

# EGY KIS KÖNYV NAGY KARRIERJE – 80 ÉVE JELENT MEG ERWIN SCHRÖDINGER *WHAT IS LIFE?* CÍMŰ KÖNYVE

## THE BIG CAREER OF A LITTLE BOOK: EIGHTY YEARS OF ERWIN SCHRÖDINGER'S *WHAT IS LIFE?*

Hargittai István

az MTA rendes tagja, professor emeritus  
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest  
istvan.hargittai@gmail.com

### ÖSSZEFOGLALÁS

Az elméleti fizikus Erwin Schrödinger 1944-ben megjelent kis könyvében népszerűsítette Max Delbrück és szerzőtársai 1935-ben megjelent kutatási eredményét, amely szerint a gén nagy stabilitású molekuláris anyag. A gént aperiodikus kristálynak képzelte el, és felvetette, hogy addig ismeretlen fizikai törvényekre lesz szükség az élet mibenlétének megértéséhez. Könyvének jelentős hatása volt abban, hogy más területen dolgozó, már jó nevű kutatók és sok kezdő kutató biológiai kutatásokba kezdjen, és ezzel jelentősen hozzájárult a 20. század második felében az élettudományokban született forradalmi felfedezésekhez.

### ABSTRACT

In a small book published in 1944, theoretical physicist Erwin Schrödinger promoted the 1935 research of Max Delbrück and his co-authors, who had discovered that the gene was a highly stable molecular substance. He conceived of the gene as an aperiodic crystal and suggested that hitherto unknown physical laws would be needed to understand the nature of life. His book had a major impact in encouraging established scientists in other fields and many early career researchers to embark on biological research, and thus contributed significantly to the revolutionary discoveries in the life sciences in the second half of the twentieth century.

**Kulcsszavak:** Erwin Schrödinger, Max Delbrück, Oswald T. Avery, kémiai stabilitás, aperiodikus kristály, Paul Nurse

**Keywords:** Erwin Schrödinger, Max Delbrück, Oswald T. Avery, chemical stability, aperiodic crystal, Paul Nurse

Szilárd Leó az 1930-as évek második felében foglalkozott azzal a gondolattal, hogy a fizikáról áthelyezi érdeklődését a biológiára, mert ott látta a legnagyobb kihívásokat. Szilárd különleges érzéssel ismerte fel a fejlődési irányokat a tudományos kutatásban, de ezt az irányváltást csak a második világháborút követően lépte meg. A háborús előkészületek és a háború igényei arra készítették, hogy még évekig a nukleáris fizikában dolgozzon tovább. Amikor a háború után biológiai kutatásokra váltott, ebben saját korábbi elhatározását követte. Sok más tudományos kutató is átnyergelt biológiai kutatásokra a következő években, de ebben nem a korábbi érdeklődésnek volt szerepe, sokkal inkább egy kis könyvnek, Erwin Schrödinger *What Is Life?* című kötetének (Schrödinger, 1944).

Erwin Schrödinger (1887–1961; *1. ábra*) Nobel-díjas fizikus és a modern fizika egyik vezető kialakítója 1943-ban az írországi Dublinban nyilvános előadás-sorozatot tartott *What Is Life?* címmel. Az előadások széles közönségnek szóltak, és hatalmas sikert arattak. Az előadások könyv formájában történő megjelentetését a dublini Cahill & Co. kiadó vállalta. Amikor azonban a szerző a katolikus egyház tanainak ellentmondó utószót fűzött a kézírathoz, a kiadó lemondta az eredeti tervet, és a könyvet végül a Cambridge University Press adta ki.



