



Hargittai István és Hargittai Magdolna

■ BME Szervetlen és Analitikai Kémia Tanszék

Biológiai nagymolekulák csavarszerkezetének felfedezése

A szerzők történelmi perspektívába helyezik a biológiai makromolekulák helikális szerkezetének felfedezésének néhány vonatkozását. Többek között bemutatják a felfedezés eddig kevésbé ismert két közreműködőjét, Harry Bateman matematikust és Horace R. Crane fizikust. Az 1920-as években Berlinben két magyar kutató is vizsgálta szálas anyagok szerkezetét: Polányi Mihály (1891–1976) és Náray-Szabó István (1899–1972). Egymástól függetlenül végzett munkájukat a helikális szerkezet felfedezése előfutárának is tekinthetjük. Ebben a dolgozatban nem szerepelnek, de úttörő munkájuk elismeréseként írásunkat az ő emlékükhöz ajánljuk.

Amikor J. Desmond Bernal először készített röntgendiffrakciós képet fehérjemintáról, órákig rőtt az éjszakai Cambridge utcáit. Álmatlanul tartotta az a gondolat, hogy egy nap sikerülhet meghatározni a fehérjék szerkezetét, és az majd közelebb visz az élet titkának a feltáráshoz. A világ legjobb krisztallográfusai, köztük Linus Pauling a kaliforniai Pasadenában, valamint W. Lawrence Bragg, Max Perutz és John Kendrew az angliai Cambridgeben dolgoztak ezen a problémán.

William T. Astbury és csoportja már az 1930-as évek elején felismerte a (keratin) peptidlánc két formáját, a nyújtott béta-redőt és a feltekeredett alfa-keratint. Pauling akkor úgy döntött, hogy az alfa-keratinnal fog foglalkozni. Stratégiája az volt, hogy először szerkezeti kémiai ismereteinek felhasználásával a peptidlánc méreteit tárja föl. Azután a lánc lehetséges konformációinak vizsgálatát tervezte, hogy kiválassza a röntgendiffrakciós adatokat legjobban megközelítő modelleket. A legfontosabb információ, amelyet az alfa-keratin meglehetősen életlen diffrakciós képéből ki lehetett nyerni, az volt, hogy a szerkezeti egység a lánc tengelye mentén 5,1 angstrom távolsággal ismétlődik.

Más kutatókkal szemben a szerkezeti kémia alapos ismerete Pauling fontos előnye volt, ami elsősorban a röntgenkrisztallográfia és az akkor új módszer, a gázfázisú elektrondiffrakció alkalmazásából származott. Tudta, hogy a peptidekben a szén és a nitrogén közötti kötés jóval rövidebb, mint az egyes kötés, és a kötés je-

lentős mértékben kettős kötés jellegű. Ebből az is következett, hogy a szén-nitrogén kötés és négy szomszédos atomja mind ugyanabban a síkban vagy közel ugyanabban a síkban helyezkedik el. Ez az ismeret a rezonanciaelmélet alkalmazásából származott, amelynek Pauling volt az egyik fő kidolgozója. A peptidlánc szerkezetére azonban az 1930-as évek végén nem tudott kielégítő megoldást találni, és úgy döntött,

hogy több információra lesz szüksége a lánc egyes tagjainak geometriájáról. Ennek megfelelően kezdeményezte további egyszerű molekulák szerkezetének meghatározását. Közben egyéb kutatásokkal is foglalkozott és a második világháború idején más feladatok kötötték le a figyelmét.

A peptidlánc szerkezetének problémájához csak egy évtizeddel később, 1948-ban, oxfordi tartózkodása idején tért vissza.



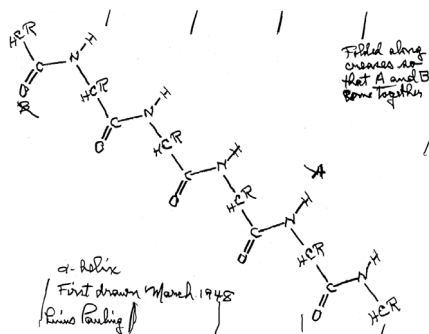
Ava és Linus Pauling.

Néhai Karl Maramorosch felvétele és szíveségéből



A lánc szerkezeti modelljére egyszerűsítő feltételezéseket fontolgatott, hogy megkönnyítse a szerkezet felderítését. Figyelmén kívül hagyta a peptidláncot felépítő aminosavak közötti különbségeket és a lánc szerkezetének modellezése szempontjából egyenértékűnek tekintette őket. Ezzel hasznos szimmetria-szempontot vezetett be a vizsgálatba.

