

A TARTALOMBÓL:

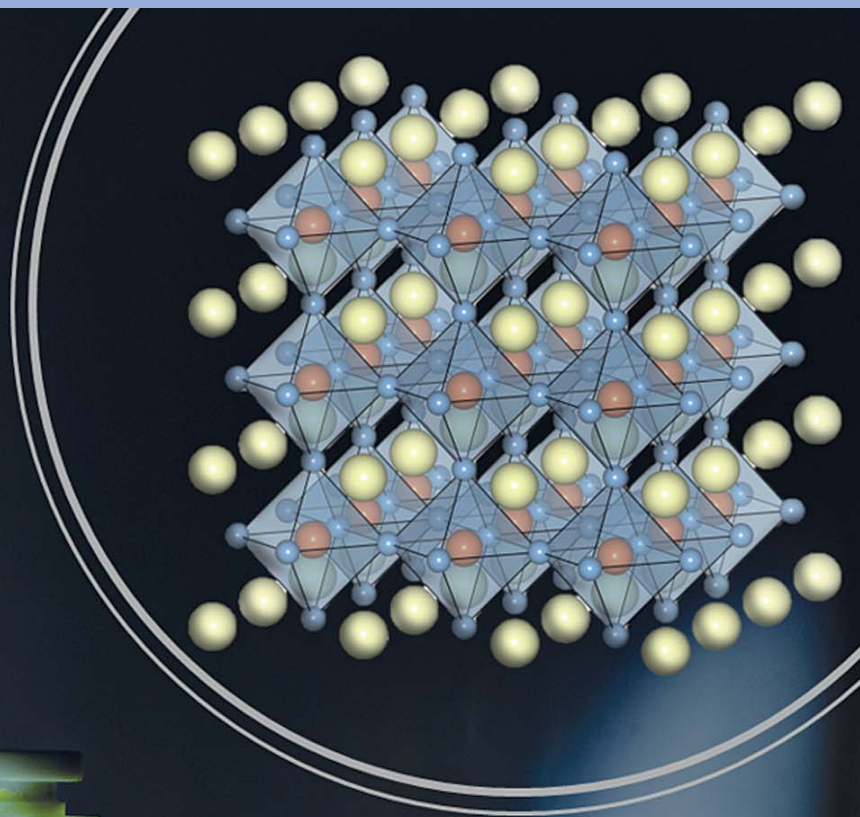
- Fémorganikus hálózatok
- Szabályozó immunsejtek
- Makroszkopikus kvantumalagutazás
- Gyógyszeripari minőségügy
- A biztonság vizuális nyelve
- Búcsú James D. Watsontól



MAGYAR KÉMIKUSOK LAPJA

A MAGYAR KÉMIKUSOK EGYESÜLETE HAVONTA MEGJELENŐ FOLYÓIRATA • LXXXI. ÉVFOLYAM • 2026. FEBRUÁR • ÁRA: 1800 FT

Sokszínű fém-halogenid- perovszkitok



Nemzeti
Kulturális
Alap

A kiadvány
a Magyar Tudományos
Akadémia támogatásával
készült



MESSE
MÜNCHEN

Merüljön el és fedezze fel a laboratóriumok világát!



analytica

Információ: Promo Kft., Müncheni Vásárképviselőt
Tel.: +36 1 224 7764, e-mail: messemunchen@promo.hu

A laboratóriumi technológiától és analitikától a biotechnológiáig és az analytica konferenciáig: a laboratóriumi világ gyors ütemben fejlődik – az analytica kiállításon pedig Ön a fejlődés középpontjában áll.

A laboratóriumi technológia, analitika és biotechnológia vezető világására 55 000 m²-en kínál teljes körű piaci áttekintést. Találkozzon iparági vezetőikkel és szakértőkkel, fedezze fel a világújításokat, és találja meg az igényeihez legjobban illő megoldást.

2026. március 24-27., München analytica.de



MAGYAR KÉMIKUSOK LAPJA

HUNGARIAN CHEMICAL JOURNAL

XXXI. évf., 2. szám, 2026. február



A Magyar Kémikusok Egyesületének
tudományos ismeretterjesztő
folyóirata és hivatalos lapja

SZERKESZTŐSÉG:

Felelős szerkesztő: LENTE GÁBOR
KISS TAMÁS örökös tb. főszerkesztő
Olvasószerkesztő: SILBERER VERA
Tervezőszerkesztő: HORVÁTH IMRE

Szerkesztőbizottság:

KEGLEVICH GYÖRGY,
a szerkesztőbizottság elnöke,
BÁLINT MÁRIA, BUZÁS ILONA,
DOMBRÁDY ZSOLT, FABIÁN ISTVÁN,
GREINER ISTVÁN, HANCSÓK JENŐ,
ifj. SZÁNTAY CSABA, KALÁSZ HUBA,
KISS TAMÁS, MERNYÁK ERZSÉBET,
SKODÁNÉ FÖLDES RITA,
SZÉPVÖLGYI JÁNOS, TÖMPE PÉTER,
ZÉKÁNY ANDRÁS

Szerkesztők:

DOBÓ DORINA, KEGLEVICH KRISTÓF,
KERTI GÁBOR, KOVÁCS LAJOS,
NAGY GÁBOR, PAP JÓZSEF SÁNDOR

Szerkesztőségi titkár: KOCOR ERIKA

Kapják az Egyesület tagjai és a megrendelők
A szerkesztésért felel: LENTE GÁBOR

Szerkesztőség: 1106 Budapest,
Fehér út 10. (White Office)
Tel.: 36-20-214-0808
E-mail: mkl@mke.org.hu

Kiadja a Magyar Kémikusok Egyesülete
Felelős kiadó: SZABÓ JÁNOS ZOLTÁN
Nyomdai előkészítés: HORVÁTH IMRE
Nyomás: Europrinting Kft.
Felelős vezető: ENDZSEL ERNŐ
ügyvezető igazgató

Terjeszti a Magyar Kémikusok Egyesülete
Az előfizetési díjak befizethetők
a CIB Bank 10700024-24764207-51100005 sz.
számlájára „MKL” megjelöléssel
Egy lapszám ára: 1800 Ft
MKE-tagoknak előfizetés: 9900 Ft
Nem MKE tagoknak: 19 900 Ft
Külföldön terjeszti
a Batthyany Kultur-Press Kft.,
H-1014 Budapest, Szentháromság tér 6.
1251 Budapest, Postafiók 30.
Tel./fax: 36-1-201-8891, tel.: 36-1-12-5303

Hirdetések-Anzeigen-Advertisements:
KOCOR ERIKA

Magyar Kémikusok Egyesülete,
1106 Budapest, Fehér út 10. (White Office)
Tel.: 36-20-214-0808,
e-mail: mkl@mke.org.hu

Aktuális és archivált számainak honlapunkon
(mkl.mke.org.hu) olvashatók

Index: 25 541
HU ISSN 0025-0163 (nyomtatott)
HU ISSN 1588-1199 (online)
DOI: 10.24364/MKL.2026.02

A lapot az MTA MTMT indexeli, és a REAL,
továbbá az Országos Széchényi Könyvtár
(OSZK) Elektronikus Periodika Adatbázisa
és Archivuma (EPA) archiválja



Mindannyian olvastuk, a tavalyi kémiai Nobel-díjjal a fémorganikus há-
lózatok (MOF) három kutatóját, egy japán, egy Angliában született ausztr-
l és egy kamaszkorában Amerikába bevándorolt, jordániai születésű pa-
lesztin tudóst tüntettek ki. Nagyon sok kutatóhely érdeklődik ma az egész
világon a vegyületcsoport iránt, amelynek szintéziseiben, vizsgálataiban,
egyre szélesedő körű jelenlegi, és számos, reményt keltő jövőendő alkalmá-
zásában hatalmas volt a részük.

Fémorganikus vegyületeket természetesen a kémia már régtől fogva is-
mert. Bruckner Szerves kémiájának nyolcszáz oldalas első kötetében öt ol-
dal szól róluk, Fieser sokat használt tankönyvének azonban a tárgymuta-
tójában sem szerepel a szó (pedig a Grignard-reagensről természetesen olvashatunk). Ez volt a helyzet
hetven év előtt. Az egyik kitüntetett harmincévnyi munkáról beszélt: kezdetben 100 hivatkozás volt a re-
ménysege, máig az ő munkáikra 250 000 hivatkozás esett. A téma népszerűségét a Web of Science alap-
ján lehet megbecsülnünk, így nőtt a Metal Organic Framework keresőszóra feltűnő publikációk száma
harminc év alatt: 27 (1995), 84 (2000), 372 (2005), 1816 (2010), 4903 (2015), 11 796 (2020), 16 813 (2025).
A számok bizonyítják, hogy a kutatók közössége fontosnak és reményt keltőnek tartja a területet.

A díj hivatalos kihirdetésekor elhangzott néhány perces előadás a díjazott munka tartalmát és új-
donságát mutatta be közérthetően, a tudományos ismeretterjesztés mesterműve volt ez a szöveg. Az elő-
adó a retorika klasszikus szabályai szerint fokozta a hatást, a végén érve a csúcra; a vegyületcsoport sok-
féle alkalmazhatóságáról beszélt: fotonika, elektronika, érzékelés, energiaátalakítás, energiatárolás (közte
a hidrogénenergetika szent grálja, a nagy sűrűségű, reverzibilis H₂-megkötés), orvosi diagnosztika, gyógy-
szer vagy gén célba juttatása, katalízis... mind olyan terület, ahol ennek a hatalmas vegyületosztálynak
nagy szerepe lehet.

A díj kihirdetésének reggelén egy leleményes újságíró egy repülőgép fedélzetén érte utol telefonon az
egyik kitüntetettet, Omar Yaghi-t, hogy az első között gratulálhasson neki, és megkérdezhesse, mit gon-
dol most a saját munkájáról: Mi volt az első reakciója a hírré? – kérdezte. – Megdöbbenés, öröm, elérté-
kenyülés – volt a becsületes válasz. – Hogyan kezdődött ez a sikeres tudósi pálya? Yaghi elmondta, hogy
bizony nagy nyomorban kezdődött, a család egyetlen szobáját a tehenükkel kellett megosztaniuk. De úgy
találta, „a tudomány a világon a legnagyobb erő, amely egyenlőséget teremti”.

Tízéves korában egy pálca-és-golyó molekulamodellt látott egy könyvben, és csodaszépnek találta. Az-
tán megtanulta, az egész világ ilyen dolgokból áll, a világ azért szép, mert a molekulák szépek. „Mikor
elindultam a pályámon, nem a világ karbon- vagy vízproblémáját akartam megoldani, hanem szép dol-
gokat akartam építeni és intellektuális feladatokat akartam megoldani.” Ezt a lelkesedését adja tovább
a hallgatóinak. Arra tanítja őket: „Minél mélyebbre ásol, annál szebb dolgokra találsz.”

A kémia természetesen közügyesség és matematika, memória és fantázia, szellemi kaland és makacs-
ság, rejtély és remény, fontos az emberiség életében, elengedhetetlen a modern technikában.

De mindezt megelőzi az, hogy a kémia szép.

2026. február

Schiller Róbert

Schiller Róbert
HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont

TARTALOM

NOBEL-DÍJ

Nagyné László Krisztina: Kémiai Nobel-díj, 2025 34

Duda Ernő: Fiziológiai és orvostudományi Nobel díj – 2025.
Szabályozó immunsejtek – perifériás tolerancia 37

Makk Péter, Csonka Szabolcs: A 2025. évi fizikai Nobel-díjról 39

VEGYIPAR ÉS KÉMIATUDOMÁNY

Kutatóként meg kell őriznünk a kíváncsiságot. Beszélgetés **Samu Gergely**
Polányi-díjas egyetemi adjunktussal 42

Ziegler Ildikó: Meghatalmazott személyek 50 éve
a gyógyszeripari minőségügy szolgálatában 44

BIZTONSÁGTECHNIKA

Agárdi Tamás: A piktogram is beszél – a biztonság vizuális nyelve a laborban 48

FIATAL KUTATÓK

Kele Péter, Németh Krisztina: IV. Zechmeister László előadói verseny – 2025 50

MEGEMLÉKEZÉS

Hargittai István, Hargittai Magdolna: James D. Watson (1928–2025):
személyes búcsú 51

VEGYIPAR- ÉS KÉMIATÖRTÉNET

Hosztafi Sándor: Marie Curie doktori dolgozata és az 1903-as fizikai Nobel-díj
Első rész 54

VEGYÉSZLELETEK

Lente Gábor rovata 58

A HÓNAP KÉMIAI PUBLIKÁCIÓJA 60

A HÓNAP HÍREI 62



Címlapunkon:
Halogénid-összetételű
hangolható fényemittáló
CsPbX₃ perovszkit-
nanokristály-diszperziók
(fotó: Samu Angelika)

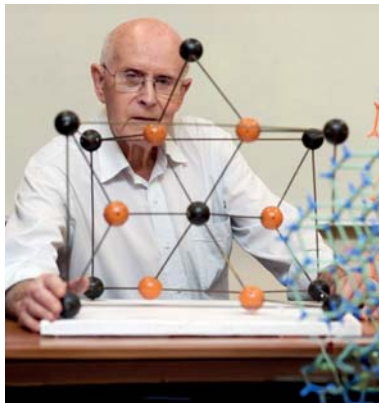


László Krisztina

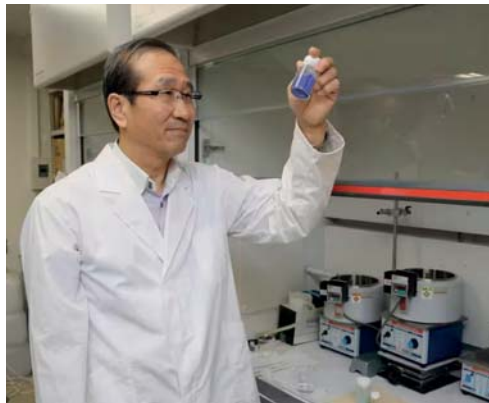
Kémiai Nobel-díj, 2025

A 2025. évi kémiai Nobel díjat három ország három tudósa kapta – Richard Robson angol–ausztrál vegyész, a Melbourne-i Egyetem kémiai professzora; Susumu Kitagawa (Kitagawa Szusumu), a Kiotói Egyetem vegyészprofesszora; és a Kaliforniai Egyetem Berkeley-i kampuszán kutató palesztin–amerikai Omar M. Yaghi – a fémorganikus térhálók kutatása terén elért eredményeiért (**1. ábra**).

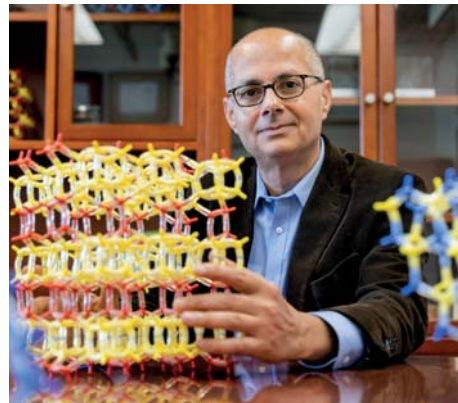
1. ábra. A 2025. évi kémiai Nobel-díj kitüntetettjei



Richard Robson



Susumu Kitagawa



Omar M. Yaghi

A díj egy új vegyületcsaládot és egy szintézisbeli paradigmaváltást tett világszerte ismertté. A Nobel-bizottság értékelése szerint a három kutató kulcsszerepet játszott az új anyagcsalád, a fémorganikus térhálós vegyületek (metal organic frameworks, rövidítve MOF-ok) létrehozásában és útra indításában. Robson az elméleti és korai kísérleti alapokat rakta le, Kitagawa a dinamikus és alkalmazható struktúrákat fedezte fel, felismerte porozitásuk jelentőségét. Yaghi a retikuláris tervezés úttörőjeként annak is tudatára ébredt, hogyan lehet a módszerrel nagy belső felülettel rendelkező anyagokat előállítani.

Út a Nobel-díjig

Az angol származású Robert Robson Oxfordban doktorált, témája szerves molekulák fotokémiájának vizsgálata volt. Posztdoktori éveit a California Institute of Technologyon töltötte. Ezután került a University of Melbourne kötelékébe, ahol azóta is dolgozik.

A kiotói születésű Kitagawa szénhidrogén-kémiából doktorált szülővárosa egyetemén, önálló kutatásait a Kindai Universityn kezdte meg. Közben a Texas A&M University posztdoktora volt, és vendégprofesszorként dolgozott a City University of New Yorkon. Ezután a Tokyo Metropolitan University Szintetikus és Biológiai Kémia Tanszékén a szerves kémia professzora lett. Csaknem 20 éves kitérő után az Institute for Integrated Cell-Material Sciences társalapítójaként került vissza a Kyoto Universityre.

A Jordániában palesztin szülők gyermekeként született Omar Mwannes Yaghi 15 éves kora óta él az Egyesült Államokban. A University of Illinois-on doktorált. Az NSF ösztöndíjasaként a harvardi posztdoktori évek után az Arizona State Universityn, majd a University of Michiganon eltöltött professzori évek után érkezett a University of Californiára, először Los Angelesbe,

majd Berkeley-be. A MOF alkalmazására két kaliforniai székhelyű startupot is indított: 2020-ban a CO₂ és a légköri víz megkötése, a másodikat egy évvel később a hidrogéntárolás hasznosítására.

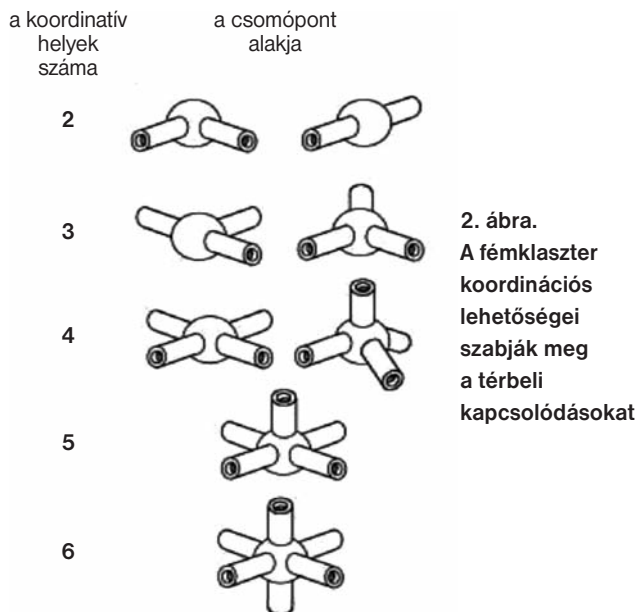
A MOF-család

A modern anyagtudomány egyik legdinamikusabban fejlődő területe a fémorganikus vázak kutatása és fejlesztése. Mik is ezek a fémorganikus térhálók? Nevezhetnénk őket a szerves és a szervetlen kémia közötti hídnak is. A tulajdonságaik tervezhetőségéhez vezető újfajta, retikuláris megközelítés paradigmaváltást jelent a kémiai struktúrák kialakításában.

A fémorganikus térhálók vagy röviden – a magyarban is meghonosodott – MOF-ok fémionok vagy fémklaszterek (csomópontok) és szerves összekötők (linkerek) periodikus rendszeréből felépülő háromdimenziós térhálós kristályok, szűk, de összességében nagy térfogatú belső üregekkel, pórusokkal. A csomópontok tulajdonságai egyben megszabják a lehetséges elágazások számát és irányát, az őket összekötő szerves linkerek pedig szabályozzák a kialakuló pórusok méretét. Így a pórusok mérete, alakja és felületkémiái jellege tervezhető.

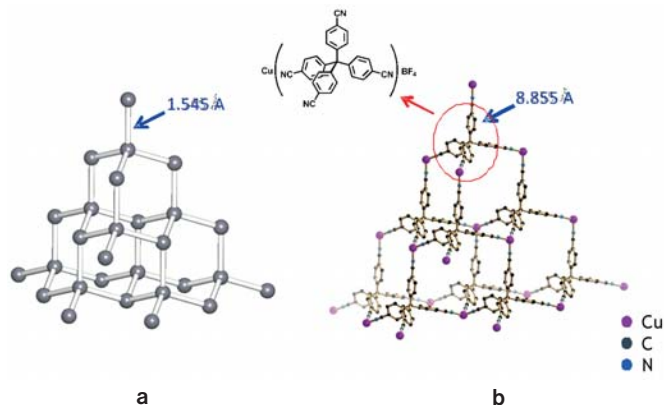
A periódusos rendszerben található szinte valamennyi fém vagy oxidja alkalmas a csomópont szerepének betöltésére. Koordinatív képességük alapvetően meghatározza a MOF szerkezetét (**2. ábra**). Leggyakoribbak a Cu-, Zn-, Ag-, Ni-, Zr-, Al-, Co-, Fe-, Cd-, Mo-tartalmú MOF-ok.

A hidak sokféleségét a szerves kémia többfunkciós aromás vegyületeinek széles tárháza biztosítja. A ligandumok leggyakrabban aromás karboxilátok vagy N-tartalmú vegyületek. Az aromás gyűrű a linkerek tartását, merevségét, a többi funkció az összekötő híd szerepét biztosítja. A láncot alkotó gyűrűk száma a pó-



rusméretet, a kondenzált gyűrűk elsősorban a két fémklaszter közti kapcsolat merevségét befolyásolják.

