

# Kémiai PANORÁMA

2015. évfolyam 1. szám (13. szám)

## AZ ÓCEÁNOK KÉMIÁJA

Vulkánból, jégből születtek

## AZ ELSŐ KÍNAI NOBEL-DÍJ

Hagyományos vagy tudományos?

## MOLEKULÁRIS ZSEBEK

Út a szupramolekuláig

## SZÍNVÁLTOZTATÓ ANYAGOK

A kémia kaméleonjai

## ALAGÚTMIKROSKÓP

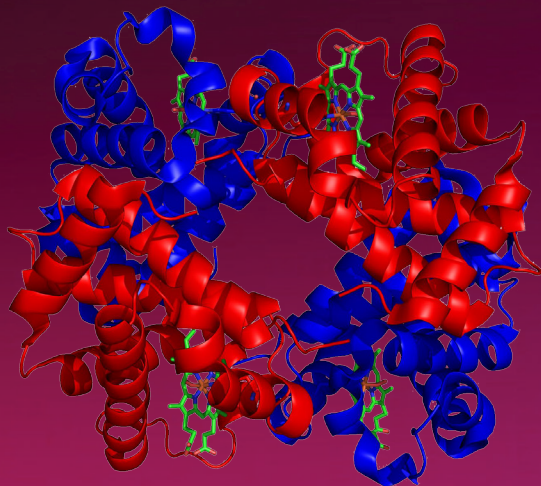
Molekulák tűszonda alatt

## GYÓGYÍTÓ MOLEKULÁK

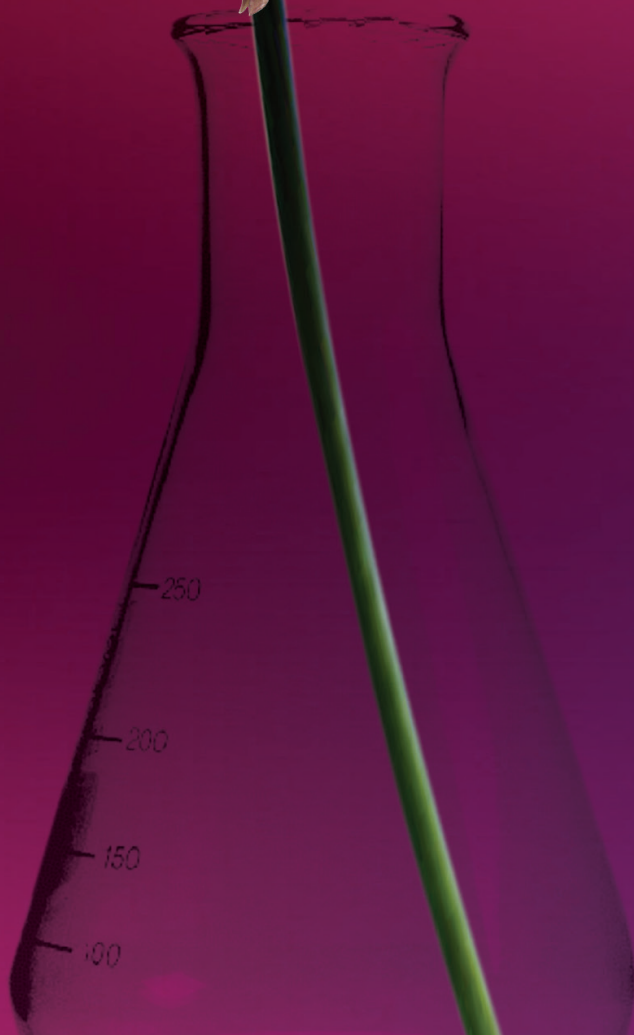
Csalán

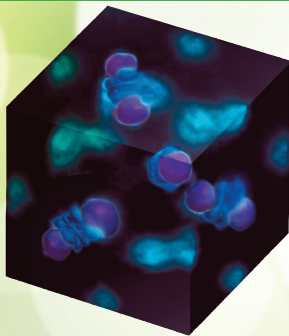
## MIKROSKÓP ÉS TÁVCSŐ

Modern képalkotó eszközök



A hemoglobin szupramolekula





**4** Beköszöntő!  
Kedves  
Olvasónk!  
Szerkesztőségi írás  
(Gózon Ákos)



**8-9** Gyógyító molekulák  
növényekben  
A csalán  
Kőszegi Lídia

**5-7** A kémia  
kaméleonjai  
Színváltoztató anyagok kémiája  
Kubinyi Miklós



**10-13** Az első kínai tudományos  
Nobel-díjról  
Hagyományostól a modern felé  
Simonyi Miklós



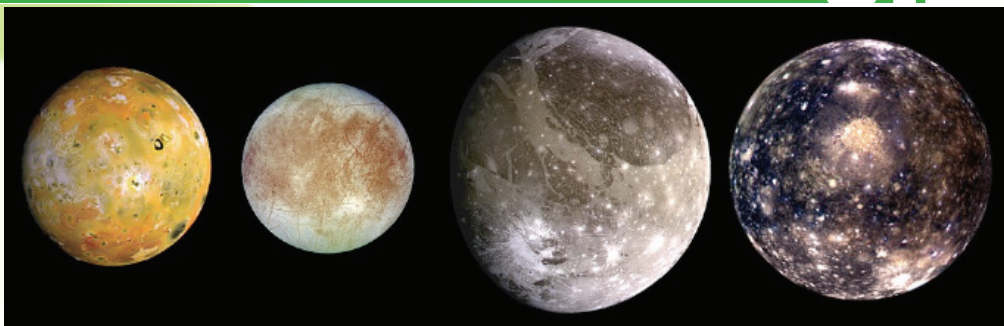
**18-22** Vegyészet a víz  
mélyén  
Az óceánok kémiája

Pálinkás Gábor

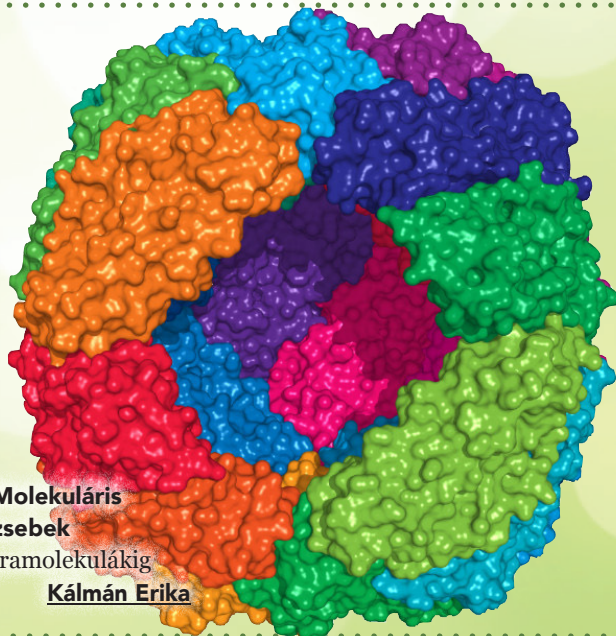




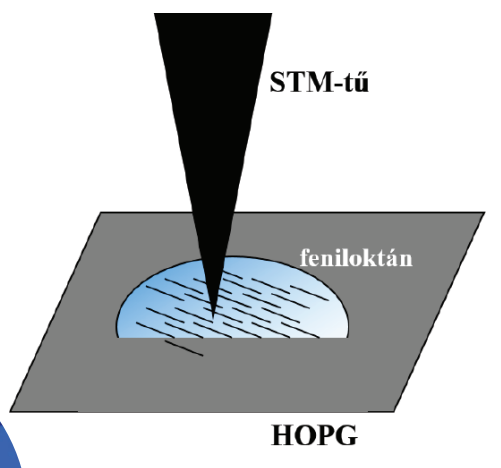
**14-17** Modern képképző eszközök  
A mikroszkóp és távcső Pálinkás Gábor



**25-29** Molekuláris zsebek  
A molekuláktól a szupramolekuláig Kálmán Erika



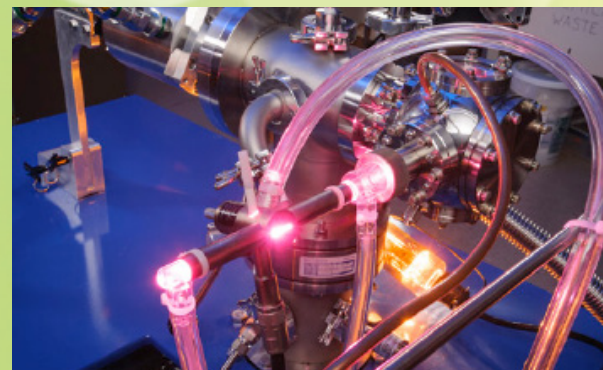
**30-31** Magyar tudósok a nagyvilágban  
Dr. Balázs Endre Szerkesztőségi cikk



**32-35** Kémiai Nobel-díj 2015  
DNS javítással a káosz elkerüléséért Szerkesztőségi írás



**23-24** Molekulák tűszonda alatt  
Pásztázó tűszondás mikroszkópok a mindennapi kutatásban  
Paszternák András és Pávai Mária



**35-38** Hírek a kémia világából

## Kedves Olvasónk!

**T**alán Ön is találkozott már azzal a viccesnek szánt képes poénnal, amely széle-hosszában kering az interneten. A montázs egy fiatal, elgondolkodó lányt ábrázol, az alábbi felirattal:

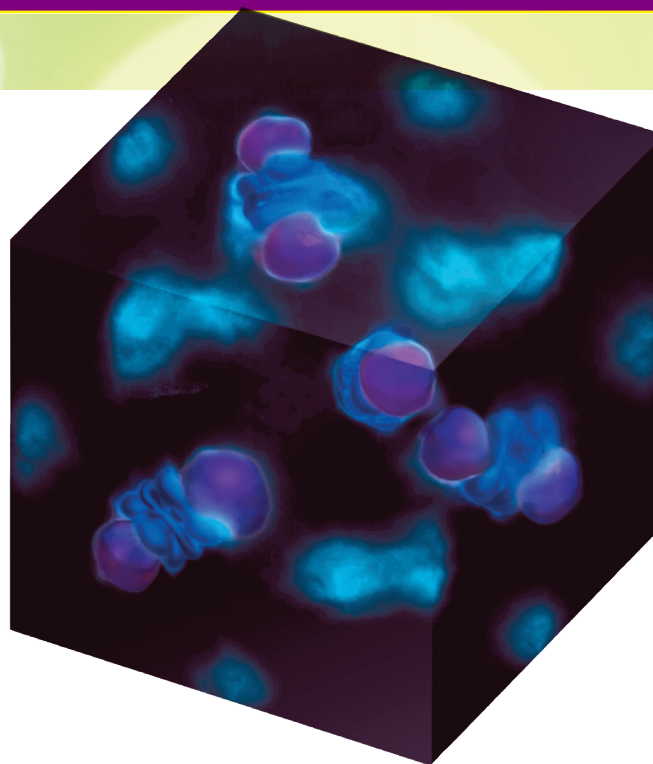
„Már megint eltelt egy olyan nap, amikor nem használtam a kovalens kötésről tanult tudásomat.”

A montázst annak alkotói talán azzal a céllal szerkesztették, hogy bebizonyítsák: lám, mennyi felsleges tudást tölt -- mit tölt? tuszkol, erőszakol! -- a diákok fejébe az iskola, mennyi hiábavaló, hasznavehetetlen dolgot kell megtanulni, amire aztán a hétköznapi életben nem is lesz szükségük.

Hogy tényleg ilyenek-e a tananyagok nálunk és szerte a világban (ennek a vizuális bonmot-nak ugyanis más tantárgyakkal létezik angol, német, francia párhuzamos megfelelője is, tehát nem kizárólag a magyar iskolát gúnyolja), azt nem tisztünk eldönteni.

Azt viszont biztosan állíthatjuk, hogy a tréfa kiötlői igazán megerőltethették volna magukat, s találhattak volna megfelelőbb céltáblát is, mint a „szegény”, ártatlan kovalens kémiai kötés.

Aki elolvassa a Kémiai Panoráma mostani, immár tizenharmadik számát, az nyilván egyet fog érteni a kovalens kötés apológiájával. Elég csak odalapozni (odakattintani) A molekuláktól a szupramolekulákig című cikkünkre, amelyből kiderül: a kovalens kötés mesteri felhasználásával a szintetikus kémia eljutott oda, hogy a kémiai kötés szabályai szerint felrajzolt bármely molekula előállítására képes. Kell-e ennél izgalmasabb, futurisztikusabbnak tűnő, s mégis jelen idejű téma? De erre még bárki legyinthetne: fontos, fontos ismeret, de mi a köze a hétköznapijainkhoz? Nos, az ilyen tamaskodóknak figyelmébe ajánlhatjuk



ugyanezen írásból, hogy a kovalens kötés révén létrejövő óriásmolekulák hány féle, minden ember számára fontos élettani tulajdonsággal bírnak!

Persze nem csak az említett, molekuláris zsebekről szóló írásunk miatt érdemes hosszabban elidőzni mostani lapszámunk mellett. Olyan különleges világokba vezetjük el Olvasóinkat, mint amilyen például az óceánok mélye, s olyan izgalmas folyamatokat ismerhetünk meg egyebek mellett, mint a kémiai Nobel-díjjal 2015-ben elismert DNS hibajavítás.

Aki végigolvassa írásainkat, reméljük, legalábbis elgondolkozik azon, hogy tényleg akad-e olyan napja, amikor így vagy úgy, szándékosan vagy akár tudtán kívül nem használ-e valamit a kémiából megszerzett iskolai ismereteiből...

**A Szerkesztőség**

A Kémiai Panoráma magazin első számainak megjelenését az ÚMFT TÁMOP 4.2.3 KMR/1/2008-0006 pályázat tette lehetővé. A magazin későbbi számainak kiadásait az MTA Kémiai Tudományok Osztálya, az MTA Kémiai Kutatóközpont, majd jogutódja az MTA Természettudományi Kutatóközpont, továbbá a Servier Gyógyszerkutató Intézet támogatta. A 11.-14. számok digitális megjelenése az MTA Folyóiratpályázat támogatásával valósul meg.





# SZÍNVÁLTÓZTATÓ anyagok kémiája

A kaméleonok (főként szubtrópusi területen élő kis hüllők) hazánkban házi kedvencként egyre népszerűbbek. Sok kaméleonfaj meg tudja változtatni a színét.

A színváltozás egyik célja lehet a környezet színébe történő elrejtőzés. Másrészt a hím kaméleonok így hívják fel a nőstények figyelmét és riasztják el a vetélytársat. A színváltoztatás a hőszabályozáshoz is hozzájárulhat: a kaméleon reggel sötétebb színű, a nappali órákban világosabb, így reggel inkább elnyeli a fényt, napközben pedig visszaveri.



**N**apjainkban nagy az érdeklődés az olyan vegyületek iránt, amelyeknek különféle hatásokra (fény, elektromos, mechanikus, hő) megváltozik a színük, és ez a folyamat reverzibilis, tehát ha a hatás megszűnik, az eredeti szín visszaáll. Viselkedésük alapján az ilyen anyagok a kaméleonokra emlékeztetnek.

A színváltoztató anyagok egyik csoportjában a színváltozás kémiai reakciót kísér, például savas disszociációt, oxidációt vagy izomerizációt. A másik csoport anyagainak ún. szerkezeti színe van, működésük az interferencián alapul. Rendezett rétegeket tartalmaznak, amelyek távolsága összemérhető a látható fény hullámhosszával, azaz néhány 100 nm, s a rétegek közötti távolság változik külső hatásra. A rétegtávolságtól függ az, hogy milyen hullámhosszú fény verődik vissza a rétegekről erősödve, vagy gyengülve, azaz milyen lesz a visszavert fény színe. Az utóbbi

módon működő anyagok fejlesztése a nanotechnológia fontos területe.

A legrégebben alkalmazott színváltó anyagok a környezet savasságára/lúgosságára érzékeny indikátorok (pl. metilnarancs, fenolftalein), amelyeket oldatok pH-jának titrálási meghatározásához használnak. A sav által kiváltott változásra utalva az ilyen vegyületeket elegánsan acidokrómnak nevezik. Sok pH-indikátor egyúttal termokrómnak, azaz két formájának aránya a pH mellett jelentősen függ a hőmérséklettől is. Termokrómnak anyagok nanotechnológiai úton is létrehozhatók. Ide tartoznak például folyadék-kristályok, amelyekben a rendezett rétegek közötti távolság, s ezáltal a reflektált fény színe változik a hőmérséklettel.

Az elektrokróm vegyületek színe feszültség hatására változik. Ez a jelenség reverzibilis oxidációs-redukációs reakción alapul. A legrégebben ismert elektrokróm anyag a volfrám(VI)-oxid.

Elektrokróm tulajdonsága elektrokémiai cellában tanulmányozható. A cella katódja olyan üveglap, amelyet két réteg borít: belül  $\text{SnO}_2$  (átlátszó elektromos vezető), kívül színtelen  $\text{WO}_3$ . A másik elektród például egy platinalemez. Feszültséget adva a cellára a  $\text{WO}_3$  redukálódik, a színtelen film sötétkékké válik:

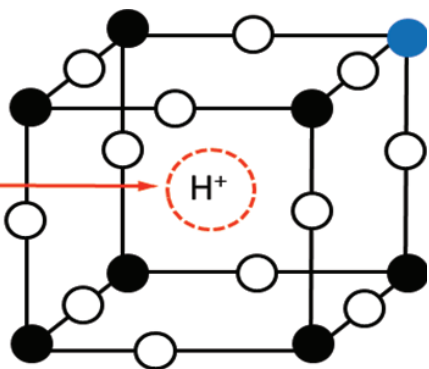


Közben a Pt-elektrodon, az anódon oxigén válik ki:



A  $\text{WO}_3$  szabályos kocka alakú elemi cellából épül fel. A reakció során a cellába proton ékelődik be, miközben a  $\text{W}^{6+}$  ionok egy része  $\text{W}^{5+}$ -szá redukálódik, így a kristály elektromosan semleges marad.

Elektrokróm anyagokat felhasználva olyan intelligens ablakokat készítenek



épületekre, gépkocsikra és repülőgépekre, amelyek fényáteresztése függ a külső fény intenzitásától. Ezek tulajdonképpen elektrokémiai cellák, amelyek több átlátzó rétegből és egy fotokróm rétegből (pl.  $\text{WO}_3$ ) állnak. A cellára adott feszültséggel szabályozható a fényáteresztés mértéke. A szabályozás végezhető manuálisan – a gépkocsivezető maga állítja be, hogy mennyire sötétedjen be az ablak - vagy automatikusan, amihez mérni kell a külső fényintenzitást. További példa az elektrokróm anyagok alkalmazására az intelligens visszapil-

lanto tükrök, amelyben a változó fényelnyelésű réteg kiszűri a zavaró vakító fényeket.

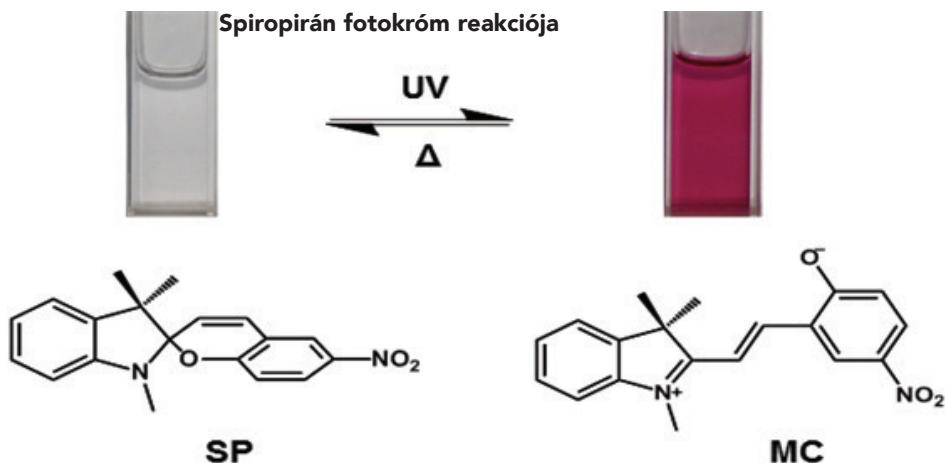
A kaméleon-vegyületek közül a fotokrómoknak van a legnagyobb gazdasági jelentősége, a megvilágításra sötétedő fotokróm szemüveglencsék nagy kereskedelmi forgalma miatt. Európában évente mintegy 1.5 Mrd dollár értékű fotokróm lencsét adnak el.

Újabbban a szemüveglencsék többsége szerves polimerekből készül, a fotokróm hatást szerves anyagokkal érik el, spiropiránokkal, spiroxazinokkal és naftopiránokkal. A spiropiránokban, mint a 4. ábrán látható példa illusztrálja, két gyűrű egy közös szénatomon kapcsolódik. A színtelen spiro (SP) vegyület ultraibolya sugárzás hatására a színes merocianin (MC) formává alakul, a spiro-szénatom körüli egyik kötés felhasadásával. A besugárzás megszűntével a minta elhalványodik, a merocianin visszaalakul spiropiránná.

Ahogy a szerkezeti képlet mutatja, az SP alakban a spiroszénatom körüli két gyűrűrendszer egymáshoz képest el van csava-

rodva. Így a kettőskötések közötti kölcsönhatás kevesebb atomra terjed ki, a molekula csak nagyobb energiájú (ultraibolya) fotonra képes elnyelni, ezért a vegyület színtelen. Az MC szerkezet sík, a konjugáció kiterjedtebb, ez a forma látható tartományba eső fotonokat is elnyel. A spiroxazinok szerkezete annyiban tér el a spiropiránokétól, hogy az O-atomot tartalmazó gyűrűben is van egy N-atom. Fotokróm reakciójuk hasonló.

A szemüvegekben korábban spiropiránokat alkalmaztak, újabban főként naftopiránokat, pontosabban diaril-naftopiránokat. Az utóbbiak is színtelenek, de ultraibolya sugárzás hatására a pirán gyűrűjük felnyílik, és színes termékek keletkeznek. A szín a naftopiránvázra kapcsolt szubsztituensektől függ. Az elszíneződés oka hasonló, mint a spiropiránok esetében: a pirángyűrű felhasadásával keletkező termékekben a konjugáció több telítetlen kötésre terjed ki. A naftopiránok előnye, hogy kevésbé bomlanak az ismétlődő megvilágítások hatására, mint a spiropiránok. A lencsék különböző színű származékok elegyét tartalmazzák, így





Intelligens ablakok  
fényáteresztése függ a  
külső fény intenzitásától

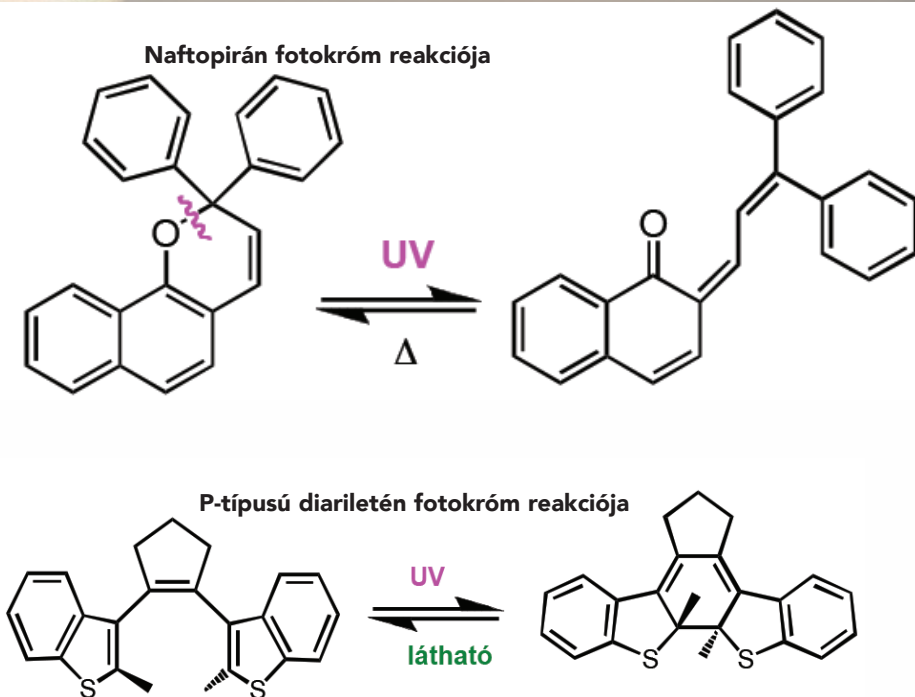
lehet elérni a legkedveltebb szürke, vagy barna árnyalatokat.