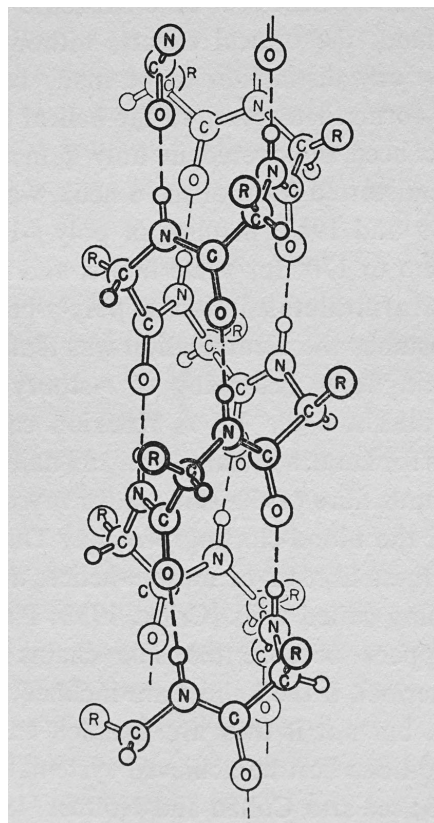
Nagy előrelépést jelentett, amikor Pauling visszaemlékezett 25 évvel korábbi matematikai tanulmányaira a Kaliforniai Műszaki Egyetemen, ahol kémikus doktórán volt. A matematika előadója, az angol Harry Bateman (1882–1946) professzor Manchesterben tanult, az angliai Cambridge-ben szerzett doktori fokozatot. Tanult Göttingenben és Párizsban is, tanított az angliai Liverpoolban és Manchesterben, valamint az Egyesült Államokban a Bryn Mawr Főiskolán és a Johns Hopkins Egyetemen. 1917-ben nevezték ki oktatónak az akkori Throop Műszaki Főiskolára, amely 1920-ban alakult át a Kaliforniai Műszaki Egyetemmé. Bateman szerint a legáltalánosabb művelet, amely egy aszimmetrikus elemet (például egy aminosavmolekulát) az eredetivel egyenértékű aszimmetrikus elemmé transzformál, a tengely körüli elfordítás a tengely mentén történő eltolással kombinálva. Ennek a kombinált műveletnek az ismétlésével csavarvonal (hélix) alakul ki.



Pauling alfa-hélixláncának rajza 1948 márciusából [1]

Ennek megfelelően vázolta fel Pauling a peptidláncot, amelyet az alfa-szénatomhoz tartozó két egyszeres kötés körül elforgatott. Az elfordítás mértéke peptidcsoportról peptidcsoportra azonos mértékű volt, és a műveletet, legalábbis gondolatban újra és újra megismételte. A peptidcsoportokat síkbelinek tételezte fel, a kismolekulák szerkezetében meghatározott geometriai méretekkel és az NH és CO csoportok között kialakuló hidrogénkötések esetében tartotta magát egy feltételezett hosszhoz. Az ábrán látható párhuzamos vonalak

mentén feltekerte a peptidláncos papírlapot. Két olyan szerkezetet talált, amely megfelelt a feltételezéseinek. Az egyiket, amely fordulatonként 4,6 aminosavmolekulát tartalmazott, alfa-hélixnek nevezte el.



Jobbkezes alfa-hélix Max Perutz könyvéből [2], Low és Edsall nyomán [3]

Pauling és munkatársai, R. B. Corey és H. R. Branson két közleményben [4 és 5] publikálták az alfa-hélix szerkezetét. Max Perutz 1961-ben kiadott könyvében [2] ezt csigalépcsős szerkezetként jellemzi, amelyben a lépcsőfokokat az aminosavak jelentik. A lépcsők magassága 1,5 angström, az elfordulás magassága a már említett 5,4 angström, és egy-egy elfordulás 3,6 lépcsőfoknak felel meg. Összesen 18 lépcsőfok után kerülünk vissza pontosan a kiindulási pont fölé. A lépcsőt, tehát a hélixet, az egyik aminosav karbonilcsoportja és a lánc mentén a hozzá képest negyedik aminosav imincsoportja közötti hidrogénkötés tartja össze.