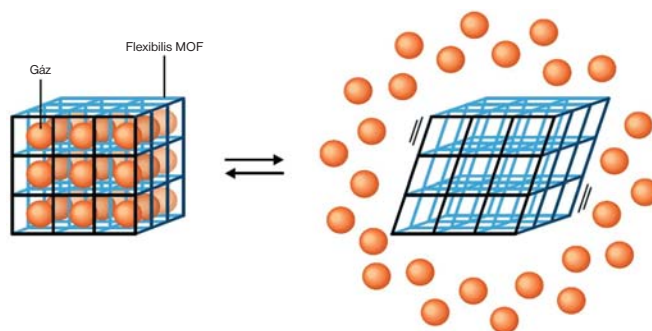
A MOF-család születése akár a gyermekmondókára is emlékeztethet: ez elment vadászni... Robson volt az, aki a 80-as években a fém – szerves koordinációs polimerek (a MOF-ok elődjének) lehetséges formáit kezdte vizsgálni. Robson munkája indította el a gondolatot, hogy fémek és hosszú, többfunkciós organikus ligandumok önszerveződésével, rendszerszerű kombinációjával szabályozott, nagy kiterjedésű, „levegős” hálózatokat lehet építeni (3. ábra). Vegyületeinek stabilitása azonban nem volt kielégítő.



3. ábra. Robson első, a gyémánthoz (a) hasonló szerkezetű vegyülete (b) (1989). A réz és a négy nitril kapcsolódási ponttal bíró szerves egységek kapcsolata a Cu–N kötésen keresztül valósul meg

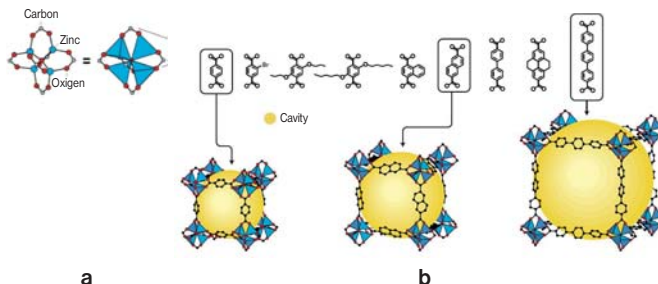
Kitagawa és munkatársai felismerték, hogy az ilyen típusú pórusos anyagok dinamikusan reagálhatnak a környezetükre (például a gáz nyomására) (4. ábra). Ez keltette fel érdeklődésüket és irányította kutatásaikat a MOF-ok alkalmazási lehetőségei felé. Kitagawa csoportja fedezte fel a „lélegző”, azaz a környezettel való kölcsönhatás során pórusméretet váltó MOF-ok csoportját is. Alapvető eredményeket értek el a szerkezet–funkció kapcsolatának részletes megismerésében és feltárásában.

Yaghi csoportja fejlesztette ki azokat a módszereket, amelyekkel óriási felületű és kontrollált pórusméretű, mindezen túlmenően kémiai is stabilis 3D vegyületeket lehet kialakítani. Ők állították elő az első stabilis MOF-okat. Ezt az a felismerés tette



4. ábra. Kitagawa állított elő elsőként flexibilis MOF-okat, amelyek a pórusok töltöttségi állapotától függően képesek megváltoztatni az alakjukat

lehetővé, hogy a fém-oxidok (elsőként a Zn oxidja) stabilisabb csomópontok kialakítására képesek, mint a fémek önmagukban. Ezeket a fém-oxidokat nevezték el másodlagos szerkezeti egységnek (secondary building unit, SBU) (5.a ábra). A szerves ligandumok oldaláról elsősorban a karboxilcsoportok segítik a stabilitást. Megszületett az első stabilis MOF, a MOF-5 (az 5.b ábra bal oldali szerkezete). A Yaghi nevével összekapcsolódó paradigmaváltás annak felismerése, hogy a pórusszerkezet és a kémiai tulajdonságok tudatos megválasztásával tervezetten hozhatók létre célzott feladatra szolgáló 3D rendszerek. Ezt az eljárást retikuláris kémiának nevezik. (Az 5.b ábrán látható nagy sárga gömbök a pórusok térfogatát jelzik.)

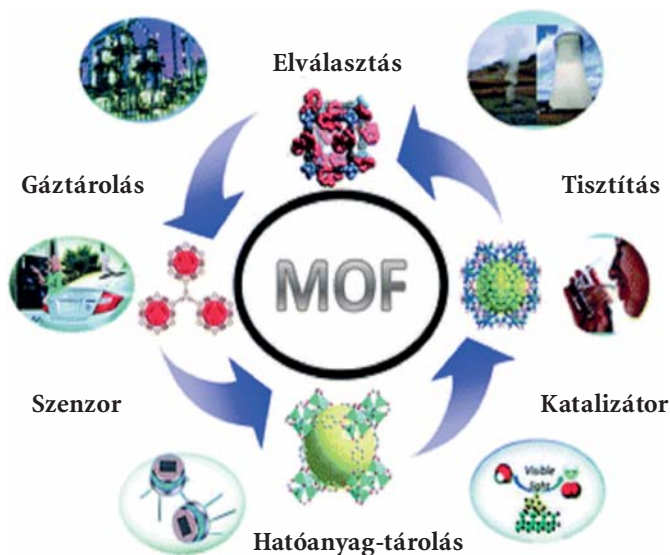


5. ábra. Variációk a MOF-5-re. A MOF-5 Zn-tartalmú oktahedrális másodlagos építőköve (a) és az ennek a fémklaszternek különböző dikarboxil-vegyületekkel létrehozott vegyületei (b). Yaghi retikuláris kémia alapján szintetizált MOF-5-sorozat 16 Zn-oxid fémklasztert, de különböző ligandumokat tartalmazó szerkezetekből áll. A pórusok méretét a ligandumok megválasztásával szisztematikusan lehet változtatni

A MOF-okat leginkább fantázianevükről ismerjük, melyek gyakran a kutatóhely nevéből képzett rövidítések. A MOF-családnak ma már külön website-ja van (<https://mof-international.org>) és jelenleg 12 000 kristályos tagját tartja nyilván a Cambridge Structural Database (<https://www.ccdc.cam.ac.uk/free-products/csd-mof-collection/>).

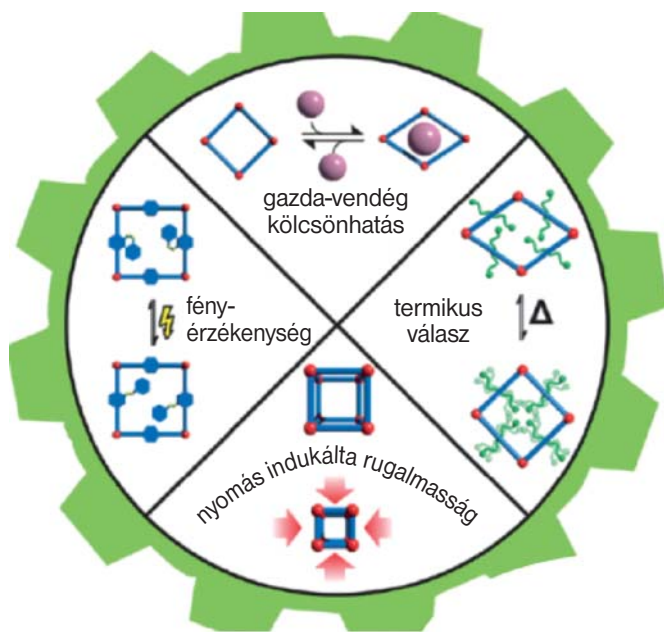
Alkalmazási lehetőségek

A MOF-ok hangolt méretű pórusokkal és hangolt energiájú kötőhelyekkel rendelkező, nagy szorpciós kapacitású 3D kristályos szerkezetek. Halmazállapotuk szilárd. A MOF-ok alkalmazási területeit, mint minden új anyagét, igen széles körben tesztelik (6. ábra). Nem meglepő módon ezek a nagy felületet, a pórusok hangolható méretét, a fémklaszterrel, a ligandummal vagy ezek módosításával bevíhető kémiai tulajdonságot hasznosítják.



6. ábra. A MOF-ok eddig ismert alkalmazási lehetőségei

Az alkalmazások egy része a MOF-ok tulajdonságainak környezeti inger hatására történő reverzibilis megváltozásán, reszponzivitásán alapul. Ingerként szolgálhat a hőmérséklet, a nyomás, a fény vagy akár egy megfelelő méretű kismolekula (7. ábra). Környezeti hatásra változhat a pórusok alakja, térfogata („lélegző” MOF-ok).



7. ábra. A környezeti ingerekre reagáló, ún. reszponzív MOF-ok típusai

A MOF-ok legfontosabb jellemzője a retikuláris kémia szerint tervezhető fajlagos felület. Hogyan lehet egy fal nélküli pórus felületét értelmezni? A pórusokhoz rendelt felületek látszólagosak. A pórusokba betölthető gáz mennyiségét ismerve adhatjuk meg ezt a névleges felületet: ekkora felület kellene ugyanennyi gáz síkban történő elhelyezéséhez, azaz ha a gázmolekulákat szorosan egymás mellett, egy rétegben szeretnénk elhelyezni egy felületen. Egy grammnyi MOF névleges felülete egy futballpálya felületének nagyságát is elérheti. Szintetizáltak már 7800 m²/g látszólagos fajlagos felületű fémorganikus térhálót is.

A névleges felület jellemzi a MOF gázmegkötő képességét. Ezt szemléltethetjük a kristályszerkezetbe nem kovalens, másodlagos kölcsönhatás révén megkötődő gáztérfogattal, az ún. van der Waals-üreg térfogatával. A gázmolekulák rendelkezésére álló teret szimbolizáló nagy sárga gömbök az **5.b ábrán** szemléletesen illusztrálják, hogyan változik ez a térfogat a szerves hidak méretével. A ligandumok mérete és a fémklaszterek térszerkezete szabályozza a pórusok méretét: mekkora molekulákat képesek befogadni egyáltalán és azokat milyen kötési energiával, milyen szorosan tudják magukban tartani.

Jelenleg a legígéretesebb alkalmazások, amint erre Yaghi start-up cégeinek profiljából is következtethetünk, a porozitást hasznosító gáztárolás és gázválasztás területén látszanak. A jelenség a kolloidikából jól ismert: a molekulák méretével összevethető méretű üregekben (pórusokban) a gázok/gőzök a forráspontjuknál alacsonyabb hőmérsékleten is megkötődnek és folyadékká alakulhatnak. Ez jelentős térfogatcsökkenéssel jár, azaz a pórusokban így sokkal több anyag tárolható, nyelethető el. A pórusok ezután a nyomás csökkentésével vagy a hőmérséklet növelésével kiüríthetők, ismét tárolásra foghatók.

Szén-dioxid megkötése

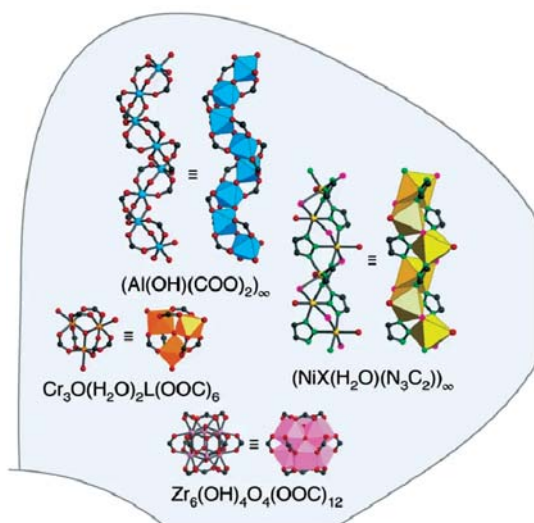
A MOF-ok képesek szelektív módon megkötni a levegőből vagy más gázelegyből a CO₂-t. A pórusok méretének és felületének optimalizálásával növelhető a megkötési kapacitás és szelektivitás. A MOF-ok alkalmazása esetén az eljárás energiaigénye lényegesen alacsonyabb, mint a hagyományos, folyadékban történő elnyelésen alapuló eljárásoké.

H₂/CH₄ tárolása

Az energiaforrásként használható gázok (H₂/CH₄) szorpciós elvű, például a MOF pórusaiban megvalósítható tárolása és szállítása biztonságos és energiatakarékos alternatívát kínál a nagy nyomású és a cseppfolyósított gáz tárolásával szemben. Sikertült már olyan MOF-okat szintetizálni, amelyek alkalmazásával a jelenlegi üzemanyagtankokkal azonos térfogatban annyi metánt lehet adszorpciós úton megkötni, amennyivel egy könnyebb jármű, például személygépkocsi az elektromos meghajtású járművek hatótávolságához hasonló utat képes megtenni.

Víz megkötése levegőből

A metán vagy hidrogén tárolásánál nagyobb kihívást jelentett a levegőből légköri nyomáson vizet kinyerni képes MOF-ok kialakítása. Ennek komoly szerepe lehet a csapadékszegény vidékek vízellátásában. A MOF előállítása során a fémklaszter – szerves ligandum kapcsolatok önszerveződés révén alakulnak ki. Kémiai természetük miatt az ilyen kötések döntő többsége vízzérékeny, már a levegő páratartalmának hatására is megindul egy lassú hidrolízis, ami a MOF szerkezetének fokozatos degradációját és így az alkalmazás során elvárt teljesítményének, például a gáztároló kapacitásának elvesztését eredményezi. A **8. ábrán** látható fémklaszterekkel sikerült vízmegkötésre alkalmas, hidrolízis-ellenálló fémorganikus térhálókat szintetizálni. Ezek a MOF-ok alkalmasak a levegő páratartalmának megkötésére. Ennek hatékonyságához a sivatagok jól ismert éjszakai lehűlése, az alacsonyabb hőmérséklet természetes segítséget nyújt.



8. ábra. A levegő páratartalmának ellenálló fémklaszterek

Hogyan tovább?

A ma még megoldatlan technikai nehézségek további vizsgálatokat igényelnek és inspiráló kihívást jelenthetnek a kutatók-

nak és a technológusoknak. A fémorganikus térhálókban rejlő lehetőségek kiaknázását jelenleg több tényező is nehezíti. Néhány kivételtől eltekintve a laboratóriumi szintézis eljárásokat nem sikerült ipari méretűvé növelni. A már említett külső környezetre, elsősorban a páratartalomra való érzékenység nemcsak a felhasználás, hanem már a tárolás során is nehézséget jelent. A MOF-ok a szerves ligandumok miatt hőmérséklet-érzékenyek és egyben rossz hővezető képességűek. Ez a gáztárolási alkalmazásban komoly nehézséget jelent, hiszen a feltöltés során felmelegednek. Az el nem vezetett hő nemcsak biztonsági szempontból veszélyes, de jelentősen csökkentheti a megkötött gáz mennyiségét. A gáz felhasználásakor a rendszer lehűl, a pórusokban megkötött gáz nem nyerhető ki teljes mértékben fűtéssel. Jó hővezetőségű anyagokkal történő társítás jelenthet erre megoldást.

A fémorganikus térháló kutatása Magyarországon

Hazánkban a HUN-REN Wigner Fizikai Kutatóközpontban, a Szegedi Tudományegyetemen és a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen folytat vagy folynak jelenleg is fémorganikus térhálókkal kapcsolatos kutatások.



Duda Ernő

Fiziológiai és orvostudományi Nobel díj – 2025

Szabályozó immunsejtek – perifériás tolerancia

Az immunrendszer közismert feladata a veszélyes kórokozók (vírusok, baktériumok, egysejtűek, gombák stb.) elleni védelem. Legalább ennyire fontos, de kevésbé köztudott, hogy olyan immunsejteink is vannak, amelyek feladata a „veszélyes saját” sejtek elpusztítása. Ha egy sejtben felszaporodnak a mutációk, tumoros elfajulásra esik át vagy kórokozók szaporodnak benne, az egész szervezetre veszélyt jelent. Az ilyen „saját” sejtek ellen védenek bennünket a T sejtek egyes változatai (de ezek játszanak szerepet az átültetett szervek kilökődésében is).

A T sejtek azok az immunsejtek, amelyek nem a csontvelőben, hanem a csecsemőmirigyben (timusz) fejlődnek ki. Ma már nagyon sokféle T sejtet ismerünk, amelyek eltérő feladatokat látnak el, ennek megfelelően más- és másféle fehérjéket termelnek, más- és másféle gének működnek bennük. Ezen az alapon lehet megkülönböztetni őket: a CD4 fehérjét termelők CD4+, az azt nem termelők CD4– T sejtek.

Gyakran csak utóbb tudjuk meg, hogy az egyes fehérjék milyen feladattal bírnak, mire képesek az illető fehérjét termelő sejtek. A japán immunológus Szakaguchi Simon immunhiányos egerekkel kísérletezett. Ezekben az állatokban hiányoznak a T sejtek, ezért nem tudnak védekezni a vírusokkal vagy a sejtekben szaporodó baktériumokkal vagy tumorokkal szemben. Ezek kitűnő állatmodelljei az emberekben előforduló, szerencsére ritka, örökletes betegségnek, a súlyos, kombinált immunhiányos betegségnek (SCID).

Amikor Szakaguchi bejuttatta az egészséges állatokból származó CD4+ T sejteket ezekbe az állatokba, helyreállította az állatok védekezőképességét, gyógyította az immunhiányos állapotot. A T sejtek szaporodásában fontos szerepet játszik az IL-2 nevű növekedési faktor, de a CD4+ sejteknek csak egy kis része hordozza a CD25 fehérjét, ami ennek a faktornak a hatását közvetíti (receptor). Szakaguchi eltávolította a CD25+ sejteket a T sejtek közül, és csak a fehérjét *nem hordozó* sejteket juttatta be az állatokba. Drasztikus meglepetés érte: a gyógyítónak hitt sejtek szörnyű autoimmun betegségekre utaló tüneteket okoztak az állatokban. A CD25+ sejtek bejuttatása viszont azonnal véget vetett a betegségnek.

Az immunrendszer különböző sejtípusai, válaszlai gyakran gátolják egymás működését, ezért korábban is voltak, akik feltételezték, hogy vannak olyan sejtek, amelyek feladata az immunválasz fékezése, gátlása. De senki nem tudta korábban bizonyítani ilyen sejtek létezését. Tehát a CD4+CD25+ sejtek felfedezése mérföldkőnek számított a „veszélytelen saját” sejtek elleni immunválasz megakadályozásának – a „perifériás toleranciának” – a fenntartása szempontjából.

A különféle szőrszínű egerek hobbi tenyésztése évszázadok óta folyt, ezt később tudományos igénnyel folytatták genetikailag eltérő, beltenyésztett törzsek előállítására. Az egyik ilyen vonal, amit a múlt század ötvenes éveiben fedeztek fel, a *scurfy* (korpás)



A kitüntetettek: Szakaguchi Simon, Mary E. Brunkow, Fred Ramsdell



egy X kromoszómához kötött, recesszív, letális gént hordoz. Ez azt jelenti, hogy azok a hím állatok, amelyek a (tünetmentes) anyától a hibás gént hordozó X kromoszómát öröklik, fiatalon belepusztulnak a bennük kifejlődő, sokféle autoimmun betegség tüneteibe.

Mary E. Brunkow, Fred Ramsdell (és nyolc kollégájuk) 2001-ben közölt egy cikket, amelyben leírták, hogy genetikai finomterképezéssel azonosították azt a gént (*scurfin* vagy FoxP3), amelynek a működésképtelen mutációja okozza az egerek betegségét. Azt is kimutatták, hogy az egerek génje nagyon hasonlít az emberi FoxP3 génhez. A FoxP3 gén egy transzkripciósfaktort kódol, egy olyan fehérjét, amely más gének működésének szabályozója, és ezek – mint utóbb kiderült – a CD4+CD25+ szabályozó T sejtek (Treg) kialakulásában játszanak szerepet. A működőképes Treg sejtekben a FoxP3 génnek folyamatosan aktívnak kell lennie, ettől Treg a Treg.

Ezek a sejtek antigén-specifikusan működnek, tehát egy-egy fehérje egy bizonyos darabja (epitópja) ellen kialakuló pusztító immunválaszt képesek meggátolni. Tehát például az inzulinra, a béta-sejtekre specifikus Treg sejtek akadályozzák meg bennünk az egyes típusú cukorbetegség (T1D) kialakulását.

Sajnos emberben is van a Foxp3 génnek egy olyan mutációja, amely a *scurfy* egerekéhez hasonlít. Az IPEX szindróma (*Immunodysregulation, Polyendocrinopathy, Enteropathy, X-linked*) is csak fiúkban fordul elő (szerencsére nagyon ritka) és súlyos autoimmun tüneteket okoz.

A Treg sejtek egy része a csecsemőmirigyben keletkezik és szabályozó tulajdonságait tekintve meglehetősen stabil, ezek a természetes Tregok (nTreg). De a szövetekben (a periférián) előforduló CD4+ sejtek is képesek átalakulni indukált Treg sejtekké (iTreg), megfelelő jelmolekulák (TGF- β 1 és IL-2) és antigén jelenlétében, vagy tolerogén dendritikus sejtek (DC) hatására, ezek együttes hatása szükséges az egészséges tolerancia fenntartásáért.