**1. ábra.** Balra Erwin Schrödinger mellszobra (Ferdinand Welz, 1984) a Bécsi Egyetem központi épületének árkádsora alatt, és jobbra Max Delbrück fejszobra (Hans Scheib, 2003) Berlin-Buchban

*Forrás:* a bal oldali Hargittai István, a jobb oldali Hargittai Magdolna felvétele

Schrödinger könyvével közvetlenül a megjelenése után és azóta is sok recenzió foglalkozott; a jelen írás csupán a könyvvel kapcsolatos három kérdést taglal. Az egyik azoknak a szerzőknek a rövid bemutatása, akiknek a dolgozata Schrödinger könyvének középpontjában szerepel. A dolgozat címe: *Über die Natur der Genmutation und der Genstruktur* (A génmutáció és a génszerkezet természetéről), szerzői Nikolaj Vladimirovitch Timoféeff-Ressovsky (Nyikolaj Vlagyimirovics Tyimofejev-Reszovszkij),<sup>1</sup> Karl Günther Zimmer és Max Delbrück (1935). Ez a dolgozat megjelenésekor nem keltett visszhangot, és Schrödinger könyvének nagy érdeme, hogy visszahozta az ismeretlenségből. A második kérdés, amelyhez megjegyzéseket fűzök, a Schrödinger által bevezetett *aperiodikus kristály* fogalma. A harmadik a könyv hatása a 20. század második felének tudományára, amelyet egy sor híres tudós példájával illusztrálok.

Az idézett 1935-ös dolgozat négy részből állt; mindegyik társszerző készített egy-egy részt, és a befejezőt közösen írták. Abban az időben még ritka volt a több társszerzős kutatás, és különösen az, hogy különböző területek kutatói működjenek együtt. Három évtizeddel a cikk megjelenése után Zimmer leírta a közös munka történetét, amelyet gyakran „Dreimännerwerk” megjelöléssel emlegettek (Zimmer, 1966, 37.). A három szerző közül Max Delbrück (*I. ábra*) az évek során híressé vált, legalábbis tudományos körökben; a másik két szerző azonban sokkal kevésbé ismert.

Nyikolaj Vlagyimirovics Tyimofejev-Reszovszkij (1900–1981) Moszkvában tanult, és kezdte meg kutatói pályafutását. Az elsők között jutott arra a következtetésre, hogy nincs olyan radioaktivitási küszöbérték, amely alatt az emberi szervezet nem károsodik, mert már a legkisebb mennyiség is romboló hatású. Tyimofejev-Reszovszkij ezt radiobiológiai paradoxonnak nevezte. Az elsők között javasolta, hogy a radiológusokat ólom védőköténnyel lássák el. Az 1920-as évek közepén a Szovjetunió még nyitott volt a nemzetközi tudományos cserékre, és egy szovjet–német megállapodásnak megfelelően a németek agykutatást indítottak Moszkvában, a szovjetek pedig segítettek Németországnak a genetikában. A szovjetunióbeli genetikusok későbbi tragikus üldöztetését tekintve figyelemre méltó, hogy a genetika az 1920-as évek közepén még olyan szinten állt a Szovjetunióban, hogy a németek tanulhattak szovjet kollégáiktól. Tyimofejev-Reszovszkij a Szovjet Tudományos Akadémia delegálta egy- vagy kétéves berlini látogatásra. Húsz évig maradt, és a Berlin-Buch akadémiai központban végzett kutatásokat. Nikolaj W. Timoféeff-Ressovsky néven nemzetközi hírű genetikus lett, miközben hazájában a genetika tudományát tönkretették. Amikor 1945-ben visszatért a Szovjetunióba, fogolyként kezelték, de megengedték, hogy dolgozzon. A sugárzás biológiai hatásaival kapcsolatos szakértelmére szükség volt

<sup>1</sup> Az eredeti, orosz nevéen Николай Владимирович Тимофеев-Ресовский, magyar átírása Nyikolaj Vlagyimirovics Tyimofejev-Reszovszkij.

a szovjet nukleáris programban. A Moszkvától száz kilométerre délnyugatra fekvő Obnyinszkban kinevezték egy biofizikai laboratórium vezetőjének. Ebben a városban 1945 után fontos kutatóközpontot alakítottak ki, és 1954-ben itt kezdte meg működését a világ első atomerőműve. Tyimofejev-Reszovszkijt soha nem engedték vissza Moszkvába. Obnyinszkban emléktáblát emeltek tiszteletére.