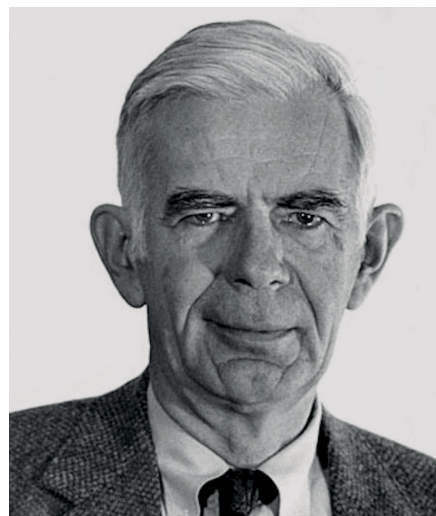
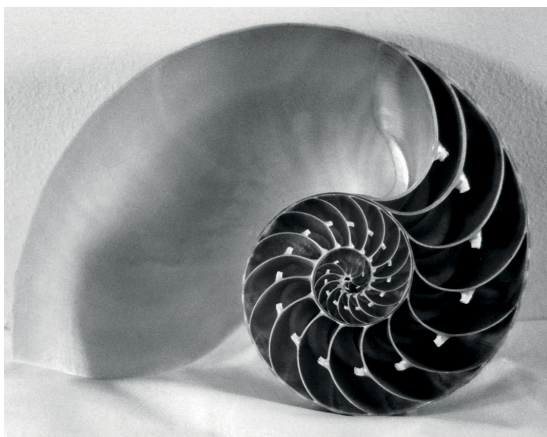
Az 5,4 angström ismétlődési távolság Pauling modelljében zavaró körülmény volt, mert eltért a fentebb említett 5,1 angströmös ismétlődési távolságtól. Az eltérés azonban nem tántorította el Paulingot a folytatástól, mert bízott a modell helyességében. Idővel Pauling és tőle függetlenül Francis Crick ezt az eltérést a hélixek szorosabb illeszkedésével értelmezte, ami a hélixek további tekeredésével és közöttük

kialakuló kölcsönhatásokkal jöhetett létre. Crick szerint ez a gyenge kölcsönhatások hatására megvalósuló szimmetriasértés szép példája [6]. Időközben Bragg, Kendrew és Perutz mintegy 20 lehetséges modell adatait publikálta [7], amelyek azonban egytől egyig alkalmatlannak bizonyultak az alfa-keratin szerkezetének leírására. Ezek a modellek nem használták ki a peptidcsoport síkbeliségére vonatkozó ismereteket.

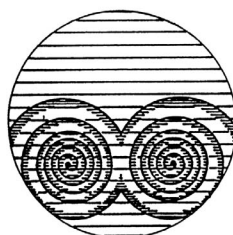
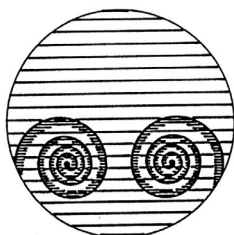
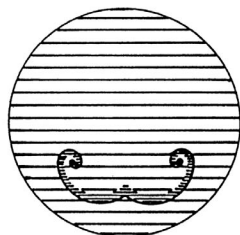
Ezen a ponton megszakítjuk az események leírását, hogy megjegyzést fűzzünk az [1] hivatkozáshoz, Pauling posztumusz megjelent tanulmányához. Pauling 1982-ben a W. H. Freeman and Company felkérésére „Az alfa-hélix felfedezése” címmel készített egy kéziratot. Ez lett volna az egyik fejezet Donald Voet biokémia-monográfiájában, amelyből idővel máig is forgalmazott sikeres tankönyv lett. Pauling 1994-ben meghalt, és Dorothy Munro, Pauling korábbi titkárnője és asszisztense 1995-ben kiderítette, hogy a kéziratot nem használták fel a könyvben, de erről Paulingot nem értesítették. Munro lehetőséget keresett az írás megjelentetésére, és a *Chemical Intelligencer*hez, a kémia kultúrájával foglalkozó, nemrég indult magazinhoz fordult. Egyikünk (IH) volt a magazin alapító szerkesztője, és örömmel jelentette meg a tudománytörténeti jelentőségű dolgozatot [1]. Így maradt meg az utókor számára az alfa-hélix felfedezésének részletes története, ami a szokásos folyóiratcikkekben nem szerepelt. Megkérdeztük Donald Voetot, mit tud hozzátenni a sztorihoz. Arra emlékezett, hogy könyvük szerkesztője felkérte Paulingot a fejezet megírására, de semmi továbbról nincs tudomása [8].