A klinikai gyakorlatban óriási jelentőséggel bír a perifériás tolerancia mesterséges kialakítása (akár nTreg sejtek felszaporítása, akár indukálható Treg sejtek előállításával), hiszen ezzel önpusztító autoimmun betegségeket remélünk gyógyítani, megakadályozni az átültetett szervek kilökődését (az immunrendszer leállításával). Ugyanakkor a nem kívánt tolerancia megtörése is cél lehet. Ugyanis a tumorok mikro környezetében kialakuló feltételek időnként lehetővé teszik olyan iTreg sejtek kifejlődését, amelyek megvédik a rosszindulatú sejteket a támadó immunsejtekkel szemben, elősegítve a tumor terjedését. Ezek eltüntetése nagyban segítené a tumor elleni terápiák sikerét.

Az elmúlt negyedszázad a szabályozó T sejtek, a Tregok roppant nagy jelentőségének egyre újabb bizonyítékait tárta fel. A „perifériás tolerancia” felfedezése nem tavaly történt, Szakaguchi egy emberöltővel ezelőtt kísérletezett egereivel. Nem példa nélküli ez a „késés” a tudomány és a Nobel-díjak világában. Barbara McClintock negyven évvel a mobilis genetikai elemek felfedezése után részesült csak az elismerésben – ennyivel járt a tudomány előtt. Francis Peyton Rous 1911-ben fedezte fel a róla elnevezett tumorvírust, a Nobel-díjat 55 évvel (!) később ítelték neki – ennyi idő kellett ahhoz, hogy a szeméremdíj felfedezése, majd a tumorvírusok jelentőségét felmérje a tudomány. ●●●

A CHEMISTRY
EUROPE TAGJAI



Makk Péter, Csonka Szabolcs

■ BME Természettudományi Kar, Fizika Tanszék Budapest ■ makk.peter@ttk.bme.hu

A 2025. évi fizikai Nobel-díjról*

A 2025-ös fizikai Nobel-díjat három, a szupravezetéssel és kvantumszámítással foglalkozó fizikus kapta: John Clarke, Michel H. Devoret és John M. Martinis – az indoklás szerint a „makroszkopikus kvantumalagutazás és egy elektromos áramkörben lévő kvantált energiaszintek felfedezéséért”. Ebben a cikkben a Nobel-díjhoz kapcsolódó kutatásuk alapjait követjük nyomon.



John Clarke, Michel H. Devoret, John M. Martinis

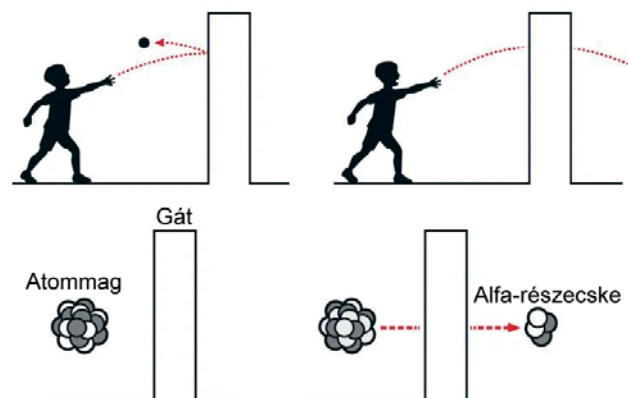
Tavaly ünnepeltük a kvantummechanika felfedezésének századik évfordulóját. A kvantummechanika első sikerei az atomok kvantált energiaszintjeinek megértéséhez köthetők. Ez áttörést hozott a fizikában, és a periódusos rendszer megértése mellett a szilárd anyagok számos tulajdonságának megértéséhez vitt közelebb minket. Ebben a száz évben hozzászoktunk a kvantummechanika furcsa koncepcióihoz, még ha a klasszikus fizikai gondolataink közé nehéz is ezeket beilleszteni. De a sok-sok kísérlet, amit az elmúlt száz évben végeztek, illetve a minket körülvevő elektronikai eszközök is a kvantummechanika helyességét igazolták. Elfogadtuk, hogy egy részecske lehet ún. szuperpozícióban, két vagy több állapotban is egyszerre, és csak egy mérési folyamat során dől el, hogy ezekből az állapotokból melyikbe kerül be meghatározott valószínűséggel.

Azt gondoltuk azonban, hogy a kvantummechanika csak az apró objektumok, például a részecskék és a molekulák világát írja le, makroszkopikus objektumok nem mutatnak kvantumos viselkedést. A kvantumos viselkedésnek – például egy szuperpozíció megőrzésének – feltétele, hogy a mikroszkopikus rendszert jól szeparáljuk a külvilágtól, mivel a részrendszerek közötti, illetve a környezettel való kölcsönhatás során a kvantumos viselkedés elveszhet. A „kétrés”-kísérletet sikerült elektronokkal és kisebb molekulákkal elvégezni, de makroszkopikus tárgyak, mondjuk,

egy focilabda interferenciáját még senki sem figyelte meg, mivel az ilyen makroszkopikus objektumok erősen kölcsönhatnak a környezettel.

A kvantummechanika egyik meglepő jelensége a kvantummechanikai alagutazás (**1. ábra**). A klasszikus fizika szerint akkor tud egy részecske áthaladni egy potenciálgáton, ha a kinetikus energiája nagyobb, mint a gáton áthaladáshoz szükséges potenciálisenergia-szükséglet. A kvantummechanika szerint azonban

1. ábra. Kvantumos alagutazás. A felső sor a klasszikus és a kvantumos potenciálgáton való szóródás különbségét mutatja, míg az alsó sor az alfa-bomlást szemlélteti (forrás: Nobel-bizottság)



* Eredeti megjelenés: Fizikai Szemle, 2025, 75(12), 427–430.



egy részecske akkor is át tud haladni a potenciálgáton valamilyen valószínűséggel, ha az energiája kisebb, mint a potenciálgát magassága. Az áthaladás általában kis esélyű folyamat, amelynek valószínűsége a potenciálgát magasságától és szélességétől is függ. Az alagutazás jelenségén alapul az STM (pásztázó alagútmikroszkóp), ahol egy nagyon hegyes tű és egy mintafelület között alagutaznak át az elektronok a vákuumon keresztül. Ezzel a módszerrel atomi felbontású képeket lehet készíteni vezető minták felületéről. Számítógépeinkben és mobiltelefonjainkban is jelen van ez az effektus. Az alagutazás a bennük található tranzisztorok működésében jelentős problémát is okoz: olyan vékony szigetelő rész választja el a különböző tartományokat az áramkörben, hogy ezen az elektronok alagutazással át is juthatnak (a kapu elektródából a csatornába). Végül egy utolsó példa az alagutazásra a radioaktív alfa-bomlás. Itt az atom vonzó potenciáljából tud kis valószínűséggel kialagutazni egy alfa-részecske, és itt az alagutazási valószínűség határozza meg a bomlási időt.

A 2025-ös díjazottaknak azonban egy kézzel fogható méretű szupravezető áramkörben sikerült kimutatniuk a kvantumos viselkedést, többek között az alagutazás jelenségét.

A szupravezetést 1911-ben fedezték fel, amiért a felfedezője, Heike Kamerlingh Onnes 1913-ban meg is kapta a fizikai Nobel-díjat. Mérései során azt mutatta meg, hogy bizonyos fémek ellenállása egy kritikus hőmérséklet alatt nullává válik, azaz úgy lehet rajtuk áramot áthajtani, hogy ehhez nem tartozik disszipáció. A szupravezetés megértéséért még három további Nobel-díjat osztottak ki (1972, 1973, 2003). A szupravezetőkben az elektromos vezetésben részt vevő elektronok párokba, ún. Cooper-párokbá rendeződnek. Ezeknek a pároknak a „feltöréséhez” extra energia szükséges, és kis energiával a szupravezetőkben nem hozhatók létre gerjesztett állapotok. Ezért is lehet relatíve jól elválasztani a szupravezető rendszereket a környezetüktől.

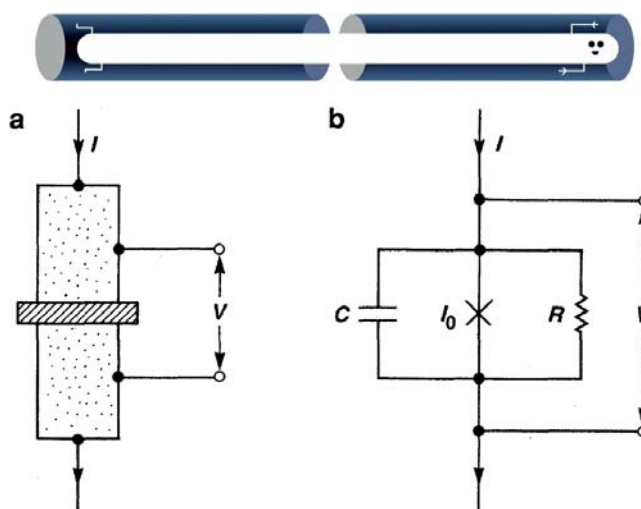
Egy makroszkopikus szupravezető mintában rengeteg elektronpár található (mondhatjuk nagyvonalúan, hogy $\sim 10^{23}$). Ennek a sok részecskének a kvantummechanikai kezelése lehetetlen feladatnak tűnik. Meghökkenítő módon azonban a szupravezetőkben az elektronpárok kollektív viselkedést mutatnak, „együtt mozognak”. Így a teljes rendszert leíró kvantummechanikai objektum, a hullámfüggvény egyetlen (térben akár változó) komplex számmal, egy amplitúdóval és egy fázissal írható le. Ez a fázis akkor válik fontossá, ha például két olyan szupravezetőt tekintünk, amelyet egy vékony szigetelő réteg választ el egymástól. Az így létrejött szupravezető alagútátmenetet Josephson-átmenetnek hívjuk, amelynek magyarázatáért Josephson kapta meg a Nobel-díjat 1973-ban. Arra számítanánk, hogy ha két szupravezetőt egy vékony szigetelő köt össze, akkor ezen keresztül nem folyik áram, de az elektronpárok nemcsak átalagutazni képesek a két szupravezető között, hanem még ellenállás sem tartozik ehhez a folyamathoz – a két szupravezető között is szuperáram folyik.

A Josephson-átmeneteken folyó áramot az ún. Josephson-egyenletekkel lehet jellemezni:

$$I = I_c \sin \varphi, \quad \frac{d\varphi}{dt} = \frac{2e}{\hbar} V,$$

ahol φ a két szupravezető elektróda fázisának különbsége, I_c az ún. kritikus áram, azaz a maximum áram, amit át lehet hajtani az átmeneten feszültségesés megjelenése nélkül. A második egyenlet azt mondja, hogy ha a fázis állandó, akkor nem jelenik meg feszültség az átmeneten, avagy fordítva: időben változó fázis esetén feszültség jelenik meg az átmeneten. A Josephson-átmenetek sok területen fontos szerepet töltenek be: fotondetektorok, jelen vannak a mágneses tér mérésében (ún. SQUID műszer),

a metrológiában (voltsztenderd), illetve a kvantumszámítógépekben, ahogy a cikk végén erre ki fogunk térni. A Josephson-átmenetekben általában két alumíniumréteget választ el egy vékony alumínium-oxid szigetelő (**2.a ábra**). Mivel a két fémréteg nagyon közel helyezkedik el egymáshoz, nem elhanyagolható



2. ábra. Josephson-átmenetek. A felső sor a kollektív állapotot jellemző kiterjedt hullámfüggvényt szemlélteti. Az alsó sor egy Josephson-átmenet egyszerűsített és összetettebb áramköri helyettesítő képét mutatja (forrás: Nobel-bizottság)

kapacitással is rendelkezik egy ilyen átmenet. Egy Josephson-átmenet elektronikai helyettesítő képe a **2.b ábrán** látható; a Josephson-egyenletekkel leírt átmenet mellett megjelenik egy párhuzamos kapacitás, illetve egy ellenállás is. Az utóbbi az I_c -nél nagyobb árammeghajtás esetén jellemzi az átmenet viselkedését. A csomóponti törvényt felírva, illetve a második Josephson-egyenletet használva differenciálegyenletet kapunk az átmeneten átfolyó áramra:

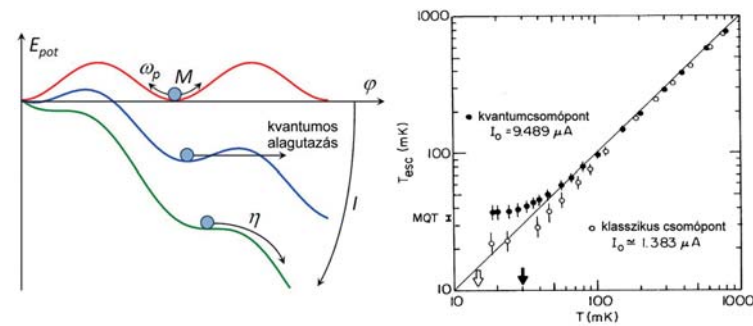
$$I = I_c \sin \varphi + \frac{2e}{\hbar} \frac{d\varphi}{dt} + C \frac{2e}{\hbar} \frac{d^2\varphi}{dt^2}$$

Ez az egyenlet egy potenciálban mozgó, súrlódó tömegpont egyenletével analóg, ahol a jobb oldal második tagja adja a súrlódást, illetve bevezethető az

$$U(\varphi, I) = \frac{\hbar I_c}{2e} \left(1 - \cos \varphi - \frac{I}{I_c} \varphi \right)$$

potenciál is. Ez a potenciál egy oszcilláló és egy lineáris függvény összege, amit a **3. ábrán** ábrázoltunk három különböző külső árammeghajtás esetében. Ha a „fázisrészecske” stacionárius állapotban van, azaz a fázis időben állandó, akkor a második Josephson-egyenlet szerint az átmeneten nem esik feszültség. Ez történik nulla külső árammeghajtás esetén (**3. ábra**, piros görbe), amikor is a részecske az egyik minimumban van. Ha a külső áramot növelni kezdjük, a potenciál megdől (kék görbe). $I = I_c$ esetén a potenciálban már nincsenek lokális minimumok, és a részecske le fog gurulni a potenciállejtőn (zöld görbe). A fázis ekkor változni fog, és a második Josephson-egyenlet szerint feszültség jelenik meg az átmeneten. A köztes helyzetben, például a kék görbe esetén a részecske a potenciálgödör alján van. Azonban ha a külső hőmérséklet elég nagy, termikus gerjesztéssel át tud jutni a potenciálhegyen, és ezt követően le fog csúszni a lejtőn – ha elegendően kicsi a súrlódás, hiszen nagy súrlódás esetén megrekedhet a következő minimumban.

Itt érkeztünk el a Nobel-díjas kísérlethez. A mérés során azt tanulmányozták, hogy egy enyhén megdöntött potenciálból mi-

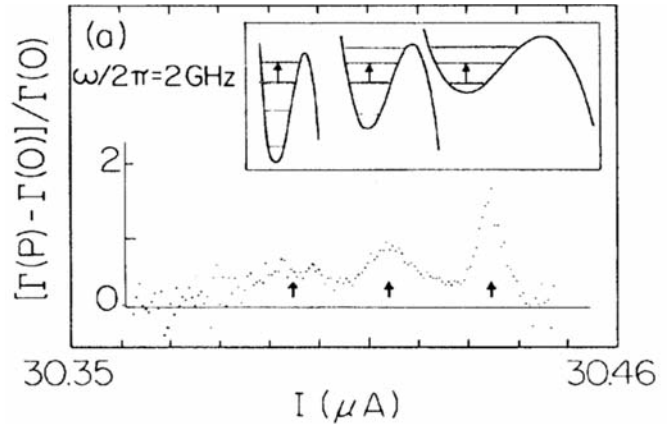


3. ábra. Balra: a potenciális energia a fázis függvényében egy Josephson-átmenetre, különböző áramú meghajtásokra. A fázis-részecskét a kék golyó szemlélteti. A kritikus áramnál kisebb meghajtás esetén a részecske alagutazással is kijuthat a potenciálgödörből. Jobbra: a kijutás gyakoriságát jellemző effektív hőmérséklet az áramkör valódi hőmérsékletének függvényében. Az effektív hőmérséklet alacsony hőmérsékletű platója a kvantumos alagutazás bizonyítéka (forrás: M. H. Devoret, et al., Phys. Rev. Lett., 1985, 55, 1908)

lyen valószínűséggel tud a részecske kiszabadulni. Ezt úgy vizsgálták, hogy az áramot lassan növelve azt az áramértéket keresték, amelynél nem nulla feszültség jelenik meg az átmeneten. A kísérletet többször elvégezve az átlagos kiszabadulási idő meghatározható (egy adott áramnál), és ebből egy T_{esc} effektív hőmérsékletet lehet meghatározni, amit különböző külső (valódi) hőmérsékletek mellett mértek meg (3. ábra, jobb oldal). Látható, hogy ahogy az áramkör hőmérsékletét csökkentették, a kijutás valószínűsége csökkent, és ezzel együtt az effektív hőmérséklet is, ami jó egyezést mutatott a hűtőrendszer hőmérsékletével. Ez egészen alacsony hőmérsékletekig igaz, ott azonban azt találták, hogy hiába hűtik tovább a mintát, az effektív hőmérséklet nem csökkent. Ennek az az oka, hogy ebben a tartományban már nem a termikus aktiváció, hanem a kvantumos alagutazás határozza meg a kiszabadulási rátát, amelynek a valószínűsége a hőmérséklettől független. Vegyük észre, hogy hasonlóan a korábban tárgyalt esethez, itt egy (fiktív) részecske próbál átjutni egy potenciálgáton, az átjutást a Josephson-átmeneten megjelenő feszültséggel lehet kimutatni. Itt azonban az alagutazás egy absztrakt térben történik, egy makroszkopikus áramkört leíró kvantumos mennyiség alagutazik át egy gáton. Ennek az alagutazásnak ugyanakkor a kézzelfogható méretű áramkörön jól megfigyelhető hatása van: az alagutazást megelőzően a szupravezető áramkörben megjelenik egy véges ellenállás.

Egy másik kísérletük a rendszer kvantumos természetének egy másik aspektusát is megmutatta. Ugyanis egy potenciálgödörbe zárt részecske esetén a potenciálgödörben kvantált energiaszintek jelennek meg (4. ábra). Itt is ez történik, a fázis-potenciálban kvantált energiaszintek jelennek meg, azaz a rendszer mesterséges atomként viselkedik. Így egy jól meghatározott frekvenciájú elektromágneses sugárzással besugározva az átmenetet a fázisrészecske egy magasabb energiájú állapotba gerjeszthető. A magasabb energiájú állapothoz nagyobb alagutazási valószínűség tartozik. Így az alagutazási eseményeket vizsgálva meghatározhatták a kvantált energiaszinteket.

A későbbi kísérletek során az is világossá vált, hogy a fázis mint a térbeli koordináta analógiája igen jó kép. Hasonlóan a kvantummechanikában ismert határozatlansági relációhoz, ami azt mondja meg, hogy egyidejűleg nem lehet tetszőleges pontos-



4. ábra. A potenciálgödörből való kiszökési ráta az áram-meghajtás függvényében (ami a potenciál alakját hangolja) 2 GHz-es besugárzás jelenlétében. A betétábrán az látható, hogy a sugárzás bizonyos áramok esetén a potenciálban átmeneteket tud gerjeszteni. A gerjesztés után a részecske „kisebb potenciálgátat” lát, és nagyobb rátával tud kialagutazni (forrás: John M. Martinis, et al., Phys. Rev. Lett., 1985, 55, 1543)

sággal meghatározni egy részecske pozícióját és impulzusát, egy szupravezetőnél a fázis és a részecskeszám (a Cooper-párok száma) tölt be hasonló szerepet.

A most Nobel-díjjal kitüntetett kísérletek komoly fejlesztéseket igényeltek. A méréseket millikelvines hőmérsékleten kellett végezni úgy, hogy mindenféle zavaró hőmérsékleti sugárzástól és egyéb zajforrástól megvédjék a rendszert. A lemenő kábelek zajszűrésére új eljárást dolgoztak ki (rézporos szűrők), amit ma is használnak a legtöbb kvantumtechnológiával foglalkozó laborban.

John Clarke, Michel H. Devoret és John M. Martinis eredményei messze túlmutatnak ezeken a kísérleteken. A Josephson-átmenetek a mai kvantumbitek egyik meghatározó platformja, a szupravezető qubitek alapjaivá váltak. Az egyik első kvantumbit-architektúra éppen a potenciálgödörben megjelenő kvantált energiaszintekből használta az alsó kettőt a kvantumbit létrehozására. Ezt fázisqubitnek nevezik. A későbbi qubitarchitektúrákban a Josephson-átmenetet más áramköri elemekkel is kiegészítették, például egy szupravezető szigettel vagy extra kapacitással vagy induktivitással. Ezekről a *Fizikai Szemle* 2025/7–8. tematikus számában lehet részletesen olvasni. Ezek a qubitek hatalmas fejlődésen mentek keresztül, és ma már a nagy techcégek (Google, IBM stb.) a terület vezetői. Az idei díjazottak közül Martinis és Devoret is a Google kvantumos kutatásaiban dolgozott, illetve dolgozik kiemelkedő szereplőként.