A fotokróm lencse készítésére alapvetően két technológiát alkalmaznak. Az egyik lehetőség a fotokróm anyag feloldása a monomerben, amelyből a polimerlencse készül. Az ilyen lencsében a fotokróm hatás tartósabb. A másik módszer a kész polimerlencse felületének bevonása egy eltérő, a fotokrómot tartalmazó polimerből készült filmmel. Ilyenkor a bevonat rugalmas műgyantából készülhet, amelyben a fotokróm gyűrű–nyílással, illetve –záródással járó konformációváltozása gyorsabb, így a fényerősségváltozást az ilyen lencse hamarabb követi.

Érdeemes megjegyezni, hogy a spiropiránok, spiroxazinok, és naftopiránok fotokróm reakcióihoz ultraibolya sugárzás szükséges, a látható fotók energiája kevés a reakció elindításához. Mivel az a polimer, amelyből az autók szélvédője többnyire készül, elnyeli az ultraibolya sugárzást, az autóvezetőt a fotokróm szemüveg nem védi, számára maradnak a hagyományos, jól bevált nap-szemüvegek.

A szemüvegekben ún. T-típusú fotokróm anyagokat használnak, a szintelen forma a stabil állapotuk, csak addig színesek, amíg ultraibolya sugárzás éri őket, utána gyorsan szintelenné válnak. Ehhez még a téli környezet hőhatása is elegendő. A T jelölés a termikus hatásra végbemenő gyűrűzáródásra utal.

A fotokróm anyagok másik részét a P-típusú vegyületek alkotják, amelyek a T-típusúaktól abban különböznek, hogy



az UV-besugárzással létrehozott színes izomer hőhatásra nem alakul vissza a kiindulási formává, ehhez látható fényt kell használni. Ilyen anyagok például a diariletének. Szintelen formájuk molekulái nem sík szerkezetűek, gyűrűzáródással keletkező színes alakjuk molekulái viszont sík alakúak, amelyekben kiterjedt a konjugáció. A P-típusú fotokrómok alkalmazási lehetőségeivel egyelőre kutatási szinten foglalkoznak. Az ilyen fotokrómot tartalmazó polimer mátrix nagy adatsűrűségű optikai memóriaként működhet, amelybe az adatok UV lézer fókuszált fényével írhatók, és amelyből az adatok

látható lézer fényével törölhetők. A kaméleonok színváltozó képessége ma is foglalkoztatja a kutatókat. A legújabb eredmények szerint a kaméleonnak szerkezeti színe van: bőrsejtjeiben guanin-nanokristályok találhatóak, s környezeti ingerek hatására olyan sejtfolyamatok indulnak el, amelyek során megváltozik a nanokristályok egymáshoz viszonyított helyzete (kolloidkristályos szerkezete), aminek következtében változik a visszavert fény színe (fotonikus viselkedés).

**Dr.Kubinyi Miklós**  
**MTA Természettudományi**  
**Kutatóközpont**



# A CSALÁN

A csalán (Nagy Csalán, *Urtica dioica*) ismert gyom- és gyógynövény. Az elnevezés több faj gyűjtőnevét takarja. Magas növésű 50–150 cm magas, évelő növény.



**A** nitrogéntartalmú talajokat kedveli és honos minden föld-részen. A növény a levelein és a szárán irritáló kémiai anyagokat tartalmazó tüskékkel és szőrrel rendelkezik. Ezek érintése komoly égető fájdalommal jár, viszkető érzést okoz, kiütéseket eredményez. Megjegyzendő, hogy ha a test valamely fájdalmas részével érintkezik a növény, akkor csökkentheti a fájdalmat. A csalán ilyen hatása úgy áll elő, hogy csökkenti a testben a gyulladást okozó kémiai anyagok koncentrációját és gátolja a fájdalomérzés terjedését.

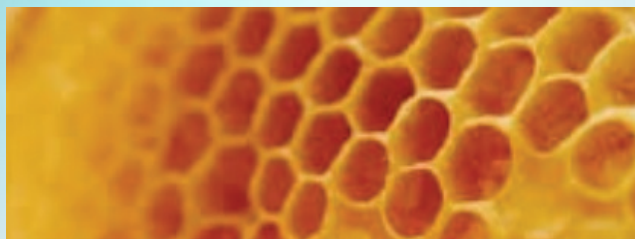
A csalán gyógyhatása ismert volt már az időszámításunk előtti harmadik évszázadban is. Ekkoriban a kígyómarás mérgeinek eltávolítására használták. Európában és Ázsiában több száz éve használják a növényt és teáját az izomfájdalmak, az ekcéma, az ízületi gyulladások enyhítésére, a növény friss hajtásával ütögetve a

fájdalmas részeket). A vérszegénység és bizonyos bőrbetegségek kezelésére is felhasználták. Mivel a csalán szára hosszú rostokat tartalmaz, a kendert helyettesítették vele, készítettek fonalat és szövetet is belőle a középkorban,

Kémiai összetételét tekintve a növény gyökerei és gumói csersavakat, *nikotint* és C-vitamint tartalmaznak. A szárában szerves savakat, antioxidáns karotinoidokat, illóolajokat, sok féle vitamint (B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, C, E, K<sub>1</sub>) és csersavat találtak. A növény levelei keményítőt, alkaloidokat, neurotranszmittereket (acetilkolin, hisztamin), kumarint, valamint jelentős mennyiségű klorofilt tartalmaznak és különösen a friss levelek K<sub>1</sub> vitamint. Nagy mennyiségű a növényben a szervezetnek fontos kalcium, magnézium, vas és szelén. A csalánszörben lévő hangyasav és neurotranszmitterek miatt a csaláncsípés fájdalmas és égető.

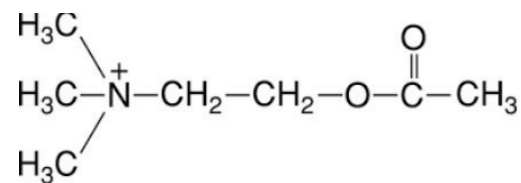
**Neurotranszmitter** – Az agyunkban zajló folyamatokhoz, a gondolkodáshoz, az érzésekhez, a cselekvéshez ingerületvivő anyagok szükségesek, amelyek információkat továbbítanak egyik idegsejtől a másikig.

**Hangyasav** a legegyszerűbb karbonsav. Képlete: CH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, vagy HCOOH. A természetben megtalálható a vörös hangyák és méhek csípős nedveiben, de kimutatható hernyókban, sok gyümölcsben (alma, eper, málna), valamint a mézben is.



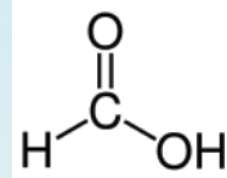
Az acetilkolin – az ecetsav és a kolin észtere – neurotranszmitter molekula. Mind a perifériás, mind a központi idegrendszerben ingerületátvivő anyagként működik, pl. a hippokampuszban az emlénytömök képződéséért felelős területen.

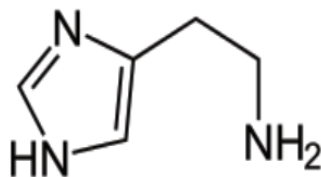
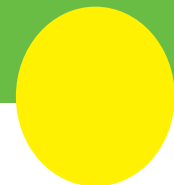
A súlyos emlékezetvesztéssel járó Alzheimer-kór kialakulását a hippokampusz acetilkolint termelő sejtjei működésének lassulása kíséri.



Az acetilkolin előfordul a mézben és a méhpempőben is. Az acetilkolin lebontását a kolin-észteráz enzim végzi, víz felvételével egy-egy molekula ecetsav és kolin keletkezik.

Szívre gyakorolt hatásának és ingerület-





morban. Az allergia ellenes szereket  $H_1$ -receptorgátlóknak, a gyomorsav termelődését csökkentő szereket  $H_2$ -receptorgátlóknak nevezik.

Állatkísérletekben kimutatták, hogy a csalán csökkenteni képes a vércukor szintjét, a vérnyomást. Ez a hatása humán szervezet esetében még nem teljesen bizonyított. Mivel azonban a csalán kivonatok fenti hatásai valószínűsíthetők, ezért a fenti betegségek gyógyszerei, mint az aszpirin; ACE inhibitor, béta-blokkolók, kalciumesatorna blokkoló; irbesartan/hydrochlorothiazide, furosemid gyógyszerek szedésével párhuzamosan a csalán kivonatok fogyasztása nem ajánlott.

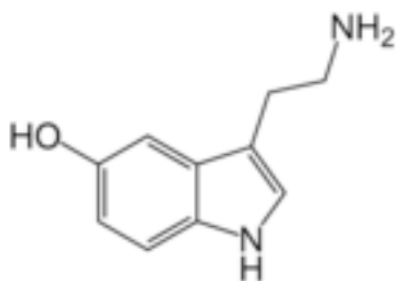
Használják a csalánt az állattenyésztésben a lucernánál magasabb fehérje hozama miatt, továbbá takarmány tartósítóként, antibiotikum helyettesítésre, és tápanyagként a méhészetben. Hideg vizes áztatással készített kivonatát, gomba- és rovarölőszerként is használják. Gazdaságosan állítható elő belőle ipari és tiszta minőségű klorofil. Az aprított csalánlevet magas protein-, vitamin-, továbbá Ca, Mg és K tartalma miatt Törökországban adalékként használják

## Sucuk



egy tradicionális marhahúsból és lóhúsból készült fűszeres, száraz kolbászban, a sucukban is.

**Kőszegi Lídia**



átvivő tulajdonságának kimutatásáért, 1914-ben Henry Hallett Dale és Otto Loewi Nobel-díjat kaptak.

Szerotonin egy monoamin neurotransmitter, amit a központi idegrendszer neuronjai és a gyomor-bél rendszer hormontermelő sejtjei állítanak elő.

A szerotonin hatására csökkennek félelmeink és környezetünk ingereire nyugodtan reagálunk. Hatására kiegyensúlyozottá válunk ezért boldogsághormonként is nevezik.

Hisztamin egy nitrogén heterociklust tartalmazó amin neurotransmitter, amely részt vesz a szervezet immunválaszának kialakításában, illetve a gyulladási folyamatokban. A hisztamin számos allergiás reakció kiváltásáért is felelős. A szervezetben két különböző receptora van ( $H_1$  és  $H_2$ ). A hisztamin legfontosabb hatása a sósav elválasztásának serkentése a gyo-



## IRODALOM

- <http://www.mdidea.com/products/new/new00903.html#guideline>[http://www2.pharm.u-szeged.hu/phcogweb/Cikkek/Gyogyszereszet\\_2006-02\\_Szendrei-Radnai-Csalan1.pdf](http://www2.pharm.u-szeged.hu/phcogweb/Cikkek/Gyogyszereszet_2006-02_Szendrei-Radnai-Csalan1.pdf)
- [http://www.webbeteg.hu/cikkek/emesztorendszer/6670/hisztamin\\_receptorgatlok](http://www.webbeteg.hu/cikkek/emesztorendszer/6670/hisztamin_receptorgatlok)
- <http://www.termeszetar.hu/anyagok/csalan/csalan.htm>
- Sallai Nelli. A kumarin kétarcúsága



2015. október 5-én a Stockholmban a Nobel Bizottság bejelentette, hogy az idei, megosztott fiziológiai és orvostudományi díj 50 százalékát Tu Youyou kapta, aki az első kínai tudományos díjazott.

## Hagyományostól a modern felé

Tu Youyou 2015-ben

**T**u érdemül az artemisinin felfedezését említették, ami ma a malária kezelésének legfőbb gyógyszere és világszerte milliók életét menti meg. Indítatva a kínai hagyományos gyógyítástól, a felfedezést a kínai katonaság által kezdeményezett malária projekt kidolgozása során érte el.

### A DÍJ KIHIRDETÉSE

A Nobel Bizottság hangsúlyozta, hogy az elismerés nem a hagyományos kínai gyógyításnak szól, hanem annak a kutatónak, aki összetett kutatási módszereket alkalmazott a malária új gyógyításának megtalálására. A felfedezés akkor történt, amikor a paraziták az addig alkalmazott gyógyszerekkel (kinin, klorokin) szemben rezisztenssé váltak és a fertőzések megsokszorozódtak.

A Nobel Bizottság azt is közölte, hogy nem tudták elérni Tu-t és nem tudnak róla, hogyan fogadta a bejelentést. Tu veje szerint – aki egy gyógyszergyárban dolgoz-

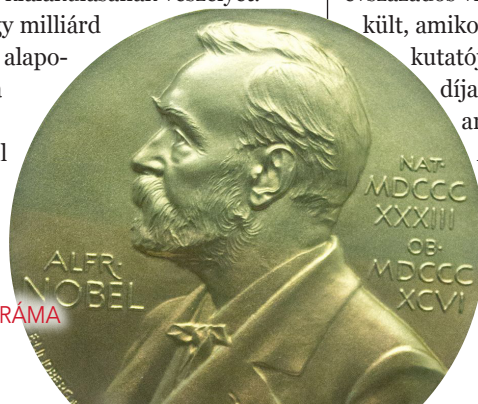
zik Észak-Karolinában – Tu a televízióból értesült a kitüntetéséről és nagyon izgatott.

Colin Sutherland, londoni parazitológus szerint az artemisinin hatása rendkívüli. Világszerte olyan elterjedten használják, hogy 5-10 éven belül várhatóan a paraziták rezisztensek lesznek vele szemben. A Világ Egészségügyi Szervezet (WHO) szintén üdvözölte a kitüntetést. „Ez elismerése a kínai tudományos közösség hozzájárulásának a malária elleni küzdelemhez. Az elmúlt 15 évben artemisinin nélkülözhetetlen komponense volt a malária kombinációs kezelésének, ami csökkenti a rezisztencia kialakulásának veszélyét. 2000 óta egy milliárd artemisinre alapozott malária kezelést végeztek“ áll a WHO közleményében.

### A DÍJ FOGADTATÁSA

Míg a kínai kormányzat és a sajtó ünnepli Tu kitüntetését és az első kínai tudományos Nobel-díjat a kínai tudomány növekvő erejének és a hagyományos kínai gyógyítás értékének tekinti, kevesen annyira zavartak, mint a Tradicionális Kínai Gyógyítás Akadémiája. A Peking egyik árnyékos utcáján fekvő háztömbnyi épület sajátos bejárattal fogadja a látogatót: egy két méteres felületre kiterjedő Mao idézet néz szembe ókori palástba öltözött doktorok bronz szobraival, akikről az ember gyógyításának ezotérikus elmélete származik. Ez a kontraszt csak része egy évszázados vitának Kínában, ami felülénkült, amikor az Akadémia nyugdíjas kutatója Tu Youyou orvosi Nobel-díjat kapott a maláriát gyógyító artemisinin izolálásáért az Artemisia annua gyógynövényből.

A hagyomány ápolói úgy vélik, a díj a tradicionális





kínai gyógyítást ismeri el, még ha annak csak egy szűk szeletét érinti is. „Egyik szemem sír, a másik nevet“ mondta Liu Chanhua az Akadémia egyik professzora. „Örülök, hogy a gyógyszer életet mentett meg, de ha a kínai gyógyításnak a jövőben ezen az úton kell haladnia, szomorú vagyok“. A szomorúság oka, hogy Tu módszere csak kevésbé különbözik a nyugati gyógyszergyártás módszereitől, az ismert gyógynövények vizsgálatától azért, hogy új gyógyszereket találjunk.

Dr. Liu szerint a kínai gyógyítás legbenyolultabb része a 10 – 20 gyógynövényből, vagy ásványból készítendő formula, amit a gyakorló orvos a beteggel folytatott konzultáció eredményeként egy hét alatt hoz létre. Mostanáig nem végeztek vizsgálatot, ami felderítené, hogyan hatnak ezek a formulák a szervezetben. Ehelyett a kormány hiába fordítja arra a pénzt, hogy egy újabb artemisinint találjanak. Ha úgy véljük, hogy a kínai gyógyítás modernizálását Tu Youyou nyomán kell elvégezni, az szerintem a kulturális örökség semmibe vétele.

Azonban sok kínai kutató szerint ez a hagyomány egyáltalán nem megőrzendő. Az ókori gyógyítást tanulmányozni kell – mondja He Zuoxiu, a tekintélyes Kínai Tudományos Akadémia tagja – de a régi teóriákat már hosszú ideje el kellett volna vetni. „A kínai gyógyítás jövőbeli fejlesztése érdekében a gyógyítás elméletével nem kell foglalkozni és a kutatásnak a gyógynövények vizsgálatára kell irányulnia modern tudományos módszerekkel“ mondta Dr. He egy interjúbán. Tu azonban nem lett az akadémia tagja, talán mert nem tanult külföldön és nem szerzett doktorátust.

A vita legalább egy évszázadra nyúlik vissza. Egy sor veszített háború által megtépázott nemzeti büszkeség után a kínai reformerek szembe fordultak csaknem minden hagyománnyal: a császársággal, vallási rendszerekkel, nemzeti viselettel és hold naptárral. A hagyományos gyógyítás különösen erős bírálat tárgya lett. Elméleteit homályosnak, eredményeit bizonyítatlannak, magát a gyógyítást tudománytalannak ítélték abban az

országban, amelyik éppen elkezdte tisztelni a tudományt. „Mindenki úgy vélte, a kínai gyógyításnak nincs jövője,“ mondta Paul Unschuld, a kínai gyógyítás történetének szakértője (Jótekonysági Kórház, Berlin). „Elméleteit, mint a ying-yang, vagy az Öt Elem, elavultnak tekintették.“

A kommunista hatalomátvétel (1949) után azonban Kínában kevés „nyugati kórház“ működött. Mao elnök kijelentette, hogy „a kínai gyógyítás és farmakológia egy kincses bánya, amit tovább kell fejleszteni.“ Ez hagyományos kínai kórházak, iskolák és kutatóhelyek létesítését vonta maga után, mint amilyen a Hagyományos Kínai Gyógyítás Akadémiája Pekingben. Mégis az állam elsősorban a nyugati gyógyítást támogatta. Mao idejében a vidéken gyógyítást végző „mezítlábas orvosok“ főként a hagyományos módszereket alkalmazták, ami megerősítette a kínai orvoslás tekintélyét. Mao halála után az emelkedő jóléttel egyidejűleg a kormányzat felemelte a nyugati gyógyítás támogatását.

„  
Minőség és  
tudomány az egyetlen  
megoldás

„  
Ma Kínában 1,1 millió orvos gyógyít nyugati módszerekkel, 187 ezer hagyományos gyógyítóval szemben. A 23 ezer kínai kórházból nem egészen 3 ezer alkalmazza a tradicionális kínai gyógyítást. „Ez a nemzet része, de a kínai nemzet magát modern nemzetnek tartja, amelyik erősen kötődik a tudományhoz,“ mondja Volker Scheid antropológus (University of Westminster, London), „így a konfliktus adva van.“

A dilemma nyitva maradt Tu munkahelye, az akadémia Kínai Materia Medica Intézete által összehívott sajtókonferencián. Az Intézet képviselőit újságírók kérdezték a feltalálóról: milyen volt ő (élesesű és szorgalmas?), hányan dolgoztak a csoportjában (50?), miért őt jelölték ki a feladat irányítására? (senki nem



Tu Youyou a Lasker-díj átvételén New Yorkban

tudta). Legtöbbször azt kérdezték, mit tett a felfedezést követő 40 év alatt? Zavart csend után a tétova válasz: „Próbált újabb növényeket találni, de nem sikerült neki.“

Az akadémia egyik közeli klinikájának orvosai tudni vélték, miért. A kínai gyógyításban nem használnak egyetlen gyógynövényt. A diagnózist a doktor kérdéseire alapozzák, észleléseire és a pulzus gondos tanulmányozására. Az egyik idősebb orvos, a 61 éves Hu Xin a növényekkel történő gyógyítást 50 évvel korábban az apjától kezdte tanulni, majd egyetemre ment és fokozatokat szerzett. Szerinte minden jó növény-gyógyásznak tanulmányoznia kell a klasszikusokat, amelyek egy része 2000 évre nyúlik vissza. Kis rendelőjében egy hosszú délelőttön 14 beteget kezelt különböző bántalmakkal (bélgyulladás, petefészek ciszta, menstruációs görcsök, krónikus bronchitisz). De a betegek által is elismert sikerei ellenére aggódik a kínai gyógyítást ért támadások miatt. „A Nobel-díj után remélhetően a kritikusok elhallgatnak“ mondja izgatottan. „Hogyan állíthatják emberek, hogy a kínai gyógyítás nem tudományos?“ kérdi Dr. Hu. „Nem tagadhatják, hogy kínai orvosi ajánlásokra és klinikai gyakorlatra támaszkodunk!“

Élesedik a vita a gyógyítás főirányának követői és az alternatív módszerek hívei között. Rao Yi a Peking Egyetem idegtudományi kutatója szerint Tu megérdemelte az elismerést, artemisinin milliók életét mentette meg és további értékek származhatnak a tradicionális kínai gyógyítás (TCM) forrásaiból. Azonban tudományos módszerek szükségesek ahhoz, hogy eze-



Tu Youyou és tanára Lou Zhicen 1951-ben.

(HTTPS://EN.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/TU\_YOYOU)

ket a gyöngyszemeket felismerjük. A TCM gyógyfüves receptjeinek hasznosságát soha nem sikerült igazolni.

Számos kutatócsoport foglalkozik természetes forrásból izolált gyógyszerjelöltekkel, amelyeknek sokféle vizsgálaton kell átmenniük. A természetgyógyász fel fogás szerint azonban egyetlen vegyület sem olyan hatásos, mint amit TCM szakértői a betegre szabott keverékekkel elérnek. Az egyik, világszerte elterjedten használt keverék, amit kemoterápia toxikusságának kivédésére ajánlanak klinikai vizsgálaton ment át a Hong Kong Kínai Egyetemen. Tony Mok klinikai onkológus szerint a TCM keverék nem volt hatással a toxicitásra.

Edzard Ernst, az Exeter Egyetem (Anglia) korábbi tanára irodalmi kutatást folytatott a személyre szabott TCM keverékek hatékonyságának ellenőrzésére. Ami keveset talált, az mind negatív volt. Szerinte „nincs meggyőző bizonyíték, ami támogatná ezeknek a gyógyfű-keverékeknek az alkalmazását.

A TCM hívei szerint a titok a helyes recept összeállításában rejlik. Tianhan Xue vegyész Kaliforniában TCM-alapú gyógyszerkutatással foglalkozik. Szerinte bizonyítható gyógyfüvek keverékeinek szinergikus (egymást erősítő) hatása. „De egyetérték azzal, hogy további minőségvizsgálatra van szükség” mondta.

„Minőség és tudomány az egyetlen megoldás” Mok szerint is. „De ha minőség és tudomány a lényeg, az már nem TCM“!

## A FELFEDEZÉS KIDOLGOZÁSA ÉS TÁRSADALMI HÁTTERE

Az 1960-as években a „Kínai Kultúrális Forradalom” néven ismert, tudományos kutatókat és tanárokat üldöző felfordulás idején a kínai kormánzatnak sürgető tudományos feladata támadt: fontos szövetséges, az Egyesült Államok által támogatott - Dél-Vietnámmal hadban álló - Észak-Vietnám segítséget kért a katonáit pusztító malária ellen, mert az addig

használt gyógyszerek, klorokin és kinin ellen a betegség már rezisztens volt. A malária Kína déli területein is sok embert pusztított.