Figyelemre méltó eltérés volt a fentebb már hivatkozott, 1950-ben [4] és 1951-ben [5] megjelent két Pauling-dolgozat címe között. Az elsőben a „spirál”, a másodikban pedig a „hélix” szó szerepelt. Még ma is gyakran használják felcserélhetően a két szót a szakirodalomban, pedig jelentésük között lényeges különbség van. Spriálokra mutat példát a 75. oldalon balra fent látható három ábra.

A spirálok átmérője szabályszerűen változó, míg a hélixeké állandó. Ezért a biológiai makromolekulák szerkezetét helyesen hélixnek vagy csavarnak nevezzük. A hétköznapi beszédben a hélixes szerkezeteket gyakran nevezik spirálnak, példa erre a spirálfűzet és a csigalépcső. Nem is javasoljuk ezeknek a neveknek a megváltoztatását, mert a nyelv autonóm módon működik, de a tudományos szövegekben elvárható a pontos szóhasználat.



Horace R. Crane (Horace R. Crane
– National Science and Technology
Medals Foundation, nationalmedals.org)



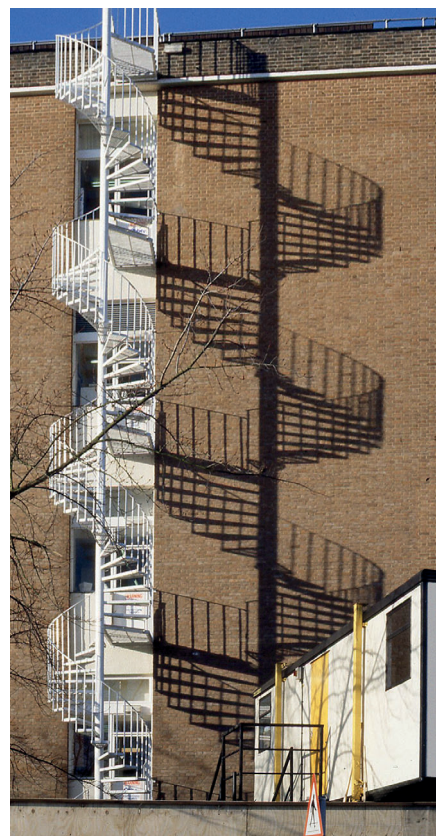
**Példák spirálra. Balra fent: Nautilus-héj. Lloyd Kahn felvétele és szíveségéből [9].
Jobbra fent: Kettős spirál. Gidon Graetz „Belső fény” című szobra (részlet) a Weizmann
Intézet kertjében, Rehovot, Izrael. A szerzők felvétele
Lent: Spirális mintázat időbeli kialakulása Kőrös Endre kutatásaiból
(Belouszov–Zsabotyinszkij-féle oszcilláló reakciók) [10]**

Amint a [4] és [5] hivatkozás címei jelzik, Pauling is felismerte a spirál és a hélix közötti különbséget. A neves kristallográfus, Jack D. Dunitz 1948 és 1951 között a Kaliforniai Műszaki Egyetemen, Pauling csoportjában dolgozott, és közelről követhette az alfa-hélix szerkezetének felfedezését. Amikor Pauling Dunitznek beszélt a modelljéről, „spirálnak” nevezte. Dunitz felhívta Pauling figyelmét arra, hogy „hélix” lenne a helyes kifejezés. Dunitz szerint

Pauling ettől kezdve következetesen a „hélix” névvel jellemezte a modellt. Dunitz szerint ő (Dunitz) segített nevet adni az alfa-hélixnek és ezt személyes hozzájárulásának tekintette a molekuláris biológiához [11].

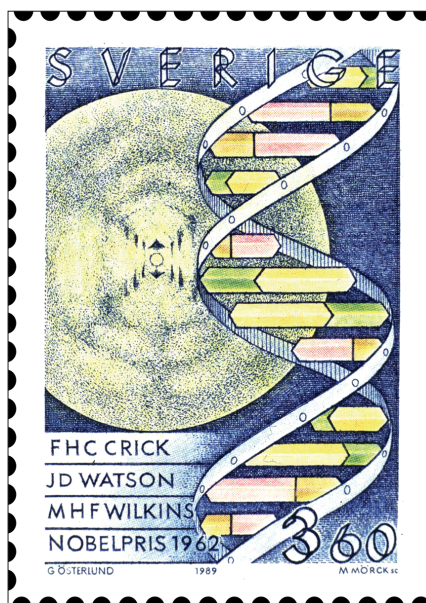
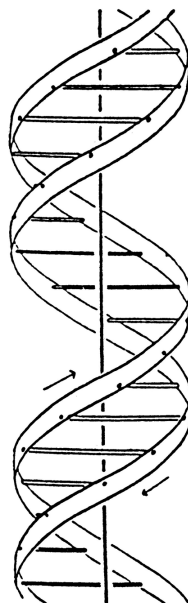
A vírusok szerkezetének úttörő kutatójától, Donald Caspartól [12] hallottunk arról, hogy Horace R. Crane (1907–2007) atomfizikus volt az első, aki kutatta a hélix-szerkezetek azonos egységek összekapcso-