Karl Günther Zimmer (1911–1988) német nukleáris kémikus Tyimofejev-Reszovszkijjal együtt dolgozott a Berlin-Buch-i Kaiser Wihelm Agykutató Intézetben. A második világháború után, 1945 és 1955 között fogolyként vett részt a szovjet nukleáris programban a Tyimofejev-Reszovszkij által vezetett laboratóriumban. Zimmer Németországba való visszatérése után (az akkori) Nyugat-Németországban, Karlsruheban telepedett le, és élete végéig nukleáris kutatásban dolgozott; az ionizáló sugárzás DNS-re gyakorolt hatását tanulmányozta.

Max Delbrück (1906–1981) német–amerikai biofizikus nem annyira saját felfedezéseiről, mint inkább a molekuláris biológiai kutatásokban betöltött vezető szerepéről ismert. Göttingenben tanult fizikát, majd Berlinben Lise Meitner munkatársa lett. Érdeklődése fokozatosan a genetika felé fordult, és ez vezetett a Tyimofejev-Reszovszkijjal és Zimmerrel való együttműködéséhez. Közös értekezésük lényege ma triviálisnak hangzik, de akkoriban úttörő jelentőségű volt. Az akkor még ismeretlen összetételű gének különleges, 37 Celsius-fok körüli hőmérsékleten mutatott stabilitásával foglalkoztak. A kémiai stabilitásból arra következtettek, hogy a géneket molekulák építik fel. Ahogyan Schrödinger bemutatta Delbrück és társai felfedezését, szinte misztikus érdeklődést váltott ki a korabeli kutatókból, akik közül sokan elhatározták, hogy genetikával fognak foglalkozni.

Delbrück 1937-ben elhagyta Németországot, és Rockefeller-ösztöndíjjal az Egyesült Államokban folytatta életét és kutatásait. Rá is nagy hatással volt Schrödinger könyve. A Rockefeller-ösztöndíj befejezése után Delbrück a Vanderbilt Egyetemen tanított. Az 1940-es években kutatási együttműködést alakított ki Salvador E. Luria (1912–1991) olasz menekült biológussal, aki az Indiana Egyetemen dolgozott. Ez a duó bővült ki Alfred D. Hersheyvel (1908–1997) a St. Louis-i Washington Egyetemről. Ők hárman alkották az ún. fágkutató iskolát. A fágok olyan vírusok, amelyek baktériumokat fertőznek meg. Ez a kutatási irányvonal és Delbrück megnyerő személyisége sok tehetséges fiatal tudóst vonzott erre a területre. Köztük volt James D. Watson (1928–), aki az Indiana Egyetemen doktorált, és később Francis Crickkel (1916–2004) együtt felfedezte a DNS kettős hélix szerkezetét. A fág-csoport rendszeresen tartott nyári tanfolyamokat a Cold Spring Harbor Laboratóriumban, és kulcs szerepet játszott a molekuláris biológia fejlődésében a modern amerikai és nemzetközi kutatásban. Delbrück 1947-ben a Kaliforniai Műszaki Egyetemen biológiai professzori kinevezést kapott, és élete végéig ott maradt.

Delbrück sok tehetséges fiatalot inspirált, kiváló kritikus volt, és megkérdőjelezhetetlen integritású. 1969-ben Delbrück, Hershey és Luria fiziológiai vagy

orvosi Nobel-díjat kapott „a vírusok szaporodási mechanizmusával és genetikai szerkezetével kapcsolatos felfedezéseikért”. Nobel-előadásában Delbrück nem a kutatásairól beszélt, olyan általános témákkal foglalkozott, mint a fizika és a biológia, a test és a lélek, valamint a művész és a tudós közötti kapcsolat. A publikált előadás mellékletként csatolta egy 1937-ben még Berlinben készült tanulmányát az élet misztériumáról.