Mao rendeletére titkos katonai kutatómunka indult a probléma megoldására, az 523-as Projekt, amely nevét az indulás dátumától (1967. 05. 23.) nyerte. Azonban Kína legjobb malária szakértőit ekkor jobb-oldalinak bélyegezték. A kormányzat a Tradicionális Kínai Gyógyítás Akadémiájához fordult segítségért. Tu Youyou, az Akadémia egy alig ismert kutatója lett az 523-as Projekt vezetője, aki korábban nyugati és kínai gyógyítást is tanult és felismerte a kínai sebgyógyulás okát.

A 39 éves Tu a Kína legdélibb területén fekvő Hainan szigetre utazott, hogy tanulmányozza a betegség terjedését. Férjét a Kultúrális Forradalom javítómunkára ítélté, így 4 éves kislányát egy óvodában hagyta. Hainani látogatása egy tíz éves munka kezdete volt. Sorra látogatta a hagyományos kínai gyógyító orvosokat és a tőlük szerzett információ alapján egy jegyzetet állított össze: „Gyakorlati előírások gyűjteménye a malária ellen” címmel. A 2000 összegyűjtött receptből egy volt hasznos, az egynyári üröm, latin nevén Artemisia annua, amit a váltóláz (a malária régies neve) kezelésére használtak. Tu egyetlen receptre támaszkodott, amelyet: „Sürgősségi előírások, amit a kabátujjban kell tartani” című 1600 éves szöveggyűjteményben talált. Az előírás szerint a növényt vízben kell forralni, majd a levet meginni.

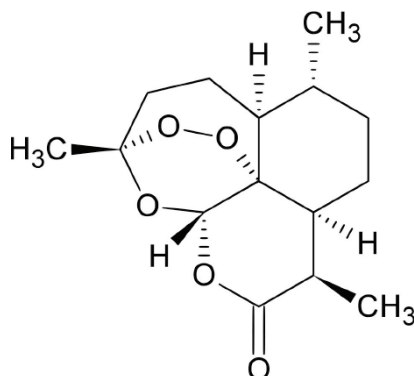
Tu úgy vélte, ha vízben forralja a növényt, a hatóanyag elbomlik, ezért egy éteres kivonatot készített, amit egereken és majmokon 100%-ban hatásosnak talált. Ezután magán és két kollégáján próbálta ki a szert. Meggyőződve róla, hogy nem okozott káros hatást, klinikai kísérleteket végeztetett betegeken. „Meg tudtuk gyógyítani a gyógyszer-rezisztens maláriát” mondta Tu egy 2011-ben adott interjúban. „Nagyon izgatottak voltunk.”

1978-ban Tu kormánykitüntetést kapott az 523-as Projekt vezetéséért.

Az 523-as Projekt indulása után 10



évvel publikálták az első eredményeket az akkori viszonyoknak megfelelően kínai nyelven, a Ke Xue Tong Bao (Chinese Science Bulletin) című folyóiratban. Az első, egyoldalas dolgozat 1977-ben a következő szöveggel kezdődik: „Az *Artemisia annua* növényből egy kristályos vegyületet választottunk el, ami a qinghaosu nevet kapta.” Szerzőként „A qinghaosu szerkezetét kutató koordináló csoport” szerepel. Ez a cikk nem említi a maláriát és annak gyógyítását. A qinghaosuról beszámoló második publikáció két évvel később, 1979-ben jelent meg, szintén kínaiul a Hua Xue Xue Bao (Journal of Chemical Engineering of Chinese Universities) című folyóiratban. Ez a közlemény már 10 oldalas és a szerzőket és munkahelyeiket is felsorolja. Ebben az évben a Chinese Medical Journal már angolul publikálta azt a cikket, amely a qinghaosut (artemisinint) és malária gyógyítására való alkalmazását a világ tudomására hozta a szerzők felsorolása nélkül kínai nyelvű irodalmi hivatkozásokkal. A 10. hivatkozás – kínai nyelven – „megjelenés alatt” megjegyzéssel „A qinghaosu kristályszerkezete és abszolút konfigurációja” című cikket említi. Ez a cikk angol nyelven jelent meg a Scientia



(qinghaosu) artemisinin

Sinica című folyóiratban 1980-ban, a szerzői „Qinghaosu Research Group, Institute of Biophysics, Academia Sinica” voltak. Az 523-as Projektben közreműködő mintegy 500 kutató nagy része ismeretlen maradt. A nyugati egészségügyi szervek az artemisinin hatékonyságának megállapítása (1973) után évtizedekig nem tudták azt alkalmazni, ami életeket veszélyeztetett.

Tu érdemeit 2011-ben a 250.000 \$ jutalommal járó Lasker-díjjal ismerték el és őt nevezték az artemisinin felfedezőjének, ami néhány kínai és nyugati malária kutató tiltakozását váltotta ki. Nicholas J. White oxfordi malária szakértő szerint a kutatásban résztvevők közül többen is megérdelnék az elismerést, így pl. a klinikai vizsgálatok vezetője, Li Guoqiao és a vegyész Li Ying hasonló mértékben járultak hozzá a sikerhez. Ezzel Hong Kongban egyetértett Keith Arnold malária kutató.

Tu szerint a döntő felfedezést ő tette meg egy kis csoport vezetőjeként az artemisinin izolálásával. A beszámoló szerint Tu szerény természetű asszony, aki nem fürdik a dicsőségben. 1930-ban született Ningbo kikötővárosban egy ötgyerekes család egyetlen lányaként és nagyon szerencsésnek mondja magát, hogy nő léte felvették az Orvosi Egyetemre Pekingben, ahol 1955-ben gyógyszerész diplomát szerzett. 1965-től lett a Hagyományos Kínai Gyógyítás Akadémiájának munkatársa. Veye, Lei Mao szerint ma csöndesen él Pekingben férjével – aki mérnök – és részidőben tudományos témákon dolgozik.

**Dr.Simonyi Miklós**

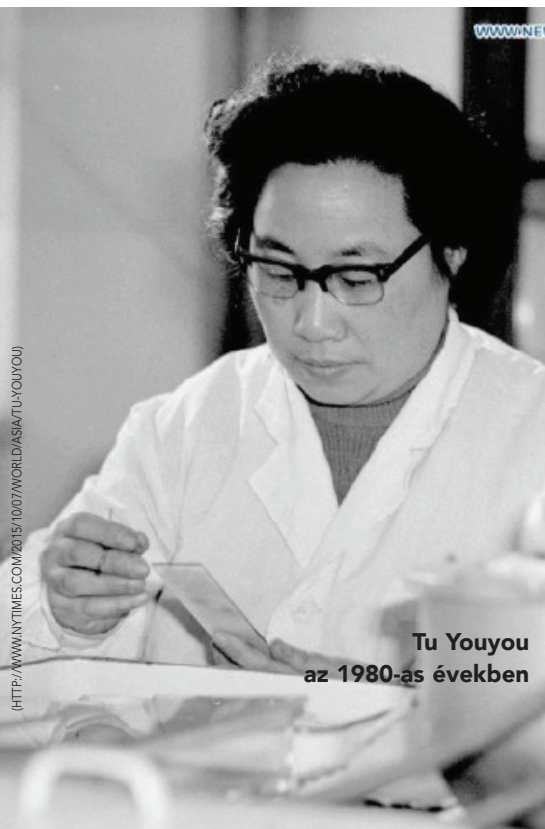


**Artemisia annua**



## IRODALOM

- The New York Times*, 6 October 2015: *Answering an Appeal by Mao Led Tu Youyou, a Chinese Scientist, to a Nobel Prize* [http://sinosphere.blogs.nytimes.com/2015/10/06/Some-Surprise, and Affirmation, in China After Tu Youyou Receives Nobel Prize](http://sinosphere.blogs.nytimes.com/2015/10/06/Some-Surprise-and-Affirmation-in-China-After-Tu-Youyou-Receives-Nobel-Prize)
- Science* 9 October 2015, 350, no. 6257, pp. 144-145: *Neglected tropical diseases get the limelight in Stockholm*
- The New York Times*, 11 October 2015: *Nobel renews debate on Chinese medicine* [www.sciencemag.org](http://www.sciencemag.org) 16 October 2015, 350, no. 6258, p 265: *Nobel for antimalarial drug highlights East-West divide* <http://news.sciencemag.org/asia/2011/09/lasker-award-rekindles-debate-over-artemisinins-discovery>
- Braun Tibor: *A qinghaosu (artemisinin) felfedezése. A kínai kulturális forradalom és a malária gyógyítása*, *Természet Világa*, 2012. 8. sz.
- Braun Tibor, Simonyi Miklós: *Etikai szabálysértések a természettudományokban*, *Kémiai Panoráma* 10. szám



**Tu Youyou**  
az 1980-as években

# A mikroszkóp és távcső

A kémikust az érdekli, hogy a molekulák szerkezete hogyan határozza meg a belőlük felépülő, vagy általuk létrehozott anyagok tulajdonságait. Ezért szeretné tudni, milyenek is a molekulák. Mivel a molekula méretek nanométer ( $\text{nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ), az atomi méretek Å (Angström =  $10^{-10} \text{ m}$ ) tartományba esnek, e parányi méretek sokáig nem voltak láthatók.

A távoli nagy objektumok megfigyelésére az optikai távcsövek, a szemmel nem látható kis objektumok részleteinek vizsgálatára az optikai mikroszkópok szolgálnak. Ezek az eszközök a látható fény tartományába eső elektromágneses sugárzást gyűjtik össze lencsék, illetve tükrök segítségével. Bár lencsék és tükrök optikai tulajdonságait már az ókorban (Assziriában) is ismerték, mind a távcsövet, mind a fénymikroszkópot csak a XVI. és XVII. század fordulóján állítottak elő, bár a távcső leírása már Leonardo da Vinci jegyzeteiben is szerepelt. Galileo Galilei 1609-ben épített távcsövet és elsőként használta azt csillagászati megfigyelésekhez. A Jupiter négy holdját, a Vénusz fázisváltozásait és a Hold hegyeit fedezte fel a segítségével.

A fénymikroszkóp atyja a holland Anton van Leeuwenhoek (1632-1723). A kíváncsi posztókereskedő, Leeuwenhoek megtanult kis lencséket csiszolni és fényezni, amelyek segítségével már 270x nagyítást ért el. Ez vezetett el végül az első használható mikroszkópokhoz. Leeuwenhoek volt az első 1674-ben, aki láthatta a vörösvérsejteket a vérben és leírhatta az egysejtű ázellálatkákat a tócsák vizében.

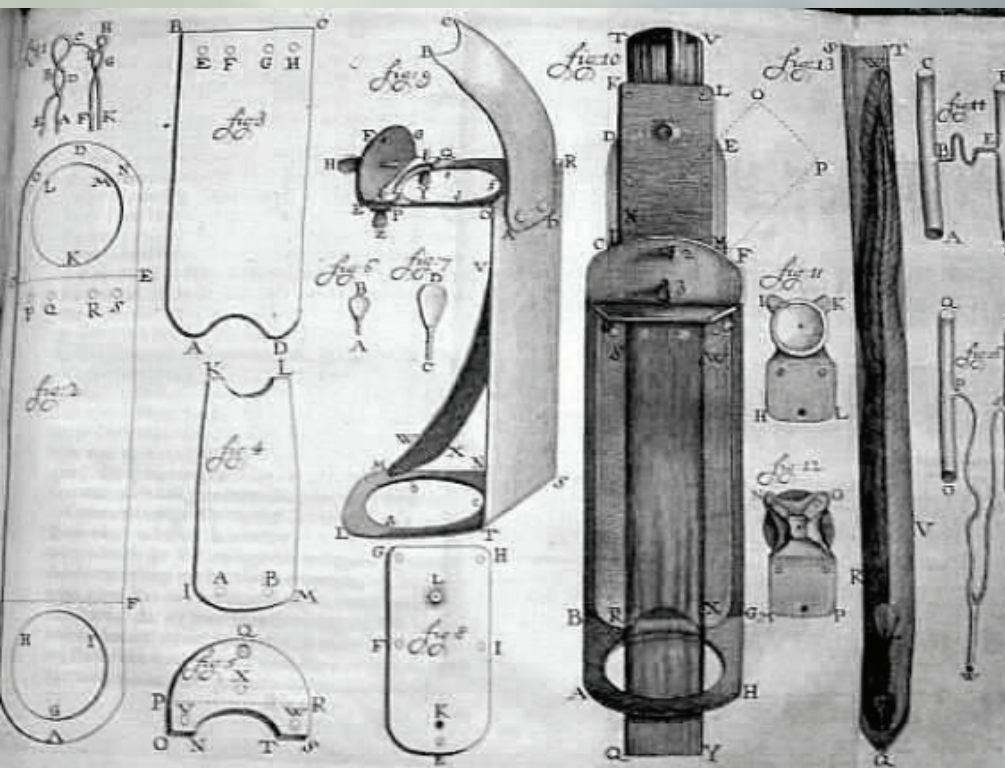
## Miért nem egy pont a Hold?

Az egészséges emberi szem normál fényviszonyok között két egymáshoz közeli fekete pontot vagy vonalat akkor képes megkülönböztetni egymástól, ha azok szemmel bezárt szöge 1 ívperc (az 1 fok hatvanad része). Az ívpercben mért felbontóképesség előnye, hogy független a tárgy távolságtól. A szem felbontó-képessége 25 cm távolságból megközelítőleg  $0,07 \text{ mm} = 7 \times 10^4 \text{ nm}$ , míg 10 méterről ez az érték 3 mm. A Földről a Hold mintegy 0,5 fok (30 ívperc) szög alatt látszik. Tehát a Holdra tekintve jó látásviszonyok mellett a szemünk által még megkülönböztethető két pont vagy vonal távolsága megközelítőleg 112 km. Ha a holdunk harmincszor megszűbb keringene a Föld körül, akkor szabadszemmel már csak egy fényes pontnak látnánk.

A mikroszkóp és a távcső képalkotásának javulása csak a XIX. és XX. században indult rohamos fejlődésnek. A távcsövekhez egyre nagyobb méretű és egyre jobb képalkotású lencséket és tükröket sikerült készíteni mind Európában, mind Észak-Amerikában. A lencsék mérete a XIX. század végére elérte az 1 métert (102 cm-es Yerkes: 1897), ennél nagyobb objektív lencsét azóta sem sikerült készíteni. A tükrös távcsövek mérete azonban tovább növekedett. A kaliforniai Mt. Wilson Observatórium 1918-ban állította fel egy



Galilei kettős távcsöve és az általa 1610-ben felfedezett Jupiter holdak: Io, Europa, Ganümédész, Kallisztó



Henry Baker rajza Leeuwenhoek mikroszkópjáról, 1756

2,54 m átmérőjű tükröt tartalmazó távcsövet. 1948-ban az Egyesült Államokban a Palomar hegyi obszervatóriumban épült egy 5,1 m átmérőjű tükröt használó távcső. A közelmúltban megkezdődött egy 24,5 méter átmérőre tervezett Gigantikus Magellan Távcső építése Chilében.

Minél nagyobb a műszer objektívjének átmérője, annál halványabb égitesteket láthatunk vele. A legnagyobb földi távcsövekkel a hozzávetőleg 13 milliárd fényévyire (1 fényév  $9,460529 \times 10^{15}$  m = 9460,5 milliárd km) elhelyezkedő galaxis is észlelhető.

Nem csak a távcsövek főtükör átmérőjének növelése, hanem számos technikai újítás alkalmazása és a képalkotás digitalizálása a távcsövek teljesítményének ugrásszerű javuláshoz vezetett. A huszadik század második felében megjelentek az elektromágneses sugárzás, infravörös, rádióhullám és röntgensugár tartományában képalkotásra képes távcsövek és az űrtávcsövek is. A távcsövek a rohamos technikai fejlődés hatására egyre távolabbi és egyre kisebb fényességű objektumok vizsgálatára válnak alkalmasá.

A mikroszkópok fejlődése számos újítás hatására a 19. század közepétől indult meg. A XX. században modern, nagy teljesítményű műszerek jöttek létre (például a fluoreszcens mikroszkóp, vagy a konfokális pásztázó mikroszkóp), amelyeket korszerű kiegészítő rendszerekkel – fotográfia, videokamera, számítógép – ellátva a kutatásnak és az orvosi diagnosztikának nélkülözhetetlen eszközeivé váltak. A fénymikroszkóp felbontóképessége

Az Atacama sivatag Chilében, a magasan fekvő száraz terep jó látási viszonyokat biztosít





(<http://tudasbazis.sulinet.hu/hu/termeszettudomanyok/fizika>)

Rádiótávcső



**Ernst Ruska 1933-ban készített elektronmikroszkópja (Deutsches Museum, München)**

gét, illetve elérhető nagyítását a fény hullámhossza korlátozza. A felbontóképesség növelését a megvilágító sugárzás hullámhosszának csökkentése teszi lehetővé. Ezt figyelembevéve fejlesztették ki az elektronsugárral működő mikroszkópokat.

Mivel az elektronok hullámhossza 100.000-szer is kisebb lehet a látható fény legrövidebb hullámhosszú ultravioleta sugárzásánál ezért a felbontás 200 nanométerről 50 pikométerre ( $\text{pm} = 10^{-12} \text{ m}$ ), illetve a nagyítás 200-szorosról tízmilliószorosra növelhető.

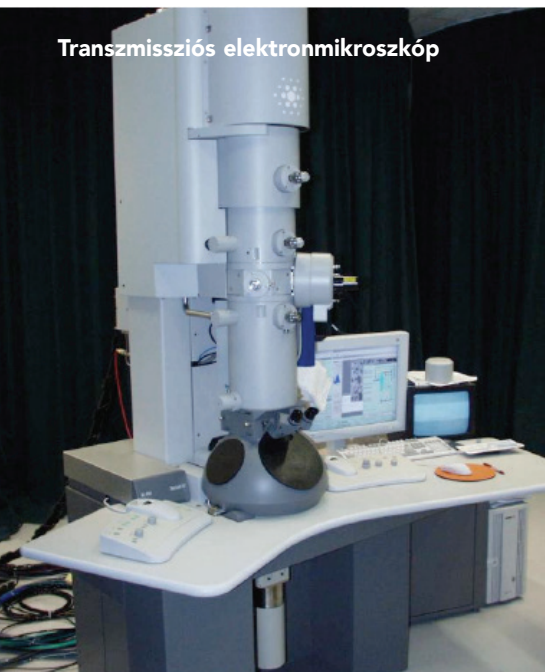
Az elektronmikroszkóp megvalósítását az elektromágneses lencsék megalkotása tette lehetővé (1926, Hans Busch). Ezt követően Ernst Ruska és Max Knoll 1931-ben készítették el az elektronmikroszkóp első prototípusát. A rohamosan javuló elektronmikroszkópok lehetővé tették a nagyítás jelentős növelését és közel atomi szintű képalkotást.

Az elektronmikroszkópok két fontos típusa, a transzmissziós és a pásztázó elektronmikroszkóp. A pásztázó elektronmikroszkóp felületek szerkezetének (morfológiájának) vizsgálatára alkalmas. A pásztázó elektronmikroszkóp felbontása műszertől függően 0,5 és 20 nanométer közé esik.

Az elektronmikroszkópok megalkotásával kitért a szemmel nem látható kis



Transzmissziós elektronmikroszkóp



(<http://enfo.agt.bme.hu/drupal/node/349>)

Pásztázó elektronmikroszkóp nyitott mintakamrája

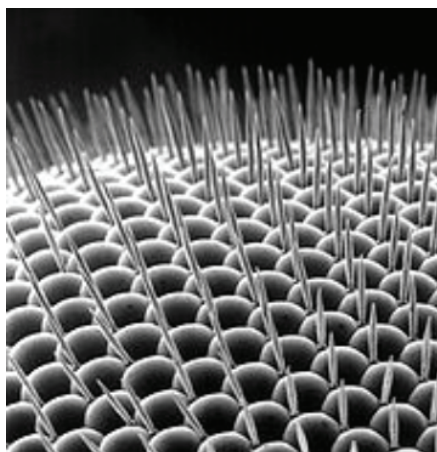


([https://hu.wikipedia.org/wiki/Pásztázó\\_elektronmikroszkóp](https://hu.wikipedia.org/wiki/Pásztázó_elektronmikroszkóp))

objektumok világa is. A mikrovilág, mikroorganizmusok, sejtek, fémek, kristályok és molekulák belső szerkezetének vizsgálata vált lehetővé az ember számára.

A transzmissziós elektronmikroszkóp felbontása (0,5 nm) már megközelíti az atomok méretét. A mikroszkópikus anyag részleteinek felderítése nem állt meg a sugárzással (fény- és elektronsugárzás) történő képalkotásnál. Az a vágy, hogy látathatóvá tegyünk az atomokat is tovább izgatta a kutatókat.

Képet nyerhetünk úgy is a felület atomjairól, hogy igen közel a minta felületéhez, annak síkjától állandó távolságban, szabályos vonalak mentén, kis lépésekben elmozgatjuk a tűt (a lépések kisebbek kell legyenek, mint az atomi méretek) és mérjük a minta atomjai és a tű hegye között fellépő valamely kölcsönhatást. Mivel a tiszta felület, atomi méretekben nem síma, granuláris, a kölcsönhatás mértéke változni fog attól függően, hogy a tű hegyének atomjai milyen távol vannak a minta atomjaitól. (két atom közti völgyben a kölcsönhatás le fog csökkenni). A kölcsönhatás lehet például az atomok közt ható Van der Waals erő (atomerő mikroszkóp), vagy a tű és a vezető minta atomjai közt fellépő elektromos hatás, áram (alagútmikroszkóp). Ha ezek után felrajzoljuk x-y síkon a minta síkján pontosan

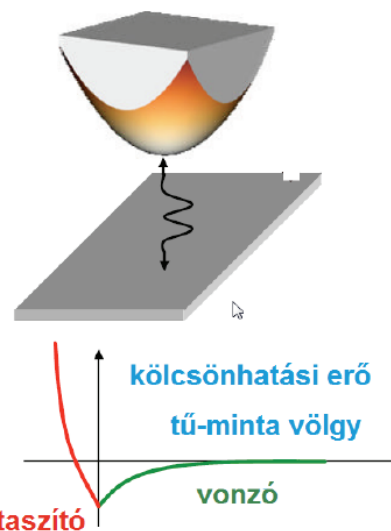


([https://hu.wikipedia.org/wiki/Pásztázó\\_elektronmikroszkóp](https://hu.wikipedia.org/wiki/Pásztázó_elektronmikroszkóp))

Felvétel egy ecetmuslica összetett szemérről

kimért kölcsönhatási erőket, képet nyerünk a felület atomjainak elhelyezkedéséről.

A fenti elven működnek az úgynevezett pásztázó tűszondás mikroszkópok. Az első ilyen, a pásztázó alagút mikroszkópot Gerd Binnig és Heinrich Rohrer alkotta meg 1981-ben. Az új mikroszkóp megépítésért 1986-ban Nobel-díjat kaptak. A pásztázó alagút-mikroszkóp a minta és a szonda atomjai között folyó áramot méri. Az atomerő mikroszkópot Gerd Binnig fejlesztette ki 1986-ban. A pásztázó elektronmikroszkópok nagyítása 1 millió és a legjobb felbontásuk 0.05 nm. A pásztázó



A pásztázó tűszondás mikroszkóp elve

tűszondás mikroszkópok által nyert kép már atomi felbontású. Segítségükkel atomok elhelyezkedéséről és molekulák szerkezetéről is képet nyerhetünk.

A vegyipari eljárások 80 százaléka katalizátorokat használ, amelyek felülete olyan kémiai átalakulásokat tesz lehetővé, amelyek homogén fázisban nem mennének végbe. Ezért a modern nagyfelbontású eszközök elengedhetetlenek szilárd anyagok felületének vizsgálatára.

