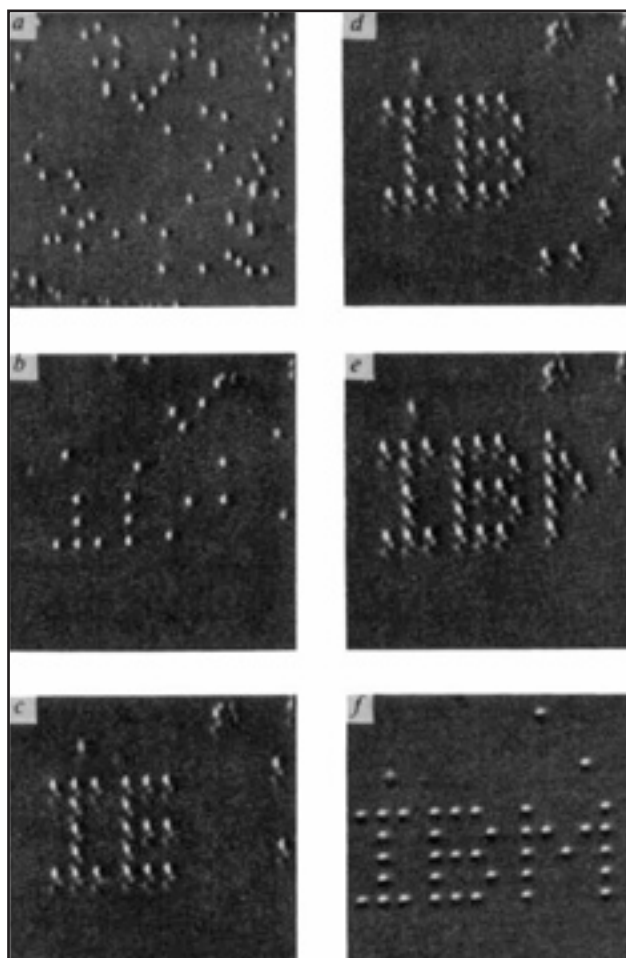
BIRÓ LÁSZLÓ PÉTER

A 2005-ben alapított, kétévente odaítélt Kavli-díjat [1] 2010-ben osztották ki másodszer. Az 1 millió amerikai dollárral vélt három szakterületen lehet elnyerni: asztrofizikában, nanotechnológiában és az idegtudományok terén. Az alapító szavai szerint: „Úgy vélem, hogy különösen fontos azokat a területeket támogatni, melyek a legnagyobb lehetőségeket ígérik és a legalapvetőbb kérdésekre keresnek választ. A Kavli Intézetek kutatásokat végeznek a világegyetem asztronómiai méretű tartományán, az atomok és molekulák infinitezimális méretű világában, és minden dolgok legösszetettebbje, az emberi agy működésének megismerése terén. *Azért választottam ezt a három területet, mert azt hiszem, ezek nyújtják a legnagyobb lehetőséget a leglényegesebb tudományos áttörésekre, és ezek fogják a legnagyobb mértékben szolgálni az emberiséget.*” [1]

Mielőtt hozzáfognánk a 2010. év két díjazottja, Donald Eigler és Nadrian Seeman eredményeinek áttekintéséhez, talán érdemes röviden felvillantani a nanotudományok és nanotechnológia alig néhány évtizedes „történelmét”. A történelem szó használatát két tényező is indokolja: egyfelől a viszonylag rövid idő alatt született eredmények sokasága, másfelől a terület sajátosan gyors fejlődési üteme. Sokan Richard P. Feynman (fizikai Nobel-díj, 1965) látnoki kijelentésétől (American Physical Society, 1959) eredeztetik a nanotechnológia kezdeteit: „Még rengeteg hely van odalent!” [2,3]. Mint a próféciák általában, Feynman szavai sem azonnal váltak valóra. Binnig, Rohrer és Ruska (fizikai Nobel-díj, 1996) 1981-ben alkották meg az első eszközt, a pásztázó alagútmikroszkópot (Scanning Tunneling Microscope, STM), amely képes volt atomi felbontásban leképezni a vizsgált minta felületét (bővebben [4]). A következő nagy lökéseket a nanotechnológia irányába (bővebben [5]) a szén nanoszerkezetek (bővebben [6,7]): a fullerén (H. W. Kroto, R. F. Curl és R. E. Smalley, kémiai Nobel-díj, 1996), a szén nanocső (S. Iijima, Kavli-díj, 2008), majd nemrégiben az egyetlen atom vastag grafitlemez, a grafén [8] felfedezése adták.

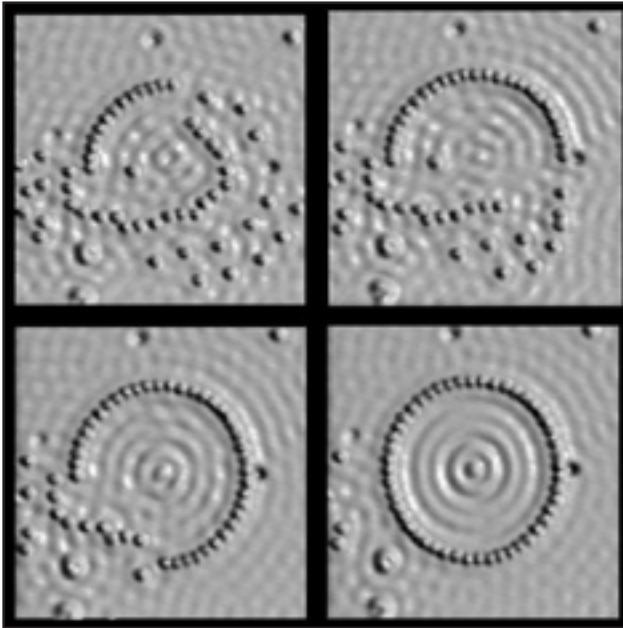
Mára elfogadottá vált, hogy a nanoszerkezetek jellemző mérettartománya az 1–100 nanométeres méreteket foglalja magában. Az 1 nanométer úgy aránylik a fociabdához, mint ahogyan a fociabba aránylik a Föld bolygóhoz. Eigler és Seeman a nanoméreteket két határán alkotott jelentőset: Eigler volt az első, aki atomokkal „biliárdozott”, Seeman pedig elsőként „ácsol” háromdimenziós vázszerkezeteket „DNS-gerendákból”.