Schrödinger könyvének értéke elsősorban a felvetett kérdésekben és a könyv hatásában van. Felvetette a gén természetének kérdését, és az öröklődés információjának megtestesítésére javasolta az aperiodikus kristály fogalmát. Utalt egy rendkívül érdekes lehetőségre, amely szerint az élet mibenlétének megértéséhez talán eddig ismeretlen fizikai törvényeket kell feltárni. Az aperiodikus kristály a DNS-molekulában találta meg lényegi megnyilvánulását, és pusztán formális, de szó szerinti megnyilvánulását a kvázikristályokban. Érdekes, bár érthető, hogy a kvázikristályok – szerkezetüket tekintve valóban aperiodikus kristályok – felfedezését soha nem hozták összefüggésbe Schrödinger aperiodikus kristályával. Valóban nincs közöttük funkcionális kapcsolat, csak szemantikai.

Schrödinger szerint a gén egy kis molekulából indul ki, amelynek pusztán ismétlődéssel történő kiterjesztése – ahogyan egy kristály keletkezik – nem vezethetne a génhez, mert a periodicitás kizárná az információhordozás lehetőségét. A kezdeti kis molekula kiterjesztésének másik módja egy összetett szerves molekula felépítése lenne. Ehhez ma hozzátehetjük, hogy ennek megfelelőnek a fehérjék is, de ugyanúgy a nukleinsavak, ahogyan azok mai ismereteink szerint felépülnek. Azonban a DNS-t, ahogyan Schrödinger idejében ismerték, nem tekinthették a gén anyagának, mert szabályosan ismétlődő szerkezetűnek tartották Phoebus Aaron Levene 1909-ben publikált, nagy hatású tetranukleotidhipotézisének megfelelően (Levene, 1909; Hargittai, 2009).

Érdekes tudománytörténeti egybeesés, hogy szintén 1944-ben, nem sokkal Schrödinger könyve után jelent meg Oswald T. Avery (1877–1955; 2. ábra), Colin M. MacLeod (1909–1972) és Maclyn McCarty (1911–2005; 2. ábra) korszakalkotó felfedezése (Avery et al., 1944), amely gondos kísérleti adatokból levont következtetés volt, amely szerint az örökítés anyaga a DNS. A szerzők az örökítés hordozóját „transzformációs elvnek” nevezték. A felfedezést azonban a kutatói közösség nagy része nem fogadta el, Avery legfiatalabb munkatársa, McCarty visszaemlékezései szerint (Hargittai, 2002) jórészt egy tekintélyes tudós, Alfred Mirsky erőteljesen hangsúlyozott kritikája miatt. Mirsky azzal érvelt, hogy még a leggondosabb tisztítás után is maradhatott a vizsgált mintákban szinte kimutathatatlan mennyiségű fehérje, ami még mindig milliárdnyi molekulát jelentene, és ez elég lenne az örökítés megvalósítására. Sok évvel később Mirsky a *Scientific American*ben publikált egy tanulmányt, amelyben elismerte, hogy a DNS az öröklődés hordozója, de nem kért elnézést korábbi kritikájáért (Mirsky, 1968).



**2. ábra.** Balra Oswald T. Avery 1948-ban,  
jobbra: Maclyn McCarty 1997-ben a Rockefeller Egyetemen

*Forrás:* a bal oldali képet néhai Maclyn McCarty szívességéből közöljük,  
a jobb oldali Hargittai István felvétele