Dr. Pálincás Gábor

# Az óceánok kémiája

A víz a Földre – mai ismereteink szerint – két forrásból juthatott. Az egyik, a Föld kialakulásának első 500 millió éve alatt bekövetkező vulkán-kitörések voltak. A vulkán-kitörésekből kijutó gázok 70 százaléka ma is vízgőz. A földi víz másik forrása – szintén a Naprendszer kialakulásának korai szakaszában – a külső jeges tartományból származó üstökösök, jeges meteorok, illetve aszteroidák voltak.

A víz teljes tömege a Földön  $1,5 \times 10^{21}$  kilogramm (a Föld tömege  $6 \times 10^{24}$  kg). A víz 95,7 százaléka az óceánokban, 4,1 %-a kőzetekben található, 0,2%-a mint jég fordul elő. A Föld felszínének, mintegy 71 százalékát borítják óceánok, tengerek. A földi óceánok érintkeznek az ásványokkal, az atmoszférával és az élővilággal is. A sók az óceánokba a szárazföldi kőzetekből jutnak. Az óceánok sótartalma mintegy  $5 \times 10^{19}$  kg. Az óceánokból elpárolgó víz a légkörből széndioxidot old ki, gyengén savassá válik (szén-sav), majd visszahullva a szárazföldre abból sókat kioldva, visszakérül az óceánokba.

A földrészek szétválása hosszú folyamat eredménye volt. A kontinensek mozgása ma is tart. Érdekes, hogy most a közeledés irányában mozognak. Az óceáni medencék kiterjedése és elhelyezkedése folyamatosan változott annak ellenére, hogy a vízmennyiség az utóbbi négy milliárd évben lényegében állandó volt. Az óceánok átlagos mélysége ~3700 méter. Legmélyebb pontja meghaladja a 10 kilométert. A földi vízmennyiség többé-kevésbé állandó körforgásban van, elpárolog, majd lecsapódik esőzés vagy havazás formájában.

Becslések szerint évente  $4,2 \times 10^{16}$  kg víz vesz részt a körforgásban. Számítások szerint egy vízmolekula átlagosan 12 napot tartózkodik a légkörben pára formájában.

Ismert, hogy az óceánok vize sós. A sók a földkéreg felső rétegének, és tengerfenék lemezeinek kőzeteiből oldódtak be a vízbe.

anionok	koncentráció mg/dm <sup>3</sup>	az oldott só tömegszalékában %
Cl <sup>-</sup>	19 000	55,04
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2 655	7,69
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	140	0,41
Br <sup>-</sup>	65	0,19
BO <sub>3</sub> <sup>3-</sup>	20	0,06
SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	8	0,2
F <sup>-</sup>	1	0,03

az anionok koncentrációja az óceánokban



Valószínű, hogy a vízgőz lecsapódása és a kívülről beszállított jég megolvadása vezetett az óceánok kialakulásához. Így az óceánok jelenlegi vízmennyisége már mintegy négy milliárd évvel ezelőtt felhalmozódott. 225 millió évvel ezelőtt a földrészek még összefüggő halmazt alkottak az óceánban (Pangea).

kationok	koncentráció mg/dm <sup>3</sup>	az oldott só tömegszalékában %
Na <sup>+</sup>	10 500	30,42
Mg <sup>2+</sup>	1 350	3,91
Ca <sup>2+</sup>	400	1,16
K <sup>+</sup>	380	1,1
Sr <sup>2+</sup>	8	0,2

a kationok koncentrációja az óceánokban

## TENGEREK SÓTARTALMA %

Nyílt óceán	3,5
Földközi tenger	3,9
Vörös tenger	4,1
Holt tenger	27

” A pH a XXI század végére további 0,5 egységgel fog csökkeni

”

Az óceánok vize átlagosan 3,5 százalékban különböző sókat, ionos vegyületeket, elsősorban konyhasót, Na<sup>+</sup> és Cl<sup>-</sup> ionokat tartalmaz. (A fiziológiás sóoldat 0,9 tömegszázalékos). A becslések szerint az óceánok vízének sótartalma mintegy két milliárd évvel ezelőtt már kialakult. Az óceánok sótartalma hosszú ideje állandó. A só bejutása a vízbe folyamatos. Sokkal kevésbé ismertek azonban azok a folyamatok, amelyek a sót kivonják a tengerekből, hiszen mint említettük az óceánok sótartalma régóta állandó. Az azonban ismert, hogy a sók közül sokat az óceánok



élő szervezetei vonnak ki a vízből. A sótartalom állandósága az élet feltétele, mivel már mintegy 5 százalékos sótartalom esetén is az élővilágot felépítő sejtek elpusztulnának. Az ionok koncentrációját az óceánokban a táblázatok tüntetik fel.

A fémionok a földkéregből oldódtak ki. A klorid, szulfát és karbonát ionok egy része a légkörből jut az óceánokba. Például a kétszeresen negatív szulfátion, a kéndioxid, az oxigén és a víz reakciójának eredménye:

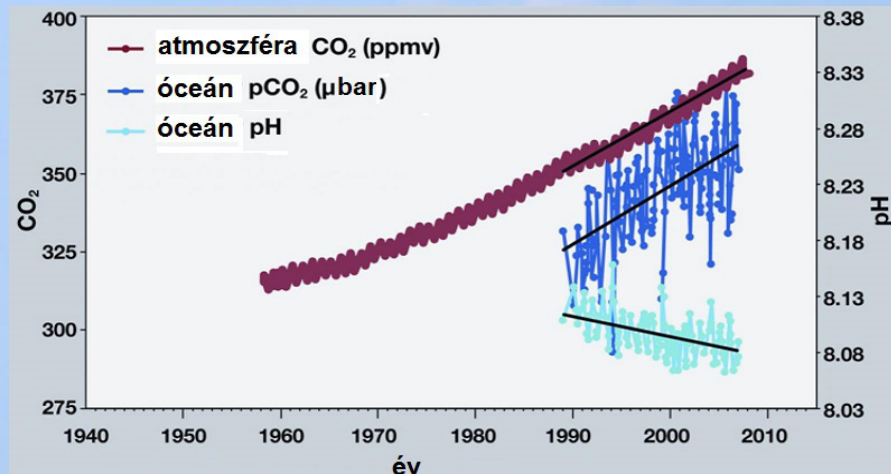


A kénsav protonra ( $\text{H}^+$ ) és szulfát ionra ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) disszociál a vízben. A légkör kis mennyiségben tartalmaz kénsavat és salétromsavat is, mely vegyületek az esővel jutnak a szárazföldre és az óceánokba is. Ezek a savak az emberi tevékenység által légkörbe kerülő kéndioxid, nitrogén-dioxid és a vízpára reakciójának eredményei.

A szulfát, karbonát és szilikát anionokat az eső oldja ki a szárazföld sóiból (két vegyértékű fémek és vas alumínium-szilikátjaiból, -karbonátjaiból) és a folyók szállítják az óceánokba. A természetes vizek általában kismértékben savasak, mivel a légkör és a talaj széndioxidjával érintkezve szénsav ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) keletkezik, amely disszociálva protonokat hoz létre a vizes oldatban, csökkentve az óceánok pH-ját, növelve annak savasságát. Az elmúlt 300 millió évben, az óceánok pH-ja gyengén bázikus, átlagosan 8,2 volt. Napjainkban az óceánok vizének pH-ja 8,1. Ez az 0,1 értékű csökkenés a hidrogénion koncentráció 26 %-os növekedését jelenti (a pH logaritmikus).

Az óceánok vize, a légkör széndioxid tartalmának növekedése miatt savanyodik. Becslések szerint az óceánok, az emberi tevékenység miatt kibocsátott  $\text{CO}_2$  egyharmadát, 22 millió tonna széndioxidot nyelnek el évente. Ez előre jelzi, hogy a pH a XXI. század végére további 0,5 egységgel fog csökkenni.

Amikor a széndioxid ( $\text{CO}_2$ ) elnyelődik

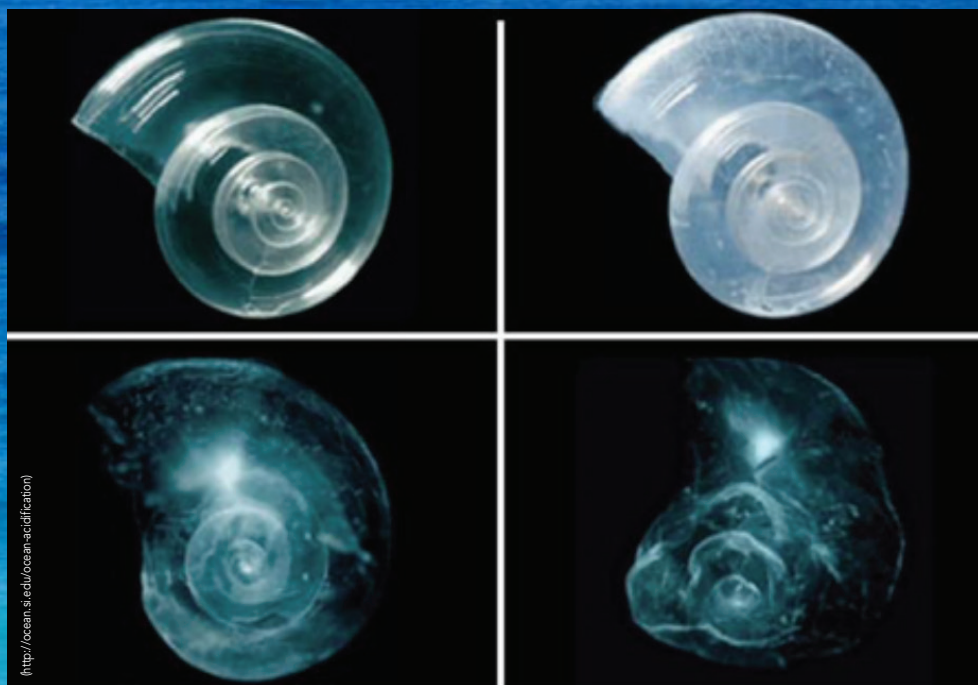


A tengervíz savanyodása az elmúlt évtizedekben

az óceánok vizében, kémiai reakciók lépnek fel, amelyek csökkentik a víz pH értékét, a karbonát ionok koncentrációját, és a biológiailag fontos kalcium-karbonátot, számos tengeri élőlény vázának, héjának építőköveit. Azokon a területeken, ahol igen gazdag az élettevékenység, a víz túltelített kalcium-karbonát ásványokban. Ez azt jelenti, hogy ott bőségesen van jelen építőelem az élőlények vázához és

héjához. Azonban a savasodás következtében az óceánok számos területén megszőnik ezen ásványok telítettsége a vízben és ez valószínű befolyásolni fogja az óceánokban élő szervezetek szaporodását, héjuk kiépítését. Emellett hozzájárul az élőlények vázának lebomlásához.

Bromid, borát és fluorid anionokat a szárazföld ásványai alig tartalmaznak. Ezeket a szárazföldön és a tengerfenéken



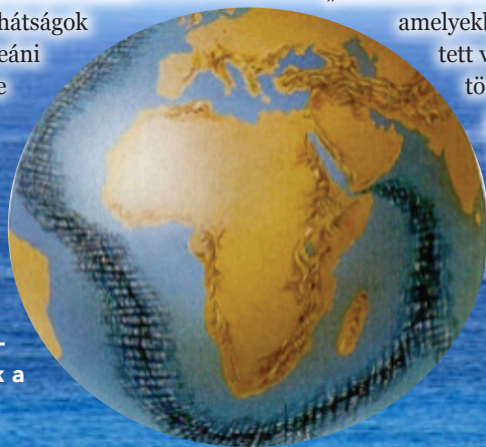
Savas tengervízben áztatott tengeri csiga 45 nap alatt feloldódik (<http://ocean.si.edu/ocean-acidification>)

működő vulkánok által kibocsátott láva és gázok juttatják az óceánokba. A vulkánok többsége az óceánok alaplemezein működik. Az ilyen meleg pontokon kibocsátott magma (Fe, Ni, Co, ritkafémek) és gázok ( $H_2$ ,  $CO_2$ ,  $SO_2$ ,  $H_2S$ ,  $NH_3$ ) az óceánok kémiaját gazdagítják.

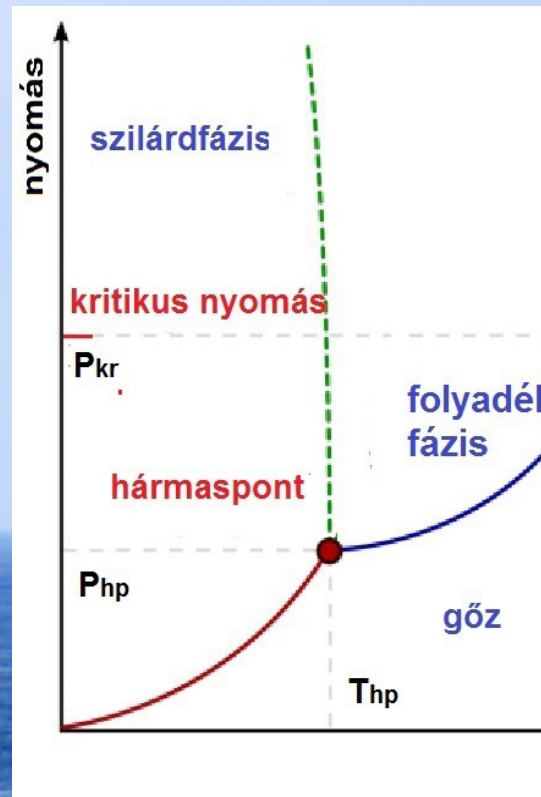
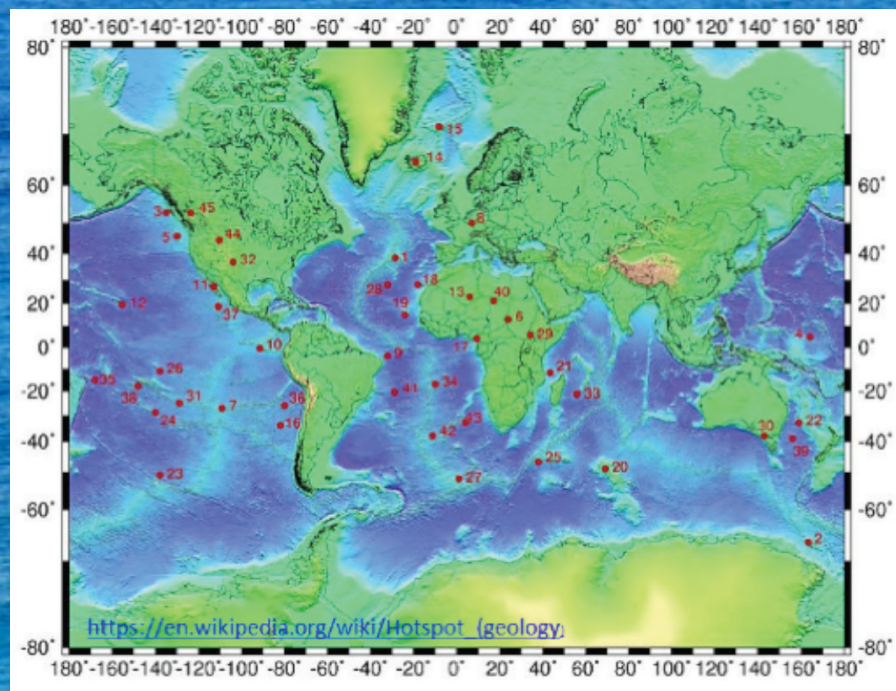
Az óceáni medencék középső részén a Föld belsejének meleg anyaga állandóan felfelé áramlik. Az óceáni medencék aljánál megfigyelt feláramlások igen meleg anyagot szállítanak az óceánvízbe. A feláramló anyag áttöri az óceánok aljzatát, majd ott lassan kihűl. Így az óceáni medencék középső részein kitüremkedések, a lemeztectonika által létrehozott hegységek, hátságok keletkeznek. Az óceáni hátságok rendszere az egész Földet behálózva, teljes

hossza mintegy 80 000 kilométer. A legismertebb a közép-Atlanti-hátság, amely az Atlanti-óceán tengelyében húzódik, követve az Észak- és Dél-Amerika, illetve Európa és Afrika közötti középvonalat.

Az óceáni hátságok középvonalában árkok húzódnak melyek két oldalán magasodnak a vulkáni hegláncok; ezekben tör fel a mélységi magma és megújul az óceáni meder. A hegységek anyaga vasban, krómban, nikkelen, gazdag bazalt. A hátság vulkanikusan aktív területén olyan ásványi anyagokban, így különösen fémszulfidokban, mangánban, vasban, rézben és cinkben gazdag hőforrásokat, „hidrotermális kiürítőket” fedeztek fel, amelyekből geotermikus hevített víz és forró oldatok törnek elő. A mélytengeri átlagos hőmérséklet  $2\text{ }^\circ\text{C}$ .



**Vulkáni tevékenység, forró pontok a Földön**



A feltörő víz hőmérséklete  $60\text{--}350\text{ }^\circ\text{C}$ . Mivel a mélytengeri nyomás 3200 m mélységben 320 bar, (10 méterenként 1 bar-al növekszik) ezért a tengervíz nagyon magas hőmérsékletre felmelegedhet anélkül, hogy felforrna. (A víz forráspontja 220 bar nyomáson  $374\text{ }^\circ\text{C}$ , kritikus pontjához tartozó hőmérséklet és nyomás 3,2 %-os sótartalom esetén a  $407\text{ }^\circ\text{C}$  és 298,5 bar). Mivel mind a nyomás, mind a hőmérséklet a kritikus értékeknél jóval nagyobb is lehet, a mélytengeri feltörő víz szuperkritikus állapotú (tulajdonságai a gőz és folyadékállapot közöttiek). A szuperkritikus víz sokkal hatékonyabban oldja ki a kőzetből az anyagokat, mint normál körülmények között a víz vagy a gőz.

Az arany, a vas, a mangán, a kén és a többi anyag a kiürítőken keresztül kerülnek ki a Föld gyomrából (az oldott arany koncentrációja átlagosan  $10^{-6}\text{ mg dm}^{-3}$  a tengervízben). A kén a forró nyílások közelében élő mikrobák hasznosítják, a mangán a magasabb vízrétegekben élő mikrobák tápanyagforrása, a vasat pedig a planktonok igénylik. A mélytengeri hid-



A kürtőből felszálló széndioxid is savanyítja a tengervizet

rotermális kürtőkből feltörő víz jelentős mennyiségben tartalmaz szulfidokat, rezet, cinket, vasat. A kürtők környezetében magas az ammónia és a metán koncentráció.

A forró oldatokból a hideg tengervíz miatt gyorsan kicsapódnak a különböző ásványi anyagok, kialakítva az oszlopszerű kürtőket. A kürtők termásvíz által felmelegített környezetében a nagy nyomás és a teljes sötétség ellenére, fajokban gazdag [különös élőszervezetek](#) szaporodnak. A

kutatások kimutatták, hogy a kürtők ökoszisztémájában az elsődleges élőszervezetek, (ellentétben a felszíni vizek fotoszintetizáló növényi algáival) a kemoszintetizáló baktériumok. A baktériumok oxidálják a kénhidrogént, és az ebből nyert energiát felhasználva, széndioxidból állítanak elő különféle, a többi magasabb rendű élőlény számára nélkülözhetetlen szerves anyagot. A kürtők ökoszisztémája tehát nem a fényre, hanem hő és vegyi energiára épülő életközösség.

Kürtő kialakulása



### Fotoszintézis

Összetett folyamat, amelynek során a fényenergia felhasználásával víz és szén-dioxid szőlőcukorrá alakul át.



### Kemoszintézis

A folyamat során hőenergia hatására széndioxid és kénhidrogén alakul szőlőcukorrá





Gigantikus csőféreg

A kürtők környékén nagy mélységben előforduló egyik különös élőlény a gigantikus csőféreg, amelynek a belsejében élő baktériumok állítják elő az élőlény számára szükséges cukrot és aminosavakat széndioxidból és hidrogén-szulfidból. Érdekes megjegyezni, hogy Günter Wächtershauser, az élet kialakulásával foglalkozó munkájában ( vas-kén világelmélet) valószínűsíti, hogy az élet kialakulhatott a hidrotermális kürtők környezetében is, bár az elmélete vitatott. Az elmélet kémiai reakciósort ír le, amely az első nukleinsavak keletkezéséhez vezethetett. A vas-kén világ elméletben fontos szerep jut a magmás és üledékes eredetű agyag-ásványoknak és a vasszulfidnak szerves molekulák megjelenésében. Ezek az ásványok pozitív töltésű felületükön megnövelve a molekulák koncentrációját, elősegítik, katalizálják azok reakcióit. Az elmélet reakciósort vezet le, amely elvezethetett a hidrotermális kürtők széndioxidban és kénvegyületekben gazdag környezetében egyszerű szerves vegyületek, mint az ecetsav, metántiol, valamint metanol, hangyasav képződéséhez és az első aminosavak (alanin, aszparaginsav) keletkezéséhez is.

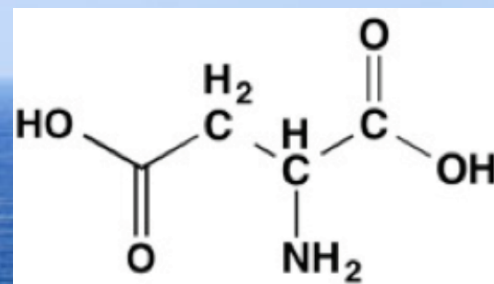
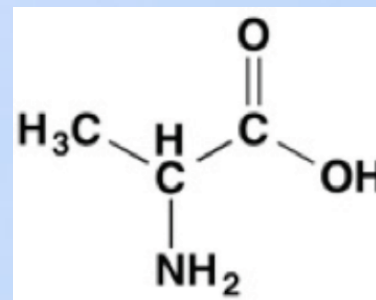
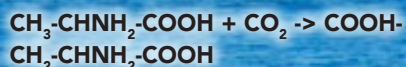
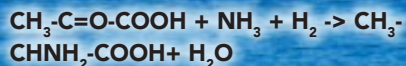
A University College London asztrobiológusai, Nora de Leeuw és munkatársai, laboratóriumi kísérletekkel és számítógépes szimulációkkal igazolták, hogy a hidrotermális kürtők kémiai körülményei között, vasszulfid ásványok katalizálni képesek a széndioxid szerves molekulákhoz vezető reakcióit. A kísérletekben megvalósítva a mélytengeri hidrotermális kürtők körüli viszonyokat, meleg, gyengén alkalikus, széndioxidban gazdag oldatot vezettek át greigit (Fe<sub>3</sub>S<sub>4</sub>) ásványon. Kimutatták, hogy az ásványi kristályok felülete ugyanúgy viselkedik, mint az élőszervezetek enzimjei, vagyis katalizálja a szén-oxigén kötés felbomlását, melyet követően hangyasav, ecetsav, metanol és piroszőlősav keletkezik, megnyitva a lehetőségét komplex szénalapú szerves kémiai reakciók megindulásának. Az első lépésben kemoszintézissel szőlőcukor képződött,



majd a szőlőcukor magasabb hőmérsékleten és nyomáson piroszőlősavvá oxidálódott,



A piroszőlősavból egyszerű aminosavak alanin és aszparaginsav is képződött.



Az élet keletkezését magyarázó elméletek szerint összetett szén-alapú kémia volt szükséges reprodukcióra képes molekulák és az első sejtek megjelenéséhez. A kísérletek igazolják, hogy az egyik lehetséges első lépés ezen az úton a hidrotermális kürtők környezetében is megvalósulhatott. Bizonyosodott, hogy egyszerű szerves molekulák szintetizálódhatnak élő szervezet jelenléte nélkül is.