Csigalépcsők (hélixek). A jobb oldali képen a csigalépcső és árnyéka megkettőzött hélix (de nem kettős hélix), amely a brit Molekuláris Biológiai Laboratórium, Cambridge, egykori épületének falához kapcsolódik. A szerzők felvételei





kéletesítésén dolgozott. Kevésbé ismert, hogy a futószalagok hatékony működésének problémáival is foglalkozott. A háború után ezeknek a tapasztalatoknak a nyomán ismerte fel, hogy a biológiai növekedés analóg a részegységek összeszerelésének gyártási folyamatával. Crane szerint a vírusok (fehérjeburka) és más fehérjék reprodukálásának kérdése minden tudomány egyik legizgalmasabb témája [13]. Egyszerű modelleket épített például gyufásdobozokból, melyeket azonos módon, a páronkénti kapcsolatokat ismételve fűzött össze, és így hélixhez jutott. Felismerte, hogy a hélix szimmetriája szempontjából nincs szükség arra, hogy egész számú fordulathoz egész számú építőelem tartozzék [14]. A hélixes szerkezetek diffrakciójának elméletét W. Cochran, Francis Crick és V. Vand dolgozta ki [15].



A DNS kettős hélixének egyszerűsített ábrázolása az eredeti *Nature*-cikkben [17] és svéd bélyegen. A háttérben Rosalind Franklin és doktoránsa, Raymond Gosling híres, 51-es számú röntgendiffrakciós felvétele látható, de nevüket a bélyeg nem tünteti fel



Odile és Francis Crick egykori otthonának bejárata fölött ma is áll az általuk tervezett egyes hélix. Portugal Place 19–20, Cambridge. A szerzők felvétele

Crick az egyes hélixet választotta „Aranyhélix” címmel egykori cambridge-i otthonuk díszítésére, amikor házuk bejárata fölé egyszerű, sárgára festett fémhélixet emelt. A Nobel-díjas Arthur Kornberg könyvet adott ki a biotechnológiai vállalkozásokról, és ugyancsak az Aranyhélix címet adta neki. Ebben az esetben azonban a cím a kettős hélixre vonatkozott, ami egyértelmű az előszó következő mondatából: „A DNS-hélix arannyá alakítása újabb alkímista álomnak tűnt” [16]. Kornberg Nobel-díját 1959-ben Severo Ochoával megosztva kapta „a ribonukleinsav és a dezoxiribonukleinsav biológiai szintézise mechanizmusának felderítéséért”.



Balra: Odile és Francis Crick, 2004, kaliforniai otthonukban

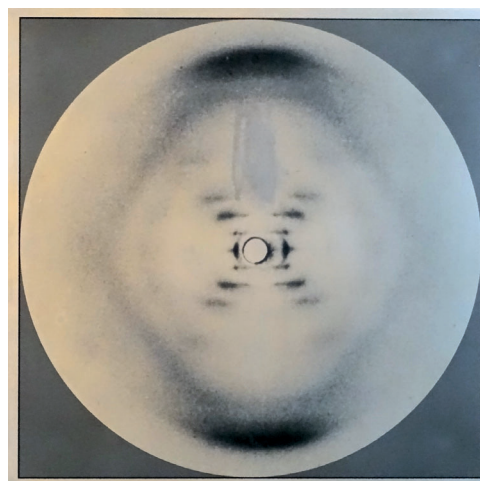
Jobbra: James D. Watson, 2000, a szerzők budapesti otthonában. A szerzők felvételei



Kornberg könyvének említése már elvezetett bennünket a DNS kettőshélix-szerkezetéhez, amelyet James D. Watson és Francis Crick javasolt 1953-ban egyoldalas *Nature*-cikkében [17]. A rövid beszámolót a kettős hélix egyszerűségében is fenséges

rajza illusztrálta. Sokáig azt gondoltuk, hogy a művészi hajlamú Odile Crick készítette. Amikor 2004-ben meglátogattuk Crickéket, kiderült, hogy a rajz egy bonyolultabb illusztráció kontúrvonalának másolásával készült.