Az STM tüje az atomi távolságokkal összemérhető közelségben mozog a leképezett minta – általában atomi léptékben is síknak tekinthető – felülete felett („biliárdasztal”). Ha ezen a felületen „ráta-



**1. ábra. Rendezetlenül elhelyezkedő Xe-atomokból több lépésben kialakított IBM-logó. Mérete  $1,4 \times 1,25 \text{ nm}^2$  ([9] nyomán)**

padt” (adszorbeált), egyedi atomok találhatók („biliárdgolyók”), akkor az STM tüjével hasonló módon lehet lökdömsni őket, mint egy némileg szokatlan módon tartott biliárdgolyóval. A szokatlanság abban



2. ábra. 48 darab vasatomból felépített, kör alakú kvantumkarám réz egykristály felületén ([10] nyomán). Jól kivehető, hogy a szabályos, kör alakú állóhullám-szerkezet csak a karám bezárása után alakul ki, előtte különféle szabálytalan mintázatok figyelhetők meg

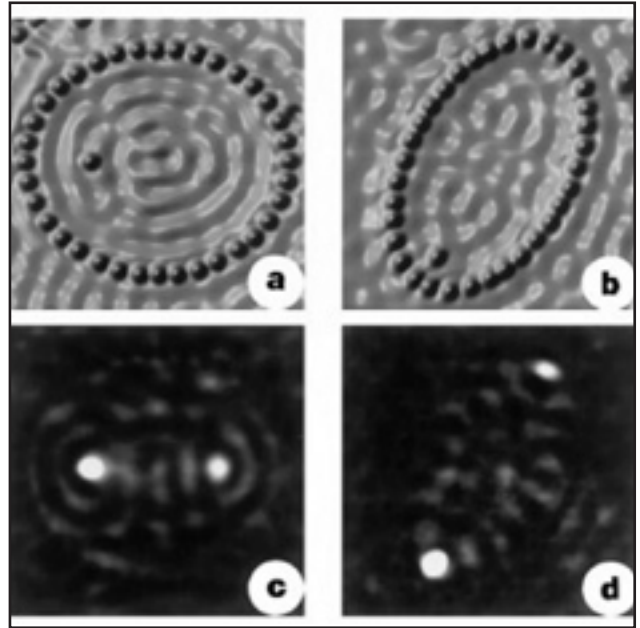
áll, hogy a dákót a biliárdasztal lapjára merőlegesen tartjuk. Ezt az eljárást követve Eiglernek sikerült először egyedi atomokat céltudatosan, előre meghatározott helyre „lökődöni”. Az eredményt nagyon alacsony hőmérsékletre hűtött, (alig 4 fokkal magasabb hőmérsékleten, mint a világűr hidege, azaz  $-273\text{ °C}$ ) nikkkel egykristály felületén az IBM logójának megfelelően elrendezett xenonatomokkal érte el [9] (1. ábra).

Később Eigler és munkatársai ún. „kvantumkarámokat” is létrehoztak ezzel az eljárással [10]. Ezek olyan nanoarchitektúrák, amelyekben a karám „falait” gyöngyfűszerűen egymás mellé rendezett atomok alkotják. A karámon belüli elektronhullámok „érzikelik” a karám falait és ahhoz hasonló állóhullám-mintázatokat képeznek (2. ábra), mint amilyen hullámokat láthatunk a makroszkópos világban egy csésze víz felszínén, amikor például rezeg az asztal lapja, amelyen a csésze található.

Az ilyen és hasonló kvantumkarámok egészen újszerű jelenségekhez is elvezettek. Ilyen például a „kvantumdílibáb”: egy elliptikus alakú kvantumkarámban az egyik fókuszpontba helyezett atomnak „szellemképe” jelenik meg a másik fókuszpontban [11]. Eigler és munkatársai megfigyelték, hogy a réz egykristály felszínén kialakított elliptikus karám egyik fókuszpontjába helyezett mágneses kobaltatom szellemképe megjelenik az ellipszis másik fókuszpontjában (3. ábra).

A jelenség magyarázata azon alapszik, hogy a karám kvantumrezonátorként működik és a réz egykristály (111) síkján létrejövő kétdimenziós elektrongáz alkotja a közeget, amelyben a kvantumhullámok terjednek. Bizonyos mértékig a jelenség hasonlít az optikai tükrökkel makroszkóposan megfigyelhető jelenségekhez, illetve az akusztikából ismert sutgó karzathoz (whispering gallery). Ha a Co-atom nem pontosan a fókuszpontban található, a szellemkép nem jelenik meg.