Dr. Pálinkás Gábor



## IRODALOM

- Nora H. de Leeuw és mások, *Chem. Commun.*, 2010, 46, 8923-8925  
 B. Steinberger, *Journal of Geophysical Research*, 2000, 105 (B5), 11127-11152;  
 Szekeres Péter, *A hidrotermális kürtők élővilága*  
<http://ocean.si.edu/ocean-videos/hydrothermal-vent-creatures>  
<http://www.historia.hu/userfiles/files/2009-03/Meszaros.pdf>  
<http://www.divecenter.hu/hir/2213/az-oceanok-keletkezese>  
<http://ocean.si.edu/ocean-acidification>





# Pásztázó tűszondás mikroszkópok a mindennapi kutatásban

A technikát 1981-ben fejlesztette ki Binnig és Rohrer. Felfedezésüket harminc évvel ezelőtt, 1986-ban Nobel-díjjal jutalmazták.

A pásztázó tűszondás mikroszkóp (Scanning Probe Microscope, SPM) segítségével nanométeres tartományban térképezhetjük fel a minták felületét, a morfológiai információk mellett a tű és a minta kölcsönhatásának vizsgálatával számos egyéb kérdésre is választ kaphatunk. A pásztázó tűszondás mikroszkópok közös jellemzője az elektronikus szabályozás és a piezokerámiákon alapuló tűmozgató rendszer. A tű hegyét a piezomozgató egyenletesen pásztázza az X irányú sorok mentén és lépteti Y irányban sorról sorra. Egy pásztázó mikroszkóp elvi felépítését az 1. ábra szemlélteti.

Képet úgy alkotunk, hogy az atomi léptékben hegyes szondával néhány Angstrom magasságban pásztázunk, és mérjük a tű és a minta közötti kölcsönhatás erősségét.

Az SPM-ek egyre népesedő családjából először a pásztázó alagútmikroszkóppal (STM - Scanning Tunneling Microscope) ismerkedjünk meg. Ennél a műszernél az említett kölcsönhatás az alagútáram. Ez akkor jön létre, ha a felület közelében levő tűszonda és minta közé feszültséget (bias (előfeszítő) - feszültség) kapcsolunk.

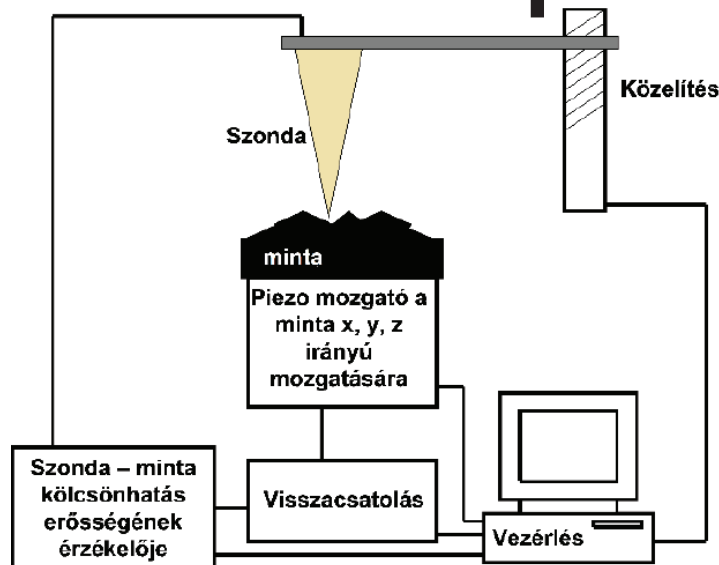
Atomi felbontást akkor érhetünk el, ha a szonda hegye valóban egyetlen pontban vesz mintát a lokális elektronsűrűségből, azaz egyetlen atom ül a tű hegyén. Az alagútáram minimális, de véges vezetést igényel, ezért az STM-mel csak vezető vagy félvezető minták vizsgálhatók. A nem megfelelő tű - például több hegygel rendelkező - negatívan befolyásolja a felvételek minőségét. Az atomi léptékben hegyes STM-tűk általában közvetlenül a mérés előtt házilag,

a laboratóriumban készülnek, mivel a hosszú tárolás során a tű hegye sérülhet vagy oxidálódhat. A tűszondákat leggyakrabban volfrám, platina-irídium vagy arany drótszálból készítik. Megkülönböztetünk mechanikai módszerekkel vágott tűket és elektrokémiai eljárással maratottakat (2. ábra).

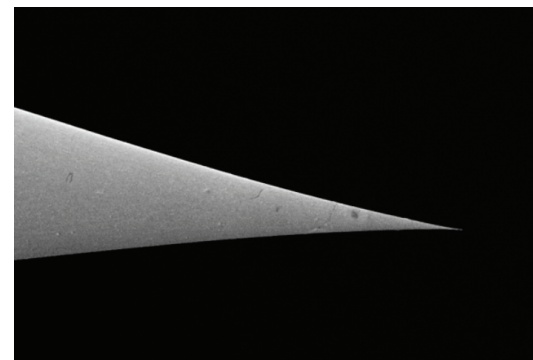
STM-es méréseket nemcsak levegőben vagy vákuumban végezhetünk, hanem folyadék alatt elektrokémiai cellában is. Ebben az esetben gondoskodni kell arról, hogy a műszer csak az alagútáramot érezze, azaz biztosítani kell, hogy a szonda és más elektródák között folyó Faraday-áram lényegesen kisebb legyen, mint az alagútáram. Ezt a tű szigetelésével (pl. polietilén) érhetjük el, ügyelve arra, hogy a tű hegyét ne burkolja be szigetelő anyag. Speciális oldószert alkalmazva szigetelés nélkül is végezhetünk méréseket a folyadék/szilárd határfelületen (3. ábra).

Itt most önszerveződő szerves

„  
Segítségével  
nanométeres  
tartományban  
térképezhetjük fel a  
minták felületét”  
„



1. ábra. A pásztázó tűszondás mikroszkóp felépítésének vázlatja



2. ábra. Elektrokémiai eljárással maratott STM-tű elektronmikroszkópiai felvétele

monorétegek vizsgálatát mutatjuk be feniloktán (folyadék) és nagy rendezettségű pirolitikus grafit (szilárd, Highly Ordered Pyrolytic Graphite, HOPG) határfelületén. Az önszerveződő szerves monorétegeket zsírsavak, azok származékai és keverékei hozták létre. A molekulák rendeződését és a kialakult rétegek stabilitását az alkil láncok és a szilárd felület közötti kölcsönhatás (adszorpció) hozza létre.

A 4. ábra a sztearinsav (oktadekánsav) rendezett rétegét mutatja. A Pásztázó alagútmikroszkóppal különböző funkcionális csoportok (karboxil, észter) eltérő nagysá-

gú alagútáram mérhető. A molekulák sorokba rendeződtek, a molekula-tengely és sorok iránya  $90^\circ$  szöget zár be.

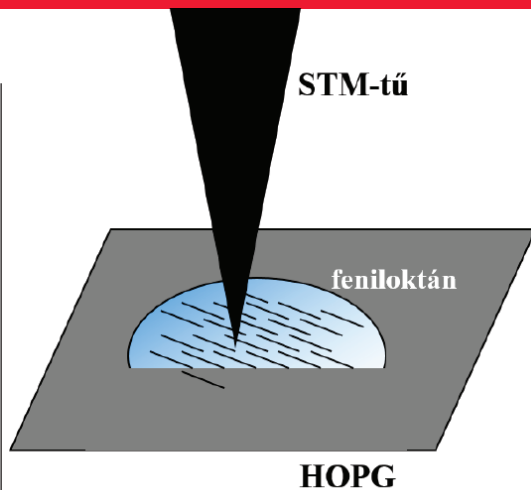
Az STM-felvételek alapján a molekulák hossza  $2,1 \pm 0,1$  nm, a közöttük levő távolság  $0,4 \pm 0,1$  nm. Az eredmények összhangban vannak az elméleti számításokkal (molekulahossz: 2,13 nm). A sorközök (sötét sávok a 4. ábrán) megfelelnek a hidrogénkötések vizualizációjának, ugyanis a karboxilcsoportok között hidrogén-hidak alakulnak ki.

Rendezett szerkezetek kialakulását figyeltük meg az olajsav (cisz-9-oktadecénsav) és elaidinsav (transz-9-oktadecénsav) esetében (5. ábra) is.

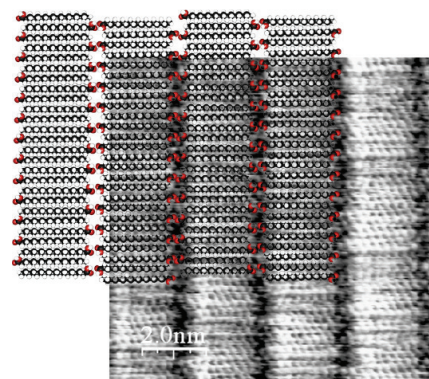
Az olajsav cisz konfigurációja a felvételen tisztán látható. Az elaidinsav felvételén - a telítetlen kötés környezetében levő nagyobb elektronsűrűségnek köszönhetően - a kettős kötés világos foltként jelenik meg az alkil-lánc közepén. Az STM segítségével a molekulák határfelületi „mozgása” is követhető, amit a 6. ábrán mutatunk be.

Legközelebb az atomi erőmikroszkópokkal (AFM – Atomic Force Microscope) ismerkedünk meg a Kémiai Panoráma hasábjain.

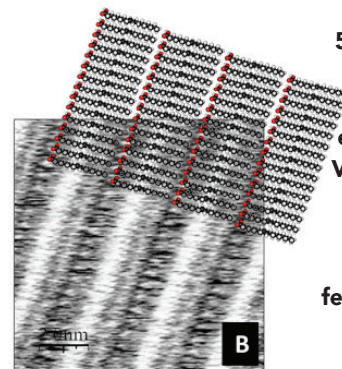
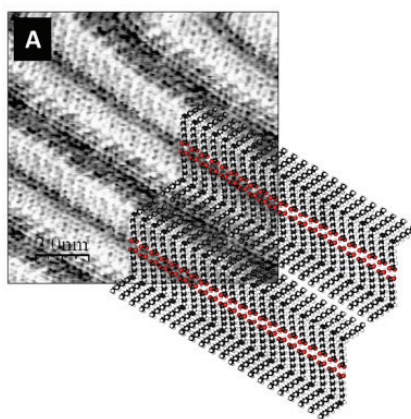
**Paszternák András és Pávai Mária**



**3. ábra. Folyadék/szilárd határfelületen történő STM mérés elve**

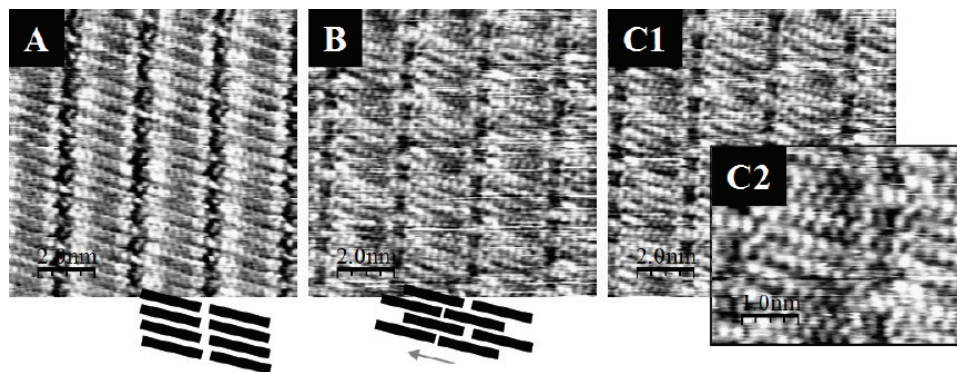


**4. ábra. Nagyfelbontású (10 nm x 10 nm) STM-felvétel a sztearinsav ( $i_t = 1$  nA;  $V_b = 500$  mV) rendezett rétegéről folyadék/szilárd határfelületen**



**5. ábra. A, az olajsav ( $i_t = 1$  nA;  $V_{bias} = 500$  mV) és B, az elaidinsav ( $i_t = 1$  nA;  $V_{bias} = 500$  mV) rendezett rétegének nagyfelbontású (10 nm x 10 nm) STM-felvétele folyadék/szilárd határfelületen**

**6. ábra: A zsírsav molekulák felületi mozgásának nagyfelbontású (10 nm x 10 nm,  $i_t = 0,4$  nA;  $V_{bias} = 700$  mV) STM felvétele a folyadék/ szilárd határfelületen. A pásztázási idő: (A)  $t = 0$  min, (B)  $t = 15$  min, (C1, C2 - 5x5 nm)  $t = 30$  min**



## IRODALOM

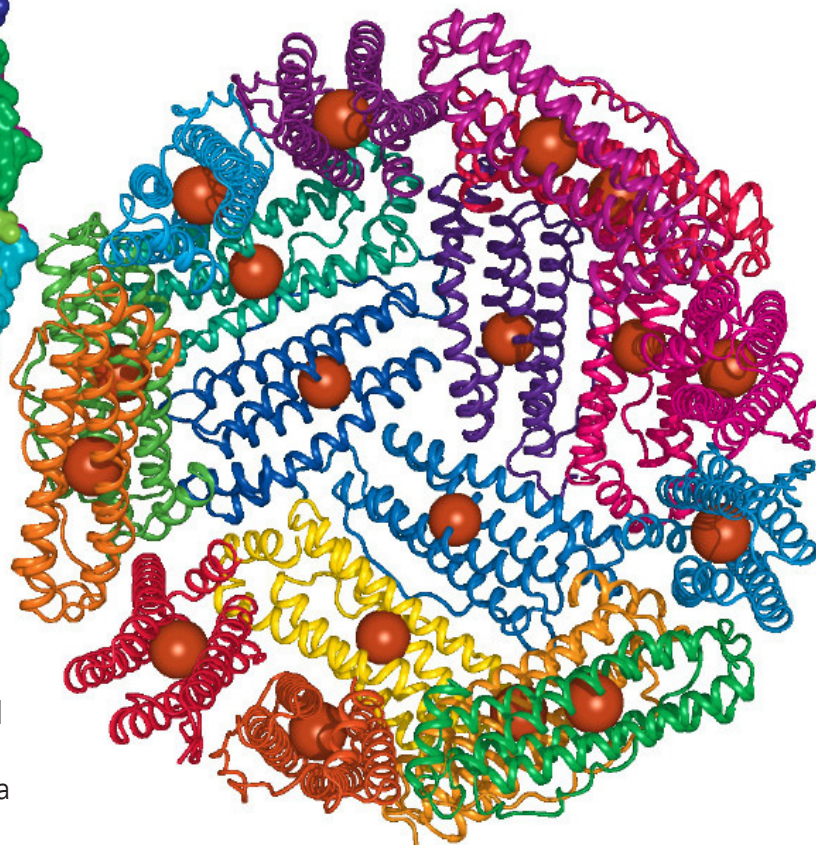
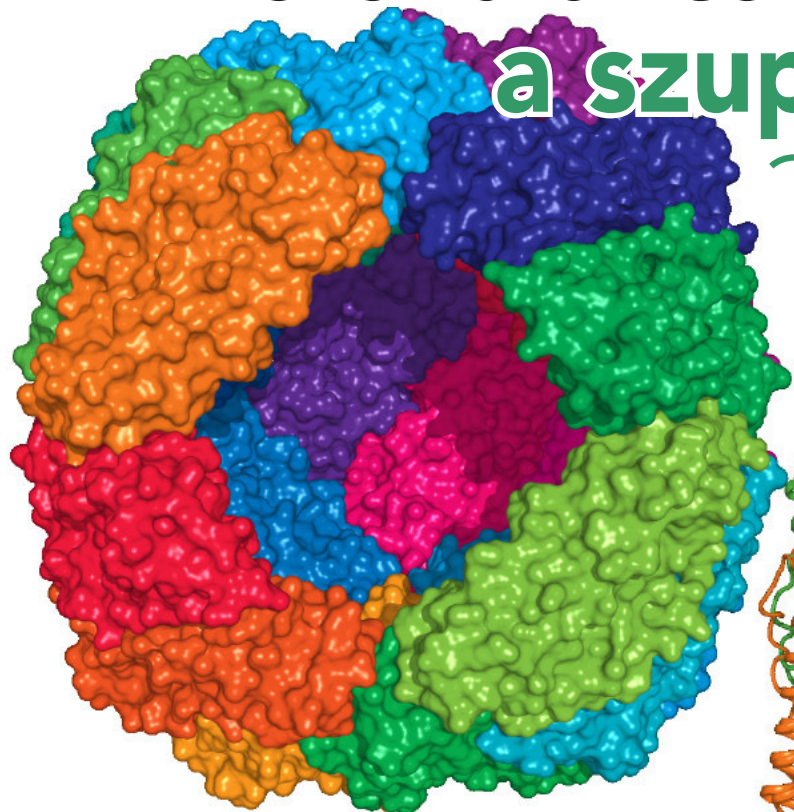
Kálmán Erika, Nagy Péter Miklós, Paszternák András: Pásztázó tűszondás módszerek, In: Csanády Andrásné, Kálmán Erika, Konczos Géza (szerk.): Bevezetés a nanoszerkeztű anyagok világába, MTA Kémiai Kutatóközpont, ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 2009

Link: [http://mta.hu/mta\\_hirei/tudomanyos-tarlatvezetes-a-nanoszerkezetek-vilagaban-86231/](http://mta.hu/mta_hirei/tudomanyos-tarlatvezetes-a-nanoszerkezetek-vilagaban-86231/)  
Paszternák András: Alkil-foszfónát monoréteg kialakulás és korrózióvédő hatása, doktori értekezés, ELTE Kémia Doktori Iskola, MTA Kémiai Kutatóközpont, 2010 <http://teo.elte.hu/>

[minosites/ertekezes2010/paszternak\\_a.pdf](http://minosites/ertekezes2010/paszternak_a.pdf)  
András Paszternák, Meital Shviro, Lajos Nyikos, David Zitoun: Directed Deposition of Nickel Nanoparticles Using Self-Assembled Organic Template, *Journal of Nanomaterials*, 2014, Article ID 861056 <http://www.hindawi.com/journals/jnm/2014/861056/> (Open Acces



# A molekuláktól a szupramolekuláig

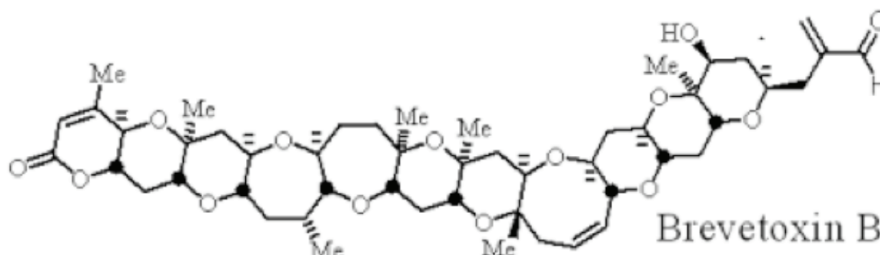


A kémia tudománya az elmúlt évszázadban a molekulák és azok reakcióinak tudománya volt. A kovalens kémiai kötés mesteri felhasználásával a szintetikus kémia eljutott oda, hogy a kémiai kötés szabályai szerint felrajzolt bármely molekula előállítására képes.

**A** XX. század két legnagyobb méretű molekulája, amelyeknek atomjait kovalens kémiai kötések kötik össze, a brevetoxin-B és a palytoxin. Mindkettő neurotoxin, vagyis idegméreg. A palytoxint bizonyos algafajták termelik, és igen erős méreg. A hawaii bennszülöttek lándzsáik hegyét kenték be vele - a biztonság kedvéért. Teljes szintézisét 1989-ben Y. Kishi, a Harvard Egyetem kémikusa valósította meg. A brevetoxin-B-molekulát szintén algafajták termelik, és ez okozza az úgynevezett

„vörös ár” katasztrófát, amely során planktonok és algák szaporodnak el az óceánok partjainál vörösre és barnára festve a víz felületét és nagy tömegű halpusztulást okozva. A brevetoxin-B-

molekula teljes szintézisét a Kaliforniai Egyetem kémikusa, K. C. Nicolau és munkatársai 12 éves munkával, több mint 120 szintézislépésben valósították meg 1995-ben.



A szupra-  
molekuláris kémia  
a molekuláris építészet  
megteremtéséhez  
vezetett.

A Földön előrehaladtunk az életjelenségek megismerésében, feltártuk számos biológiai jelenség kémiai hátterét. A két szint között azonban fehér folt van. Ez a fehér folt pedig a biológiát megelőző kémia ismerete. Ezért fontos az élő anyag egy vagy több tulajdonságával rendelkező összetett anyagok tervezett előállítására. A biológia XX. század második felében végbement nagy fejlődése, az élet kémiai folyamataiból ellesett megoldások mesteri utánzása a kémia fejlődésének is új távlatot nyitott, létrehozta a kémia egy új fejezetét, a szupramolekuláris kémiát. A szupramolekuláris kémia a molekuláris építészet megteremtéséhez vezetett. Ma már nanoméretű molekuláris eszközöket, az élő anyag bizonyos tulajdonságaival felruházott komplex anyagokat tudunk tervezetten előállítani.

## SZUPRAMOLEKULA:

kovalens kötésekkel és/vagy speifikus kölcsönhatásokkal (hidrogénkötés, van der Waals-erők) kapcsolódó molekulák rendezett halmaza.

A szupramolekuláris kémia létrejöttéhez számos dolog együttes fejlődésére volt szükség. Az életfolyamatok komplex kémiai jelenségeinek feltárása - a molekuláris kulcs-zár kapcsolatok megértése - mellett szükséges volt a molekuláris önszerveződés és a molekuláris felismerés jelenségeinek felismerésére is. Az élő szervezetekben a molekuláris felismerésnek kiemelkedő jelentősége van. A fehérjék csaknem mindegyike csak néhány fajta más fehérjével vagy egyéb molekulával képes komplexet képezni. A DNS bázispárjait csak

meghatározott nukleotidok alakítják ki. A kölcsönható molekula-párok felismerik egymást. A felismerésben központi szerepe van a specifikus kölcsönhatásoknak, a molekulák alakjának és a hidrogénkötéseknek.

Míg a molekuláris felismerés gondolata több mint száz éves (Emil Fischer a XIX. század végén, még jóval a biológiai molekulák szerkezetének feltárása előtt fedezte fel ezt a jelenséget), addig az önszerveződés jelentőségét a kémiai szintézisben csak néhány évtizede ismerjük.