A kvantumtechnológiai kutatások Magyarországon is aktívak. A BME Kvantumelektronika Csoportja – melynek vezetői a jelen cikk szerzői – vizsgált például olyan Josephson-átmeneteket, ahol egy grafénréteg adja az átmenetet a két szupravezető közt, és itt is megfigyelték a makroszkopikus kvantumos alagutazás jelenségét. A Josephson-átmenetekhez hasonlóan viselkednek a vékony szupravezető vezeték is, ahol szintén megfigyeltük a kvantumos alagutazást (*ACS Nano*, 2023, 17, 5528). Ezekről a kutatásokról is a *Fizikai Szemle* 2025/7–8. számában lehet olvasni.

A BME Fizikai Intézete immáron sokadik éve rendezi meg a Nobel-díjas kísérletek szakkörét (<https://felvi.ttk.bme.hu/hu/nobeldijas>), ahol például a szupravezetés jelenségét is lehet vizsgálni. Ezekre az alkalmakra szeretettel várunk minden középiskolást! ●●●



Kutatóként meg kell őriznünk a kíváncsiságot

Beszélgetés Samu Gergely Polányi-díjas egyetemi adjunktussal

Az elmúlt év szép sikereket hozott az életedben. Előbb Akadémiai Ifjúsági Díjjal jutalmaztak, majd az MTA Kémia Tudományok Osztályának Fizikai Kémiai Bizottsága a közelmúltban a Polányi-díj ifjúsági fokozatát ítélte neked. A kiemelkedő teljesítményért, úgy tűnik, még ma is megfelelő elismerés jár. Mit fűznél hozzá ehhez a ténybeli közléshez?

A kutatási témából írt pályamunkára odaírt Akadémiai Ifjúsági Díj, míg a Polányi-Díj esetében a Fizikai Kémiai Bizottság felterjesztése nagy megtiszteltetés. Azt sugallják, hogy a számomra fontos tudományterületet mások is elismerik és hogy egy kutatói közösség támogatását is magam mögött tudhatom. Megerősítik bennem, hogy jó irányba haladok.

A 2018-ban elfogadott PhD-értekezésed, amely a fém-halogenid perovszkit kristályrácsú félvezetők spektroelektrokémiai vizsgálatát és alkalmazását tárgyalja, nagy figyelmet keltett a tudományos közvéleményben. Az értekezés alapján megjelent közlemények a mai napig több száz hivatkozást kaptak. Ismertetné röviden az értekezés lényegét?

Doktori kutatómunkám során egy akkoriban még csak kibontakozó anyagcsalád, a szerves-szervetlen ólom-halogenidek (elektro)kémiaiájának feltérképezésébe kapcsolódhattam be. Ezek az anyagok rendkívül ígéretes fényelnyelő anyagként robbantak be a tudományos köztudatba, így mi is szeretnénk volna az anyagcsaládot fotoelektrokémiai folyamatokban hasznosítani. A kutatómunka első három éve viszont elég kevés sikeres kísérlettel zárult ezen a területen. Ugyanis az anyagcsaláddal való munka nem éppen triviális, mert az ide tartozó anyagok nagyon érzékenyek az előállítási és környezeti körülményekre.

Ezért egészen Amerikáig (University of Notre Dame, Prashant Kamat professzor) kellett utaznom, hogy megtanuljak velük dolgozni. Az itt töltött fél év alatt megtanultam, hogyan kell az anyagcsalád képviselőiből napelemeket készíteni, illetve elektrokémiai protokollt dolgoztunk ki a megbízható elektrokémiai kísérletekre. Ez vezetett ahhoz, hogy ötvözzünk egy ultragyors lézeres technikát (tranzien abszorpciós spektroszkópia) különböző elektrokémiai módszerekkel, hogy ezeket az anyagokat elektrokémiai kontroll alatt tudjuk vizsgálni. A kint töltött fél év tudományosan az egyik legmeghatározóbb időszaka volt életemnek, az ekkor született eredményekből írtam meg a doktori dolgozatomat. Ez a munka az alapja azoknak a kutatásoknak, amelyeket ma az SZTE és az ELI ALPS lézeres kutatóintézetben folytatok.

A perovszkitokról egy frissen végzett kémikus annyit tudhat, hogy a magas hőmérsékletű szupravezetők alap rács típusa. A tájéko-



zottabbak arról is hallhattak, hogy a napelemekhez is közük van. Ez eddig nem sok. Csak a leg-tájékozottabbak olvashattak arról, hogy egyes módosított perovszkitok az egyik legjobb (a 20%-ot is meghaladó) hatásfokkal képesek a napfényt elektromos árammá alakítani. Kutatásaidban a módosított perovszkitalapú félvezetők visszatérőleg fontos szerepet kapnak. Megvilágítanád ezek sokoldalú fotoelektrokémiai alkalmazhatóságának lehetőségét és vizsgálataitok tárgyát? Ez jelenti fő kutatási témádat?

Ezeknek az anyagoknak a fotoelektrokémiai hasznosíthatósága jelenleg még gyerekcipőben jár. Az anyagok rendkívüli érzékenysége sokakat eltántorít attól, hogy fotoelektrokémiai reakciókban tanulmányozza az anyagcsalád képviselőit. Csupán pár éve jelentek meg az első olyan ígéretes módszerek, ahol különböző védőrétegek és passziválási stratégiák segítségével vizes közegben is stabilan működethető fotoelektrodok hozhatóak létre. Ezek a módszerek akarva-akaratlanul újabb határfelületeket generálnak. Az ezeken történő töltésátlépés kinetikája és a határfelület termodinamikai jellemzői pedig kulcsfontosságúak a fotoelektrodok (vagy napelemek) hatékonysága és stabilitása szempontjából. Tovább bonyolítja a képet, ha külső elektromos tér használatára is sor kerül. Ezért jelenleg kutatási fókuszként ezen anyagok esetén a töltéskinyerő anyagokkal kialakított határfelületek termodinamikai és kinetikai jellemzői közötti összefüggések feltárásával foglalkozom. Az utóbbi időben ezért különösen a fotofizikai sajátosságok megértésére fókuszálok, hogy pontosabban meg tudjuk határozni a töltésátlépés sebességét a határfelületeken.

Újabb közleményeid jegyzékét átfutva feltűnt azok téma szerinti és szerzői sokszínűsége. Ez nem túl gyakori egy viszonylag fiatal kutató esetén, bár nekem tetszik. Hogyan alakul ez a nyitottság az együttműködésre? Te keresed a kapcsolódási pontokat más kutatási témákhoz, vagy inkább téged keresnek meg megoldandó kérdésekkel?

Eddig jellemzően maguktól találtak meg a partnerségek, amelyek eleinte kisebb kémiai problémák megoldására irányultak. Én csupán az elmúlt években kezdtem el tudatosabban építeni a kapcsolatokat, ahol nagyobb volumenű kémiai/fizikai kérdéskörök megoldásával foglalkozunk. Ennek ellenére minden együttműködésemet úgy kezeltem, hogy egy közös probléma vagy kérdés megválaszolásába vontak be, így mindig jobban elmélyedek a témákban, mint az elvárt lenne. Ezzel a hozzáállással eddig sikerült többször is szinergikus együttműködésekben részt vennem, ahol a közös munka sokkal több lett, mint az egyedi részfeladatok összessége. Ennek az érdeklődésnek az ELI ALPS kuta-



Az SZTE MAKT tanszékén alakuló kutatócsoport tagjaival

tóintézetben is hasznát veszem, ahol eddig több, a komfortzónámon kívül eső projektet is volt szerencsém megismerni. Minden projektből sokat tanultam – nemcsak új technikákat, hanem szemléletet is.

Hogyan sikerül egy ilyen eredményes kutatási tevékenységet folytató fiatalnak összhangot találnia a kutatás és az egyetemi alapfeladat, az ismeretátadás, az oktatás között?

Szerencsére mindig is szerettem oktatni, így maga az oktatás/tevékenység nekem nem okoz nehézséget. Már egyetemi hallgatóként volt lehetőségem laborok tartásába bekapcsolódni, amit sosem éreztem tehernek. Szerintem ez rendkívül fontos kötelesség, amit nem szabad félvállról venni, ugyanis a jövő kémikusainak boldogulása múlik rajta. Ez az ismeretátadás a mesterséges intelligencia térhódításával egyre fontosabbá válik, ahol a kritikus gondolkodás szerepe egyre inkább elengedhetetlen lesz. Úgy érzem, az oktatás és a kutatás kölcsönösen erősítik egymást: a hallgatók kérdései sokszor új kutatási ötleteket inspirálnak.

Meglehetősen sok megoldatlan tudományos kérdés halmozódott fel napjainkra, melyek sürgős cselekvést igényelnek. Ezért is érdekel az, hogy a felelősen gondolkodó fiatal kollegák hogyan vélekednek ezekről a kérdésekről. Ugyan nem ők idézték ezeket elő, de a megoldásuk jelentős mértékben a részvételükkel kell megtörténjen. Szeretném, ha néhány ilyen kérdéstről röviden, néhány mondatban elmondanád a véleményed: i) klímaváltság, ii) energiagazdálkodás, iii) az MTA, illetve a tudományos kutatás függetlensége, iv) az elektromos autózás dominanciája.

Az általad felvázolt témák valóban korunk legnagyobb kihívásai közé tartoznak (így megoldásokkal nem is fogok tudni szolgálni). Úgy látom, hogy ezekben a döntéshozatal már nem is mindig tudományos alapon történik, ráadásul valódi társadalmi egyetértés nélkül nehéz bármiféle előrelépést elérni. A megoldások többsége pedig sokszor elvár bizonyos társadalmi alkalmazkodást is, ami szerintem vagy nincs megfelelően kommunikálva, vagy pedig nem realisztikus elvárásként jelenik meg. Ennek következtében az emberek többsége vagy elutasító, vagy épp kritikátlanul lelkes valamelyik technológiai irány iránt.

A saját szerepemet abban látom, hogy közvetlen környezetemmel megismertessem a tudományos szemléletmódot és kiálljak az áltudományos vagy szándékosan félrevezető állítások ellen. Jelenleg az a tapasztalom, hogy nehéz eligazodni a sok, egymásnak

ellentmondó információ között, és ez még inkább rámutat arra, mennyire fontos a tudományos gondolkodásmód fejlesztése. Kutatóként abban hiszek, hogy az oktatás és a kritikus gondolkodás fejlesztése a legfontosabb hosszú távú válasz: ez alapozza meg, hogy a jövő generációi már tudatosabban döntsenek.

Szeged, a Szegedi Tudományegyetem. Hogy érzed magad a városban az egyetemen? Az ember egyrészt kötődik egy városhoz, egy közösséghez, másrészt az akadémiai pályán dolgozó ember számára a mobilitás is fontos. Új ismeretekkel kell gyarapodnia, új kutatókkal kell megismerkednie, ehhez óhatatlanul új helyekre kell eljutnia még az internet világában is. Mi erről a véleményed?

Kutatóként nagyon fontos, hogy időnként ki lehessen kapcsolódni. Szegedet azért is szeretem, mert ideális méretű város, ahol kiváló a kutatási infrastruktúra és a kikapcsolódás lehetősége is adott. A külföldi útjaimról csak pozitívan tudok nyilatkozni. A kutatói pályafutásom során három alkalommal egyenként hat hónapot töltöttem külföldön. Ezekben az időszakokban sokat fejlődött a szemléletmódom és a problémamegoldó képességem. Az idegen környezetben felmerülő új kutatási feladat olyan önállóságra nevelt, amit nem (vagy csak sokkal lassabban) tanultam volna meg itthon, ha nem vállaltam volna be a külföldi kiutakat. Ezenfelül számos protokollt és labortrükköt sajátítottam el, amelyek megtapasztalása rendkívül sok időt emésztett volna fel. Elengedhetetlennek tartom egy kutató életében, hogy új helyeken próbálja ki magát.

Már eddig is megfordultál több külföldi kutatóhelyen; az ott szerzett tudást, tapasztalatokat hogyan próbálsz meg beépíteni itt-hon a saját csoportod munkájába?

Az ELI ALPS „Kémiai Dinamika Kutatócsoport” tagjaival





Igyekszem minden tanult módszert beépíteni a Kémiai Intézet és a csoportom mindennapi munkájába. Ezek jellemzően anyagtudományi módszerekhez köthetők, amelyek elengedhetetlenek a csoportban előállított anyagok jellemzéséhez. Így röntgendiffrakciós mintázatok vagy röntgen-fotoelektron spektrumok illesztését is rutinszerűen végezzük. Mostanra kiépítettük a csoportban a fém-halogenid perovszkitok vékonyrétegek vagy nanokristályok formájában történő kialakításához szükséges elrendezéseket is. Hangsúlyt fektetek arra is, hogy a velem együtt dolgozók megtanulják értelmezni a szakirodalmat, így igyekszem meghonosítani a cikk-klubot, ahol egy választott közleményt beszélünk át közösen.

Érdeklődhetek a magánélet örömeiről, gondjairól? Egy harmincas éveiben járó fiatal kutató mennyire tud nyugodt, küzdelmekkel mérsékelttel terhelt életet élni ma Magyarországon?

Augusztusban született meg első gyermekem (Sára), aki már ez alatt a pár hónap alatt nagyon sok örömteli pillanatot hozott az életünkbe. Nem könnyű hozzászokni a megváltozott életritmushoz (és az ezzel járó új időbeosztáshoz), de szerencsére nagyon sok támogatást kapunk mind a családjainktól, mind a közvetlen környezetünkötől. A lányom érdeklődő, kíváncsi tekintete minden nehézséget kárpótolt – és emlékeztet rá, hogy kutatóként nekünk is meg kell őriznünk ezt a kíváncsiságot.

Kívánom, hogy ez a nyitottság, a környezetemben sok fiatalnál fellelhető szakmai elhivatottság, a jövőnkért érzett érzékenység és felelős gondolkodásmód maradjon meg: akkor sokáig folytatható ez a sikeresen indult pálya. Sok szerencsét!

Kiss Tamás

Ziegler Ildikó

Meghatalmazott személyek 50 éve a gyógyszeripari minőségügy szolgálatában

2025-ben ünnepeltük a meghatalmazott személy (Qualified Person, QP) gyógyszeripari működésének 50. évfordulóját, ami a 75/319/EGK irányelv [1] elfogadásával 1975-ben valósult meg az akkori Európai Gazdasági Közösségben. A QP jogilag felelős szerepkör, a gyógyszerkészítmények minden egyes tételének forgalomba hozatala előtti tanúsításáért és felszabadításáért felelve biztosítja, hogy a készítményeket szigorú minőségi előírásoknak megfelelően gyártották. Mindezeket átgondolva érthető, hogy a meghatalmazott személy általi tételfelszabadítás jogi aktus, ami során a meghatalmazott személy büntetőjogi és polgári felelősséget vállal az általa felszabadított tételekért. Ahhoz, hogy ezt a szerepkört elláthassa, megfelelő előképzettségre, komoly szakmai tapasztalatra, valamint a gyártóhely és minőségügyének átfogó ismeretére van szüksége.

Az EudraLex 4. kötete [2] és az ehhez kapcsolódó (nagy számú) útmutató tartalmazza a gyógyszeripari minőségügyre vonatkozó előírásokat, melyeket együttesen „helyes gyártási gyakorlat”-nak (Good Manufacturing Practice, EU GMP) hívunk. Az előírások célja, hogy betartásukkal a gyógyszer biztonságát, minőségét és hatásosságát biztosítsa a gyártó, és végső soron a forgalomba ho-

zatali engedély jogosultja (Marketing Authorization Holder, MAH), aki mindezekért felel.

Keveset beszélünk arról, hogy általában a minőségügy interdiszciplináris terület, ami magában foglal több tudományterületről szerzett ismereteket és elveket. Különösen azért érdekes ezt átgondolnunk, mert a minőségügy majd minden iparágban megtalálható, az iparági sajátosságoknak megfelelően. Mely tudományterületek járulnak hozzá a minőségügy működéséhez?

a) Természettudományok/alkalmazott tudományok

Ez különösen igaz a gyógyszeriparban vagy az élelmiszeriparban, ahol a termékminőség közvetlenül a fizikai, kémiai, biológiai paraméterektől függ. A minőségbiztosítás és minőség-ellenőrzés ezekben az iparágakban szerves kémiai, analitikai kémiai, mikrobiológiai és biotechnológiai alapokon nyugszik.

b) Mérnöki tudományok (Engineering Sciences)

A minőségbiztosítás alapvetően rendszerszemléletű mérnöki megközelítés, amely a folyamatok tervezésével, szabályozásával és fejlesztésével foglalkozik. Ehhez kapcsolódnak az ipari mérnöki tudományok, gyártástechnológia, rendszer-mérnökség, folyamat-mérnökség. Példaként sokaknak ismerős lehet a Six Sigma statisztikai folyamatirányítás (Statistical Process Control, SPC), folyamatoptimalizálás (rész)területe.

c) Menedzsment- és közgazdaság-tudományok

A minőségbiztosítás része a szervezeti működésnek és működtetésnek. Ide tartoznak a minőségirányítási rendszerek (Quality Management System), például az ISO 9001, ISO 13485, GMP (EU GMP 1. fejezet és ICH Q10 szerinti) rendszer. A minőségügy foglalkozik folyamatfejlesztéssel, folyamat- és rendszeroptimalizá-





lással, kockázatmenedzsmenttel, valamint az emberi tényezőkkel is (kultúra, motiváció, tréning).

d) Statisztika és adattudomány (Statistics & Data Science)

A minőségbiztosítás egyik alapja az adatokra támaszkodó döntéshozatal. Ide tartozik a folyamatképesség vizsgálata, a trendanalízis, a hibaarány-elemzés, a validálási statisztika, a stabilitásvizsgálati adatok értékelése és még sok más. A modern minőségbiztosítás egyre inkább kapcsolódik az adatvezérelt minőségirányításhoz és ma már a gépi tanulás alkalmazásához is.

e) Jogtudomány/szabályozástudomány

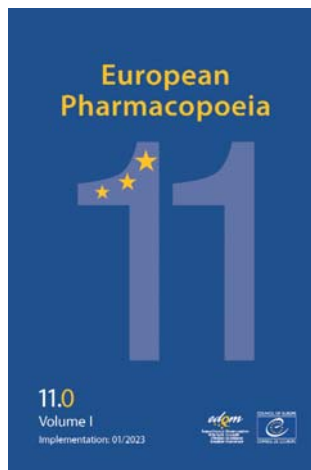
Valójában a hatóság működése is már törvényi alapokon nyugszik, amely felhatalmazást ad a hatóságnak, hogy ellássa feladatait: a gyártók/piac felügyeletét és a közellátás biztosítását. Különösen az erősen szabályozott iparágakban (pl. gyógyszeripar, orvostechnika) a gyártói minőségügy szorosan kapcsolódik a jogszabályi megfeleléshez. Ide tartoznak a GMP és más helyes gyakorlatok (együttesen GxP). A minőségbiztosítás itt kvázi „jogi végrehajtó” szerepet is betölt a megfelelés garantálásával.

f) Viselkedés- és társadalomtudományok

A minőségkultúra fejlesztése, a hibamentes viselkedés ösztönzése (vagy legalább a törekvés erre) és a tanuló szervezet kialakítása pszichológiai és szervezeti viselkedéstani alapokon nyugszik. Kiemelkedő szerepe van a szervezeti kultúrának abban, hogyan tudja a gyártó a minőségügyi rendszert a való életben üzemeltetni. Egy szervezet fejlettségét a folyamatai határozzák meg. Óriási jelentősége van a felsővezetés minőségügyhöz (és más szabályozott területekhez, pl. munka- és egészségvédelemhez, környezetvédelemhez stb.) való hozzáállásának, ami alapvetően meghatározza a szervezet működését. Kulcsfogalmak: felelősségvállalás, tanulás hibákból, bizalom, kommunikáció.

A korábban Európai Gazdasági Közösségként ismert unió mindössze kilenc tagállamból állt. Később, öt évtized során a tagság előbb 28-ra bővült, majd napjainkra 27 tagállamra módosult. A témával kapcsolatban további három EGT-államot is érdemes figyelembe venni. Minden újonnan csatlakozó országnak saját, a gyógyszeriparon belüli minőségbiztosítási felelősségmegosztásra vonatkozó hagyományai voltak. A meghatalmazott személy intézménye minden tag számára újdonságnak számított. Ez magyarázza, hogy a QP szerepének különböző gyakorlatát és nemzeti szintű változatait tapasztalhatjuk a tagállamok jogalkotásában. Egyes csatlakozó országok korábban még gyártási engedéllyel sem rendelkeztek, amelynek léte a meghatalmazott személy működésének egyik alapfeltétele [3].