Nadrian C. Seeman elsőként ismerte fel azokat a különleges lehetőségeket, amelyeket a DNS kivételes „felismerési” és kapcsolódási képességei kínálnak a háromdimenziós (3D) nanoarchitektúrák létrehozására [12]. Ezen a területen, a szerkezeti bionanotechnológiában, a DNS-t úgy alkalmazzák, mint sajátos tulajdonságokkal bíró szerkezeti



3. ábra. Két különböző elliptikus kvantumkarám topográfiai (a, b) és alagútspektroszkópos (c, d) felvétele. Mindkettőnek csak a bal oldali fókuszpontjában található atom (különálló sötét pontok, a és b). A c és d ábrákon az a-ban és b-ben látható karámok megfelelő alagútáram-feszültség spektroszkópiai üzemmódban rögzített felvételei láthatók. Mindkettőn jól kivehető a bal oldali fókuszban található atomnak a jobb oldali fókuszban halványabban, de határozottan megjelenő „szellemképe” ([11] nyomán)

anyagot, nem úgy, mint a genetikai információ hordozóját. Ha a DNS kettős spirálhoz egyszálú, „kapcsolódni képes” végeket adunk, akkor olyan pálcikaszerű nanoobjektumokat nyerünk, amelyek *kizárólag csak a nekik megfelelő*, kapcsolódni képes véggel rendelkező pálcikával fognak összekapcsolódni (4. ábra, l. hátsó színes borító). Ezt a tulajdonságot felhasználva olyan 3D nanoobjektumokat lehet létrehozni, például kockát, amelynek a sarkait az egymással kapcsolódni képes egyszálú DNS-végződés képezik, éleit pedig a kétszálú DNS (5. ábra, l. hátsó színes borító).

Ezt a „DNS-ácsolást” a Watson és Crick által felállított bázispárok törvényszerűségei teszik lehetővé. Ennek megfelelően a DNS kettős spirálját alkotó bázisok: a guanin (G), a timin (T), az adenozin (A) és a citozin (C) csak a nekik megfelelő bázispárral léphetnek a két DNS-szálat összekapcsoló kötésbe: G-C, T-A. Ebből következik, hogy a kapcsolódni képes egyszálú DNS-darabok lehetséges kapcsolódási helyei olyan pontosan meghatározottak, mint ahogyan a kulcs csak a neki megfelelő zárba illik bele úgy, hogy azt ki is nyissa.

Seeman úttörő munkássága nyomán számos laboratóriumban kutatják a „DNS-ácsolás” lehetőségeit. A módszer kivételes előnyei között említeni kell, hogy atomi pontosságú csatlakozások és mintázatok *tömeges létrehozását* teszi lehetővé. Kis túlzással a megfelelő összetevők egymáshoz keverésével spontán módon kialakul a rendezett szerkezet, ezt a jelenséget önszerveződésnek nevezzük. Ugyanez az önszerveződés képezi valamennyi élő rendszer létének alapját a leg-egyszerűbb egysejtű algától, a legkomplexebb emberi agyig. A „DNS-ácsolásra” alapozott „szerkezeti nanotechnológia” lehetőséget ad arra, hogy nanométeres pontossággal építkezzünk mindhárom dimenzióban, viszonylag mérsékelt költséggel. Nyilván ez a „DNS-legő” még nagyságrendekkel alulmúlja komplexitásában a valódi élő rendszereket, azonban már ezzel az eljárással is előállíthatók gyakorlati jelentőségű termékek, például fotonikus kristályok [13]. Ezek olyan nanoarchitektúrák, amelyek színét nanométeres skálán 3D rendbe állított

10–100 nm jellemző méretű építőelemek összjátéka adja [14] – például a lepkék szárnyain megfigyelhető, szemet gyönyörködtető kék és zöld színek származnak a fény terjedését manipulálni képes nanoarchitektúráktól.

Összefoglalva elmondható, hogy Eigler és Seeman a nanotudományok és nanotechnológia átellenes határaitól indulva ugyan, de mindketten a sok elemből felépülő, rendezett nanoszerkezetek, a nanoarchitektúrák megalkotása terén értek el jelentős és messze mutató eredményeket, frissen díjazott munkásságuk a karámba zárt atomoktól a DNS-ből ácsolt nanoarchitektúrákig ível. Nagy valószínűséggel kijelenthető, hogy Kavli szándékainak megfelelően, eredményeik számottevően befolyásolják a következő évtizedek tudományát és technikáját.  $\text{ü}$

A szerző kutatásait jelenleg az OTKA 67793 és 67851 sz. projektje támogatja.

#### Irodalom

- [1] Beck Mihály: *A Kavli-díj*, Természet Világa, 2008. november  
 [2] <http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>  
 [3] [http://nanotechnologia.blog.hu/2009/06/16/lenn\\_boven\\_van\\_hely#more190007](http://nanotechnologia.blog.hu/2009/06/16/lenn_boven_van_hely#more190007)