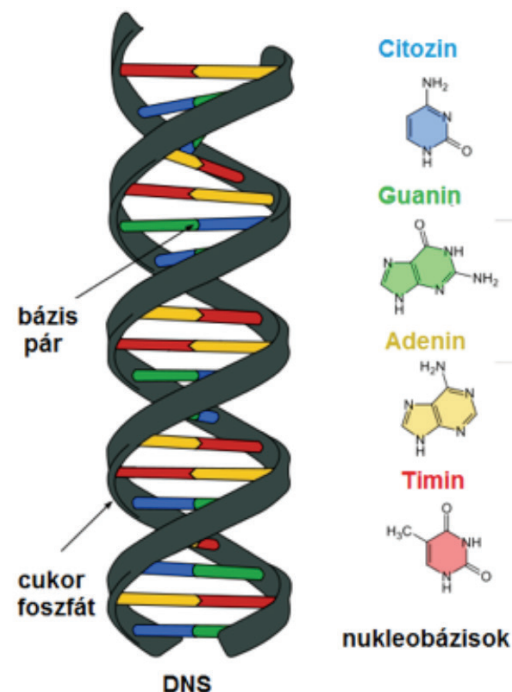
## A kulcs-zár hipotézis jellemzése

Tekintsük át, melyek azok a szükséges feltételek, legfontosabb tulajdonságok, amelyek a jelenleg ismert legösszetettebb anyagot, a biológiai anyag molekulahalmazait jellemzik. Természetesen külön-külön a felsorolt tulajdonságok egyike sem elégséges az élet megjelenéséhez, ezek együttes fennállására van szükség:

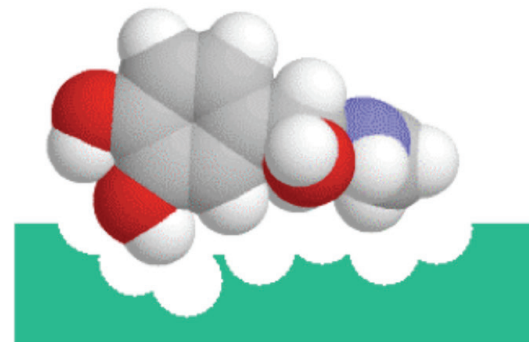
- Rendezettség**
- Szervezettség**
- Reprodukció**
- Növekedés**
- Önjavító képesség**
- Alkalmazkodás a környezethez**
- Energiafelhasználás**

A rendezettség mindig valamilyen szerkezetet jelent. A molekulák az élő anyagban nem véletlenszerűen helyezkednek el, szerkezetük funkciójukhoz, feladatukhoz igazodik. A szervezettség a tulajdonságok

létrehozására szolgáló optimális mechanizmusokat, algoritmusokat jelent. Gondoljunk csak a DNS (dezoxiribonukleinsav) Watson és Crick által fél évszázada megfejtett gyönyörű, célszerű szerkezetére.



A két – kettős csavart képező – cukor-foszfát-vázat a négy bázis, a timin, adenin, citozin és guanin úgy kapcsolja össze, hogy az adenin csak a timinnel, a citozin csak a guaninnal alkot párokat. A bázispárookban a párok hidrogénkötéssel kapcsolódnak egymáshoz. Ez az alapja az információátvitelnek és a molekula biológiai szintézisében szerepet játszó molekuláris felismerésnek is.





## HIDROGÉNKÖTÉS:

Kis poláros kovalens kötésekben részt vevő, részlegesen pozitív töltésű hidrogénatomok (O–H, N–H) és nagy elektronegativitású atomok (N, O, F), nemkötő, szabad elektronpárja között elektrosztatikus vonzóerő alakul ki. Ez a molekulák közötti kölcsönhatás a hidrogénkötés. A hidrogénkötés a legerősebb az intermolekuláris (molekulák közötti) kölcsönhatások közül.

Vegyük szemügyre a vér oxigén- és széndioxid-szállításában szerepet játszó hemoglobin-szupramolekula szerkezetét! A négy spirálisan csavarodott polipeptidlánc mindegyike - mint egy zsebben - egy úgynevezett hem-molekulát (porfirin-molekulákat) tartalmaz, melyek kétdimenziós kapszulaként, befelé fordult nitrogénatomjaikkal vasionokat kötnek meg. A vasionok a szállítandó oxigénmolekulákat fogják megkötni.

Általában jellemző a biológiai szupramolekulákra, hogy üreges tárolókat, zsebeket tartalmaznak. Nagyon lényeges, hogy az üregek váza, alakja és mérete flexibilis legyen. A nyílásaikon és belső felületükön helyezkednek el az oxigén-, nitrogén-, vagy kénatomok, amelyek mindegyike erősen vonzódik a fémionok-

hoz, illetve más molekulák hidroxil, vagy amin csoportjainak hidrogénjeihez, megalapozva ezzel a molekuláris felismerést. A zsebbel rendelkező szupramolekulák gazdaként viselkednek a látogató vendégmolekulák számára.

A gazda-vendég kapcsolatok kialakulása igen lényeges jellemzője a szupramolekulák szerveződésének. Talán a legnagyobb zsebbel rendelkező biológiai szupramolekula a ferritin, amely vasat tárol a májban és a lépben. A molekula mintegy 8 nanométer átmérőjű üregét 24 ellipszoiddá csavarodott, egymással nem-kovalens kötéssel kapcsolódó polipeptidlánc alkotja. Egy proteinmolekula mintegy 4500 vasatomot képes tárolni.

A baktériumok, a sejtek, de a náluk egyszerűbb szervezet, a DNS-molekula is osztódással pontos másait hozza létre. Ez a tulajdonság, a reprodukció, az egyik legizgalmasabb tulajdonság. A reprodukcióra képes szupramolekulák kémiai felépítése a molekuláris építészet egyik nagy kihívása.

A DNS-molekula reprodukciójának mechanizmusa maga a tökéletes szervezethez. A DNS másolása azzal kezdődik, hogy először az enzim-molekulák elbontják a bázisokat összekötő hidrogénkötéseket és szétválasztják a kettős csavar két szalagját. Az enzimek szalaghoz kötődve folytatják az elválasztást. Később a polimeráz-enzimek cukrot, foszfátot és bázist tartalmazó nukleotidokat gyártanak. Egy új szalag kezd kialakulni. Mindegyik új bázis a bázispárképzés szabályai szerint készül, adenin timinhez, guanin citozinhez és fordítva. Rövidesen a másik szalaghoz is új szalag készül. Minden DNS-molekula egy régi és egy új szalagot tartalmaz. A másolat elkészült.

Az autókatalízis az a jelenség, amely során egy kémiai reakció terméke visszacsatolással gyorsítja a reakciót, amely létre-

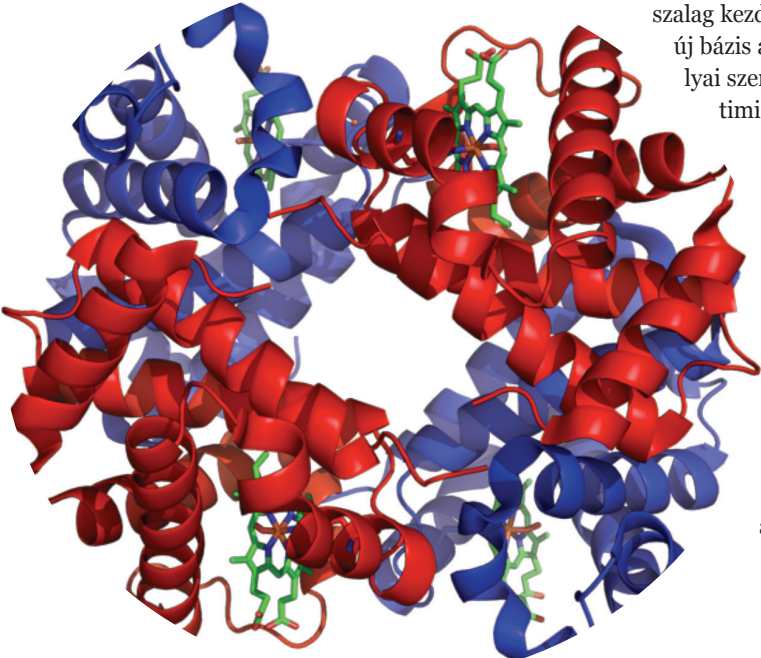
hozta. Ennek a jelenségnek az alapján számos kísérlet folyik ma is reprodukcióra képes molekulahalmazok előállítására. Az élő anyag az örökölt információ alapján, a molekuláiban rögzített minta szerint növekszik, fejlődik. Válaszol környezetére, például megváltoztatja szerkezetét vagy ellenhatást fejt ki. Az evolúciós fejlődés során egyre jobban alkalmazkodik környezetéhez. Az összes előbbi folyamat fenntartásához, mint tudjuk, energiára van szükség.

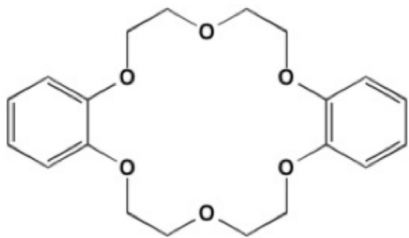
Az élő anyag molekuláris szervezethez vizsgálata során felismert szerkezeti motívumok, a molekuláris felismerés alapját képező és a gazda-vendég kapcsolatokat kialakító két- és háromdimenziós szerkezetek, makrociklusok, kapszulák és csavarszerkezetek előállítása 1967-ben – kovalens kémiai kötések eredményező klasszikus szintézismódszerekkel – kezdődött. Charles Pedersen a du Pont amerikai cég kémikusa egy szintézis során nem várt mellékterméket, egy 18 oldalú 6 oxigénatomot és két benzolgyűrűt tartalmazó makrociklust nyert, amelyet később koronaéternek nevezett el a molekula alakja miatt.

A dibenzo-koronaéter elektronpár-donációra képes oxigénatomjai közötti távolságot távtartó elemek, két benzolgyűrű és négy etil-csoport feszítik ki. A gyűrű távtartó elemeinek kádszerű mintázata a szénatomok tetraédes kötési irányai miatt alakul ki. Pedersen azt tapasztalta, hogy a benzolban egyébként nem oldódó kálium-permanganát só a koronaéter benzolos oldatában lila színnel oldódik. A jelenséget úgy értelmezte, hogy a káliumion „beesett a molekula centrumába”, tehát gazda-vendég kapcsolat alakult ki a koronaéter-molekula és a káliumion között. Később Pedersen csak etilcsoport távtartó elemeket tartalmazó 5, 6, 7 és 10 fogú koronaétereket is előállított kémiai szintézissel. A belső méretükben fokozatosan növekvő 5, 6 és 7 fogú gyűrűs ligandumok a növekvő ionsugarú nátri-



**A hemoglobin szupramolekula szerkezete. A fehérje  $\alpha$  és  $\beta$  alegységei (kék és piros) körülölelik a vas-tartalmú hem-csoportokat**

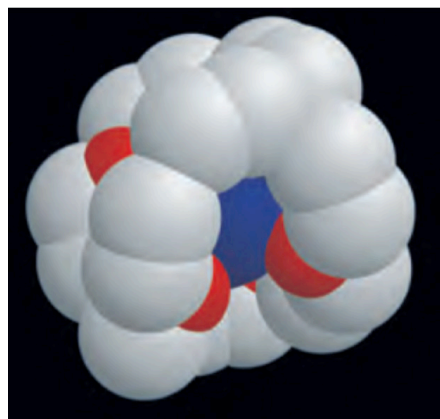




um-, kálium- és céziumionok befogadására alkalmasak. Később előállították az azo-koronavegyületeket is, amelyekben részben vagy egészben nitrogénatomok helyettesítik az oxigénatomokat és a koronaéterek nem záródó láncú analógjait, a podandokat.

Pedersen munkáját követően Jean-Marie Lehn-nek és munkatársainak tudatos tervezéssel sikerült szintetizálni a koronaéterek háromdimenziós analógjait, amelyeknek ionmegkötő képessége tízszereser jobb, mint a koronaétereké. A vendégionokat és vendégmolekulákat erősen megkötő új gazdavegyületeket kriptandoknak neveztek el miután a gazdavegyület térszerűen körülveszi, bezárja a vendégmolekulát.

Cram érdeme egy újabb háromdimenziós makrociklus-típus, a szférandok szintézise volt. A koronaéter-, podand- és kriptandmolekulák oldatban flexibilisek, hajlékonyak. E gazdamolekulák donor atomjai (a ligandum fogai) csak a vendéggel történő találkozáskor fordulnak a gyűrű belseje felé. A szférand-gazdamolekulák jóval merevbbek és a kationokat megkötő oxigénatomok az ion



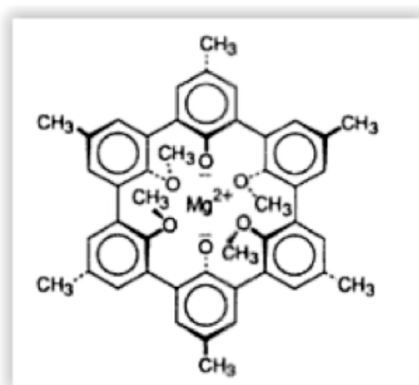
Kriptand által befogott  $K^+$  vendégion

felismerése előtt is a zseb felé irányulnak, növelve ezzel a gazda-vendég kapcsolat erősségét és a felismerés szelektivitását. A szférandok oxigénatomjai a vendég kationokat oktaéderesen veszik körül.

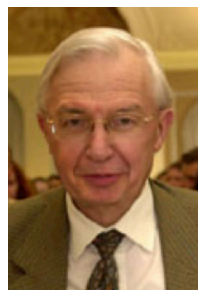
A szupramolekulák előállításában elért eredményeiért Jean-Marie Lehn 1987-ben Charles Pedersennel és Donald Crammal megosztva kapott Nobel díjat.

A fentiekben kívül még számos más – kémiai szintézis útján kovalens kötésekkel előállított – nagymolekula is fontos építőeleme a szupramolekuláris építészetnek. Konténer-típusú gazdamolekulák a porfirinek, ciklodextrinek és a kalixarén molekulák is.

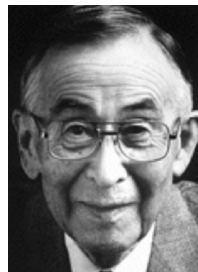
Érdekes másik lehetőség szupramolekulák előállítására, a specifikus nem-kovalens kölcsönhatások és az



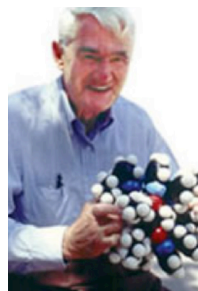
Szferand által befogott  $Mg^{2+}$  vendégion



Jean-Marie Lehn



Charles Pedersen



Donald Cram

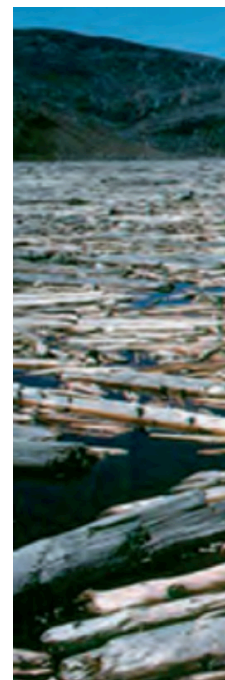
önszerveződés jelenségének a felhasználása. Az önszerveződés olyan folyamat, amelyben valamely rendszer - általában a környezetével kapcsolatban álló nyílt rendszer - alkotórészei közötti kapcsolatok külső okok nélkül megerősödnek, és az anyag rendezettsége növekszik.

Bár maga a fogalom molekuláris jelenségekre alapozva jött létre, az önszerveződés jelensége nem korlátozódik a molekulahalmazokra. Bármilyen méretű anyagi komponensek, a molekuláktól a galaxisokig, képesek önszerveződésre, ha bizonyos feltételek teljesülnek. Az önszerveződésen alapul az oszcilláló kémiai reakció és az autokatalízis jelensége is. Spontán önszerveződő folyamat a biológiában a membránok, a sejtek és a különböző szervek kialakulása, de maga az élet folyamata, a növekedés és a fejlődés is. Ezen túlmenően az önszerveződés jelensége ismert a szociológiában és a közgazdaságtudományban is.

A molekuláris önszerveződés jelenségével, mint szintézisstratégiával a kémia foglalkozik. A kémia kapcsolatainak bővülése a biológia és az anyagtudományok felé ma már kiszélesítette az önszerveződés jelensége alapján előállítható molekulahalmazok dimenzióit centiméteres nagyságrendre. Az önszerveződés törvényszerűségei a különböző méretskálán hasonlóak, de természetesen nem teljesen azonosak.

A molekuláris önszerveződés folyamata során a molekulák vagy a molekulák valamely részei spontán, nem-kovalens vagy gyenge kovalens erők hatására halmazokba rendeződnek. Az önszerveződő molekuláris halmazok - szupramolekulák - szerkezetét a létrehozó molekuláik szerkezete, alakja és a molekuláris kapcsolatokat kialakító erők határozzák meg. Az illeszkedést lehetővé tevő alak, tulajdonképpen taszítóerőt képvisel. Az önszerveződésben a vonzóerők mellett a taszítóerőknek is szerepe van.

Klasszikus példája a taszító-





erők által létrehozott önszerveződésnek a kanadai folyókon leúsztatott farönkök spontán szerveződése.

Az önszerveződéssel kialakult molekuláris halmazok egyensúlyi vagy metastabilis állapotban vannak, még akkor is, ha maga a folyamat általában távol van az egyensúlytól. A molekuláris önszerveződés jól ismert volt a kémiában, az anyag-tudományokban és a biológiában még jóval az előtt, hogy az önszerveződés jelenségének kutatása önálló tudományterületté, a kémiai szintézis stratégiájává vált volna. Molekuláris kristályok képződése, kolloidok és lipidmembránok, fáziszeparált polimerek vagy önszerveződött molekuláris monorétegek létezése ugyanolyan jól ismert, mint a polipeptid-láncok csavarodása a proteinekben. A ligandumok receptorokkal történő asszociációja is önszerveződéssel jön létre. Keskeny a határ az önszerveződött molekulahalmazok, a molekuláris felismerés és a komplexképződés jelensége és minden olyan folyamat között, amely során kevésbé rendezett halmazokból rendezettebbek jönnek létre.

A molekuláris rendszerek önszerveződésének sikeressége több feltételtől függ. Az önszerveződéshez valamilyen hajtóerő, tehát kölcsönhatás és a komponensek közelsége, egyensúlyi szeparációja szükséges. Az egyensúlyi szeparációt a vonzó és taszítóerők egyensúlya hozza létre. Specifikus, általában irányított kölcsönhatás szükséges molekulák között a kötés létrehozásához. Az önszerveződéssel generált szerkezetek reverzibilisek vagy flezibilisek, a folyamat során kijávitják hibáikat. A komponensek közötti kötések erősségének összemérhetőnek kell lennie a szerkezetet romboló erőkkel, amelyeket a hőmozgás okoz. Az önszerveződés általában folyadékban vagy határfelületen történő mozgás hatására jön létre. A komponensek kölcsönhatása a közeg molekula-



láival is hatással van az önszerveződés folyamatára. Az önszerveződés létrejöttéhez szükséges a molekulák mobilitása, az oldatokban ezt a hőmozgás biztosítja.

Milyen erők vezérlik a molekuláris önszerveződést? A szerves molekulák többnyire kovalens kémiai kötással összekapcsolódó szén-, hidrogén-, oxigén-, nitrogén-, foszfor- és kénatomokból állnak. Ezek közül a molekuláris kapcsolatok kialakításában kiemelkedő szerepe van a magányos elektronpárokkal rendelkező nitrogén-, oxigén- és kénatomoknak. A magányos elektronpárok kölcsönhatást képesek kialakítani más molekulák kovalens kémiai kötással kapcsolódó hidrogénatomokkal, illetve fématomokkal vagy fémissionokkal. Az első esetben hidrogénkötésről, a másodikban datív vagy koordinációs kötésről beszélünk.

A kölcsönhatásban az elektronpárral részt vevő atomok az elektrondonorok, és az elektrónakceptorok. A nitrogén-, oxigén- és kén- vagy fématomok mintegy mágnesként megjelölik a molekulákat. Ez a megjelölés az egyik alapja a molekuláris felismerésnek. Természetesen, ha a molekula több erős kölcsönhatásra képes donor, illetve akceptor atomi centrummal rendelkezik, akkor a megjelölés többpontos lesz.

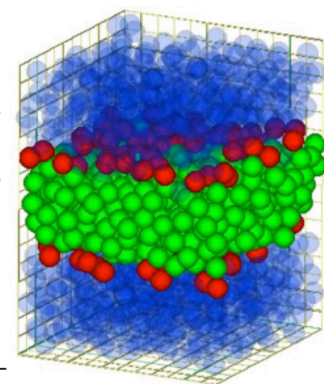
		kJ/mol
kovalens kémiai kötés	H-OH	482
koordinációs kötés	Pt-N	180
hidrogén kötés	O...HO	20-40
van der Waals-erők	C...O	5
hőmozgás (25°C)		3

A molekulahalmazok alakjának kialakulásában szerepe van még a gyenge, van der Waals-féle vonzó és taszító erőknek is. A molekulák alakja szintén szerepet játszik a felismerés jelenségében. A molekuláris önszerveződést tehát a molekulák koordinációs kötésre, illetve hidrogénkötésre való törekvése vezérli. A hajtóerő termodinamikai kényszer, amely az energiaminimumhoz vezető konfiguráció kialakítása felé vezérli a molekulahalmazt. Tulajdonképpen a molekuláit hidrogénköté-

téssel összetartó cseppfolyós víz is önszerveződéssel alakítja ki szerkezetét.

Az önszerveződés másik példája a lipid-membránok kialakulása vizes közegben. A vízmolekulák kölcsönhatása a molekula hidrofíli részével vagy más vízmolekulával, jóval intenzívebb, mint a molekula hidrofób szénhidrogén láncával. Ezért amíg a fejrészek a tömbfázis felé fordulnak, a vízmolekulák kiszorulnak a láncok közül és kialakul a membránszerkezet.

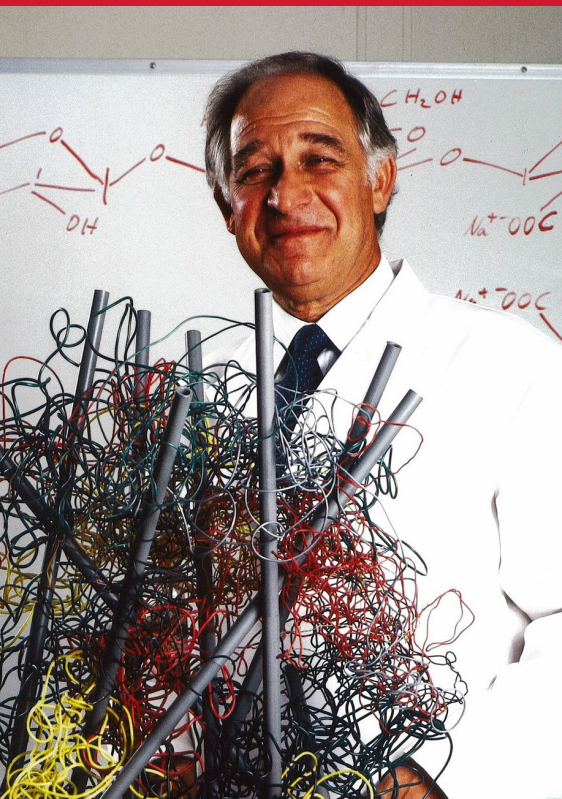
Az önszerveződés jelensége látszólag ellentmond a termodinamika második főtételének, amely szerint zárt rendszerek entrópiája - rendezettségének mértéke - a változások során mindig növekszik. De valójában az önszerveződés és a második törvény nincs ellentmondásban egymással. Egy rendszernek lehetősége van rendezettségét növelni, vagyis entrópiáját csökkenteni, környezetébe történő entrópia átadással. Nyílt rendszerekben az önszerveződés motorjaként szolgáló rendszeren átfolyó anyag- és energiaáram teszi lehetővé ez entrópia átadását a környezetnek. Úgy tűnhetne, hogy a zárt rendszerek entrópiájukat csak növelhetik, bennük az önszerveződés jelensége nem léphet fel. Valójában zárt rendszerekben is növekedhet a mikroszkopikus rendezettség, miközben makroszkopikus rendezettségük rovására növekszik az entrópiájuk. Természetesen makroszkopikus rendezettségük ilyen esetben jóval nagyobb mértékben fog növekedni, mint mikroszkopikus rendezettségük. A biológiai önszerveződés számos esetben ilyen.



*A molekulák önszerveződésének jelenségére épülő molekuláris építészetet a következő számban fogjuk bemutatni.*

**Dr. Kálmán Erika**

2004. november 15-én a Mindentudás Egyetemén elhangzott előadásának kivonata



## Dr. Balázs Endre

Felismerte az élőszervezetek sejtjei közötti teret kitöltő sejtközi mátrix jelentőségét és a hialuronsav szerepét a sejtek közötti kommunikációban. Balázs Endre és munkatársai tárták fel a hialuronsav fizikai-kémiai tulajdonságait. Nevéhez fűződnek a hialuronsav első gyógyászati alkalmazásai és a gyógyszerekhez szükséges nagy tisztaságú hialuronsav ipari előállításának technológiája is. Fantasztikusan hosszú – az elmúlt 70 évet átívelő – tudományos pályáján mind alapkutatásban, mind alkalmazásokban a terület meghatározó egyénisége volt. Innovatív munkássága nyomán ma már 50 millió ember használja gyógyszereit. Nevéhez fűződik a hialuronsav kozmetikai készítményekben történő felhasználása is.