1975-ben a gyógyszeripari vállalatoknál még csak ritkán léteztek kidolgozott minőségbiztosítási rendszerek, hiszen az ICH Q10 és az EU GMP 1. fejezet akkor még nem volt ismert [4,5]. De mit is jelentett akkoriban a GMP fogalma? A WHO már az 1960-as években megalkotta a GMP-követelményeket, amelyeket az 1970-es években a PIC – akkor még kizárólag európai szervezet, ami az összes EFTA-országot magába foglalta – tovább finomított. Az első EK GMP útmutató 1989-ben látott napvilágot, és az alapelveit 1991-ben két irányelv rögzítette. A GMP betartatása csak 1989-től vált kifejezetten a meghatalmazott személy felelősségévé a készítménygyártásban. Ezt megelőzően feladata egyszerűen a hatályos nemzeti jogszabályoknak való megfelelés biztosítása volt, amelyek tartalmazhattak GMP-előírásokat, de nem feltétlenül [3].



A gyógyszerekre vonatkozó jogi előírások kettőzött formában először a 91/356/EGK [6] és a 91/412/EGK [7] irányelvben jelentek meg, amelyek külön-külön határozták meg az emberi, illetve az állatgyógyászati készítmények GMP-elveit. A jogalkotók azonban akkoriban kellő bölcsességgel ismerték fel, hogy nem lehetnek eltérések a két terület között, ezért mindkét irányelvet azonos szövegezéssel adták ki. Az utóbbi években azonban tendencia figyelhető meg e korábbi összhang felbomlásának irányába.

A gyógyszerkönyvek (gyógyszeralapanyagokra és -készítményekre vonatkozó szabványgyűjtemény) – köztük az Európai Gyógyszerkönyv – már 1975-ben is létezett, bár még korlátozott tartalommal. A kiindulási anyagokra és késztermékekre vonatkozó vizsgálati előírásoknak való megfelelés általában elegendőnek számított a minőség és a felhasználhatóság igazolására. A lejárati idő megállapítása, illetve a stabilitási vizsgálatok és elemzések szabályai azonban ekkor még nem voltak összehangolva.

Noha már akkor is léteztek globális vállalatok, a gyógyszer-gyártók jellemzően egyetlen helyszínen működtek, és általában egy adott földrajzi régió számára biztosították a teljes, integrált gyártási tevékenységet. Bár az importot kezdettől fogva gyártási műveletként ismerték el az Európai Közösségben, ez inkább kivételnek számított, mint általános gyakorlatnak. A globalizációt akkoriban túlságosan bonyolultnak ítélték a számtalan nemzeti előírásnak való megfelelés miatt. A kiszervezés szintén ritka jelenség volt. Szerializációs rendszer pedig még nem létezett, így a csomagolási folyamatokat sem terhelte további komplexitás.

A korábbi gyógyszerkészítmények jellemzően kémiai jól meghatározott hatóanyagokat (Active Pharmaceutical Ingredient, API) tartalmaztak, vagy növényi eredetűek voltak. Az 1990-es években jelentek meg a biotechnológiai gyártási módszerek, amelyek új szemléletet (új technológiát!) hoztak a gyógyszerfejlesztésbe. Napjainkra a biotechnológia széles körben alkalmazottá vált. Az elmúlt évtizedben pedig a fejlett terápiás gyógyszerkészítmények (Advanced Therapy Medicinal Product, ATMPs) területe kezdett erőteljesen kibontakozni. Emellett egyre hangsúlyosabb terület a gyógyszerek és orvostechnikai eszközök kombinációja, amely általában tovább növeli a megfelelés és a minőségellenőrzés összetettségét.





1975-ben a törzskönyvezési tevékenységek jellemzően nemzeti szinten zajlottak, és csak korlátozottan vagy egyáltalán nem voltak harmonizálva az egyes országok között – még az EGK tagállamai sem követtek egységes megközelítést. Bár a forgalomba hozatali engedélyezés összehangolására irányuló első próbálkozások már az 1960-as években megjelentek, az 1970-es évekre kialakult a kölcsönös elismerés koncepciója. A központosított engedélyezési rendszer pedig végül 1995-ben vált valósággá az Európai Gyógyszerügynökség (European Medicines Agency, EMA) létrejöttével. A Nemzetközi Harmonizációs Tanácshoz (International Council for Harmonisation, ICH) hasonló szélesebb körű nemzetközi kezdeményezések az 1990-es évektől kezdve segítettek elő a harmonizációt (az országonként eltérő GMP-előírások összehangolását). A generikus gyógyszerek vagy a párhuzamos kereskedelem 1975-ben még gyakorlatilag nem létezett vagy legalábbis nem bírt jelentőséggel [3].

1975-ben a kockázatkezelés nagyrészt informális jellegű és strukturálatlan volt. A kockázatkezelés mai, modern megközelítése fokozatosan terjedt el, és gyakorlati alkalmazása sem mindig hatékony. Ekkor a hamisítás kockázatával sem foglalkoztak. Figyelembe véve azonban, hogy mára milyen komplex vállalati struktúrák, ellátási láncok stb. alakultak ki, érthető, hogy a kockázatkezelés a gyógyszeripar minden területén széles körben alkalmazott gyakorlattá vált. Döntéshozatali támogató eszközként a fejlesztéstől a gyártáson át a forgalmazásig a legkülönbözőbb helyzetekben alkalmazást nyertek ezek a technikák. A modern minőségügyi rendszerek szerves részeként a kockázatok azonosítása és kezelése segíti a biztonságos és megbízható gyógyszerellátást.

Amikor a QP jogi hátterét a 75/319/EGK irányelv [1] megalapozta, ennek képesítési feltételeit egyértelműen olyan tudományos tantárgyakra hivatkozva határozták meg, amelyek jellemzően a gyógyszerészképzés egyetemi tananyagában szerepelnek. Mivel az egyes tagállamokban eltérő akadémiai környezet és oktatási rendszer alakult ki, a képesítési követelményeket nem konkrét diplomához, hanem meghatározott tudományos témakörökben való jártassághoz köthették. Ennek eredményeként a szerepkör általában többféle természettudományi vagy orvosi szakterület képviselői előtt nyitva állt. A 2001/83/EK irányelv [8]

változtatlanul átvette azt, amit 26 évvel korábban már meghatároztak [3].

A magyar jogrendben 44/2005. (X. 19.) EüM rendelet [9] írja elő az emberi alkalmazásra kerülő gyógyszerek gyártásának személyi és tárgyi feltételeit, ami alapján gyógyszerész alapképzettség és az adott gyártó gyártástechnológiájában megszerzett szakmai tapasztalat szükséges ahhoz, hogy a hatóság a meghatalmazott személyt kinevezze. Ugyanis QP csak a gyártó gyártási engedélyében bejegyzett, hatósági engedéllyel rendelkező személy lehet. Meg kell itt említeni, hogy az állatgyógyászatban a természettudományos végzettség és a megfelelő szakmai tapasztalat megléte a kívánalom. Ennek oka, hogy a QP képzési követelményeiben jelentős változást vezetett be 2019-ben a 2019/6/EU rendelet [10], amely az állatgyógyászati készítményekre vonatkozó QP-követelményeket külön határozta meg.

A gyógyszeripar számára az EU GMP 16. melléklete szabályozza, hogyan kell az EU-ban a QP által végzett tanúsítást és gyártási tétel (batch) felszabadítást elvégezni olyan humán vagy állatgyógyászati gyógyszerek esetében, amelyek forgalomba hozatali engedéllyel (Marketing Authorization, MA) rendelkeznek. Az alapelvek érvényesek a klinikai vizsgálati készítményekre (Investigational Medicinal Product, IMP) is, figyelembe véve az ide vonatkozó eltérő jogszabályokat és specifikus előírásokat is.

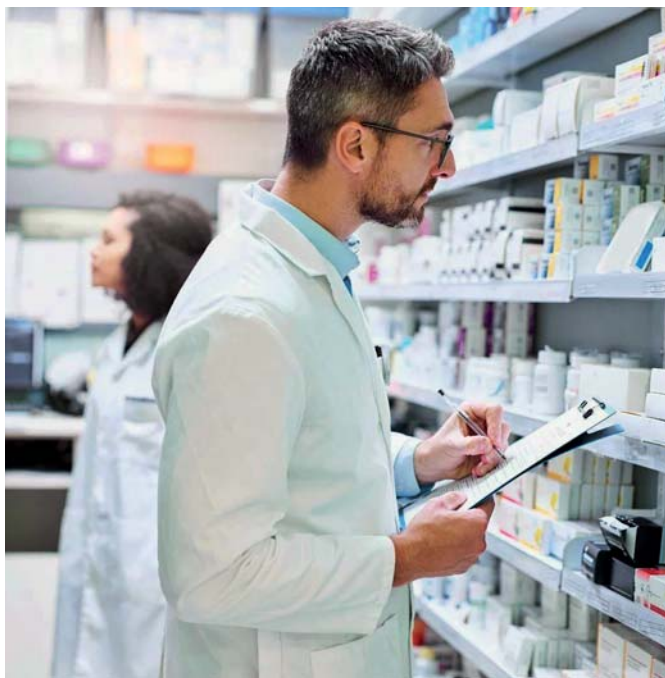
Az EU gyógyszergyártásra vonatkozó jogszabályainak következő jelentős fejleménye a COM/2023/192-es végrehajtási rendelet [11] elfogadása volt (amely 2025. májusi tervezetként elérhető), és amiben javaslatot tesznek a tudományos egyetemi képzés alapfőkövetelményeire vonatkozó követelmények néhány módosítására.

Az elmúlt 50 évben sok minden megváltozott, ezért fontos figyelembe venni a globális folyamatokat, trendeket és a jövőre vonatkozó előrejelzéseket. Felmerül a kérdés: a jövőben is szükség lesz-e a QP szerepére, és vajon ez a szerepkör fejlődhet-e a környezetünkben lezajlott markáns változásoknak megfelelően.

Alapvetően a GMP-rendszerekben a QP nem csupán a tételfelszabadítás pillanatában jelenik meg, hanem részese az egész gyógyszeripari minőségügyi rendszer működésének. Részt vesz a minőségügyi döntéshozatalban, hozzájárul az eltérések (Deviation) kivizsgálásához, majd siker esetén el is fogadja azt, jóváhagyja a javító és megelőző intézkedések (Corrective Action Preventive Action, CAPA) tervét, értékeli az éves termékminőségi áttekintéseket (Product Quality Review, PQR), felügyeli az adatintegritás és a nyers adatok tárolásának megfelelőségét, hogy csak néhány funkciót említsünk. Így a QP a gyártóhely minőségkultúrájának egyik aktív formálójává is.

Manapság a meghatalmazott személy akár távol is lehet a gyártási tevékenységek helyszínétől, noha az importáló telephelynek továbbra is rendelkeznie kell import gyártási engedéllyel. Egyre gyakrabban merülnek fel az online tanúsítás és a távauditálás kérdései, amelyek az utóbbi időszak meghatározó témái. Mindez azzal a kockázattal járhat, hogy a meghatalmazott személy fokozatosan eltávolodik a folyamatoktól és a műveletekben való közvetlen részvételtől. A gyártási műveletek ráadásul robotizálhatók, illetve megfelelő technológia (barrier technology) vagy más összetett megoldások révén teljesen el is szigetelhetők az emberi hozzáféréstől.

A 21. század globalizált és digitalizált gyógyszeriparában a QP már olyan komplex folyamatok felett gyakorol felügyeletet, amelyek gyakran több országot, több vállalatot és több technológiai platformot érintenek. Az ellátási lánc sokszereplős rendszerre vált, és ez a QP felelősségét és feladatait is jelentősen kibővítette. A QP továbbra is a betegbiztonság legfelső szintű felelőse. A mo-





dern üzleti és technológiai környezetben ez a szerep még hangsúlyosabb lett, mert a gyártási lánc töredezetté vált a kiszervezett tevékenységek elterjedésével, a termékfejlesztés és -gyártás gyakran országokon átívelő együttműködésben történik, és így a kockázatok egy része már nem a gyártóhelyen, hanem a beszállítói láncban vagy a logisztikában jelentkezik. A QP feladata az ilyen üzleti környezetben nem csupán az egyes tételek megfelelőségének tanúsítása, hanem az is, hogy rendszerszinten felismerje és kezelje a betegre leselkedő rejtett kockázatokat.

Így a QP-nak meghatározó szerepe van az ellátási lánc felügyeletében. Amikor a hatóanyagok, segédanyagok, csomagolóanyagok és akár a gyártási lépések egy/nagy része külső partnereknél történik, a QP felelőssége sokrétű. Ellenőrzi, hogy minden beszállító minősített-e, áttekinti az auditok eredményeit, értékeli a beszállítók GMP-megfelelőségét, és szükség esetén a gyártóhely auditálását kezdeményezi. Mindebből megérthetjük, hogy a modern QP-nek globális látókörrrel kell rendelkeznie, mivel az auditok és beszállítók a világ különböző pontjain találhatók.

Amennyiben a gyógyszergyártó kiszervezett termékfejlesztést is végez, partnerei szerződéses fejlesztők, gyártók (Contract Development and Manufacturing Organization, CDMO). A QP felelőssége ilyenkor hasonló az ellátási láncnál leírtakhoz: értékeli, hogy a CDMO folyamatai megfelelnek-e a gyártó engedélyének, szavatolja, hogy a kiszervezett tevékenység során a GMP-követelmények sértetlenül érvényesülnek, és ami különösen fontos, biztosítja az adatintegritást és a technológiai transzfer megfelelőségét. A QP sokszor hídként köti össze a megbízót és a gyártót. A QP munkakörét tovább színesítette a különleges technológiák megjelenése.

1. Biológiai készítmények és bioszimilárisok

Mivel a biológiai hatóanyagok forrása valamilyen élő szervezet, ezeknél a termékeknél a gyártási variabilitás sokkal nagyobb, ezért a QP döntése különösen összetett. Szükséges megérteni a kritikus folyamatparamétereket, a gyártási trendek mélyanalízise kulcsfontosságú. Figyelembe kell venni, hogy ezek a termékek gyökeresen eltérő technológiával készülnek, sokkal érzékenyebbek (pl. rázkódásra, hőmérsékletre), és a minőség-ellenőrzési gyakorlat is teljesen más típusú a szintetikus/ kis molekulájú hatóanyagokon alapuló készítményekhez képest. A biológiai készítmények leginkább gyógyszer-orvostechikai eszköz kombinációs készítmények, azaz ezekben az esetekben a QP tudása, szemlélete ki kell, hogy terjedjen az eszközoldali tudásra is.

2. Fejlett terápiás készítmények

Az ATMP-k olyan emberi felhasználásra szánt gyógyszerek, amelyek géneken, sejteken vagy szöveteken alapulnak. Forradalmi lehetőségeket kínálnak a betegségek és a sérülések kezelésében. A QP szerepe ezeknél a készítményeknél radikálisan átalakul. A gyártás gyakran betegre szabott (egyéni), egyedi tétellel, rendkívül rövid és komplex felszabadítási időablakkal, és kritikus logisztikai láncsal (fagyasztás, hőmérséklet-érzékenység). Itt a QP gyakran közvetlenül kommunikál a klinikai csapattal.

3. Folyamatos gyártás

Ez olyan gyártástechnológiai megoldás, amelyben a kiindulási anyagok bevezetése és a késztermék kivétele megszakítás nélkül történik, a gyártási folyamat minden szakaszán keresztül. Ez a technológiai megoldás teljes mértékben szakít a hagyományos, tételenkénti gyártással. Legnagyobb kihívása pontosan a tétel meghatározása és az ehhez kapcsolódó feladatok, például a tétel-



azonosítás, a lejárati idő megadása és még egy sor kérdés megválaszolása.

Kihívást jelent a QP-utánpótlás kérdése. Időnként a gyártók azal szembesülnek, hogy nehezen találhatnak a feladatkörre alkalmas jelölteket, a meglévő szakembergárda átlagéletkora növekszik. Út-törő jelentőségű hazánkban a Semmelweis Egyetem Gyógyszerésztudományi Karának, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vegyészmérnöki és Biomérnöki Karának, valamint a Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központnak közös szakirányú képzése, amelyet Gyógyszergyártás és -nagykereskedeleminél minőségbiztosítás címen harmadszorra indítottak el 2024-ben. A képzés végén sikeresen záróvizsgázó hallgatók meghatalmazott személlyé nevezhetők ki.

Mindezek alapján láthatjuk, hogy a modern gyógyszeripari cégeknek a QP már nem csupán megfelelőségi szakember, hanem a stratégiai döntések befolyásolója (gyártóhelyválasztás, beszállítók), a minőségügyi kultúra formálásának motorja, és integritásvédő, aki a cég jó hírnevét a betegbiztonság középpontban tartásával védi, személyes büntetőjogi felelősséget vállalva a döntéseiért. A QP státusza ma már olyan szakmai tekintélyt képvisel, amely a vállalati döntéshozatalban is kulcspozíciót jelent. ●●●

Köszönetnyilvánítás. A szerző köszönetét fejezi ki Dr Ilku Líviának a hasznos tanácsokért, a szöveg ellenőrzéséért.

IRODALOM

- [1] Second Council Directive 75/319/EEC of 20 May 1975 on the approximation of provisions laid down by Law, Regulation or Administrative Action relating to proprietary medicinal products
- [2] EudraLex Volume 4 EU Guidelines for Good Manufacturing Practice for Medicinal Products for Human and Veterinary Use
- [3] Ulrich Kissel: Qualified Person „born” – A Review of 50 Years of the QP, EQPA news (hírlével-különkiadás), 2025. szeptember.
- [4] Ziegler I.: Gyártói minőségbiztosítási feladatok készítménygyártás esetén, I. rész. Gyógyszerészet (2017) 61/5, 259–265.
- [5] Ziegler I.: Gyártói minőségbiztosítási feladatok készítménygyártás esetén, II. rész. Gyógyszerészet (2017) 61/6, 331–335.
- [6] Commission Directive 91/356/EEC of 13 June 1991 laying down the principles and guidelines of good manufacturing practice for medicinal products for human use.
- [7] Commission Directive 91/412/EEC of 23 July 1991 laying down the principles and guidelines of good manufacturing practice for veterinary medicinal products.
- [8] Directive 2001/83/EC of the European Parliament and of the Council of 6 November 2001 on the Community code relating to medicinal products for human use.
- [9] 44/2005. (X. 19.) EüM rendelet az emberi alkalmazásra kerülő gyógyszerek gyártásának személyi és tárgyi feltételeiről.
- [10] Regulation (EU) 2019/6 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on veterinary medicinal products and repealing Directive 2001/82/EC.
- [11] Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the Union code relating to medicinal products for human use, and repealing Directive 2001/83/EC and Directive 2009/35/EC.

Agárdi Tamás

■ AFV Kft. (tabla.hu)

A piktogram is beszél – a biztonság vizuális nyelve a laborban

A laboratóriumi környezet egyszerre izgalmas és veszélyekkel teli tér: koncentrált vegyszerek, gyors reakciók, egyre ritkábban, de akár nyílt lánggal dolgozó eszközök, érzékeny mérőberendezések, biológiai minták, túlnyomásos rendszerek és precíz gépészeti eszközök működnek egymás mellett. Egy ilyen helyen minden mozdulatnak jelentősége van, és minden apró figyelmeztetés komoly következményekkel járhat. Itt igazán fontosná válik egy olyan kommunikációs forma, amelyet stressz esetén is azonnal megértünk, és amely egyértelműen irányt mutat: **a piktogramok vizuális nyelve.**

A laborokban alkalmazott biztonsági jelek nem véletlenszerűen kiválasztott grafikák. Nemzetközi szabványok – például az ISO 7010 és az ISO 3864 – határozzák meg tudományos alapon a formát, a színeket, az arányokat és az észlelhetőségi követelményeket. A veszélyes anyagokat a CLP/GHS rendszer piktogramjai jelölik, amelyek globálisan elfogadott vizuális kódrendszert alkotnak. Ezek a szimbólumok teszik lehetővé, hogy a kutatók, technikusok, diákok és vendégek nyelvtudástól függetlenül azonnal felismerjék a környezetükben rejlő kockázatokat. Egyetlen jel sokszor többet mond egy hosszabb feliratról: a tűzveszély vagy maró hatás ikonja olyan üzenet, amelyet nem kell lefordítani.

A laborpiktogramok három alapvető funkció köré rendeződnek. Az első a veszély felismerése. Egy vegyszeres flakonra pillantva a GHS (CLP) piktogram (vagy munkavédelmi veszélyjelző piktogram) gyakran már önmagában jelzi, milyen védőfelszerelésre lesz szükség vagy mire kell ügyelni a művelet során. A második a kötelező teendők köre: a védőszemüveg, a kesztyű, a laborköpeny vagy a fülvédő használatára utasító piktogramok olyan alapvető rutinokat alakítanak ki, amelyek idővel teljesen automatikussá válnak. A harmadik pedig a vészhelyzeti információk csoportja – ezek azok a jelek, amelyek életet menthetnek: szemmosó, biztonsági zuhany, tűzoltó készülék, menekülési útirány, vészleállító (1. ábra). A jelzéseknek nem elég valahol a teremben szerepelniük; úgy kell őket elhelyezni, hogy a helyiség bármely részéről jól felismerhetők legyenek, és méretükben is alkalmasak legyenek a szükséges biztonsági információ közvetítésére.