- [4] <http://www.nanotechnology.hu/magyarul/Alagutmikroszkop.html>  
 [5] Biró L. P.: *Nano + technológia = nanotechnológia?*, Természet Világa, 2003. október  
 [6] <http://www.nanotechnology.hu/magyarul/architekt/MagyarTudomany2003.html>  
 [7] <http://www.nanotechnology.hu/magyarul/Fizikai%20Szemle%202003-11.htm>  
 [8] [http://www.nanotechnology.hu/magyarul/2009/2009\\_02\\_13\\_koine/index.html](http://www.nanotechnology.hu/magyarul/2009/2009_02_13_koine/index.html)  
 [9] D. M. Eigler, E. K. Schweizer: *Positioning Single Atoms With a Scanning Tunneling Microscope*, Nature 344, 524 (1990)  
 [10] M. F. Crommie, C. P. Lutz, D. M. Eigler: *Confinement of Electrons to Quantum Coralls on a Metal Surface*, Science 262, 218 (1993)  
 [11] H. C. Manoharan, C. P. Lutz, D.M. Eigler: *Quantum Mirages: The Coherent Projection of Electronic Structure*, Nature 403, 512 (2000)  
 [12] J. Chen, N. C. Seeman: *Synthesis from DNA of a molecule with the connectivity of a cube*, Nature 350, 631 (1991)  
 [13] Márk G. I., Bálint Zs., Kertész K., Vértessy Z., Biró L. P.: *A biológiai eredetű fotonikus kristályok csodái*, Fizikai Szemle 2007, 4, 116. ([http://www.nanotechnology.hu/reprint/FizSzemle\\_2007\\_04\\_lepke.pdf](http://www.nanotechnology.hu/reprint/FizSzemle_2007_04_lepke.pdf))  
 [14] Bálint Zs., Biró L. P.: *A lepkeszárny kémiai és fizikai színei*, Természet Világa, 2009. november

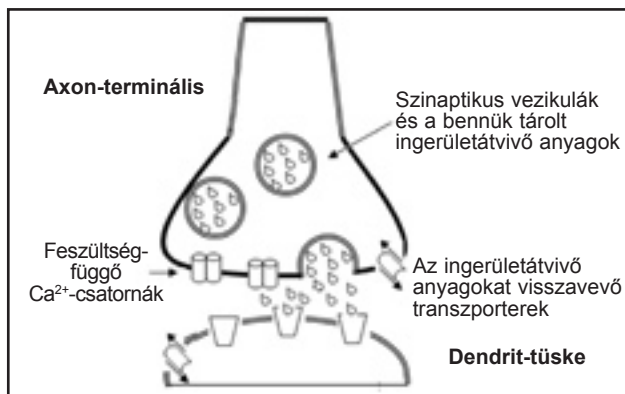
# Szabályozott kommunikáció

SIMON ÁGNES

**A**z agyban található idegsejtek javarészt kémiai jelátvitel útján kommunikálnak egymással. Ennek során az egyik idegsejt jelátvivő molekulákat bocsát ki a sejtek közötti szűk térbe, a szinaptikus résbe, majd ezek a molekulák egy másik idegsejt membránjához kötődő fehérjékre érkeznek.

A központi idegrendszeri jelátvivő molekulák (pl. glutaminsav, gamma-aminovajsav, dopamin, szerotonin stb.) az idegsejtek hólyagocskáiban (vezikulákban) tárolódnak. Ha a sejtre akciós potenciál érkezik, azaz membránpotenciálja hirtelen, kritikus mértékben megváltozik, akkor  $\text{Ca}^{2+}$ -ionok áramlanak a sejtbe, ennek hatására a ve-

6. ábra. A kémiai szinapszis  
(en.wikipedia.org/wiki/Neurotransmitter nyomán)



zikulák összeolvadnak a sejt membránjával, a bennük tárolt jelátvivő molekulák pedig felszabadulnak (**6. ábra**). A membránok összeolvadását és a folyamatot szabályozó fehérjekomplex működését *Thomas Südhof* (Stanford Egyetem), *Richard Scheller* (Genentech) és *James Rothman* (Yale Egyetem), a Kavli-díj idegtudományi kategóriájának nyertesei tárták fel. A három, Amerikában dolgozó kutató „az agyi idegsejtek jelátviteli folyamatának precíz, molekuláris szintű leírásáért” kapta meg az elismerést.

A membránok összeolvadását az ún. SNARE fehérjék szabályozzák.<sup>1</sup> A fehérjék egy része a vezikula membránjába ágyazódik, ezeket v-SNARE fehérjéknek is nevezik, más részük az idegsejt membránjában foglal helyet, ezek a t-SNARE fehérjék, utalva a cél (target) szóra.

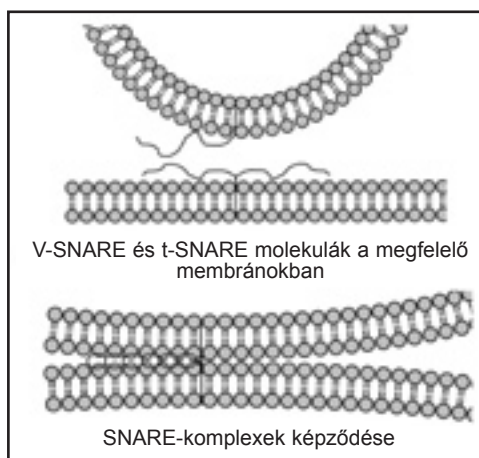
<sup>1</sup> A SNARE rövidítés feloldásához rögtön két másik, a fúzióhoz köthető fehérje nevével kell megismernünk. Az egyik: az NSF (*N*-ethylmaleimide-sensitive factor; *N*-ethylmaleimide érzékeny faktor), amely a fúziós komplex szétkapcsolásában vesz részt. (Ez egy ATP-áz típusú molekula, amely a szétbontáshoz szükséges energiát ATP-molekulák elbontásából fedezi, nevét onnan kapta, hogy kísérletekben *N*-ethylmaleimiddel inaktíválható.) A másik fehérje a soluble NSF-attachment protein (az NSF-hez kapcsolódó oldható fehérje), amely az NSF fehérjét szállítja a membrán közelébe. Elsőként Rothman ezt a két fehérjét fedezte fel, majd ahhoz, hogy kiderítse, milyen fehérjékhez kötődnek, agyszövetből készült kivonatot adott hozzájuk. Kiderült, hogy a több ezer agyi fehérje közül három, korábban azonosított szinaptikus fehérje együttese (a szinaptobrevin, a sintaxin és a SNAP-25) köti meg őket. A három fehérjét ezért „receptoroknak” nevezték el. Innen ered közös nevük: SNARE: soluble *N*-ethylmaleimide-sensitive factor attachment protein receptors.