**B**alázs Endre a Pázmány Péter Egyetem Orvosi Karán végezte tanulmányait és 1942-ben 22 évesen kapta meg orvosi diplomáját.

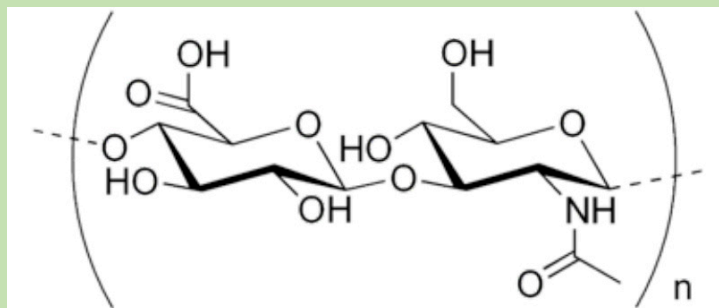
Szövetteni kémiai kutatómunkáját igen korán, első éves medikusként kezdte meg Theodor Huzella professzor Hisztológiai és Embriológiai Tanszékén. Növényi poliszaharidok kutatásában elért első

eredményeiről egyetemi hallgatóként az 1938-ban Budapesten tartott Nemzetközi Anatómiai és Szövetteni Konferencián számolt be. Ezt követően Balázs Endre figyelme az állati poliszaharidok felé fordult és számos közleményt publikált doktori címének elnyerése előtt. 1947-ben meghívást kapott a Stockholmi 6. Nemzetközi Szövetteni Kongresszus szer-

vezőitől, ahol a hialuronsav sejtszótódásban játszott szerepének vizsgálatában elért eredményeiről számolt be.

A hialuronsav (hialuronán) egy poliszaharid, amely a sejteket összekötő anyag összetevője, megtalálható mind baktériumokban mind emlősökben. A humán testben viszkózus gél formájában, a szem üvegtestében, a bőrben és a lág-

**A hialuronsav a glükozaminoglikánok csoportjába tartozó 5-6 millió dalton tömegű poliszaharid. Számos szövet sejtközi mátrixában megtalálható fiziológiai körülmények között. A szem üvegtest és a bőr alkotóeleme, az ízületek kenőanyaga. A molekula szerkezete lehetővé teszi erőteljes hidratálódását, saját tömegéhez képest nagy mennyiségű víz megkötését. Emiatt a hialuronsav gélesedik és rugalmas tulajdonságokkal rendelkezik.**





**A professor szoros kapcsolatot tartott a magyar tudományos élettel**

Institute néven, ahol tovább folytatta a sejtközi anyag szerkezetére, a hialuronsav származékaira és további alkalmazásai-ra fókuszáló kutatásait.

Számos egyetem, közöttük a Semmelweis Orvostudományi Egyetem is díszdoktorává avatta és számos díjjal tktitüntették.

Világszerte ismertek a nevéhez fűződő gyógyszerek; az évek során több nemzetközi szervezetet alapított és több kutatási alapítványt anyagilag is támogatott.



szövetekben, valamint az ízületi folyadékban is előfordul.

1947-ben meghívást kapott a stockholmi Karolinska Intézetbe és 3 évig itt folytatta kutatásait a hialuronsav szerkezetének és tumorok kialakulásában játszott szerepének felderítésére. Stockholmban ekkor tanítványa volt T.C. Laurent, aki később a Svéd Akadémia elnöke lett.

1950-ben meghívták Bostonba a Harvard Egyetemre egy laboratórium alapítására, a szem kötőszöveti szerkezetének kutatására és oktatására. Ekkor Balázs professzor figyelmét 15 éven keresztül a humán szem üvegtestje kötötte le. Felfedezte, hogy az üvegtest sejtjei hialuronsavat termelnek. Ezeket a sejteket hialocitáknak nevezte el. Felismerte, hogy a hialuronsav pótolni képes az üvegtest

viszkoelasztikus anyagát sebészeti operációk során.

1965-ben kinevezték a Harvardon működő Retina Alapítvány új intézetének igazgatójává. Az új intézetben Balázs professzor kiterjesztette kutatásait a hialuronsav szerepének vizsgálatára bőrben és ízületekben. Felfedezte, hogy a hialuronsav felhasználható a könyök-, térd-, boka- és csukló-ízületek patológias ízületi folyadékának helyettesítésére. Az ízületekbe adott injekcióval megszüntette a mozgáskor fellépő hosszú ideje tartó fájdalmat. Kidolgozta gyógyászati célokra felhasználható nagy tisztaságú hialuronsav előállítását. 1976-ban céget alapított Svédországban a nagy molekulású, nagy tisztaságú, gyógyászatban is felhasználható hialuronsav készítmények előállítására és forgalmazására. Ez volt a hialuronsav első gyógyászati célú alkalmazása.

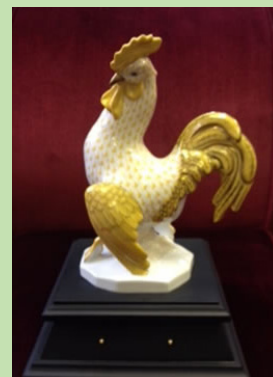
1975 és 1985 között a New York-i Columbia Egyetem Szemklinikájának igazgatójaként végezte kutatásait. A 80-as évek elején újabb biotechnológiai céget alapított feleségével Janet Denlinger-el, a bőr és ízületi problémáinak gyógyítására alkalmas hialuronsav termékek előállítására. Felesége mintegy 40 éven át legközelebbi munkatársa és számos tudományos eredményében részese volt munkájának. Munkatársaival dolgozták ki és szabadalmaztatták a hialuronsav kozmetikai célú alkalmazásainak módszereit. Balázs Endre vállalkozása 18 éven keresztül számos hialuronsav terméket állított elő és forgalmazott.

Világszerte ismertek a nevéhez fűződő gyógyszerek: a szemészetben használható „Healon”, és az ízületek kezelésében alkalmazható „Synvisc”. 2000-ben saját kutatóintézetet alapított Matrix Biology

A Magyar Tudományos Akadémia 2010-ben választotta külső tagjának. Kapcsolatot tartott hazai kutatókkal. 2011-ben a sejtközi anyag szerkezetéről és működéséről Budapesten tartott nemzetközi konferencia elnöke volt. A Richter Gedeon Gyógyszergyárral közösen kifejlesztett Zn-hialuronát sebgyógyulást elősegítő gyógyszert, mely elsősorban a rosszul gyógyuló sebek, például lábszárfekély, fel-fekvés, fertőzött seb és sipolyok kiegészítő helyi kezelésére szolgál, „Curiosin” néven számos országban forgalmazzák. Távozásával ez évben neves tudóst, végtelenül kedves embert és nagy humanistát veszített el a tudományos világ.

**Szerkesztőség**

**2003-ban kezdeményezte Balázs Endre a Rooster díjat, azon kutatók elismerésére, akik jelentős mértékben hozzájárulnak a hialuronsav gyógyászati alkalmazásához. A különleges, kakast mintázó díjat eddig négy alkalommal ítéltek oda, a díjazottak időrendben: Torvard Laurent, Paul De Angelis, Glenn Prestwich, Tracey Brown**



# DNS javítással a káosz elkerüléséért

A 2015-ös kémiai Nobel-díjat a DNS javításával kapcsolatos felfedezésekért ítelték oda három kutatónak: az elismerést Thomas Lindahl, Paul Modrich és Aziz Sancar kapta. A bizottság indoklása szerint a kutatók életműve azért kiemelkedően jelentős, mert az emberi DNS folyamatosan roncsolódik, így annak javítását a tudománynak a lehető legalaposabban meg kell ismernie.

**M**indannyiunk genetikai állománya akkor alakul ki, amikor egy spermasejt 23 kromoszómája egyesül a petesejt 23 kromoszómájával. Ebben az első sejtben az utód teljes genetikai információja jelen van. Ha ennek DNS molekuláit egyenessé húznánk ki, azok hossza 2 méter lenne.

A megtermékenyített petesejt osztódásakor a DNS molekulák másolata jelenik meg az új sejtben megörökölve az összes kromoszómát. Ezután a sejtek tovább osztódnak és az első hét végére már 128 sejt jön létre tartalmazva mindegyikben a teljes genetikai anyagot. Az összes DNS molekulát egy sorba helyezve hosszuk már kezdi közelíteni a 300 m-t. Sok milliárd sejtosztódás után a kifejlett ember DNS molekuláinak együttes hossza a Nap – Föld távolság 500-szorosát éri el. A temérdek



**Thomas Lindahl**



**Aziz Sancar**



**Paul Modrich**

sok másolás után DNS molekuláink még mindig rendkívül hasonlóak ahhoz, ami az első sejtben jött létre. Ebben rejlik az élet egyik csodája: az egyes másolások véletlen hibáknak vannak kitéve és a DNS molekulákat nap mind nap sugárzások és reaktív molekulák támadják. Mindezek ellenére nem alakul ki káosz a szervezetben. Ennek oka egy sor fehérje molekula által biztosított javító mechanizmus működése. Ezek egymástól független felfedezését a 2015-ben kémiai Nobel-díjjal kitüntetett kutatóknak köszönhetjük.

1960-as évek végén – amikor a DNS molekulákat különösen ellenállónak hitték – Tomas Lindahl azon kezdett tünődni, mennyire is stabilisak a DNS molekulák. Megfigyelte ugyanis, hogy az RNS molekulák hő hatására gyorsan elbomlanak.

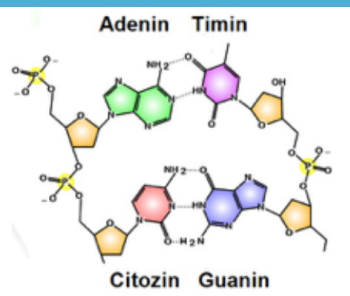
A Karolinska Intézetben (Stockholm) végzett munkája során észlelte, hogy a DNS lassú, de észrevehető bomlásnak van kitéve. Ennek alapján arra következtetett, hogy a genetikai állományt naponta ezrével érik pusztító támadások. Hogy az élet mégis fennmarad azt molekuláris rendszerek által okozott javító mechanizmusoknak tulajdonította és ezzel új területet nyitott meg a kutatás számára.

Baktériumok DNS molekuláit használva Lindahl enzimeket keresett egy tipikus hiba kijavítására: a DNS láncba beépült citozin olykor elveszít egy amino csoportot és úgy kapcsolódik adeninhez, ami hibás szerkezetet okoz és a következő másolásnál mutációhoz vezet. Lindahl megtalálta azt az enzimet, ami a hibás DNS szálat kijavítja, a hibás bázist kihalásítja és a kettős spirált helyreállítja.

Aziz Sancar Isztambulban szerzett orvosi diplomát, de érdeklődése a biokémia felé fordult, amikor felfedezte, hogy halálos dózisu UV sugárzásnak kitett baktériumok kék fény hatására regenerálódnak. A probléma vizsgálatát a Texas



## A DNS

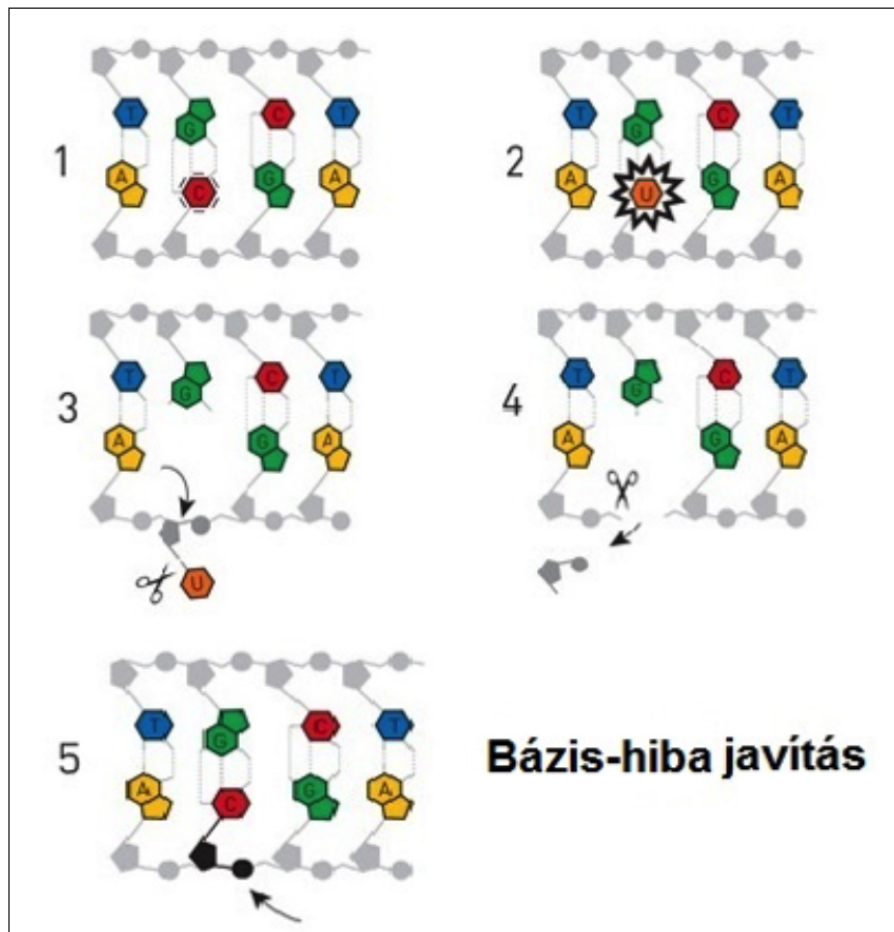


A DNS, a dezoxiribonukleinsav, két nukleotidszálból felépülő, kettős hélix szerkezetű makromolekula. A nukleotidszálak szerkezeti egységei a nukleotid

monomerek, melyeket heterociklusos bázisok (A- adenin, G-guanin, C-citozin, és T-timin), egy pentóz cukormolekula (dezoxiribóz) és foszforsav alakít ki.

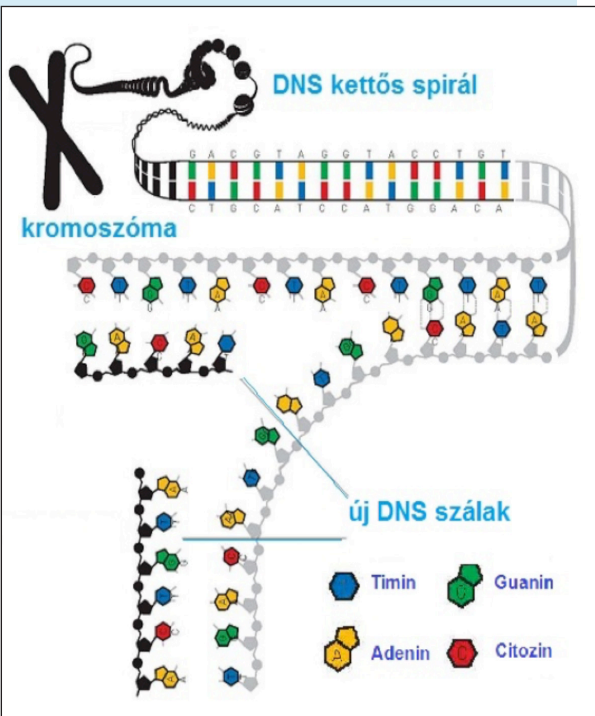
A DNS két egymásba csavarodó szálainak bázisai hidrogénkötéssel úgynevezett bázispárokat alakítanak ki. A DNS molekulában a guanin citozinnal, az adenin timinnel képez párokat és fordítva (GC, AT, CG, TA). Más párok képződése energetikailag kedvezőtlen, ezért hibátlan képződéskor nem valósulnak meg.

A kromoszóma kétszálú DNS-t tartalmaz, a két szálát nukleotid bázisok párosodása tartja össze. A sejt 46 kromoszómájában kb. 6 milliárd bázispár található. Amikor a sejt osztódik elkészül az összes kromoszóma másolata. A DNS másolásakor a kettős spirál széttekeredik és az egyes szálak templákként (mintaként) szolgálnak az új szálak kialakításához a bázisok újrapárosodása útján.



### DNS javítás a hibás nukleotid bázis kivágásával

1. Citozin amino csoportját elvesztve uracillá alakul
- 2 ami nem tud guaninnal bázispárt képezni.
3. A glikoziláz enzim felfedezi a hibát és kivágja az uracil bázist.
4. További enzimek eltávolítják a hibahely nukleotid maradványát a DNS szálból.
5. A DNS polimeráz pótolja a hiányzó nukleotidot és a szálát a DNS ligáz forrasztja össze (a példában a hibás pár a guanin-uracil pár)

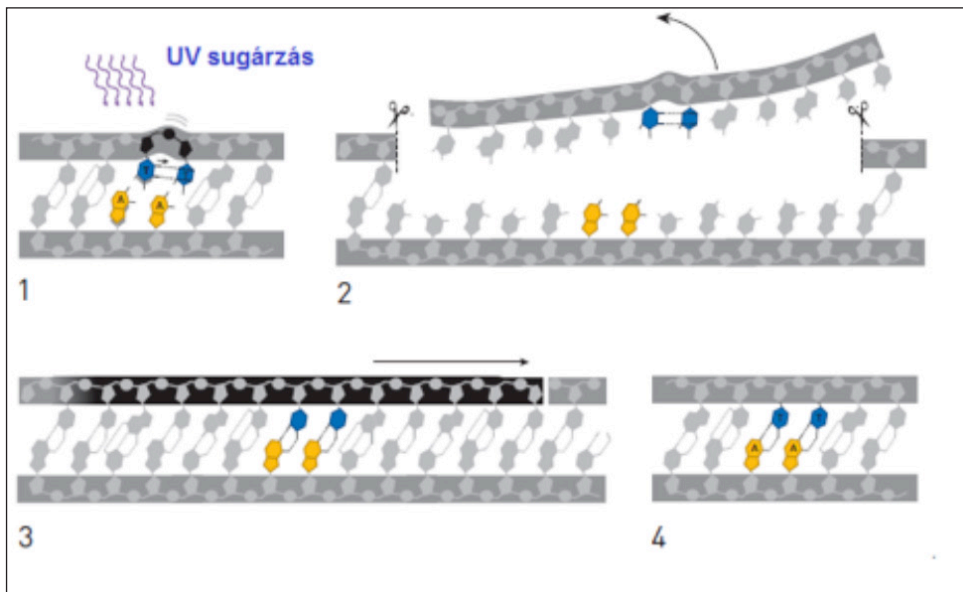


Egyetemen (Dallas, USA) végezte, ahol 1976-ban megtalálta a fotoliáz enzimet, ami az UV sugárzással roncsolt DNS szálát fény jelenlétében kijavította. Kutatásait a Yale Egyetemen kiterjesztette olyan enzimek keresésére, amelyek a DNS szálát sötétben is kijavítják. Néhány év alatt a keresett enzimeket azonosította, izolálta és jellemezte, valamint igazolta működésük mechanizmusát: felismerik az UV roncsolás helyét, a hiba két oldalán kihalítanak egy 12 bázist tartalmazó részletet, majd a hiányzó részt helyes szekvenciával kipó-

tolják.

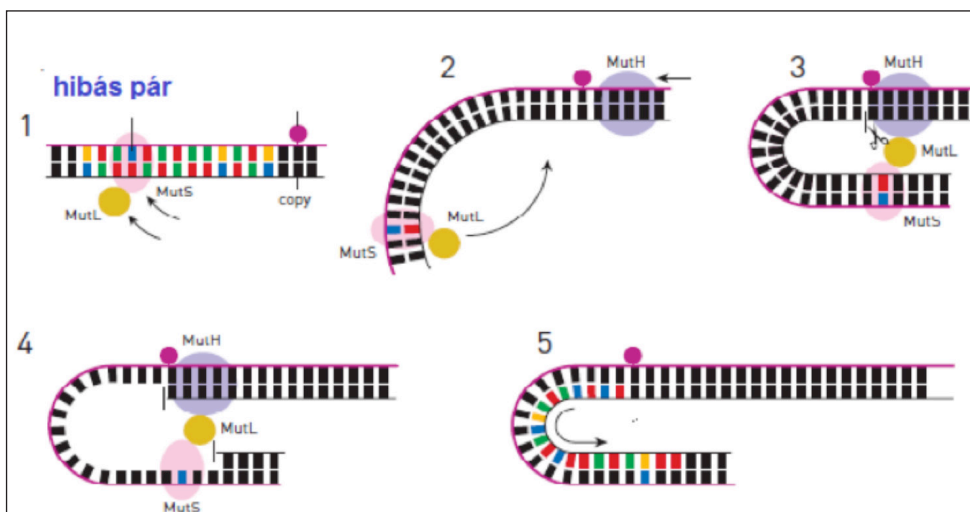
Bár az emberben a DNS javítása bonyolultabb, mint a baktériumokban, Sancar igazolta, hogy a nukleotid kihalítás mechanizmusa minden szervezetben érvényes.

Paul Modrich mint Stanford-i egyetemi diák, majd Harvard-on posztdok tanulmányozta a DNS enzimeit és a 70-es évek végén belebotlott a DAM metiláz enzimbe, ami metil csoportokat illeszt a DNS-re. Kísérleteit ekkor egy kollégájával Mathew Meselsonnal együtt végezte. Laboratóriumában előállított



**Nukleotid kihatás javítja az UV sugárzással, vagy karcinogénekkal okozott DNS sérülést:**

1. UV sugárzás hatására két szomszédos timin összekapcsolódása hibahelyet hoz létre a DNS szálaban.
2. Az exinukleáz enzim felismeri a hibát és 12 nukleotid kihatásával két oldalt elvágja a DNS szálat.
3. A DNS polimeráz pótolja a hiányzó részt.
4. A DNS ligáz beforrasztja az elvágott szálat.



**A téves párképzés (mismatch) javításának mechanizmusa.**

A sejtosztódás során a DNS másolásakor téves párok épülhetnek be az új DNS szálabba. 1000 hiba közül 999 esetben a fenti mechanizmus javítja a hibákat.

1. MutS és MutL enzimek felismerik a hibás párt.
2. A MutH enzim felismeri a metil csoportot tartalmazó szálat.
3. A metil csoportot nem tartalmazó szálat az enzimek kivágják, 4. és eltávolítják.
5. A DNS polimeráz pótolja a hiányzó részt és a DNS ligáz beforrasztja a DNS szálat.

virusokkal (amelyekben a nukleotid bázisok szabálytalan párokat képeztek, pl. A – C párt a szabályos A T helyett) megfertőztek baktériumokat és a baktériumok a téves párokat (mismatch) kijavították. Amikor a DAM metilázsal egyidejűleg az egyik DNS szálat metilezték megfigyelték, hogy a korrekció mindig azon a szálon történik, amelyik nincs metilezve. Ezt követően Modrich egy évtizedes szisztematikus kutatással tanulmányozta a téves párképzés javítását. 1989-re sikerült felderítenie a javítás mechanizmusát. Mai ismereteink szerint a DNS másolásakor keletkező hibák javítása főként a Modrich által leírt módon megy végbe: 1000 esetből csak egy esetben más a mechanizmus, mint téves párképzés javítása.

A DNS javító mechanizmusok nap mint nap ezrével fedezik fel és javítják ki a napfény, cigaretta füst és egyéb mérgező anyagok által okozott hibákat, szüntelenül ellensúlyozzák a DNS spontán változásait, minden sejtosztódásnál korrigálják a téves párképződés ezreit. Genetikai állományunk eltűnne e javító mechanizmusok nélkül. Ha csak egyikük nem működik, a rákos megbetegedés esélye megnő. Sok rákos betegségben a fenti javító rendszerek részben, vagy teljesen leállnak.