Avery története az emberi tulajdonságoknak a tudományos felfedezések elismerésére gyakorolt hatása szempontjából is érdekes. Mérföldkőnek számító felfedezését pályájának késői szakaszában tette, és mire az megjelent, hivatalosan már nyugdíjba vonult, bár folytatta munkáját a Rockefeller Intézetben (ma Rockefeller Egyetem). McCarty szerint (Hargittai, 2002) Avery nem volt közlékeny személyiség. Nem szeretett nyilvánosan beszélni, mert azt nem tartotta megfelelőnek tudományos eredmények közlésére. Még mielőtt Avery az 1944-es nevezetes publikációjukat követően visszavonult volna az aktív kutatástól, mindkét munkatársa, MacLeod és McCarty, a tudomány más területein folytatta kutatásait. Mindhárman orvos végzettségűek voltak, MacLeodnak és McCartynak orvostudományi kutatói állásokat ajánlottak fel. A DNS genetikai anyagként való szélesebb körű elismerését néhány évvel később Alfred D. Hershey és Martha Chase 1952-es, kevésbé kiterjedt vizsgálata hozta meg (Hershey–Chase, 1952). Ekkorra a szélesebb tudományos közösség már megérett arra, hogy elfogadja a DNS meghatározó szerepét az öröklődésben.

Avery és munkatársai felfedezését tekinthetjük korát megelőző felfedezésnek, de ez csak részben igaz. Volt két kiváló kutató, akiknek a munkájára azonnal

döntő hatással volt: Erwin Chargaff (Chargaff, 1950; Hargittai, 2022) és Joshua Lederberg (Hargittai, 2002). Ezen belül Chargaff felfedezései kifejezetten a DNS természetének megértésére vonatkoztak. Megállapította, hogy a DNS nem egy unalmas, egyformán ismétlődő egységekből felépülő molekula, hanem szerkezetfüggő, és publikálta a DNS-ben megfigyelt bázispárokra vonatkozó megfigyeléseit (Chargaff, 1950; Hargittai, 2022).



**3. ábra.** Balra Francis Crick 2004-ben La Jolla-i otthonában, és jobbra James D. Watson, 2000-ben a szerző otthonában, Budapesten

*Forrás:* Hargittai István felvételei

Sokak számára a lehető legizgalmasabb kihívást jelentette a Schrödinger által felvetett lehetőség, sőt esetleges szükségesség, hogy az élet mibenlétének megértéséhez várható addig nem ismert fizikai törvények felfedezése. A könyv hatását néhány prominens vagy későbbi prominens tudós megnyilatkozásával illusztrálom.

James D. Watson (*3. ábra*) többször kifejtette, hogy a könyv milyen nagy hatással volt pályájára. Ez a hatás közvetlenül elvezetett a Francis Crickkel (*3. ábra*) közösen tett felfedezéshez, amely szerint a DNS-molekula kettős hélix szerkezetű. Az évek során következetesen így nyilatkozott: „kezembe került Erwin Schrödinger elméleti fizikus könyvecskéje. Ebben a kis gyöngyszemben Schrödinger azt mondta, hogy az élet lényege a gén. Addig a madarak érdekeltek. De aztán arra

gondoltam, hogy ha a gén az élet lényege, akkor többet akarok tudni róla. És ez sorsdöntő volt, mert különben egész életemben madarakat tanulmányoztam volna, és senki sem hallott volna rólam” (Watson, 1993; Watson, 2000, 123.).

A tudománytörténész Robert Olby szerint „Schrödinger látomása inspirálta Cricket. »Izgalmas módon közvetítette – mondta [Crick] – azt a gondolatot, hogy a biológiában a molekuláris magyarázatok nemcsak rendkívül fontosak, hanem azt is, hogy már karnyújtásnyira vannak tőlünk» (Olby, 2009). Watson is megjegyezte: „[A könyv] fontos tényező volt abban, hogy [Crick] elhagyta a fizikát, és érdeklődése a biológia felé fordult, miután 1946-ban elolvasta” (Watson, 1968, 12.). A 2020-as fizikai Nobel-díjas Roger Penrose hasonlót említett a *What Is Life?* egyik későbbi kiadásához 1991-ben írt előszavában: „Sok tudós, aki alapvető felfedezésekkel gazdagította a biológiát, mint például J. B. S. Haldane és Francis Crick, elismerte, hogy nagy hatással voltak rá (bár nem mindig értettek velük teljesen egyet) azok a széles körű gondolatok, amelyeket ez a rendkívül eredeti és gondolatgazdag fizikus [ebben a könyvben] kifejtett” (Penrose, 1992). Maga Crick így írt erről: „Schrödinger könyve nagyon időszzerű volt, és olyan emberek érdeklődését is felkeltette, akik egyébként talán egyáltalán nem is foglalkoztak volna biológiával” (Crick, 1965).