A piktogramok hatékonysága abban rejlik, hogy az emberi agy rendkívüli sebességgel dolgozza fel a vizuális információkat. Stresszhelyzetben – például kiömlött sav, túlhevült berendezés vagy hirtelen fellépő irritáció esetén – nincs idő hosszú utasítások olvasására. Egy jól elhelyezett jel azonban elég lehet ahhoz, hogy a dolgozó a megfelelő irányba induljon vagy a megfelelő védelmi eszközt válassza. A laborok vizuális rendszere ezért nem díszítőelem: ez a „csendes infrastruktúra” teremti meg a munkavégzés biztonságának alapját.

A piktogramok elhelyezése legalább olyan fontos, mint maga a jel. A 2/1998. (I. 16.) MüM rendelet meghatározza a biztonsági



1. ábra. A piktogramhasználat főbb logikai csoportjai

jelek minimális méreteit (a felismerési távolsághoz igazodva), és azt is, hogy milyen magasságban kell lenniük. A laborokban különösen kritikus, hogy a menekülési útvonalak könnyen felismerhetők legyenek, a veszélyes anyagok tárolóterei több ponton is jelölve legyenek, és minden olyan eszköz környezetében, amely fizikai, kémiai vagy biológiai kockázatot jelent, jól látható figyelmeztetés kapjon helyet. A túl sok jel ugyanakkor kontraproduktív lehet, ezért a vizuális rend fenntartása éppen olyan feladat, mint a műszerek karbantartása.

Az utóbbi években jelentős változás figyelhető meg a laborok vizuális kommunikációjában: egyre több helyen tűnnek fel **QR- és NFC-címkével bővített biztonsági jelek**. Ezek a kiterjesz-

tett piktogramok hidat képeznek a fizikai jel és a digitális tartalom között. Egyetlen érintéssel vagy beolvasással megnyílik a biztonsági adatlap (SDS), a műveleti utasítás (SOP), a használati útmutató, a karbantartási előírás vagy egy rövid oktatóvideó. A laborok így nemcsak biztonságosabbá, hanem tanulobaráttá is válnak – hiszen az információ mindig pontosan ott és akkor érhető el, ahol és amikor szükség van rá. Ez különösen hasznos nagy forgalmú oktató- és ipari laborokban, ahol sok felhasználó dolgozik ugyanazokkal az eszközökkel.

A piktogramok a labor közös biztonsági nyelvét jelentik. Egy olyan vizuális rendszert, amely összeköti a különböző végzettségű, tapasztalatú és nemzetiségű szakembereket, és amely a laboratóriumi kultúra részévé válik. A jól működő vizuális biztonsági rendszer csökkenti a hibákat, erősíti a tudatosságot, támogatja a szabványoknak való megfelelést (ISO 9001, ISO 14001, ISO 45001), és hozzájárul ahhoz, hogy a labor ne csak hatékony, hanem valóban biztonságos munkatér legyen. Egy piktogram nem beszél – mégis mindent elmond.

A laborokban alkalmazott piktogramrendszer azonban nemcsak a hétköznapi biztonsági helyzetek kezelését segíti, hanem az auditok és ellenőrzések szempontjából is kiemelten fontos szerepet játszik. Egy jól felépített vizuális jelzési struktúra támogatja az ISO 9001 minőségirányítási, az ISO 14001 környezetirányítási, valamint az ISO 45001 munkahelyi egészségvédelmi és biztonsági követelmények teljesítését. Az auditorok számára a rendezett, logikus, egységes piktogramhasználat azt jelzi, hogy a labor tudatosan és következetesen kezeli a kockázatokat. Sőt, sok esetben a jelzések megléte, hiánya vagy állapota gyors visszajelzést ad arról, mennyire érett a labor biztonsági kultúrája (2. ábra).

Fontos megjegyezni azt is, hogy a vizuális kommunikáció akkor működik igazán jól, ha a piktogramok használata mögött valós oktatás és tudatosítás áll. A laborvezetőknek és munkavédelmi szakembereknek érdemes időről időre rövid képzéseket tartaniuk arról, mit jelentenek a különböző szimbólumok, hogyan kell őket



2. ábra. Komoly a veszély, komolytalan a jelzése



értelmezni, és miért fontos a jelzések következetes betartása. A rendszeres ismétlés, a példákön keresztüli magyarázat vagy az új eszközök bevezetésekor történő vizuális figyelemfelhívás hosszú távon erősíti a biztonsági tudatosságot. Így a piktogram nemcsak jelen van, hanem tényleg „beszél” – és a dolgozók valóban meg is hallják.



Helyesbítés

A biztonságtechnikai rovat januári cikkében az 1. ábra első piktogramjának értelmezése helyesen:



A Kajtár–Hollósi Alapítvány díjazottjai

Decemberben tartották az Alapítvány emlékülését és a tavalyi utolsó Bruckner-termi előadást. A Kajtár-Hollósi Alapítvány emléklapoktájának kitüntetettjei: *Láng Emma* és *Keglevich György*. Az előadásokat a Kajtár-Hollósi Alapítvány 2025. évi díjazottjai – *Dudás Ádám*, *Remete Attila* és *Hetényi Anasztázia* – tartották.





IV. Zechmeister László előadói verseny – 2025

A 2025-ös Zechmeister előadói verseny ismét megmutatta, milyen sok új és izgalmas kutatási irányt tartogat a kémiai biológia interdiszciplináris területe.

A Magyar Tudományos Akadémia Kémiai-Biológiai Munkabizottsága 2025-ben immár negyedszer rendezte meg a kémia és



Simonyi Miklós

a biológia határterületén dolgozó fiatal kutatók számára alapított Zechmeister László előadói versenyt. Az esemény idén különleges, ünnepi pillanattal kezdődött: a résztvevők 90. születésnapja alkalmából köszöntötték a munkabizottság egykori elnökét, Simonyi Miklóst. Kardos Julianna és Deli József személyes és szakmai visszatekintései jól érzékeltették azt a több évtizedes hatást, amelyet az ünnepelt munkássága gyakorolt a hazai kutatóközösségre. A köszöntés zárásaként a munkabizottság az Akadémia borával és egy Gömböccel tisztelt meg az ünnepelt előtt, jelképesen utalva a gondosan érelt életműre és arra a biztos pontra, amelyet Simonyi Miklós hosszú időn át jelentett a szakmai közösségnek.

Sokszínű kutatási témák és közérthető előadások

Az ünnepi megnyitó után következtek a versenylőadások. A zsűri (Keserű György (elnök), Bősze Szilvia, Szabó János és Szántay Csaba) a kutatási eredmények tudományos értékét, az előadók felkészültségét, a prezentációk közérthetőségét és élményszerűségét egyaránt mérlegelte. A mezőny idén is széles tudományos spektrumot fedett le. Hallhattunk többek között: a fenntartható szintézistechnológiákról; a kemoterápiás hatóanyagok térben és időben precíz aktiválásáról; biokatalizátorok gyors fejlesztésére alkalmas módszertani újításokról; természetes eredetű molekulák daganatellenes vagy antioxidáns potenciálját feltáró kutatások legfrissebb eredményeiről; a gabonák mikotoxin-mentesítését célzó innovációk tapasztalatairól; olyan diagnosztikai módszerekről, amelyek hozzájárulhatnak a daganatok pontosabb felismeréséhez vagy a 2-es típusú diabétesz korai azonosításához.

Blues-koncert és díjátadó

A díjak odaítélése hosszas egyeztetést igényelt, ami jól jelzi a mezőny erősségét. A várakozás perceit különleges közjáték tette emlékezetessé, amikor Szántay Csaba és Szabó János rögtönzött blues-duója oldotta a hangulatot – vagy még tovább fokozta az eredményhirdetés előtti feszült várakozást. Az eredményhirdetés előtt Keserű György



A zsűri rögtönzött blues-koncertje

méltatta az előadók felkészültségét és teljesítményét, hangsúlyozva, hogy a verseny mára a hazai fiatal kutatói közösség egyik rangos szakmai fórumává vált.

A 2025-ös díjazottak

Pammerné Makkai Enikő (I. díj) gabonák mikotoxin-mentesítése terén ért el jelentős eredményeket, és beavatta a hallgatóságot a különböző területeken tevékenykedő kutatók kommunikációs nehézségeibe

Telek András (II. díj) kifejtette, hogy egy konferencia-előadás utáni autótúr során felmerülő gondolatok milyen inspirálóak lehetnek például a biokatalizátor-fejlesztésben.

Török Rebeka (III. díj) a nemi egyenlőtlenségek ösztönző hatására hívta fel a figyelmet, ami esetében egy 2-es típusú diabétesz korai kimutatására alkalmas módszer fejlesztését eredményezte.

A díjazottak az oklevelek mellett – amelyek Zechmeister László portréját és kutatásaira utaló grafikai elemeket tartalmaznak – a Richter Gedeon Nyrt. felajánlásából 300, 250 és 200 ezer Ft értékű pénzjutalomban részesültek, továbbá a Magyar Kémikusok Egyesülete egyéves tagságot ajánlott fel számukra.



A nyertesek, a zsűri és a szervezőbizottság (balról jobbra: Szabó János, Bősze Szilvia, Szántay Csaba, Török Rebeka, Pammerné Makkai Enikő, Telek András, Keserű György, Kele Péter, Németh Krisztina)

A verseny üzenete

A programot követően Kele Péter, a munkabizottság elnöke, a verseny kezdeményezője és főszervezője köszöntötte meg a zsűri munkáját. Zárszában kiemelte: az idei előadásokhoz kapcsolódó beszélgetések egyik legfontosabb tanulsága a tudományterületek között hidat teremtő közös nyelv kialakításának jelentősége. Ez az interdiszciplinaritás nemcsak a módszertani alapok megosztását teszi lehetővé, hanem a különböző tudományterületek együttműködésének szemléletformáló alapja is.

Gratulálunk a nyerteseknek és minden résztvevőnek!



Köszönetnyilvánítás. A rendezvény a Richter Gedeon Nyrt., a Magyar Kémikusok Egyesülete és az MTA Kémiai Osztálya támogatásával valósult meg.

Kele Péter és Németh Krisztina,
az MTA Kémiai-Biológiai Munkabizottságának elnöke, ill. titkára



Hargittai István – Hargittai Magdolna

■ BME Szervetlen és Analitikai Kémia Tanszék

James D. Watson (1928–2025): személyes búcsú

A huszadik század második felének leghíresebb tudósa, James D. Watson, a „Watson és Crick” Watsonja társfelfedezője volt a DNS kettőshélix-szerkezetének, amit Darwin óta a legfontosabb biológiai felfedezésnek tekintenek. Halálával egy különlegesen sikeres és ellentmondásos pálya ért véget.

Indulása nem vetítette előre nagy ívű pályáját. Nem volt kiváló tanuló, de sokat olvasott és tele volt ambícióval. Egész életében kereste a sikeressé válás titkait, és már korán megfogalmazott olyan bölcsességeket, hogy ha a társaságodban te vagy a legokosabb, akkor keress magadnak nagyobb kihívást jelentő társaságot. Vagy hogy nincs abban semmi rossz, ha másokat utánzol, ha találsz valakit, aki méltó az utánzásra. Gyerekkori hobbija az ornitológia volt, kezdeti tanulmányait is ez az érdeklődés határozta meg.

Chicagóban született és nőtt fel, később a Chicagói Egyetemen tanult. Megfogadta az egyetem elnökének, Robert M. Hutchinsnak a tanácsát, aki szerint a klasszikusok olvasása fontosabb, mint a lexikális tudás. Watson gyorsan megszerezte alapfokozatát, és szeretett volna valamelyik nagy nevű egyetemre bekerülni, de csak az Indiana Egyetemre vették fel posztgraduális képzésre. A papírforma szerint nem volt benne semmi különleges, és persze az írásos anyagból nem sok derül ki a pályázó ambícióiból.



A Cold Spring Harbor Laboratóriumban 1953-ban.

Balra Watson, bal kezében a DNS kettőshélix-modelljével.

Jobbra Max Delbrück, Aaron Novick, Szilárd Leó és Watson

Karl Maramorosch felvételei és szívesességéből

Az Indiana Egyetem abban a néhány évben különlegesen szerencsés környezetet nyújtott Watson számára. Ott oktatott Hermann J. Muller, aki 1946-ban Nobel-díjat kapott a röntgenbesugárzással kiváltott mutációkra vonatkozó felfedezéseiért. Watson témavezetője a későbbi Nobel-díjas Salvador Luria lett, és Watson egyik diáktársát, Renato Dulbeccót is Nobel-díjjal tüntették ki később. Ezzel együtt Watson doktori disszertációja szokványosra sikerült, aminek az volt az előnye, hogy a téma nem ösztönözte a folytatásra.

Ösztöndíjjal Dániába került, kiváló kutatók közé, de különböző okok miatt nem indult el semmilyen izgalmas kutatási irányban. Viszont részt vett egy Nápolyban tartott tudományos konferencián, és ott találkozott azzal az elképzeléssel, hogy az élet titkának megértéséhez a biológiai nagymolekulák szerkezete vezethet el. Ez megváltoztatta a pályáját és az életét. Amikor csatlakozott az angliai Cambridge Cavendish Laboratóriumához, elvesztette ösztöndíját, mert szponzora nem értett egyet a lépésével. A Cavendish Laboratórium korábban, Ernest Rutherford vezetésével, az atomfizika egyik legfontosabb kutatóhelye volt. A háború után az új igazgató, W. Lawrence Bragg Nobel-díjas kristallográfus két területen nyitott, és mindkét terület fejlődése később Nobel-díjjakkal is igazolta kockázatos döntését. Az egyik a radiofizika volt, a másik, egy fizikai kutatóhely számára meglepően, a molekuláris biológia.

Max Perutz vezetésével fehérjekutatással foglalkoztak, de Watson nem, mert ő hallott a DNS fontosságáról, és elhatározta, hogy felderíti a szerkezetét. Ebben a döntésben ambíciói éppen úgy szerepet játszottak, mint tájékozatlansága a szerkezetvizsgáló módszerek, elsősorban a röntgenkristallográfia lehetőségeiről. Fellelkesítette viszont a fizikus hátterű Francis Cricket, aki 12 évvel idősebb volt nála, és még nem volt PhD. Partnerségük a tudománytörténet egyik legsikeresebb együttműködését hozta. Felhasználták Linus Pauling szerkezeti kémiai adatait és modellépítési tapasztalatait, mások, elsősorban Rosalind Franklin röntgenkristallográfiai eredményeit (Franklin tudta nélkül) és Erwin Chargaff DNS-re vonatkozó kromatográfiás, főként a bázisekvivalenciára vonatkozó felfedezéseit. Elsősorban gondolkozást adtak mindezek szintéziséhez; nem ragadtak le a részleteknél, és képesek voltak megkülönböztetni a lényegest a lényegtelenről. Amikor felállították kettőshélix-modelljüket, annak nemcsak kémiai racionalitása, de szépsége is meggyőzte őket és aztán az egész tudományos világot arról, hogy ez lehet a DNS szerkezete. Egyoldalas közleményük végén utaltak arra, hogy a kettőshélix-szerkezet magában hordozza az öröklés mechanizmusát. 1953-ban felfedezésük még inkább csak javaslatot jelentett, ami teljes bizonyossággá csak az 1970-es évek elejére vált.

A különleges tehetségű George Gamow fizikus az elsők között figyelt fel eredményükre. Felvetette az információátadás fontosságát, amit ma röviden genetikai kódnak nevezünk. Hálózatot kezdeményezett, hogy a példátlanul gyors fejlődés érdekében a kutatóknak ne kelljen várni az új ismeretek folyóiratokban való megjelenésre; a résztvevők közvetlenül tájékoztatták egymást felfedezéseikről, és kettős hélixet ábrázoló nyakkendőt viseltek.

Watson egy ideig még próbálkozott újabb kutatásokkal, de nem ért el olyan eredményeket, amelyek akár csak megközelítették volna a kettős hélix sikerét. Előbb a Harvard Egyetem professzoraként, majd a Cold Spring Harbor Laboratórium (CSHL)



DNS-nyakkendőklub: Francis Crick, Alex Rich, Leslie Orgel és Watson. Alex Rich szíveségéből



Balra: Lewis Miller festménye, amely annak idején a Cold Spring Harbor Laboratórium Grace Auditóriumát díszítette.

Jobbra: Charles A. Jencks „Spirális idő – időspirálok” című szobra és Watsonék háza a CSHL területén 2002-ben
Hargittai István felvételei

vezetőjeként mint oktató, tudományszervező és tankönyvíró ért el példátlan sikereket. A kettős hélix felfedezéséről szóló újszerű könyvének legfőbb érdeme a tudományos kutatók valóságos emberként történő ábrázolása. A tudomány impresszáriójaként a Human Genom Program (HGP) egyik kezdeményezője és első vezetője volt.

Mindent elért, amit egy tudós elérhet; amerikai létére még azt is, hogy II. Erzsébet angol királynőtől lovagi címet kapott. Nehéz leírni személyiségét, mert suta volt és tartózkodóan viselkedett, mégis állandóan feltűnést keltett. Előadás közben sokszor a tábla felé fordulva motyogott, de előadásaira tömegek voltak kíváncsiak. Értelmetlen és megalapozatlan kijelentéseit, például a szexuális életre vonatkozókat, széles körben elemezték. Sarkos megjegyzései között azonban nem voltak olyanok, amelyek politikai korrektség szempontjából megtámadhatók lettek volna.

Egészen 2007-ig. Akkor egy korábbi munkatársából lett újságíró rögzítette Watson olyan kijelentéseit Afrikáról és az afrikaiakról, amelyeket rasszistának lehetett minősíteni (Watson nem

tudta, hogy a felvevő be van kapcsolva). Amikor ezek megjelentek, elszabadult a pokol. Szinte mindenki elítélte és elfordult tőle, élükön az általa felvirágoztatott Cold Spring Harbor Laboratórium vezetősége, ahol addig személyi kultuszt teremtettek körülötte. Lefokozták, nem engedték nyilatkozni és külön sajtóst alkalmaztak, aki eldöntötte, hogy mit és mikor mondhat. Az addig harcosan autonóm Watsont intellektuális gyámság alá helyezték. A Laboratórium azonban továbbra is számított arra, hogy tekintélyével és jövőképevel megszerezze a szükséges pénzügyi támogatásokat. Így telt a következő 10–12 év.



James D. Watson előadást tart 2010-ben Moszkvában, zsúfolt közönség előtt (erre mondják, hogy még a csilláron is lógtak). Ismeretlen szerző felvétele és szíveségéből

Ennek az időszaknak egyik különös epizódja volt, amikor Watson árverésre bocsájtotta Nobel-aranyérmét. Sokan elítélték ezért, de a fő oka tiszteletre méltó volt. Két fiuk közül az egyik bipoláris zavarokkal küszködik, és Watson állandó gondja volt, hogy mi lesz vele, ha már nem élnek a szülei. A Nobel-éremnek különben nincs nagy jelentősége; az aranyérmet a két aranyozott másolattól csak a súlya alapján lehet megkülönböztetni, és ehhez kézbe kell vennünk az érmekeket. Az árverés példátlanul sikeres volt, a többszörösét hozta annak, amit más Nobel-díjasok árverésre bocsájtott érméi. Egy orosz oligarcha több mint 4 millió dollárt adott az éremért, de nem tartotta meg. Méltatlannak tartotta, hogy Watson megfosszák az éremtől és egy hatalmas „PR”-esemény keretében az Orosz Tudományos Akadémia elnöke visszaadta Watsonnak. Moszkvai látogatása alkalmából elő-

James D. Watson 2000-ben. Balra a CSHL-ben és jobbra Budapesten. Hargittai Magdolna, ill. Hargittai István felvétele





Watson feleségével és Hargittai Magdolnával. Balra 2000-ben Budapesten és jobbra 2014-ben Manhattanben

Hargittai István felvételei

adásokat tartott, hallgatóságát különösen lenyűgözte a siker elérését biztosító szabályaival. Aztán nagyjából tíz évvel az eredeti botrányt követően Watson (most már nyilvánosan) megismételte rasszista kijelentéseit, és végleg ellehetetlenítette magát. Egy autós baleset után már nem épült fel, és évekig tartó kómaszerű állapotának 2025. november 6-án a halál vetett véget, ami megváltás volt számára és környezete számára. Az egykor példátlanul sikeres Watson emléke ma toxikus.

2000 és 2014 között közel kerültünk James D. Watsonhoz és feleségéhez, Elizabethhez. Megemlítettünk néhányat a találkozásainkból. Az első 2000 kora tavaszán történt. Watsont meglátogattuk a CSHL-ben, és felvettünk vele egy beszélgetést. Nagyon nehezen indult, de az egy órára tervezett felvétel közepén hirtelen minden megváltozott. Talán akkor értette meg, hogy nem kíváncsiskodó újságírókkal, hanem tudományos kutatókkal beszélget. Izgalmas lett a találkozás, alig tudtuk befejezni. De ki kellett jutnunk a repülőtérre, mert aznap utaztunk haza. Watson kivitt bennünket a legközelebbi vasútállomásra, és megígértette velünk, hogy legközelebb hosszabb időre jövünk. Annyira már ismertük, hogy a kedves szavak valódi invitálást jelentettek. Meglepetésünkre még 2000 nyarán meglátogattak bennünket Budapesten. Amikor felajánlottuk, hogy találkozókat szerveznénk kutatóhelyeken, egyetemeken, akadémiai vezetőkkel, csak magyar értelmiségiekkel akartak találkozni. Ezt otthonunkban szerveztük meg, és nagyon jól sikerült. Watsont nagyon érdekelte István készülő, részben önéletrajzi könyve (*Életeink: Egy tudományos kutató találkozási huszadik századdal*) és meghívására 2002-ben 3 hónapot töltöttünk Cold Spring Harborban, ahol ideális körülmények között dolgozhatott, és segítséget is kapott.