Balra: Rosalind Franklin és Raymond Gosling 51-es számú röntgendiffrakciós felvételének képe Larry Kirkland freskójának részeként, amely a Keck Központ előcsarnokát díszíti. 500 5th Street NW, Washington, D.C. A Központ az amerikai tudományos akadémia, mérnökakadémia és orvosi akadémia közös hivatala [18]. Jobbra: Rosalind Franklin arcképe a King's College, London, egyik kiállításán. A szerzők felvételei





A „Májusfa” nevű pub kerítésébe font vízszintes kettős hélix. A pub, Portugal Place 20A, közvetlenül Crickék egykori otthonának szomszédságában volt. A képet a szerzők 2000-ben készítették

Watson és Crick első *Nature*-cikkét hamarosan követte egy második, valamivel hosszabb, amely a kettős hélix genetikai vonatkozásairól szólt [19]. Az első közlemény egyszerű rajzát a másodikban is reprodukálták. A két Watson–Crick-dolgozatból

nem derül ki, hogy felfedezésüknek a következő négy előzménye volt [20]: 1. Oswald Avery és két munkatársa felfedezése, hogy a DNS az öröklődés anyaga [21]. 2. Erwin Chargaff megfigyelése, hogy a purin- és pirimidinbázisok 1:1 arányban for-

dulnak elő minden szervezet DNS-ében [22]. 3. Linus Pauling alfa-hélix fehérjeszerkezete [5]. 4. Rosalind Franklin röntgendiffrakciós mérései [23], amelyek jelezték a DNS-szerkezet C_2 -szimmetriáját.

A Crickék házának bejárata fölött emelt hélix jobbkézes, akárcsak a DNS, de a képen látható pub kerítésének kettős hélice balkezes [24]. Ez a pub tulajdonosának tévedése volt, míg maguk a méretek helyesek, azok Cricktől származtak, aki a pubot rendszeresen látogatta. Hamarosan a kettős hélix népszerű ikonná vált, és ma már a tudomány egyik legismertebb szimbóluma. A szoborállítás nem egyszerű dolog, mégis sok kettőshélix-emlékművel találkozhatunk. A modell sikerének azonban nem mindenki örült. Erwin Chargaff, akinek a DNS-bázispárokra vonatkozó felfedezése döntő szerepet játszott a kettős hélix felfedezésében, a modell népszerűsítését gátlástalan propagandakampánynak tartotta [25]. A cikkben négy DNS-szobrot mutatunk be.

Balra: Bror Marklund alkotása, 1997, az Uppsalai Egyetem orvosi kara előtt

Jobbra: Marino Di Prospero „A bölcsesség temploma” című alkotása, 2002, a L'Aquilai Egyetem kampuszán. A szerzők felvételei





Balra: Tom Otterness alkotása, 2001, a Manhattan, New York, déli részén található szoborparkban. Ez a kép szerepelt az MKL 2017. októberi számának címlapján

Jobbra: „A spirál ideje – az idő spirálja.” Charles A. Jencks alkotása a Cold Spring Harbor-i Laboratórium kampuszán, a háttérben James D. és Elizabeth L. Watson otthonával. A spirál szó a szobrász által adott címben szerepel, de Watsonék otthonának közelsége is a DNS szerkezetére utal. Felfelé haladva a szobor átmérője fokozatosan csökken.

A felső végen a szobor lezárása láthatóan problémát okozott a művésznek. A szerzők felvételei

Az uppsalai szobor nagy és gyönyörű. A felső végén kettéválik, mintha a szaporodásra készülne. Közelebről szemügyre véve a gerincen kívül látszanak a bázisok. Paulingnak is volt egy ilyen hibás DNS-modellje, amikor, kissé megkésve, ő is bekapcsolódott a nukleinsavak szerkezetkutatásába. Marklund esetében ez lehetett a művész vagy tanácsadóinak tévedése, az alkotói szabadságnak is tulajdoníthatjuk. A L'Aquilai Egyetem szobrának eleganciájához nagyban hozzájárul a fehér carrarai márvány. Itt is kettéválik a felső rész.

Azon kívül, hogy a manhattani szobor kettős hélice a felső végén felhasad, a kettévált szálak új kettős hélix kialakulására is utalnak. Ez összhangban van a híres Meselson–Stahl-kísérlettel, amely a DNS másolásának ún. félkonzervatív mechanizmusát bizonyította [26], és amelyet sokan a biológia legszebb kísérletének tartanak.