A krisztallográfus Maurice Wilkins, aki Watsonnal és Crickkel együtt a DNS szerkezetéért kapott 1962-ben Nobel-díjat, így írt a könyv rá tett hatásáról: „Azért vonzott Schrödinger gondolkodása a *What Is Life?* című könyvében, mert összekapcsolta a gén rendkívül fontos biológiai gondolatát a kristályokban mozgó elektronok sajátos világával. Arról írt, hogy a gén egy aperiodikus kristály, és ez közvetlenül kapcsolódott a doktori munkámhoz [...] Schrödinger könyvének fő hatása az volt, hogy lendületbe hozott. Nem csak az, amit írt, hanem az is, ahogyan írta. [...] Schrödinger a fizikusok nyelvét használta, és ez arra ösztönzött engem mint fizikust, hogy komolyan vegyem a könyvet és a genetikát, és hogy eldöntsem, hogy »biofizikusként« ezen a területen szeretnék kutatni” (Wilkins, 2003, 84.).

Gunther Stent, a molekuláris biológia egyik úttörője írta: „Ez a könyv óriási hatással volt rám, és megváltoztatta szakmai pályámat, ahogyan a háború alatt a fizikai tudományok területén képzett számos kortársam pályáját is megváltoztatta” (Stent, 1998, 245.).

Egy Watsonról és a DNS-ről szerkesztett kötet szerint: „Seymour Benzer az egyik olyan fizikus, aki Erwin Schrödinger *What Is Life?* című művének elolvasása után a biológia felé fordult” (Inglis et al., 2003, 16.). A fizikus Seymour Benzer (1921–2007) szintén a molekuláris biológia úttörői közé tartozott, és más kitüntetések mellett 1993-ban megkapta a Crafoord-díjat (Hargittai–Hargittai, 2006). A fizikai és kémiai Nobel-díjhoz hasonlóan ezt is a Svéd Királyi Tudományos Akadémia ítéli oda, és olyan területeken, amelyek nem tartoznak a Nobel-díjak körébe (csillagászat, biotudományok, földtudományok, matematika). Benzer díjának indoklása így szól: „a *Drosophila melanogaster* viselkedési mutánsain végzett úttörő genetikai és neurofiziológiai vizsgálatairól”.





4. ábra. Paul Nurse 2003-ban a szerző műegyetemi dolgozószobájában

*Forrás:* Hargittai István felvétele

Természetesen Schrödinger *What Is Life?* című könyve semmiben sem mondta ki az utolsó szót, még csak nem is új felfedezések bemutatása volt a célja. Idővel az is kiderült, hogy nem voltak olyan további fizikai törvények, amelyek felfedezése segített volna az élet mibenlétének megértésében. A könyv arról nyújtott pillanatképet, hogy hol tart éppen akkor a tudomány, és ezt nagyon hatásosan tette. Azóta is jelent már meg ugyanilyen címmel könyv, és lemérhető az a hatalmas út, amelyet az élettudományok Schrödinger könyvének megjelenése óta megtettek, és amelyhez Schrödinger könyve felbecsülhetetlen módon járult hozzá. Kiemelem Paul Nurse (4. ábra) 2020-ban megjelent könyvét (Nurse, 2020), amely átfogó képet nyújt a modern biológia állásáról, és ezzel a jövő kutatásaira vonatkozóan is irányt mutat. Nurse érdeklődése egyetemes, amellyel, hogy saját kutatásaiban 2001-ben Nobel-díjjal elismert felfedezéseket tett. Egyetemes érdeklődése nagyban különbözik attól a biológiai-élettudományi területen nem ritka modelltől, amely szerint valaki minél hamarabb igyekszik elérni a tudomány határvidékére anélkül, hogy széles körű tudásbázist építene fel, nagy felfedezést tesz, majd a kutatói pályát vállalati-vállalkozói karrierre cseréli. Ez nem