Összegezve a fentieket, a 2015. évi kémiai Nobel-díjasok által végzett alap kutatás nemcsak elmélyítette tudásunkat arról, hogy szervezetünk hogyan működik, hanem elvezethet életmentő gyógyítási eljárások kidolgozásához is. Vagy Paul Modrich szavaival: „Ezért olyan fontos az érdeklődés által vezérelt kutatás. Soha nem tudhatjuk, hová vezet . . . De egy kis szerencse is segíthet.”

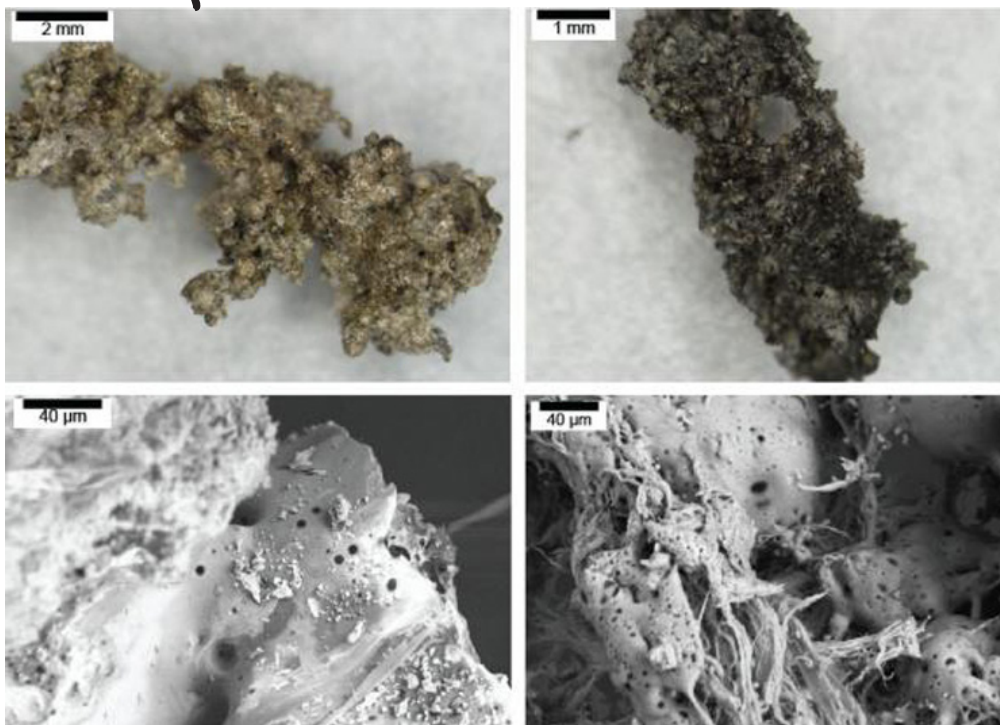
*Az ismertető alapja: Ann Fernholm The Royal Swedish Academy of Sciences: "The Nobel Prize in Chemistry. DNA repair providing chemical stability for life" című munkájának kivonatos fordítása. A képek forrása: Johan Jarnestad nyomán*

**Szerkesztőség**



# Sötétítő bevonat a Merkúr felszínén

Régóta megoldatlan talány a csillagászok körében, miért van a Merkúrnak sötét, a fényt csak igen kis mértékben visszaverő felszíne. Egy kutatócsoport a Nature Geoscience-ben megjelent cikkében azt állítja, hogy a bolygó közelében elhaladó üstökösöktől származó szénpor évmilliárdok alatt vonhatta be fekete „festékként” a Merkúr felszínét.



**A felszínbe becsapódó mikrolövedékek sötétebbé teszik a célt, ha a lövedék tartalmaz szerves anyagot(jobbra fent) mint ha nem tartalmaz (balra fent). Az alsó sorban a fenti minták egy-egy felnagyított, pásztázó elektronmikroszkóppal készült részlete.**

**A** légkör nélküli égitestek – amelyen például Holdunk is – felszínét általában a napszél részecskéinek és a mikrometeoritok folyamatos bombázásának hatására kiváló nanoméretű vaszemcsék teszik sötétté. Csakhogy a Merkúr felszínének spektrális elemzése annyira keveset mutatott ki ebből az összetevőből, hogy az nem magyarázza ezt a „sötét rejtélyt”.

Az új magyarázat szerint a bolygó felszínén sok por rakódik le a Nap felé szárguldó üstökösökből. Pedig számos üstökös a Naphoz közeledve kezd széthasadni, s az eközben kiszabaduló porszemcsék mintegy 25 százalékban szenet tartalmaznak, amelynek egy számottevő

része a Merkúrra hullhat le. A kutatók modellszámítást végeztek, amelyben a Merkúrt érő mikrometeorit-bombázás ismert fluxusát is figyelembe véve sikerült megbecsülni, hogy a bolygó felszíni rétegében 3–6 százalék közötti mennyiségben lehet ebből a forrásból származó szén.

Az így becsapódó szénzemcsék sötétítési képességének a megbecsülésére a kutatók kísérletileg szimulálták a jelenséget a NASA Ames Kutatóközpontjának kísérleti ágyújával. Az üstökös szerves anyagát a lövedékekben cukorral helyettesítették, a célt pedig úgy alakították ki, hogy az hasonlítson a holdi bazalthoz. A bazalt eleve sötét, de azt feltrételezték,

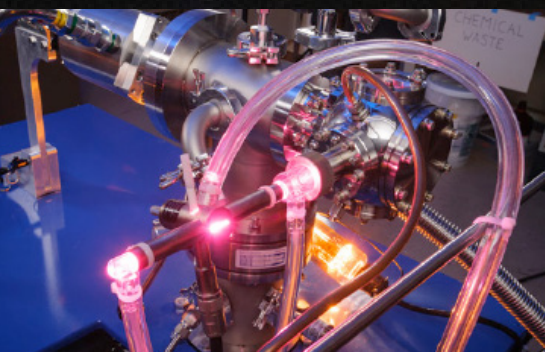
hogy annak színét a becsapódás hatására elégő cukorból felszabaduló szén még elmélyíti.

Azt találták, hogy a cél megolvadt anyagába az ütközés során beágyazódtak az ütközésben keletkező szénzemcsék, s ennek eredményeként a felszín fényviszszaverő képessége 5 százalék alá csökkent – ez nagyjából megfelel a Merkúr legsötétebb részein észlelt reflexiónak. Másik fontos eredménye a kísérletnek, hogy a mintákban az ütközésre utaló jellegzetes spektrális nyomok nem voltak kimutathatók, vagyis a folyamat hatása mintegy „láthatatlan festékként” vonta be a minták felszínét.

(ScienceDaily)

# Csillagászat távcső – Asztrokémiai

2015-ben amerikai kutatóknak pirimidinből sikerült előállítani a DNS, ill. RNS három nukleobázisát. Francia kutatók pedig aldehideket (pl. formaldehidet, acetaldehidet) és egyszerű cukormolekulákat, glikolaldehidet és gliceraldehidet szintetizáltak. Mindkét csoport a hőmérséklettel és intenzív ultraibolya sugárzással a csillagközi tér körülményeit szimulálta.



**Az amerikai kísérlet vákuum-kamrája (NASA/Dominic Hart)**

A csillagközi tér anyagát, - amelyben csillagok és bolygórendszer keletkeznek - a csillaglégrétegekben képződő, mikronnál kisebb méretű szilikát- és szénporzsemcsék, majd az ezekre kifagyott  $H_2O$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ , és  $NH_3$  gázmolekulák alkotják. A felhőket érő ionizáló ultraibolya és kozmikus sugárzások hatására, a szemcséken ion--molekula reakciók zajlanak le és komplex szerves molekulák szintetizáló-

nak. Létezésükről a rádióspektroszkópia és a világűrbeli érkező meteoritok hoznak hírt. Valószínű, hogy a Naprendszer prebiotikus szerves anyagainak eredete is visszavezethető a csillagközi anyagból nyert és a bolygócsírákba beépülő egyszerű molekuláris építőelemekre.

Az élet keletkezése szempontjából alapvető kérdés, hogy vajon szintetizálódhatnak-e olyan komplex molekulák, mint a nukleobázisok, vagy cukrok a Földön kívül a világűr zord körülményei között. A kérdés eldöntésére a kutatók hosszú ideje kísérleteznek földi laboratóriumokban. Aminosavat (glicin) és a legegyszerűbb cukrot a glikolaldehidet, a csillagászok már észlelték a csillagközi tér molekuláris felhőinek anyagában és egy tőlünk 400 fényévnnyire távoli, Napunkhoz hasonló méretű születő csillagot körülvevő por- és Lovejoy üstökös 2015. január 9.-én, Sky and Telescope gázfelhőben. Érdekes megjegyezni, hogy ez év februárjában francia csillagászok, a C/2014 Q2 más néven „Lovejoy” megnevezésű, a külső

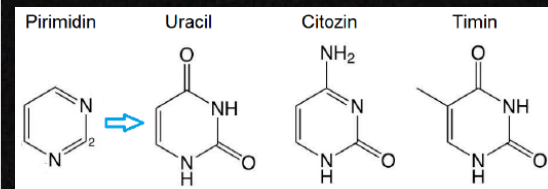


**Kanadában 2000-ben lehullott szerves anyagokat tartalmazó Tagish Lake meteor**

Naprendszer Oort felhő régióiból érkező üstökös csóvájában nagymennyiségű etilalkohol mellett glikolaldehidet is detektáltak.

Pirimidin és purin molekulákat eddig még nem észlelték a csillagközi térben, azonban már kimutatták a Földre hullott meteoritokon. A meteoritokon a molekulák deutérium tartalma jóval nagyobb volt, mint földi molekulákban, ezzel igazolva földönkívüli eredetüket. A kutatók valószínűnek tartják, hogy ezek a heterociklusos vegyületek úgy, mint a többi nitrogéntartalmú aromás vegyület, szén-csillagokból kilövellő anyagáramokban keletkeznek.

A pirimidin egy nitrogéntartalmú heterociklusos vegyület. Színtelen, kristályos, vízben jól oldódik. Fontos pirimidinszármazék a nukleinsavak három építőköve, az uracil, a timin és a citozin, különböző oldalcsoportokkal ( $=O$ ,  $-CH_3$ , and  $-NH_2$ ). Pirimidin-gyűrűt tartalmaz a vitaminok közül a  $B_3$ -vitamin is.

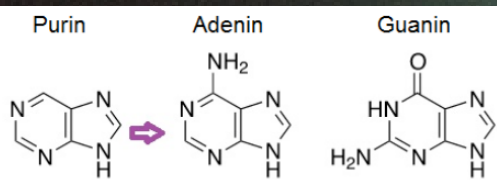


A NASA Ames Kutatóközpontjának kutatói laboratóriumi kísérletekben kimutatták, hogy az RNS és a DNS három nukleobázisa, citozin, uracil és timin, előállítható pirimidinből a csillagközi tér körülményei között. Nagyvákuum kamrában,  $-262^\circ C$  hőmérsékleten elhelyezett

# nélkül

# Laboratóriumi kísérletek

Lovejoy üstökös 2015.  
január 9.-én  
Sky and Telescope



víz, metán és ammónia jégkristályaira kifagyasztott pirimidint, nagyenergiájú ultraibolya fényvel besugározva, tömegspektrométerrel kimutathatóan szintetizálódott a három nukleobázis. A bombázó fotonok fragmensekre bontották a jégre kifagyott pirimidin molekulákat, melyek aztán rekombinálódva, új vegyületeket hoztak létre.

A nukleinsavak másik két nukleobázisa, adenin és guanin, =O és -NH<sub>2</sub> oldalsoportokat tartalmazó purinszármazékok. A NASA AMES Kutatóközpont kutatói folytatják kísérleteiket, hogy eldöntsék vajon a meteoritokon észlelt másik heterociklusos vegyületből, a purinból, szintetizálódhat-e a másik két nukleobázis is a csillagközi térben.

Igen érdekesek a párizsi Asztrofizikai Intézet és a nizzai Kémiai Intézet kutatóinak ugyancsak ebben az évben közzétett eredményei is. Az amerikai kutatók kísérleti körülményeihez hasonlóan, a francia kutatók laboratóriumi nagyvákuum kamrában, alacsony hőmérsékleten (5x10<sup>-6</sup> mbar, -195 °C), víz, metanol és ammónia

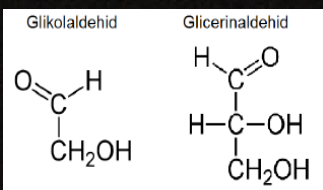
jégkeveréket (12:3,5:1), több napig intenzív ultraibolya fényvel sugároztak be. A kísérlet végén a mintát lassan felmelegítették, majd argon atmoszférában kromatográfias és tömegspektrométeres módszerekkel analizálták vegyi összetételét. Az analízissal kimutatták, hogy számos aldehid (pl. formaldehid és acetaldehid képződése mellett jelentős mennyiségű glikolaldehid és glicerinaldehid jött létre az ultraibolya fény hatására. A glikolaldehid és a glicerinaldehid a legegyszerűbb cukormolekulák. A kutatók kísérleteikről és eredményeikről ez év elején publikált közleményükben rámutattak, hogy cukormolekulák képződéséhez valószínűleg fontos az ammónia jelenléte, mivel ammóniajeget nem tartalmazó mintákon cukormolekulák nem keletkeztek.

A glikolaldehid a legegyszerűbb aldehidet és hidroxilcsoportot tartalmazó nyolcatomos molekula. Kristályos állapotban és vizes oldatban is dimérje fordul elő. Más molekulákkal kölcsönhatásba lépve bonyolultabb cukrokat, glükózt és ribózt hoz létre. A ribóz a DNS-nek és az RNS-

nek is fontos építőeleme. A glicerinaldehid királis molekula, létezik L és D módosulata is. A két módosulat közül a D-glicerinaldehid a jelentős. Foszfátja (D-glicerinaldehid-3-foszfát) fontos szerepet tölt be a cukor biológiai lebontásában.

A kutatók szerint, laboratóriumi kísérleteik eredményei az élet eredetének egy lehetőségét illusztrálják. A nukleobázisok, glikolaldehid és glicerinaldehid detektálása a csillagközi anyag laboratóriumi analógjain (víz-, metanol-, ammóniajég) valószínűsíti azt a feltételezést, hogy ezeket a prebiotikus anyagokat a földtörténet korai szakaszában kis naprendszerbeli testek, aszteroidok, meteoritok szállíthatták Földünk felszínére.

**D. Roddy, U.S. Geological Survey**



**Az egyik legnagyobb földi meteor-becsapódás a Barringerkráter (Arizona állam, Amerikai Egyesült Államok). A több százezer tonnányi meteor mintegy 50 000 évvel ezelőtt csapódott be a Föld felszínébe létrehozva az 1,7 km átmérőjű és 170 m mély krátert.**



## IRODALOM

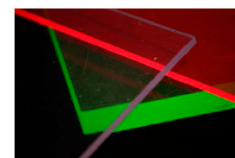
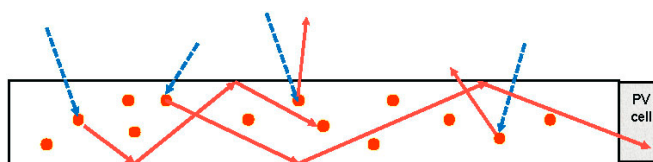
NASA AMES Research Center  
Fabio Pietrucci és Antonino Marco Saitta  
PNAS 2015 112 (49) 15030-15035

# Átláthatunk a napelemen

A Michigani Állami Egyetem egyik kutatócsoportja egy átlátszó napelemet fejlesztett ki. Új találmányuk, amely felszerelhető akármilyen, fényt átteresztő felületre, például ablakokra, szélvédőkre, úgy termel áramot, hogy közben tökéletes átláthatóságot biztosít.

A berendezés lényege, hogy egy átlátszó lumineszcens napfénykoncentrátor (Luminescent Solar Concentrator: LSC) lemezt alkalmaznak, amely a napfény teljes spektrumának emberi szem számára láthatatlan sugarait lumineszcenciával az infravörös tartományba „irányítja át”, vagyis transzformálja. Ezután azt a lemez peremén, szegélyszerűen elhelyezett, az elektromos áramot termelő napelemekhez továbbítja.

A kutatócsoportot vezető Richard Lunt, az egyetem kémia- és anyagtudomány professzora szerint a találmány legfontosabb jellemzője a tökéletes „átlátszó-ság”. A napfény energiájának koncentrációja áttetsző lumineszcens műanyaglemezekkel nem új ötlet, a korábbi kísérletek azonban meglehetősen szerény eredmé-



**A napfény sugarai (kék) által kiváltott infravörös sugarak (vörös) bejutva a napelem cellába (az ábrán a PV cell felirat jelöli) áramot termelnek.**

nyekre vezettek: nemcsak a hatások volt igen alacsony, hanem a felhasznált műanyaglemezek anyagát is erősen színezni kellett. Ami a helyiségeket, irodákat, otthonokat, dolgozószobákat, műhelyeket olyan élénk színű fényvel árasztotta el, hogy az már sok volt a szemnek.

Lunt és munkatársai a koncentrátorlemezbe olyan kis szerves molekulákat építettek be, amelyek a napfény láthatatlan

(infravörös és ultraibolya) sugarait elnyelik, majd azokat lumineszcenciával egy másik infravörös hullámhosszon sugározzák ki: ezt a sugárzást összegyűjtik és a lemez szélén egy vékony csíkban elhelyezett fényelemekbe vezetik, amelyekben a tényleges áramtermelés történik. „Mivel ez a folyamat a napfény látható összetevőit nem érinti, a lemez az emberi szem számára tökéletesen átlátszó” - mondta Lunt.

## Ma is aktuális írások korábbi számainkból

**Jobst Kázmér**, Széchenyi-díjas magyar orvos, vegyészmérnök, laboratóriumi szakorvos, egyetemi tanár, a Magyar Tudományos Akadémia rendes tagja. A kémiai morfológia és a hisztokémia neves kutatója. 1973 és 1979 között a Pécsi Orvostudományi Egyetem rektorhelyettese. 2014-ben Akadémiai Aranyéremmel tüntették ki.



# A kémia szerepe a gyógyításban

A közelmúltban egy pécsi, neves elődeinkre emlékező konferencia szünetében a szakma megjelent jeleseivel szóba került, hogy napjaink középiskoláit nem fanatizálja a kémiai oktatás. A kötelező fontos, de „száraz” tananyag mellett nem mutatják be a kémia szépségét és jelentőségét az élet valamennyi területén. Bevallom, magam is így voltam 14 évesen, amikor nem a tanáromnak, hanem gyógyszerész édesapámnak köszönhettem, hogy 1946-ban vegyészmérnöki diplomát kaptam.

A szigetvári patikában a látottak és a sok kérdésemre kapott válasz döntötte el, gyógyszervevő leszek, aki „csinálja” a gyógyszereket, nem „kereskedő”. Igaz, nem lettem csak klinikai kémikus. Kicsit megértem a pályaválasztás előtt állókat. A kormányok, a sajtó rendszeres témája a környezetszennyezés, ezen belül kiemelten a levegő. Mindezért nem kis mértékben a kémia is felelős. Ebben van igazság, de annak megszüntetéséről csak szerényebben írhatnak. Ugyanakkor felmerül a kérdés, mi volna napjainkban, 2009-ben kémia nélkül: 150 év előtti állapotok és technikai színvonal.

Nehéz felsorolni az élet valamennyi szektorát, ahol a kémiának meghatározó a szerepe.

Agrokémia: műtrágya, növényvédőszer, élelmiszer, vízkémia, műanyagok, olaj, benzin, gáz, fémek, hadi és gyógyszeripar, utóbbi kettő a világ legnagyobb iparágai. Ma a széria autóban nemcsak a karosszéria, ülészet, számos gomb, csavar de már a motor is műanyagból készül, és ne felejtsük el a háziasszonyok örömeiről, a Teflon bevonatú edényekről.

A magyar Nobel-díjas Oláh György kémikus ma környezetbarát hajtóanyag szintézise foglalkoztatja. De visszatérek a

gyógyszergyártáson át az egészségügy és kémia kapcsolatára. Ma a világ legnagyobb és -nyereségesebb iparága a gyógyszer és gyógyászat segédeszközöké. Kutatóintézeti és gyári laboratóriumokban sok tízezer vegyész dolgozik a legfejlettebb technikai feltételek mellett az új és még hatásosabb készítmények előállításán (pl. szulfonamidok, aspirin, penicillin). Miután újabb és újabb betegségek tűnnek fel, a gyógyszeripar ma nem marad feladat nélkül - még hazánkban sem. Önálló terület a hisztokémia, immunkémia, radiokémia, biokémia, a molekuláris biológia és a klinikai kémia, arról nem is szólva, hogy a klinikumban a protézisek és valamennyi segédeszköz valójában a műanyagipar terméke.



A kémia az egészségügyi ellátásban, annak egész vertikumában megtalálható, nélkülözhetetlen.

Magam később mint orvos is előbb a hisztokémia, majd klinikai kémiai diagnosztika területén dolgoztam. Előbbinél a patológián belül kémiai ismereteim segítségével új diagnosztikus módszereket dolgoztam ki szöveti struktúrákban, első helyen a DNS analitikában. Az újonnan alapított pécsi Klinikai Kémiai Intézetben betegek vérmintáinak kémiai analizisét végezzük. Meghatározzuk a vérben lévő glukózt, karbamid, nátrium, kálium, fehérje, különböző enzimek és hormonok mennyiségét. 30 évvel ezelőtt főként hagyományos titrimetriával, fotometriával, refraktometriával. Ma az egyre nagyobb számú vizsgálat a biokémiai kutatás eredményeként más kémiai elvekre kidolgozott automata rendszerekkel történik, nemcsak gyors de ellenőrzött módon és az eredményeknek a kérőhöz nem „cédulákon”, hanem elektronikus úton való továbbításával. Az ilyen nagykapacitású automatákat vegyészek, informatikusok irányítják, fejlesztik, az orvosok szerepe ma egyre inkább a klinikussal folytatott konzultatív tevékenység. A felsorolt orvosi szakmai, diagnosztikus specialitások közül a kémikusnak leginkább a klinikai kémiában van kulcsszerepe.

Ha most visszaillesztünk a történelembe, a két terület: a kémia és orvoslás csaknem egy időben, párhuzamosan, de egymástól függetlenül jött létre a neolitikumban Kr.e. 3000 körül. A tűzről talán Kr.e. 40 ezerben beszélhetünk. Ez lehetővé tette, hogy az ősember a meteoritokból vasat nyerjen, ami végső soron kémiai műveletnek tekinthető, ha a középkori alkímia módszereire gondolunk. A vadászat és háborúk során a sebesülések, a betegségek ellátása növényi levél borítással és kivonatokkal történt, az volt az első gyógyító tevékenység. Egyszerűen az orvoslás és kémia ősidőktől napjainkig szerves egységet képez, melyben a kémikus speciális ismeretei a beteg ember gyógyulása érdekében kamatoztatja.

**Jobst Kázmér**

**Jobst professzor írása a magazin 2. számában 2009-ben jelent meg**

## Kémiai Panoráma

Felelős kiadó és főszerkesztő:

Pálinkás Gábor

Kiadja az MTA Természettudományi  
Kutatóközpont

Kapcsolat: 1117 Budapest,  
Magyar tudósok körútja 2.

e-mail: [panorama@chemres.hu](mailto:panorama@chemres.hu)

Tördelés-képszerkesztés: Horák Ferenc

Szakmai tanácsadó: Gózon Ákos

Honlap: [www.kemiaipanorama.hu](http://www.kemiaipanorama.hu)