Legközelebb a kettős hélix DNS-szerkezet felfedezésének 50. évfordulójára rendezett ünnepségeken, az angliai Cambridge-ben voltunk együtt. A következő évtizedben évente találkoztunk, amikor nyaranta a Matrix Biology Institute vendégkutatói voltunk



Watson 2003-ban az angliai Cambridge-ben

Hargittai Magdolna felvétele

New Jersey-ben, Manhattan közvetlen szomszédságában. Vagy Cold Spring Harborban, vagy manhattani lakásukban látogattuk meg Watsonékat. Kapcsolatban maradtunk a 2007-es botrányt követően is. Mi is elítéltük a kijelentéseit, de azt is, ahogyan azok napvilágra kerültek. Watson szerint rajtunk kívül csak a magyar–svéd Klein György maradt meg barátaik közül a nehéz időkben. Amikor 2008-ban sok hónapos szellemi karantén után megengedték, hogy nyilatkozzon, Watson megkérte Istvánt, hogy legyen jelen.

Kínos esemény volt. Az újságíró nem ismerte Watson munkáját, a válaszokat bepötyögte a laptopjába, és nem tett fel kiegészítő kérdéseket. A CSHL által alkalmazott sajtós igyekezett mindent ellenőrzése alatt tartani.

Utoljára 2014-ben találkoztunk Watsonék manhattani otthonában. Úgy látszott, hogy Watson helyzete konszolidálódott, a CSHL ügyeibe már nem folyt bele, de továbbra is tetemes pénztámogatásokat szerzett a Laboratórium számára. Még évekig kaptunk tőlük karácsonyi-újévi üdvözlőlapokat. Aztán jött az újabb botrány, az autóbaleset, a kóma és a halál. Háttérben az elfogadhatatlan kijelentéseivel, számunkra elsősorban az egykori, intellektuálisan vibráló, a tudományok frontvonalán működő, minden iránt érdeklődő, mindent megkérdőjelező, vitára mindig kész Watson emléke marad meg.

Mit gondol, melyik munkáját értékeli majd a legtovább? – kérdezte Hargittai István James D. Watsontól a 2000-es évek elején.

– Valószínűleg a könyveimet. A DNS szerkezetének felderítése már a küszöbön állt; nem volt nehéz, és minden jó vegyésznek gyorsan rá kellett volna jönnie a megoldásra. Rosalind Franklin fizikai kémikus volt, a kémia többi ágát kevésbé ismerte. Pauling hihetetlenül sokat szerencsétlenkedett. Minden jó vegyésznek ki

kellett volna találnia, milyen a DNS. De nem hiszem, hogy *A kettős spirál*t más is megírhatta volna helyettem.

- És A gén molekuláris biológiája?
- Az is nagyon fontos volt. ...
- Tehát a könyveit hagyja örökölni.
- Igen, és talán ezt az intézményt [Cold Spring Harborban].

(Doktor DNS – Őszinte beszélgetések James D. Watsonnal. Vince, 2008.)



Hosztafi Sándor

■ hosztafi.sandor@semmelweis.hu

Marie Curie doktori dolgozata és az 1903-as fizikai Nobel-díj

Első rész

2009-ben a *New Scientist* olvasói a tudományban leginspirálóbb és legnagyobb hatású nőket szavazhatták meg. A szavazatok alapján a lengyel–francia nemzetiségű Marie Skłodowska-Curie nagy fölénnyel lett első helyezett. Mind a mai napig ő az első, aki fizikai és kémiai Nobel-díjat kapott 1903-ban és 1911-ben, ezzel a mai napig egyedülálló módon két tudományágban is a Nobel-díj birtokosa lett. Az első női Nobel-díjas, mindeddig az egyedüli nő, aki kétszeres Nobel-díjas. A fizikai Nobel-díjat lényegében az 1903-ban megvédett doktori dolgozata alapján kapta.

Maria Skłodowska (1867–1834) Varsóban született, ahol általános és középiskoláit végezte. 1891-ben Párizsban, a Sorbonne-on tanult fizikát és matematikát. Híres tanárai voltak, a fizikaprofesszor G. Lippman, a matematikaprofesszor Henri Poincaré, és Émile Duclaux volt a kémiaprofesszora. 1893-ban fizikából, egy évvel később matematikából diplomázott. Marie Skłodowska a diplomamunkájában acélok mágneses tulajdonságait vizsgálta, és egy összejövetelel találkozott Pierre Curie-vel, akinek a segítségét kérte a dolgozat elkészítésében. Pierre Curie (1859–1906)

nemzetközileg ismert kutatónak számított, fivérével együtt felfedezték a piezoelektromos effektust, majd Pierre a fémek mágneses tulajdonságainak vizsgálatával szerzett tekintélyt, a mágnesesség és a hőmérséklet közötti egyik összefüggést írja le a Curie-törvény. Pierre Curie az École Municipale de Physique et de Chimie Industrielles intézetben végezte a kutatásait, és itt tanított fizikát. A mágnesesség vizsgálata, közös tudományos érdeklődésük, elmélyítette a kapcsolatukat Marie-val, és 1895 júliusában összeházasodtak. Még ebben évben Pierre Curie apja és Marie ösztönzésére megírta és megvédte a doktori dolgozatát [1,2]. 1896-ban megszületett Irène Curie (1904-ben Ève Curie), és a következő évben Marie, férje tanácsára, elhatározta, hogy megszerzi a doktori fokozatot. Marie Curie a doktori értekezésében Pierre Curie javaslatára a Becquerel által felfedezett uránsugárakat vizsgálta [3,4]. Mindketten előnyösnek találták, hogy a kutatási téma egészen újnak és vonzónak tűnt, a sugarak vizsgálatával senki sem foglalkozott, valamint a téma irodalma is csak Becquerel közleményeire korlátozódott.

Becquerel felfedezése

Wilhelm C. Röntgen 1895 decemberében számolt be arról, hogy az általa X-sugaraknak nevezett láthatatlan sugárzás hatására a Crookes-cső üvegfa foszforeszkál. A sugárzás fekete foltot hagyott a becsomagolt fényképezőlemezeken. 1896 januárjában a Francia Tudományos Akadémián ismertették a felfedezést, és felmerült a kérdés, hogy van-e összefüggés a foszforeszcencia és a sugárzás között. A Museum d'histoire naturelle fizikaprofesszora, Henri Becquerel [5] a foszforeszcenciát mutató anyagok fizikai kémiai tulajdonságait tanulmányozta, és megvizsgálta, hogy a napfény hatására foszforeszcenciát mutató vegyületek előidéznek-e valamilyen hatást a kétrétegű vastag fekete papírba csomagolt fényképezőlemezeken. Régóta ismert volt, hogy az uránsók foszforeszcenciát mutatnak, és ennek az élettartama 0,01 s. (Az urán sóinak foszforeszcenciáját már korábban H. Becquerel és apja, E. Becquerel is behatóan tanulmányozta.) Becquerel számos anyagot megvizsgált, de csak a kálium-uranilszulfát $[K_2UO_2(SO_4)_2]$ esetén észlelt feketedést a fényérzékeny lemezen.

Henri Becquerel korszakalkotó felfedezése akkor esett meg, amikor 1896 februárjában előkészítette következő kísérleteit, de a felhős idő miatt elmaradt a napfényen való besugárzás, ezért az uránsókat tartalmazó fotolemezeket sötét helyen tárolta több napon át. Egy ilyen lemezt azonban előhívott, és meglepődve

tapasztalta, hogy a napfény besugárzása nélkül is létrejött a fekete folt a fényérzékeny lemezen [5,6]. Ha a csomagolópapíron az uránsó alá fémpénzt helyezett, a lemezen megjelent az érme körvonala, lenyomata. Későbbi kísérletei során kiderült, hogy a foszforeszcenciát nem mutató zöld urán(IV)sók vagy az urán-oxid és a fémurán is ugyanilyen láthatatlan sugárzást bocsátanak ki. Amennyiben az uránsókat hosszabb ideig sötét helyen tárolta, azt tapasztalta, hogy az aktivitásuk nem változik időben.

Becquerel megállapította, hogy az urán sugárzása a feltöltött elektroszkópot kisütötte, azaz a levegőt vezetővé tette. Az uránsugarak további vizsgálatai alapján megállapította, hogy a sugarak áthatolnak a vastag kartonpapíron, az üveglemezen vagy a vékony fémllemezen is. Mint fizikus Becquerel nem tudta értelmezni, hogy az urán spontán módon folyamatosan sugároz, és honnan jön ez a kimeríthetetlennek látszó energia. Az eredmények nem igazolták a termodinamika Carnot-féle első főtételét, és nem voltak összhangban az energiamegmaradás törvényével. Becquerelnek számos hibás következtetése, tévedése volt, itt említhetjük meg, hogy kísérletei alapján az uránsugarak megtörnek, visszaverődnek és polarizálódnak, és ez jelentős eltérés a röntgensugaraktól. Rutherford és Brooks mérései 1902-ben ezt cáfolták, vagyis az uránsugarak a röntgensugárzáshoz hasonlóan viselkednek. Becquerel a Nobel-díj-ünnepségen tartott előadásában elismerte, hogy hibázott.



Becquerel 1896-ban kilenc, 1897-ben két beszámolóban ismertette megfigyeléseit, a Comptes rendus akadémiai értesítőben. Ezután a Zeeman-effektussal foglalkozott, majd 1899 és 1901 között további hét beszámolója jelent meg a radioaktivitásról az akadémiai értesítőben. Ekkor a Curie házaspártól kapott rádióm-klorid-mintákkal végezte a kísérleteit.

Becquerelt még a Nobel-díj odaítélése előtt azzal vádolták meg, hogy Niépce kísérleteit ismételte meg anélkül, hogy erre hivatkozott volna [6]. Niépce de Saint-Victor [6,7] amatőr fényképész volt, aki a fényképezés feltalálója, Joseph Nicéphore Niépce unokafivére volt. Niépce vizsgálta az urán sóinak alkalmazhatóságát a fényképezésben, elsősorban másolatok készítésében. Urán-nitrát-oldattal impregnált kartonpapírt helyezett a fényérzékeny lemezre, melyen sötét folt keletkezett. Nem volt különbség abban, hogy az uránsót előzőleg a napfényen vagy sötét helyen tartotta. Nemcsak az urán-nitráttal, de a borkóssavval átitatott kartonpapír is sötét foltot adott a fényérzékeny lemezen. Az uránsók ezen aktivitását „elraktározott” fényeffektussal magyarázta. A fényérzékeny lemezen megjelent az urán-nitrát-oldattal a kartonra rajzolt ábra vagy írás tükörképe.

Niépce a híres szerves kémikus, M. Chevreul támogatásával 1861-ben öt beszámolót jelentetett meg a *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* lapban.

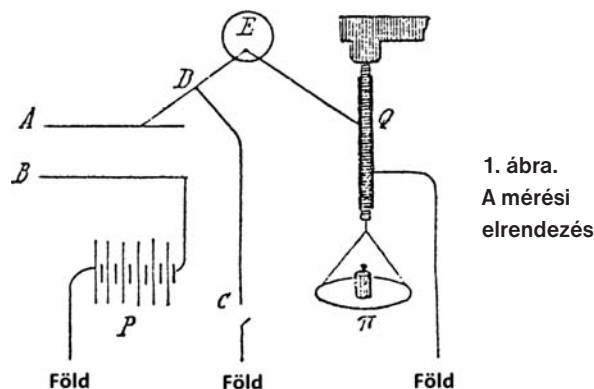
Niépce kísérleteit később többen próbálták sikertelenül megismételni. A reprodukciót befolyásolta, hogy Niépce nedves kollódiumlemezeket használt, melyeket később felváltott a száraz fényképezőlemez. Becquerel 1896-ban és 1897-ben megjelent beszámolói után több összefoglaló közlemény és könyv jelent meg, melyekben a szerzők kiemelték, hogy Niépce és Becquerel kísérletei lényegében hasonlóak, vagyis Becquerel ismerte Niépce megfigyeléseit. Többen plágiummal vádolták Becquerelt, még 1905-ben, a Nobel-díj elnyerése után is. Becquerel nem reagált ezekre a vádakra, majd a radioaktivitásról írt könyvében utalt rá, hogy ismerte Niépce kísérleteit. Becquerel kritikusi talán szándékosan elfelejtették összehasonlítani a két kísérleti beállítás különbözőségeit, azaz Becquerel a fényérzékeny lemezt becsomagolta, és a kartonpapíron áthatoló sugárzást tapasztalt fizikusként vizsgálta. Emellett első közleményeiben a láthatatlan sugárzást a foszforeszcenciának tulajdonította.

Marie Curie célul tűzte ki az uránsugarak tulajdonságainak a vizsgálatát, és megfogalmazta a következő kérdést: csak az urán az egyetlen kémiai elem, amely ilyen sugárzást kibocsát? Ugyancsak izgalmas kérdés volt az urán által emittált, kimeríthetetlennek látszó energia eredete, mivel ez sértette a termodinamikai Carnot-tételt, mely szerint az energia átalakítható, de soha nem hozható létre és nem semmisíthető meg. Marie Curie Pierre Curie Intézetében kezdett el dolgozni 1897 decemberében, egy korábban műhelynek használt helyiségben, ez volt a laboratóriumuk.

Az első közlemény

A sugárzás intenzitásának mérésére a fényképezőlemez vagy az elektroszkóp nem volt használható, mivel ezek a módszerek csak kvalitatív vizsgálatokra alkalmasak, ezért az uránsugarak által a levegőben előidézett elektromos vezetőképességet (ionizáció) mérték.

Pierre Curie olyan mérőműszert tervezett, amely lehetővé tette extrém kicsiny áramerősségek (10^{-11} A) mérését (1. ábra). A módszer azon alapult, hogy az uránsugarak elektromos vezetővé tették a levegőt, és a mérés során két párhuzamosan elhelyezett, vízszintes rögzített fémlemez (kondenzátor) alsó lemezén (B) oszlatták el az egyenletesen az uránsót. Ehhez a lemezhez egy 100 volt feszültségű áramforrást kapcsolnak, az áramforrás másik elektródját földelték. A felső lemezt (A) egy kvadráns elekt-



Marie Curie 1903-ban

(Curie Museum (ACJC gyűjtemény) / Henri Manuel)

rométerhez kötötték, a vezeték a D ponton egy kapcsolón keresztül szintén földelték. Amikor a lemezek között potenciálkülönbség lépett fel, a levegő vezetőképessége miatt az áramkör zárult és a két lemez között gyenge elektromos áram folyt. Ha a C pontban a kapcsolatot megszakították, a felső lemez elektromossággal töltődött, és ez kitérítette az elektrométert. Ezt az áramot kompenzálták a Pierre Curie által szerkesztett piezoelektromos mérleg segítségével, ahol egy kvarclemez feszítésével (nyújtásával) elektromos áram keletkezett, amelynek iránya ellentétes volt



az ionizáció által létrejött áramával. Kompenzáláskor a kondenzátoron folyó áram és a kvarclemesz nyújtásával keletkező áram egyenlő. A nyújtást meghatározott tömegű súlyokkal érték el, és a piezoelektromos mérleget is összekötötték az elektrométerrel. Lemérhető tehát abszolút értékben adott idő alatt a kondenzátoron áthaladó elektromosság mennyisége és ezáltal az áramerősség értéke. Az ionizáció által keletkező áram nagyságrendje arányos a sugárzás intenzitásával. Az áramerősséget az idő függvényében ábrázolva telítési görbét kaptak, ez az ionizációs áramerősség [3,8].

Marie Curie számos vizsgálati mintát gyűjtött a környező kémiai intézetekből és múzeumokból: különböző fémeket, ezek sóit és ásványokat. A laboratóriumi jegyzőkönyvek szerint 1897 decemberében kezdett a doktori munkához, először az árammérő készülék használatát gyakorolta, ezután kezdett a mérésekhez. A fémek közül 12 db ritkaföldfémét vizsgált, de egy sem mutatott aktivitást. Ugyanakkor gyorsan figyelemre méltó megfigyelést tett: az urán mellett talált egy másik kémiai elemet, a tóriumot, amely emittált Becquerel-féle sugarakat – a tórium az uránhoz hasonlóan sötét foltot eredményezett a becsomagolt fényképezőlemezeken. A tórium-oxid sugárzására kb. az uránnal azonos intenzitást mért. A különböző uránvegyületeket (oxid, uránsók) vizsgálva megállapította, hogy a vegyület aktivitása (a sugárzás intenzitása) annál nagyobb, minél nagyobb az urántartalma. Moissan professzor a rendelkezésére bocsátott közel 100% tisztaságú fémuránt (minimális szén tartalmazó fémuránt): a fémuránra mért intenzitást standardnak tekintette, és a többi minta aktivitását ehhez viszonyította. Megállapította, hogy a sugárzás emissziója az urán atomjainak specifikus tulajdonsága, amely valamennyi vegyületre érvényes függetlenül a kémiai összetételtől (1. táblázat).

1. táblázat. Telítési áramerősségek

Minta	Áramerősség, pikoamper
Fémurán	24
Zöld urán-oxid, U_3O_8	18
Urán-nitrát, kálium-uranil-szulfát	~12
Kalkolit ásvány	52
Mesteréges kalkolit	9
Tórium-oxid, 0,22 mm réteg	22
Tórium-oxid, 6 mm réteg	53
Uránszurokérc, Johanngeorgenstadt	83
Uránszurokérc, Joachimsthal	67

Az uránásványok vizsgálata nem várt eredményekhez vezetett: a két uránszurokérc kb. háromszor aktívabb volt, mint a fémurán. Ugyanilyen kiugró értéket mért a kalkolit ásvány, $Cu(UO_2)_2(PO_4)_2$ esetén is, de ha a kalkolitot urán-nitrát, réz-foszfát és foszforsav reakciójában állította elő, a mesterséges kalkolitra mért intenzitás ugyanakkora volt, mint az uránsókra mért intenzitás. A szurokérc és a kalkolit esetében mért kiugró intenzitásokat Marie Curie azzal magyarázta, hogy feltehetően olyan kémiai elemet tartalmaznak, melynek sugárzásintenzitása jóval felülmúlja az urán esetén mért intenzitást. Eredményeit 1898 áprilisában jelentette meg a *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* folyóiratban, Marie Skłodowska-Curie volt az egyedüli szerző. Feltehetően Pierre Curie szerényen hátrább húzódott, pedig a mérési módszer kidolgozásával az érdemei elévülhetetlenek.

Időközben kiderült, hogy egy német fizikus, Gerhardt C. Schmidt februárban megjelentetett cikkében beszámolt arról a megfigyeléséről, hogy a tórium is emittál Becquerel-sugarakat [9]. Schmidt felfedezése véletlenszerű volt, mivel a kutatási témája a foszforeszcencia és a fluoreszcencia vizsgálata volt. Megismételte Becquerel kísérleteit, és ekkor felmerült benne a kérdés, hogy más kémiai elem is bocsát-e ki Becquerel-sugarakat. Számos vegyületet és ásványt megvizsgált, és felfedezte, hogy a tórium is kibocsát láthatatlan sugarakat, melyek sötét foltot hagynak a fényképezőlemezeken, valamint kisütik a feltöltött elektroszkópot. Eredményeit az *Annalen der Physik und Chemie* folyóiratban publikálta. Schmidt később egyoldalas beszámolóban közölte a dolgozat összegzését a *Comptes rendus* folyóiratban is, hogy biztosítsa felfedezésének prioritását.

A polónium felfedezése

Az első közlemény lényegében kijelölte a munka folytatását, a cél az uránnál sokkal nagyobb aktivitást mutató kémiai elem izolálása volt szurokércből. 1898 áprilisában Marie Curie eredményeit látva Pierre Curie félbehagyta saját kutatómunkáját, és bekapcsolódott az új elem keresésébe. A kutatómunka viszont elsősorban kémiai jellegű volt, és a vizsgálatokhoz segítséget nyújtott a Fizikai Kémiai Intézet munkatársa, Gustave Bémont, aki vegyészgyakornok volt az intézetben. Később a projekthez csatlakozott egy másik vegyész munkatárs, André Debierne, aki a továbbiakban is Marie Curie munkatársa maradt. Debierne 1900-ban publikálta egy új radiotív kémiai elem, az aktínium izolálását a szurokércből.