A membránok összeolvadása a v-SNARE és a t-SNARE fehérjék összehúzódása révén jön létre, ami mintegy cipzárként összehúzza a két membránt (7. ábra).

„Mint két összeolvadó szappanbuborék” – jellemezte a folyamatot Rothman, aki azt is felismerte, hogy a membránfúzió lépései nemcsak idegsejtekre, hanem a szervezet számos más sejtípusára is érvényesek. A membránok összeolvadása során kialakuló „SNARE-komplex” három fehérjéből áll: két t-SNARE fehérjéből – a sejtmembránba ágyazott szintaxinból és SNAP-25-ből –, valamint a hozzájuk fűződő v-SNARE molekulából, a szinaptobrevinből (SNAP: synaptosomal associated protein, szinaptoszóma-hoz kapcsolódó fehérje).

Az idegsejtekből kivont szinaptikus vezikulák tartalmát már az 1980-as években vizsgálni kezdték, végül az évtized végén sikerült klónozni azokat a géneket, amelyek a szabályozó fehérjéket kódolják. 1988-ban Scheller klónozte az első v-SNARE fehérjét elektromos rájából, Südhof egy évvel később ennek megfelelőjét patkánygyóból. 1992-ben Scheller az első t-SNARE molekulát is klónozni tudta. Scheller azt is igazolta, hogy a folyamatot egy  $Ca^{2+}$ -érzékeny fehérje, a szinaptotagmin indítja el, amelyet korábban Südhof fedezett fel.

A szinaptotagmin fehérje negatív töltésű aszparaginsav-oldalláncjaival olyan kötősebet képes kialakítani, amely ideális a  $Ca^{2+}$ -ionok kötődése számára. Így a szinaptotagmin érzékeli az akciós potenciál hatására bekövetkező gyors  $Ca^{2+}$ -koncentrációváltozást, és a millisekundum töredéke alatt lehetővé teszi a membránfúziót.  $Ca^{2+}$ -ionok nélkül azonban hiába gyűlnek a vezikulák a sejtmembrán közelébe, a szinaptotagmin megakadályozza összeolvadásukat. Ezáltal – a minimális spontán felszabaduláson kívül – csak ott és akkor szabadul fel jelentős mennyiségű jelátvivő anyag a vezikulákból, amikor szükség van rá.



7. ábra. A SNARE-hipotézis (Am. J. Physiol Cell Physiol 285: 237–249 nyomán)

Scheller, aki már gyermekkorában tudós szeretett volna lenni, és elmondása szerint különösen kedvelte a kémiai kísérleteket, valamint a mikroszkópokat, biokémikusként végül elektronmikroszkóppal mutatta ki a vezikulákon és a sejtmembránon elhelyezkedő v-SNARE és t-SNARE fehérjéket. Az egyes fehérjeláncok elrendeződését és a fehérjéket alkotó aminosavak szerkezetmeghatározással sikerült feltérképezni, amelyben Südhof járt élen. A röntgendiffrakciós eredmények szerint a cipzárszakaszon négy hélix fűződik össze (8. ábra, l. hátsó színes borító). A hélixek közötti szoros kapcsolatot arginin (Arg) és glutamin (Gln) aminosavak kölcsönhatása biztosítja a helikális szakaszok középső régiójában (9. ábra, l. hátsó színes borító).

Van-e a felfedezésnek orvosi jelentősége? – tették fel a kérdést a bejelentés után nem sokkal a Kavli-díj Bizottság tagjainak.

Nos, igen. A jelátviteli folyamatok tanulmányozása során fény derült arra, hogy két veszélyes bakteriális mérge, a botulinum toxin és a tetanusz toxin is az idegrendszeri jelátvivő molekulák felszabadulását gátolja úgy, hogy a szinaptobrevin-, SNAP-25- és szintaxin-hármaszt „kapcsolja szét”, azaz meggátolja a vezikulák és a membrán összeolvadását. A jelátvivő anyagok felszabadulását szabályozó folyamat megértésével tehát nem „csak” alapvetési kérdést sikerült tisztázni, hanem két, meglehetősen veszélyes mérge célpontjait is azonosították. ¶

**Irodalom**

<http://www.kavliprize.no>  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Neurotransmitter>  
 J. G. Duman, J.G. Forte: Am J Physiol Cell Physiol, 285:237–249, (2003)  
 Chen és mtsai., Neuron, 33:397–409, (2002)  
 Interjú Richard Schellerrel: *Conducting Research in Academia, Directing Research at Genentech, 2001–2002*, <http://content.cdlib.org/view?docId=kt938nc2j8&query=&brand=calisphere>