csökkenti a korábbi felfedezés jelentőségét, ez csak egy másik modell. A Nurse által követett „régimódi” pálya magába foglalja a tudománytörténet iránti élénk érdeklődést, amely kutatásait is segíti. Széles körű érdeklődése valószínűleg elősegítette, hogy a tudományirányításban meghatározó tisztségekre válasszák meg vagy kérjék fel. Volt a New York-i Rockefeller Egyetem elnöke (rektora) és a londoni Royal Society elnöke, jelenleg a londoni Francis Crick Intézet végrehajtó bizottságának elnöke és az intézet igazgatója, miközben továbbra sem adta fel saját laboratóriumi kutatásait.

Könyvének címül nem véletlenül választotta Schrödinger könyvének címét. Nurse szerint Schrödinger könyve arra koncentrál, hogyan képesek az élő szervezetek generációról generációra fenntartani a rendet és egységességet a termodinamika második főtételével leírt világunkban, amely megállás nélkül halad a rendezetlenség és a káosz felé. Schrödinger ezt a kérdést vetette fel, és úgy gondolta, hogy az örökletesség megértésében lelhetjük meg a választ. Bár Nurse ugyanazt a kérdést teszi fel, vagyis hogy „mi az élet?”, az örökletesség megértésétől nem reméli a teljes választ. Ehelyett tüzetes vizsgálódást ajánl a biológia szerinte öt alapkoncepciójának területén: a sejt, a gén, a természetes kiválasztódással megvalósuló evolúció, az élet mint kémia és az élet mint információ. Ezekre itt nem térek ki, helyette a könyv elolvasását ajánlom. Nurse szerint, „mi, biológusok gyakran ódzkodunk attól, hogy nagy eszmékről és nagy elméletekről beszéljünk. Ebben a tekintetben meglehetősen különbözünk a fizikusoktól. [...] De a biológiában igenis léteznek ilyen fontos átfogó elképzelések, és ezek segítenek megérteni az élet mibenlétét a maga teljes komplexitásában” (Nurse, 2020, 3.). Tekintve a modern élettudományokat, mintha nem is nyolc évtized, hanem egy egész korszak telt volna el Schrödinger óta, de ez a kis könyv ma is érezteti hatását.

(A jelen cikk bővebb változata angolul olvasható a *Structural Chemistry* folyóiratban [Hargittai, 2024].)

## IRODALOM

- Avery, Oswald T. – MacLeod, Colin M. – McCarty, Maclyn (1944): Studies on the Chemical Nature of the Substance Inducing Transformation of Pneumococcal Types: Induction of Transformation by a Desoxyribonucleic Acid Fraction from Pneumococcus Type III. *Journal of Experimental Medicine*, 79, 137–158. DOI: 10.1084/jem.79.2.137, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2135445/>
- Chargaff, Erwin (1950): Chemical Specificity of Nucleic Acids and Mechanism of Their Enzymatic Degradation. *Experientia*, 6, 201–209. DOI: 10.1007/BF02173653, <https://tinyurl.com/y2mztupu>
- Crick, F. H. C. (1965): Recent Research in Molecular Biology: Introduction. *British Medical Bulletin*, 21, 3, 183–186. DOI: 10.1093/oxfordjournals.bmb.a070393