Az alfa-hélix és a kettős hélix felfedezésének nélkülözhetetlen eleme volt a modellalkotás. Nem sokkal a DNS szerkezetéről megjelent *Nature*-publikációk után a

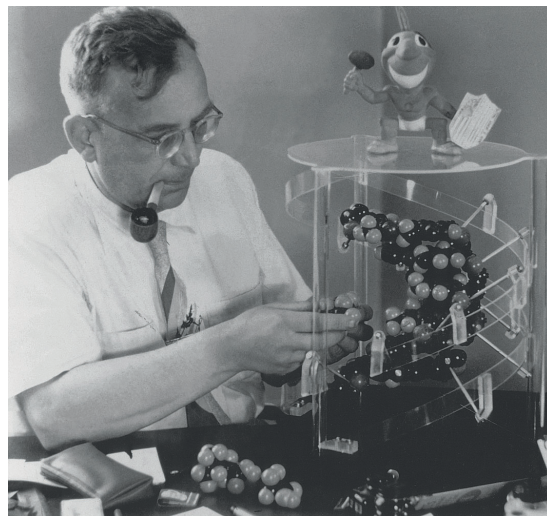
nagy fizikus, George Gamow Watsonnak és Cricknek írt levelében felvetette a nukleinsavaktól a fehérjékhez vezető információátvitel kérdését. Ő volt a genetikai kód

Matthew Meselson és Franklin Stahl sok évvel híres kísérletük után. Franklin Stahl szívességéből



kutatásának egyik kezdeményezője, bár a molekuláris biológusok előszeretettel hangsúlyozzák elképzeléseinek ténybeli hibáit ahelyett, hogy elismernék mennyire össz-

George Gamow kettőshélix-modellel. Néhai Igor Gamow, George Gamow fia szívességéből





James D. Watson
bal kezében kettőshélix-
modellel. Cold Spring
Harbor Laboratórium,
1953. június.
Néhai Karl Maramorosch
felvétele és szívésségéből

tönzők voltak a felvetései. Gamow is elkö-
telezett modellező volt.

Watson 1953 júniusában, a Cold Spring
Harbor Laboratóriumban tartott előadó-
ülésen mutatta be szerény méretű kettős-
hélix-modelljét, vagyis nem sokkal azután,
hogy a felfedezés áprilisban megjelent a
Nature-ben. A brit Molekuláris Biológiai
Laboratórium Pauling példája nyomán ki-
fejlesztette a modellkészítés művészetét,
de a DNS szerkezetének kutatása során
még nem volt nyilvánvaló, hogy történel-
mi jelentőségű modellt alkottak. Évek
múltán sem volt könnyű összerakni az ere-
deti modell részeit, hogy kiállítsák a lon-
doni Science Museumban [27], de ma ott
van, megérdemelten, mint tudománytör-
téneti mérföldkő.



IRODALOM

- [1] Linus Pauling, "The Discovery of the Alpha Helix."
Chem. Intell. 1996, 2(1), 32–38. Utánközlés: B. Hargit-

- tai and I. Hargittai, eds., *Culture of Chemistry: The Best Articles on the Human Side of 20th-Century Chemistry from the Archives of the Chemical Intelligence*. New York: Springer, 2015, 161–167. További tárgyalását lásd: Hargittai István és Hargittai Magdolna, *Szimmetriák a felfedezésben*. Budapest: Vince Kiadó, 2003, 5. fejezet, "Linus Pauling," 87–119.
- [2] M. F. Perutz, *Proteins and Nucleic Acids*. Amsterdam: Elsevier, 1962, 13.
- [3] B. W. Low and J. T. Edsall, "Aspects of protein structure." In D. E. Green, ed., *Currents in Biochemical Research*, New York: Interscience, 1956, 378–433.
- [4] L. Pauling and R. B. Corey, "Two Hydrogen-Bonded Spiral Configurations of the Polypeptide Chain." *J. Am. Chem. Soc.* 1950, 72, 5349 (1 oldal).
- [5] L. Pauling, R. B. Corey, and H. R. Branson, "The Structure of Proteins: Two Hydrogen-Bonded Helical Configurations of the Polypeptide Chain." *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 1951, 37, 205–211.
- [6] Francis Crick, *What Mad Pursuit: A Personal View of Scientific Discovery*. Basic Books, New York, 1988, 59.
- [7] W. L. Bragg, J. C. Kendrew, and M. F. Perutz, "Polypeptide Chain Configuration in Crystalline Proteins." *Proc. R. Soc.* 1950, 203A, 321–357.
- [8] E-mail-váltás Donald Voettal (University of Pennsylvania), 2022. december 27-én.
- [9] I. Hargittai and M. Hargittai, *Symmetry: A Unifying Concept*. Bolinas, California: Shelter Publications, 1994, 163.