# Tükrök által élesebben

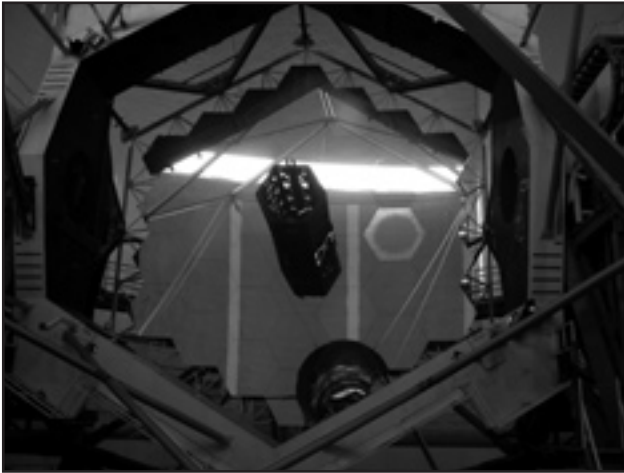
KOVÁCS JÓZSEF

A 2010-es asztrofizikai Kavli-díj érdekessége, hogy nem szigorú értelemben vett asztrofizikai eredményeket ismertek el vele. Talán túlzás nélkül állíthatjuk azonban, hogy az elmúlt húsz év – gyakran áttörésnek számító – csillagászati eredményeinek elérésében a most díjazottak munkásságának alapvető szerepe volt, és az általuk lefektetett innovatív műszaki alapokon nyugvó, ma még csak tervezőasztalokon létező teleszkópok a következő évtizedek kutatási eredményeit is meghatározhatják. A 2010-ben kitüntetett Jerry E. Nelson (UCSC és Lick Observatory), Raymond N. Wilson (European Southern Observatory) és James R. P. Angel (Steward Observatory) nevéhez olyan technológiák és eljárások fűződnek, mint a szegmentált főtükör és az aktív optika, illetve ezek alkalmazása

nagy átmérőjű, ugyanakkor nagy látómezejű, fényerős optikai teleszkópokban.

A földfelszíni, látható tartományban működő teleszkópok esetén a teljesítmény szempontjából bizony a méret a lényeg. Minél nagyobb a távcső fő optikai eleme, annál több fényt tud összegyűjteni és annál jobb a felbontóképessége. Előbbi azt jelenti, hogy kisebb teleszkópokkal összevetve azonos körülmények között halványabb objektumok is megfigyelhetők az adott távcsővel, utóbbi pedig azt, hogy kisebb átmérőjű műszerekkel egy objektumként leképezett égitesteket is külön tud mutatni vagy kiterjedt objektumokról részletgazdagabb képet tud előállítani.

A csillagászati távcsövek 400 éves evolúciójának egyik hajtóereje egyértelműen az átmérő növelésének szándéka. Ennek a tö-



10. ábra. A Keck II teleszkóp szegmentált főtükre (W. M. Keck Observatory)

rekvésnek azonban műszaki korlátok szabnak határokat. Emiatt a lencsés távcsövek ilyen irányú fejlesztése már több mint száz éve le is állt, a legnagyobbnak, a Chicago melletti Yerkes Observatory híres műszerének átmérője mindössze 102 cm. A tükrös távcsövek esetében kevésbé bonyolult a helyzet, hiszen itt a fő leképező optikai elem nem halad át a fény, ami egyszerűsíti a mechanikai problémákat: könnyebb beépíteni a teleszkópba és rögzíteni. Lord Rosse híres Leviathanja jó fél évszázaddal előzte meg a chicagói Clark refraktor üzembe helyezését, átmérője mégis majdnem kétszeresen haladta meg azét. A tükröteleszkópok fejlesztésénél sokáig az volt az irányadó, hogy a saját súly miatt fellépő, a leképezés minőségét befolyásoló mechanikai torzulások elkerülése érdekében a tükrök vastagságának legalább az átmérő tizedének kell lennie. A nagy átmérőjű, s így nagy tömegű tükröt megtartani és mozgatni is képes mechanika bizonyos méret felett azonban rendkívül költséges, illetve kivitelezhetetlen. A klasszikus elvken nyugvó távcsőépítés – az átmérő szempontjából – a Palomar-hegyen üzembe helyezett 5 méteres Hale teleszkóppal (1948) és a kaukázusi Zelencuk-csúcson átadott 6 méteres orosz BTA-teleszkóppal (1965) érte el lehetőségeinek határait.

Az optikailag és mechanikailag is tökéletesen működő földfelszíni teleszkópok esetében is szembesülünk azonban egy komoly problémával, mégpedig a földi atmoszféra hatásával. A megfigyelt égitestekről érkező fotonok akár több milliárd fényév távolságot is átszelnek, mielőtt a távcsövek műszereiben hasznosulnak, az észlelés szempontjából mégis az utolsó néhány száz kilométer a legkritikusabb, amikor a fény a Föld légkörén halad át. Az atmoszféra különböző hőmérsékletű, sűrűségű és törésmutatójú cellái mind kicsit másként törik a fényt, így például egy csillagról érkező sugárzásnak a hullámfrontja, amely a légkör felső határánál még tökéletes síkhullámnak tekinthető, az atmoszférán áthaladva eltorzul, ami abban nyilvánul meg, hogy a csillagot nem pontszerűnek látjuk, hanem egy kis korongon belül képeződik le. A korong szögátmérője („seeing”) jellemzi az észlelőhely minőségét: minél kisebb, annál jobbak a feltételek. Magyarországon tipikus értéke 1–2 ívmásodperc, de a Föld egyik legjobb asztróklimával rendelkező térségében, az Atacama-sivatagban sem kisebb 0,4–0,5 ívmásodpercnél. Ez azért fontos, mert a légkör miatt a legnagyobb teleszkópok nem érhetik el felbontóképességük elméleti határát, amit a diffrakció szab meg.