- Hargittai István (2002): *Candid Science II: Conversations with Famous Biomedical Scientists*. London: Imperial College Press, Ch. 2: Maclyn McCarty, 16–31.
- Hargittai István (2009): The Tetranucleotide Hypothesis: A Centennial. *Structural Chemistry*, 20, 753–756. DOI: 10.1007/s11224-009-9497-x, <https://link.springer.com/article/10.1007/s11224-009-9497-x>
- Hargittai István (2022): Paradigms and Paradoxes: Complementarity in Chemical Structures – A Tribute to Erwin Chargaff. *Structural Chemistry*, 33, 1003–1005. DOI: 10.1007/s11224-022-01915-1, <https://link.springer.com/article/10.1007/s11224-022-01915-1>
- Hargittai István (2024): What Is Life? – 80 Years from Erwin Schrödinger to Paul Nurse. *Structural Chemistry*, 35, 1039–1047. DOI: 10.1007/s11224-024-02314-4, <https://link.springer.com/article/10.1007/s11224-024-02314-4>
- Hargittai István – Hargittai Magdolna (2006): *Candid Science VI: More Conversations with Famous Scientists*. London: Imperial College Press, Ch. 6: Seymour Benzer, 114–133.
- Hershey, Alfred D. – Chase, Martha (1952): Independent Functions of Viral Protein and Nucleic Acid in Growth of Bacteriophage. *Journal of General Physiology*, 36, 1, 39–56. <https://scarc.library.oregonstate.edu/coll/pauling/dna/papers/hershey-independent.html>
- Inglis, John. R. – Sambrook, Joseph – Witkowski, Jan Anthony (eds.) (2003): *Inspiring Science: Jim Watson and the Age of DNA*. Cold Spring Harbor, New York: Cold Spring Harbor Laboratory Press
- Levene, Phoebus Aaron (1909): Über die hefenukleinsäuren. *Biochemische Zeitschrift*, 17, 120–131.
- Mirsky, Alfred E. (1968): Discovery of DNA. *Scientific American*, 218, 6, 78–88. DOI: 10.1038/scientificamerican0668-78
- Nurse, Paul (2020): *What Is Life?* Oxford: David Fickling Books
- Olby, Robert (2009): *Francis Crick: Hunter of Life's Secrets*. Cold Spring Harbor, New York: Cold Spring Harbor Laboratory Press, 65–66.
- Penrose, Roger (1992): Preface. In: Schrödinger, Erwin: *What Is Life?* Cambridge University Press
- Schrödinger, Erwin (1944): *What Is Life?* Cambridge University Press
- Stent, Gunther S. (1998): *Nazis, Women and Molecular Biology: Memoirs of a Lucky Self-Hater*. Kensington, California: Briones Books
- Timoféeff-Ressovsky, Nikolay Vladimirovitch – Zimmer, Karl Günther – Delbrück, Max (1935): Über die Natur der Genmutation und der Genstruktur. *Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen*, 1, 189–245. <https://tilde.ini.uzh.ch/~tobi/fun/max/timofeeffZimmerDelbruck1935.pdf>
- Watson, James D. (1968): *The Double Helix: A Personal Account of the Discovery of the Structure of DNA*. New York: Atheneum Press
- Watson, James D. (1993): Succeeding in Science: Some Rules of Thumb. *Science*, 261, 1812–1813. DOI: 10.1126/science.8378784, <https://www.science.org/doi/pdf/10.1126/science.8378784>
- Watson, James D. (2000): *A Passion for DNA: Genes, Genomes, and Society*. Oxford University Press
- Wilkins, Maurice (2003): *The Third Man of the Double Helix: Autobiography*. Oxford University Press
- Zimmer, Karl Günther (1966): The Target Theory. In: Cairns, John – Stent, Günther Siegmund – Watson, James D. (eds.): *Phage and The Origins of Molecular Biology*. Cold Spring Harbor, New York: Cold Spring Harbor Laboratory of Quantitative Biology, 33–42. (Ennek a kötetnek a kibővített változata jelent meg 1992-ben.)