- [10] E. Körös, "Oscillations, Waves, and Spirals in Chemical Systems." In I. Hargittai and C. A. Pickover, eds., *Spiral Symmetry*. Singapore: World Scientific, 1992, 221–249; 241.
- [11] I. Hargittai, "Jack D. Dunitz (1923–2021): a chemist's crystallographer." *Struct. Chem.* 2022, 33, 291–297.
- [12] I. Hargittai, "Donald L. Caspar (1927–2021) – pioneer of virus structures." *Struct. Chem.* 2022, 33, 993–995.
- [13] H. R. Crane, "Principles and Problems of Biological Growth." *Sci. Month.* 1950, 70, 376–389; H. R. Crane, "Biological Growth." In Donald B. Wetlauffer, *The Protein Folding Problem*. New York: Routledge, 1984, 8. fejezet.
- [14] Publikálatlan beszélgetés Donald L. Casparral, 1996, Tallahassee, Florida. A beszélgetés több részlete megtalálható: Hargittai István és Hargittai Magdolna, *Szimmetriák a felfedezésben*. Budapest: Vince Kiadó, 2003, 23, 65, 98, 158, 181, 182.
- [15] W. Cochran, F. H. C. Crick, and V. Vand, "The Structure of Synthetic Polypeptides. I. The Transform of Atoms on a Helix." *Acta Crystallogr.* 1952, 5, 581–586.
- [16] Arthur Kornberg, *The Golden Helix: Inside Biotech Ventures*. University Science Books, Sausalito, California, 1995.
- [17] J. D. Watson and F. H. C. Crick, "Molecular Structure of Nucleic Acids: A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid." *Nature* 1953, 171, 737–738.
- [18] I. Hargittai and M. Hargittai, "Science in Washington, DC. An Introduction to Memorials (a Pictorial Essay)." *European Review*, megjelenés alatt, doi:10.1017/S1062798722000515.
- [19] J. D. Watson and F. H. C. Crick, "Genetical Implications of the Structure of Deoxyribonucleic Acid." *Nature* 1953, 171, 964–967.
- [20] I. Hargittai, "Francis Crick (1916–2004)." *Struct. Chem.* 2004, 15, 545–546.
- [21] O. T. Avery, C. MacLeod, and M. McCarty, "Studies on the Chemical Nature of the Substance Inducing Transformation of Pneumococcal Types: Induction of Transformation by a Desoxyribonucleic Acid Fraction Isolated from Pneumococcus Type III." *J. Exper. Med.* 1944, 79, 137–158.
- [22] E. Chargaff, "Chemical specificity of nucleic acids and mechanism of their enzymatic degradation." *Experientia* 1950, 6, 201–209.
- [23] R. E. Franklin and R. G. Gosling, "Molecular configuration in sodium thymonucleate." *Nature* 1953, 171, 740–741.
- [24] I. Hargittai and M. Hargittai, "A Unique Venue of Discoveries in Structural Chemistry: the 75-Year and 60-Year Jubilees of the MRC Laboratory of Molecular Biology—A Personal Tribute." *Struct. Chem.* 2022, 33, 281–289.
- [25] E. Chargaff, *Heraclitean Fire: Sketches from a Life before Nature*. The Rockefeller University Press, New York, 1978, 106.
- [26] Matthew Meselson and Franklin Stahl, "The Replication of DNA in *Escherichia Coli*." *Proc. Natl. Acad. Sci.* 1958, 44(7), 671–682.
- [27] Hargittai István és Hargittai Magdolna, *Londoni séták a tudomány körül*. Budapest: Akadémiai Kiadó, 2021.

Olvasnivalót ajánlanék

Szilárd Leó és az atombomba. Néha ajánlok olvasóinknak más folyóiratokban megjelent cikkeket – nemcsak ismereteik bővítése céljából, hanem mert úgy érzem, emberi létünk fejlődéséhez is hozzájárulhatnak. Ezt teszem most is. Hargittai István hívta fel figyelmemet a *Physics World* 2023. január 23-i számának „feature”-cikkére, amely arról szól, hogyan változott a 125 éve született

Szilárd Leó véleménye, talán meglepően, a maghasadás nukleáris fegyverekben való felhasználásának lehetőségéről. (Leo Szilard: the physicist who envisaged nuclear weapons but later opposed their use, <https://physicsworld.com/a/leo-szilard-the-physicist-who-envisaged-nuclear-weapons-but-later-opposed-their-use/>)

KT