A távcsőépítés legnagyobb problémája tehát az, hogy a légköri és egyéb környezeti hatásokat is figyelembe véve hogyan lehet a fő optikai elem vastagságát, s ezzel az egész szerkezet tömegét olyan kicsire választani, hogy ne rontsuk le az optikai tulajdonsá-



12. ábra. Az ESO VLT távcsövek aktív optikai rendszerének lelke, a főtükört támaszto és deformáló, számítógéppel vezérelt tüskerendszer (ESO)

gokat. A most díjazottak által kidolgozott módszerek alapvetően két utat, illetve ezek kombinációját követik.

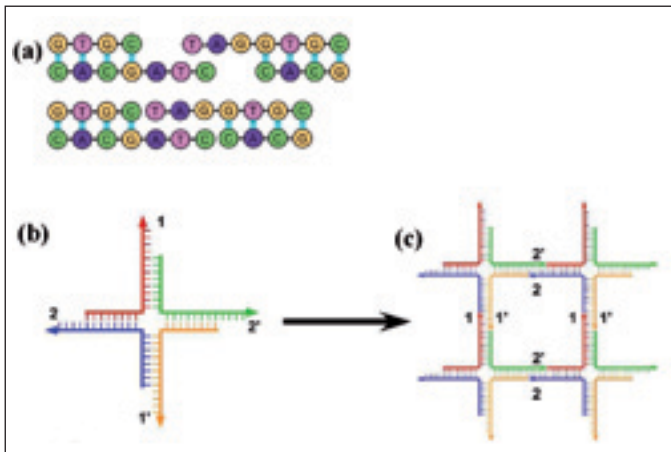
Jerry Nelson szegmentálta a főtükört: több kisebb, könnyebben kezelhető hatszögletű darabból állította össze. Ez természetesen azt jelenti, hogy az egyedi elemek felületét különböző alakúra kell csiszolni, mivel együtt adják ki a végső leképező felületet. Nelson és munkatársai a főtükör darabjainak polírozásához, illetve azok együttes működtetéséhez számos új technológiát is kifejlesztettek. A szegmentált főtükör távcsövek legismertebb képviselői a hawaii Mauna Kea-csúcson 1992 óta üzemelő 10 m-es Keck I és Keck II teleszkópok (10. ábra), melyek sokáig a világ legnagyobb optikai távcsöve címet is birtokolták, de ilyen a 9,2 m-es Hobby–Eberly teleszkóp, az új 10,4 m-es Gran Telescopio Canarias (11. ábra, l. hátsó színes borító) és a 6,5 m-es, 2013-ban felbocsátani tervezett James Webb űrteleszkóp főtükre is.

Raymond Wilson a megoldást a főtükör vastagságának jelentős csökkentésével kereste. Az aktív optikának elnevezett eljárás egyrészt megoldja a tömegből adódó problémákat, másrészt lehetőséget nyújt a légköri hatások kompenzálására. Lényege, hogy a légkör állapotát egy speciális kamera (hullámfront-szenzor) figyeli, melynek adatai alapján egy számítógéppel vezérelt, a főtükört hátulról megtámasztó motoros tüskerendszer folyamatosan deformálja a vékony optikát. A másodpercenkénti több száz korrekcióval a főtükör alakja mindig a légkör aktuális állapotához igazodik, lehetővé téve így az optimális leképezést. Wilson és munkatársai a chilei La Silla-csúcson 1989-ben üzembe helyezett 3,58 m-es New Technology Telescope távcsövön kísérletezték ki a technológiát, s az itt szerzett tapasztalatok alapján építette meg az ESO a négy darab 8,2 m-es egységből álló Very Large Telescope (VLT) távcsőegyüttest (12. ábra) a La Paranal-csúcson. Aktív optikás főtükre van meg a 8,1 m-es Gemini távcsöveknek és a 8,3 m-es Subaru teleszkópoknak is.

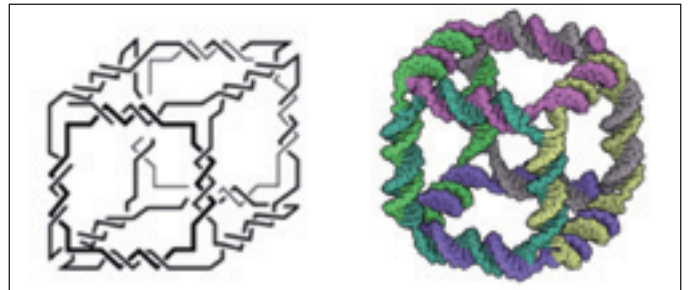
A James Angel által épített távcsövek egyesítik a két előző technológiát, másrészt nagy átmérő mellett rövid fókusz-távolságot, nagy és fényerős látómezőt biztosítanak. Nevéhez fűződik az arizonai 6,5 m-es átépített MMT, a 8,4 m-es Large Binocular Telescope és a Magellan távcső is.

A Nelson, Wilson és Angel által lefektetett távcsőépítési elvek nem csak a már működő vagy épülő óriásteleszkópokban öltöttek testet: ezek a technológiák jelennek majd meg a jövő még nagyobb távcsöveiben is. Angel már dolgozik a Giant Magellan Telescope hét darab, egyenként 8,4 m-es tükrén, melyek együtt egy 24,5 m-es tükrő teljesítményét fogják nyújtani. Nelson a Thirty Meter Telescope projektben vesz részt, ennek főtükre 492 darabból fog állni, míg az ESO egy 42 m-es, 984 darabból összeálló főtükörrel rendelkező távcső, a European Extremely Large Telescope (13. ábra, l. hátsó színes borító) építését tervezi. 8

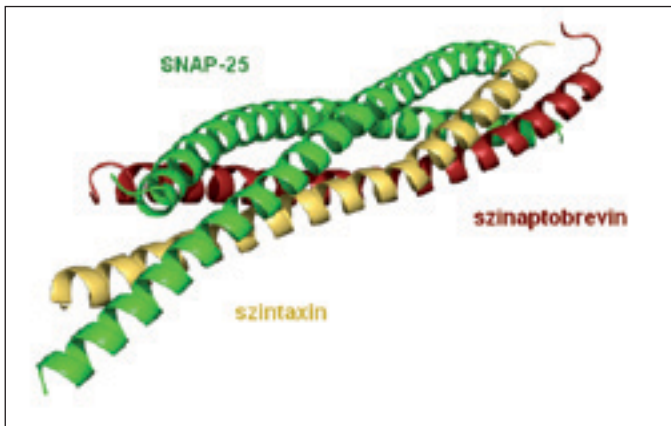
# Kavli-díj, 2010 – írásunk néhány ábrája



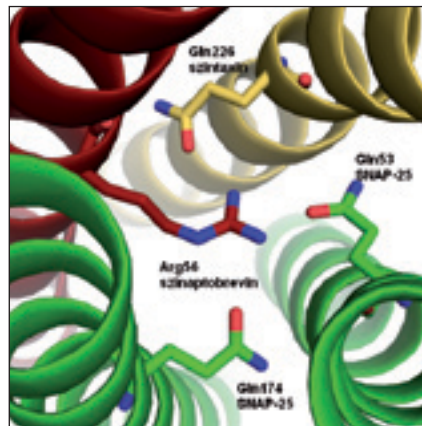
4. ábra. DNS-szálakból felépíthető szabályos nanoarchitektúrák. a) Kapcsolódásra képes végződés és kapcsolódásuk módja Watson–Crick-szabályok szerint. b) Négyzetlánc alapeleme, kapcsolódni képes végződéssekkel. c) A b)-ben látható egységből felépülő négyzetlap



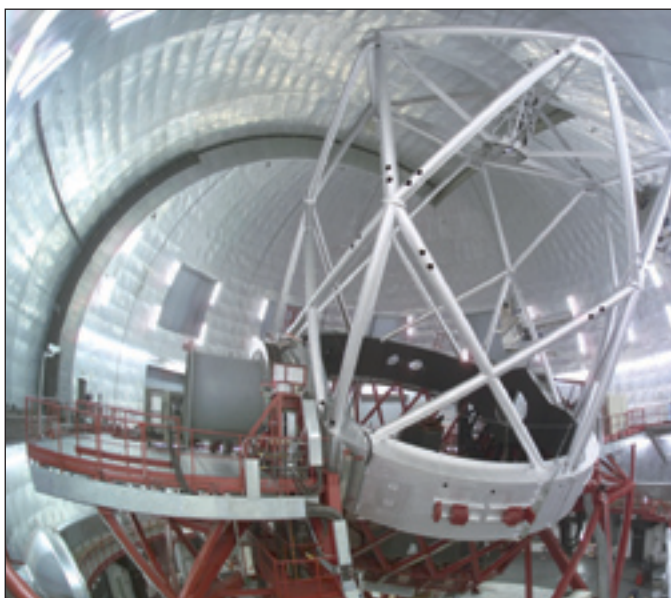
5. ábra. DNS-kocka. Balra: szerkezeti vázlat; jól megfigyelhető, hogy a sarkokat egyláncú, míg az éleket kétláncú DNS alkotja. Jobbra: DNS-kocka molekuláris szerkezete: a kocka mind a hat oldallapjának élein a dupla lánc egyik tagja azonos színű (türkiz, sárga, lila, zöld, kék, szürke) ([12] nyomán)



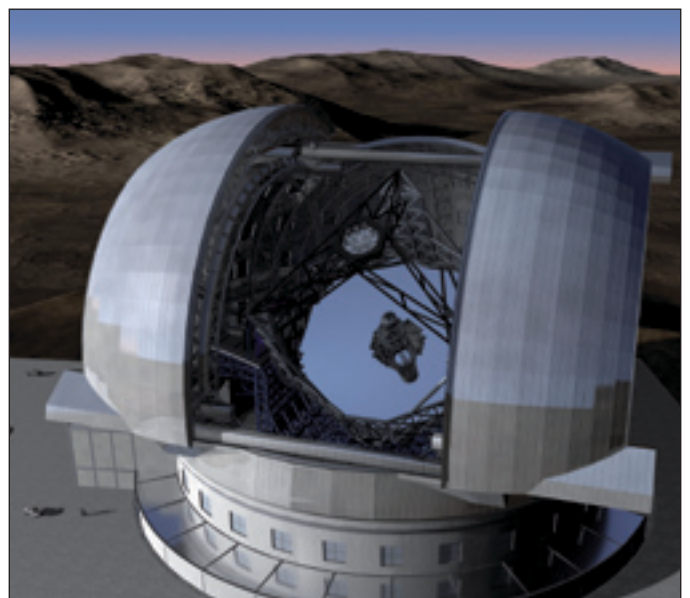
8. ábra. A SNARE-komplex központi magjának röntgendiffrakciós szerkezete



9. ábra. Glutamin és arginin aminosavak a négy hélix központi régiójában (Neuron, 33(3):397–409, 2002 és Am J Physiol Cell Physiol, 285:237–249, 2003 nyomán)



11. ábra. A világ jelenlegi legnagyobb optikai távcsöve, a Gran Telescopio Canarias (GTC) a Kanári-szigeteken



13. ábra. A jövő egyik óriástávcsöve, az egyelőre még tervezési fázisban lévő European Extremely Large Telescope (ESO)