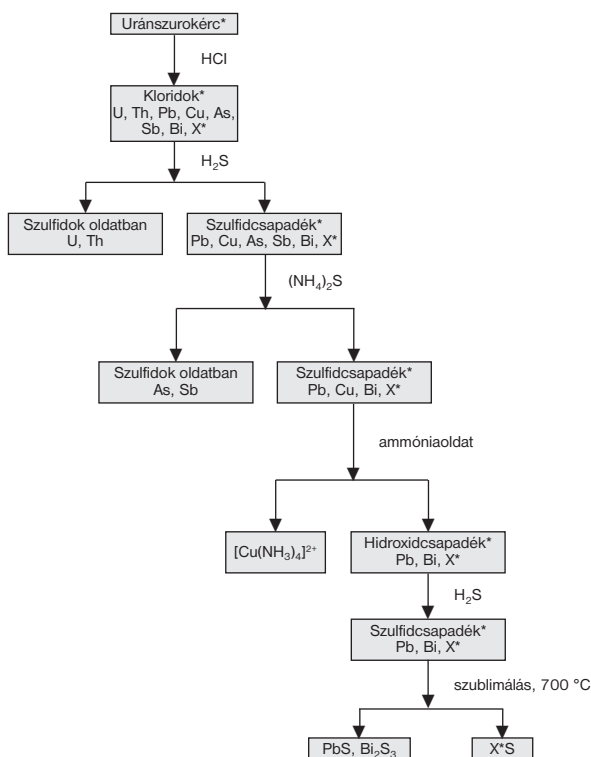
Marie Curie 1891-ben Varsóban, egy illegális „repülő egyetemen”, analitikai kémiai kurzuson vett részt a műszaki és mezőgazdasági múzeumban, ahol laboratóriumi gyakorlaton szerzett kémiai ismereteket, például az ásványok analíziséről. Az előadásokat lengyel nyelven tartották, amit az orosz hatóság tiltott és büntetett. A laboratóriumot egy rokona, Józef Boguski vezette, aki korábban Mengyelejev intézetében (Szentpétervár) volt aszisztens.

Az 1898 júliusában megjelent közlemény címe „Egy új radioaktív anyagról, amit a szurokérc tartalmaz” [10]. A szerzők P. és M. Curie, és itt használták először a radioaktivitás elnevezést az uránsugárzásra. Az új kémiai elem izolálására tett kísérletekben 100 g szurokérc állt rendelkezésükre. A szakirodalomban már ismertek voltak a módszerek a szurokérc feltárására, az urán kivonására és a kémiai összetétel vizsgálatára. Tulajdonképpen a G. Fresenius által kidolgozott minőségi kémiai analízist kellett alkalmazni az egyes komponensek kinyerésére. Mivel a feltételezett új elemet addig a klasszikus minőségi analízis módszerével nem tudták kimutatni, Marie Curie az eredeti közleményben és a doktori dolgozatában hangsúlyozta, hogy a módszer, amit alkalmaztak, teljesen új a kémiai kutatásban, mivel a radioaktivitást használták nyomjelzésre. Az egyes komponensek elválasztását analitikai kémiai reakciókkal végzik, de minden frakció radioaktivitását mérik. Ily módon megismerhetők a keresett radioaktív elem kémiai tulajdonságai, és az elválasztás során a növekvő radioaktivitás jelzi, hogy bizonyos frakciókban a keresett elem koncentrációja is nő.

A szurokércet először megőrölték, majd sósavval feltárták, de az aktivitás az oldhatatlan szilárd maradékban maradt. Ezt nátrium-karbonáttal és nátrium-hidroxiddal ömlesztették, majd az ömledéket sósavban feloldották. A savas oldatba kén-hidrogént bevezetve nagy aktivitású szulfidcsapadékot kaptak, a szűrletben



kevés urán maradt, amit nem használtak. A szulfidcsapadékot ammónium-szulfiddal kezelve az arzén és az antimon szulfidjai feloldódtak, a nem oldódó szulfidokat (ólom, réz, bizmut, X) salétromsavban feloldották. Ezt a savas oldatot kétféle módszerrel dolgozták fel: a) a savas oldatból újra leválasztották kén-hidrogénnel a szulfidokat, és a réz, az ólom, a bizmut és az X elem szulfidjainak a keverékét 700 °C-on vákuumban szublimálták (2. ábra). A vákuumcső forró zónájában voltak az ólom és a bizmut szulfidjai, míg a hidegebb részen, vékony, filmszerű bevonatként találták meg az X elem szulfidját.



2. ábra. A polónium izolálása

A b) módszer szerint a salétromsavas oldathoz kénsavat adtak, ekkor az ólom-szulfát-csapadék levált, a réz, a bizmut és az X elem szulfátja oldatban maradt. Az oldatot ammóniával lúgosítva a réz komplexként oldódik, a bizmut-hidroxid- és az X csapadékot szűrték, sósavban feloldották és bepárolták. A bizmuttól nem sikerült megszabadulni, viszont csak ebben a frakcióban mértek jelentős radioaktivitást. A mérések szerint a salétromsavas oldatból leválasztott szulfidcsapadék 150-szer nagyobb aktivitást mutatott, mint az urán. A vákuumszublimációval kapott fekete lerakódás aktivitása már 330-szor felülmúlta az urán aktivitását. A további tisztítással sikerült olyan mintát preparálni, amely 400-szor nagyobb aktivitású volt, mint az urán. Mivel az analitikai kémiai elválasztások eleve kizárták, hogy a bizmuton kívül más kémiai elemet is tartalmaz az X anyag, a Curie házaspár szerint bizonyítható, hogy a szurokércből kinyert anyag egy olyan fém, melyet eddig még nem írtak le, és kémiai tulajdonságai hasonlóak a bizmut kémiai tulajdonságaihoz. Ha ennek a fémnek a létezése igazolást nyer, javasoljuk, hogy polóniumnak nevezzék el, egy-ünk hazájának a neve után – írták. A polónium neve és vegyjele 1898. július 13-án jelent meg először a laboratóriumi jegyzőkönyvben Pierre Curie kézírásával. (A polónium elnevezés ugyanakkor provokatív is volt, mivel a független lengyel államot 1795-ben felosztották a Habsburg Birodalom, Poroszország és Oroszország között.)



A Curie házaspár 1900-ban

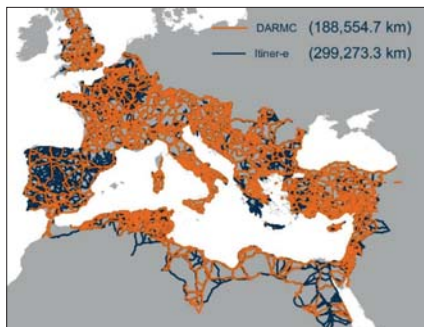
A polónium – mint új kémiai elem – felfedezése egyedülálló volt a kémia történetében, mivel a fémeket nem tudták elkülöníteni a bizmuttól, kizárólag a radioaktivitása utalt a létezésére. A kémiában íratlan szabály volt, hogy amennyiben felfedeztek egy új elemet, vizsgálni kellett a reakcióit, új vegyületeket kellett előállítani. Az új elem atomtömegét is kötelező volt meghatározni, valamint vizsgálni kellett a spektrális jellemzőket. A polónium esetében Eugène Demarçay végzett vizsgálatokat, de nem talált semmilyen jellegzetes új vonalat a spektrumban. Ezek kiábrándító eredmények voltak, a Curie házaspár megfogalmazása szerint ezek a tények nem támogatják az új fém létezésével kapcsolatos elképzeléseket. Amennyiben feltételezzük, hogy a szurokérc 80% uránt tartalmaz, kiszámítható, hogy – az urán-238 izotóp és a polónium-210 izotóp radioaktív bomlási egyensúlya alapján – 100 g szurokérc kb. 6 nanogramm polóniumot tartalmaz. Ennek a spektroszkópiai kimutatása a módszer érzékenysége miatt nem lehetséges, csak a nagyobb koncentrációk esetén alkalmazható. A polónium elválasztását nehezítette továbbá a polónium-210 tömegszámú izotóp 138 napos felezési ideje, vagyis a frissen preparált anyag fokozatosan veszít az aktivitásából, ezt már Marie Curie is tapasztalta. (Marie Curie a francia publikációval egy időben értesítette a lengyel tudományos közvéleményt az új elem felfedezéséről, az eredeti cikk rövid változata megjelent Varsóban, a *Światło* folyóiratban.) A polónium felfedezése után 4 évvel, 1902-ben a Curie házaspár a radioaktív elemek fizikai tulajdonságait foglalta össze, és maguk is reménytelennek látták, hogy a polónium izolálása valaha sikerülhet, ezért az elem létezését is kétségesnek tartották [11]. 1902-ig más kutatócsoport nem kísérelte meg a polónium izolálását, de számos kutató, például Ernest Rutherford kétségbe vonta a polónium létezését. ●●●

IRODALOM

- [1] Radnóti K.: Magyar Kémikusok Lapja (2017) 72, 350–353.
- [2] Radnóti, K.: Fizikai Szemle (2017) 67, 384–387.
- [3] Wolke, R. L.: Marie Curie's doctoral thesis: Prelude to a Nobel Prize. J. Chem. Educ. (1988) 65, 561–573.
- [4] Adloff, J. P., MacCordick, H. J.: The dawn of radiochemistry. Radiochimica Acta (1995) 70/71, 13–22.
- [5] Walton, H. E.: The Curie-Becquerel story. J. Chem. Educ. (1992) 69, 10–15.
- [6] Genet, M.: The discovery of uranic rays: A short step for Henri Becquerel but a giant step for science. Radiochimica Acta (1995) 70/71, 3–12.
- [7] Habashi E.: Niepce De Saint-Victor and the discovery of the radioactivity. Bull. Hist. Chem. (2001) 26, 104–105.
- [8] Curie-Skłodowska, M.: Comptes rendus (1898) 126, 1101–1103.
- [9] Badash, L.: The discovery of thorium's radioactivity. J. Chem. Education (1966) 43, 219–220.
- [10] Curie, P., Curie, M.: Comptes rendus (1898) 127, 175–178.
- [11] Curie, P., Curie, M.: Comptes rendus (1902) 134, 85–87.



TÚL A KÉMIAÁN

Google-térkép
a Római Birodalomról

Az ókori Római Birodalom igen kiterjedt és jól karbantartott úthálózatáról is nevezetes. Ennek a rekonstrukcióját kísérelték meg a közelmúltban: kiindulási pontnak a régi atlaszok, ásatási eredmények és ma is létező útjelző kövek

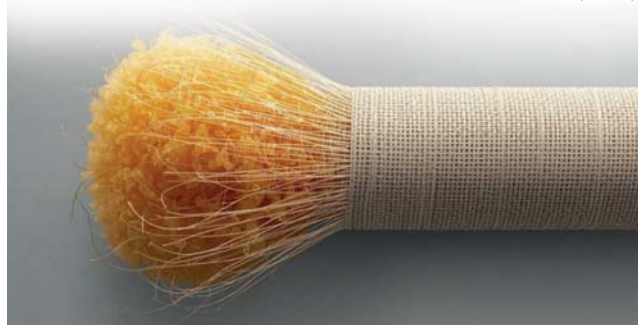
hálózatát használták, majd mindezt modern műholdfényképek sorozatával hasonlították össze. Ezzel a módszerrel számos, korábban ismeretlen útszakasz helyét is nagy biztonsággal azonosítani lehetett. A munkában részt vevő tudósok a birodalom közlekedési fénykorának számítót, i. sz. 150 körüli évekre mintegy 300 000 kilométeres rendszert kaptak, amelynek részletes adatait az Itiner-e (<https://itiner-e.org/>) adatbázisban mindenki számára hozzáférhetővé tettek.

Sci. Data 12, 1731. (2025)

Az élesztő mint divatdiktátor

A mai ruhák többsége poliészterből vagy pamutból készül. Ezek közismerten mikrorészecskéket képeznek, amelyek káros hatással lehetnek a környezetre, így szükség lenne kedvezőbb tulajdonságú szövetek előállítására. A közelmúltban érdekes új lehetőségre mutattak rá amerikai tudósok: a sörkészítés után visszamaradó, használt élesztőből olyan fehérje-alapú szálakat lehet húzni, amelyek várhatóan kevesebb problémát okoznak. Enzimátikus kezelés után, egy már ismert textilipari technikával, a kinyert protein porát cellulózzal keverik össze N-metil-morfolin-N-oxid oldószerben, amiből vízhűtés mellett 100 mikrométer átmérőjű szálak lehet húzni. Az még kérdéses, hogy az ilyen szálból szőtt kelmék mennyire állnak ellen különböző mosószereknek, illetve elképzelhető, hogy a fehérjetartalom miatt esetenként allergiás reakciókat váltanak ki.

Proc. Natl. Acad. Sci. USA 122, e2508931122. (2025)



Ha észrevétele vagy ötlete van ehhez a rovathoz, írjon e-mailt Lente Gábor rovatszerkesztőnek: lenteg1206@gmail.com. A rovatszerkesztő korábbi írásait is tartalmazó blog elérhető a következő internet-oldalon: http://lenteg.ttk.pte.hu/ScienceBits/index_magyar.html

BICENTENÁRIUM



T. J. Seebeck: Ueber die magnetische Polarisation der Metalle und Erze durch Temperatur-Differenz. *Annalen der Physik*, Volume 82, pp. 133–160. (1826. február)

Thomas Johann Seebeck (1770–1831) német fizikus volt, a mágneses tér és a hő kapcsolatát tanulmányozta. Tal-

linnban született, a Göttingeni Egyetemen szerzett orvosi diplomát, de már kezdettől fogva a természettudományok érdekelték. Nagymértékben hozzájárult a ma Seebeck-hatásnak nevezett jelenség felfedezéséhez: ez termoelektromos jelenség, amelynek lényege, hogy ha két különböző fémek két helyen összekapcsolnak, és a kapcsolódási pontokat különböző hőmérsékleten tartják, akkor a kapcsolódási pontok között elektromos feszültség keletkezik. Ezen az elven ma hőmérők és termoelemek működnek.

Helyesbítés: A januári szám Vegyészleletek rovatában, a Centenáriumban írásban az szerepelt, hogy Georg Wittig 1979-ben az amerikai Herbert C. Brownal megosztva kapott kémiai Nobel-díjat a szerves és szervetlen bórvegyületekkel kapcsolatban végzett úttörő munkásságért. Valójában ezt a témát H. C. Brown művelte; Georg Wittig a foszforvegyületek kutatásáért kapta az elismerést.

Teflon-újrahasznosítás

Teflonból évente mintegy negyedmillió tonnát állítanak elő a világon. A polimer egyik fő előnyös tulajdonsága eredetileg az igen csekély reakciókészség volt, ám ez a sajátság az újrahasznosításban kimondottan hátrányos. Oxfordi tudósok inert atmoszférájú golyósmalomban reagáltattak a teflont elemi nátriummal: a folyamatban nagy tisztaságú nátrium-fluorid és elemi szén keletkezését tapasztalták. Ez a fajta mechanokémiai reakció ipari léptékben nem valósítható meg, de van arra remény, hogy másféle, könnyebben felskálázható módszerek is hasonló eredményt adnak majd.



J. Am. Chem. Soc. 147, 40895. (2025)

APRÓSÁG



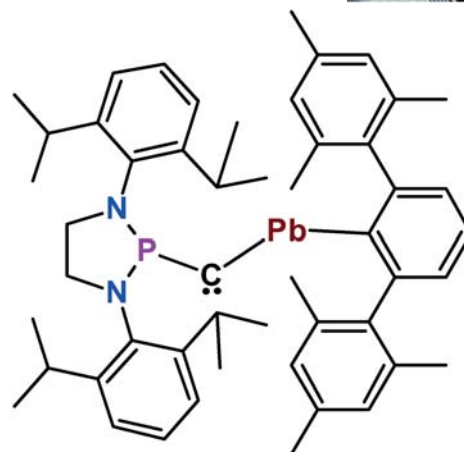
Donald Trump amerikai elnök 2025. december 18-án olyan rendeletet írt alá, amely a marihuána törvényi kábítószer-besorolását enyhíti, így a vele való tudományos kísérleti munkát adminisztratív szempontból jelentősen megkönnyíti.



A HÓNAP MOLEKULÁJA

Az ábrán látható, karbén jellegű szénatomot is tartalmazó ólomorganikus vegyület ($C_{51}H_{63}N_2Pb$) az első olyan ismert példa, ahol a Pb-C kötés nem egyszeres, hanem a P-C-Pb delokalizáció miatt egynél nagyobb a kötési rend. Ez a rész változatos reaktivitást mutat: telíthető vagy akár fel is hasítható a partnertől függően. A foszfor-szén kötéstávolság 157,2 pm, a P-C-Pb-C atomnégyesben a kötésszög a szén körül $131,4^\circ$, az ólom körül $97,7^\circ$, a karbénés szén és az ólom közötti kötéstávolság 217,2 pm, míg az ólom és az aromás szén között 229,1 pm.

J. Am. Chem. Soc. 147, 43248. (2025)



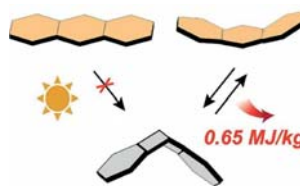
Ősi fotoszintézis



Az egykori élőlények gáz-kromatográfiával kapcsolt tömegspektrometriás mérésekben kapott molekuláris ujjlenyomatainak gépi tanuláson alapuló vizsgálatával bizonyítékot találtak arra, hogy a fotoszintézis már két és fél milliárd évvel ezelőtt is létezett a Földön. Összesen 406 kőzetmintát vizsgáltak meg ilyen célból: az élőlények nyoma

it már 3,3 milliárd évesekben is felfedezték, míg a növényi fotoszintézisre utaló első jelek ennél 800 millió évvel fiatalabbak voltak. A kifejlesztett eljárásnak külön jelentőséget ad, hogy már a Mars felszínéről is vannak az itt használható hasonló GC-MS adatok, így ez az elemzési eljárás képes lehet Földön kívüli élet kimutatására is.

Proc. Natl. Acad. Sci. USA 122, e2514534122. (2025)



Antracénalapú hőtárolás

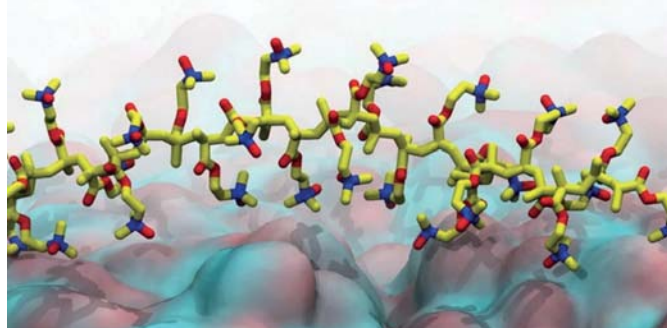
A napenergia tárolásának és hővé alakításának érdekes új módját sikerült megvalósítani nem síkalkatú, a középső gyűrűn nagy térigényű szubsztituenszt tartalmazó antracénmolekulákkal. Az ilyen vegyületek úgy nyelik el a látható fényt, hogy közben kémiai reakció is lejátszódik: úgynevezett Dewar-izomereket képeznek, amelyekben az antracén középső gyűrűjének két szemközti szénatomja között is egyszeres kötés jön létre, vagyis egy ilyen molekulában a két szélső benzolgyűrűt közös kötést tartalmazó négytagú gyűrűk választják el. A Dewar-izomer a megvilágítás megszűnésével erősen exoterm folyamatban alakul vissza a stabilabb formává, ilyenkor 650 kJ/kg hő szabadul fel. Ez a visszaalakulás a gyakorlati felhasználások szempontjából még túl gyors a jelenlegi rendszerben, de a szubsztituensek megfelelő megválasztásával minden bizonnyal szabályozható lesz.

Chem 11, 12102660. (2025)

Inzulin tú nélkül

A cukorbetegség milliókat érint világszerte. Számukra fontos lehet az a makromolekula, amely az ép bőrön át, tűszúrás nélkül is képes kívülről inzulint juttatni a véráramba. Az eddigi ismeretek szerint nagy molekulák így nem juthatnak a szervezetbe: a kozmetikai iparban például 1000 g/mol moláris tömeg fölött már tesztelést sem követelnek meg a jogszabályok. Az új tanulmány szerint azonban a poli[2-(N-oxid-N,N-dimetilamino)etol-metakrilát] képes a bőrön át bejutni és magával vinni a mintegy 5800 g/mol moláris tömegű inzulint is. A cukorbeteg egereken végzett kísérletek nemcsak az inzulin bejutását igazolták, hanem azt is, hogy hatását ugyanígy kifejti, mint az injekcióban beadott.

Nature 648, 459. (2025)



Arany-hidrid

A Deutsches Elektronen-Synchrotron (német elektronszinkrotron) munkatársai Hamburgban, a világ egyik legnagyobb teljesítményű lézerét használva gyémántot próbáltak szénhidrogénekből előállítani 40 GPa nyomáson és 2500 °C hőmérsékleten. Erőfeszítéseiket siker koronázta, de közben tettek egy váratlan megfigyelést. Az eredetileg inert hővezető fóliaként használt arannyal is történt valami: a nemesfém hidridet képzett. A normál körülmények között legszorosabb illeszkedésű köbös aranyrács nagyon nagy nyomáson legszorosabb illeszkedésű hexagonálissá alakult át, s ebben a szerkezetben a szénhidrogének hőbomlásakor keletkező hidrogén atomjai kerültek a ráccspontok közé. Ennek a felfedezésnek nemcsak az arany kémijával foglalkozó tudósok számára van jelentősége, hanem a nagy nyomású folyamatok tanulmányozásában is figyelemre méltó jel a szerkezeti anyagok feltételezett inertségéről.

Angew. Chem. Int. Ed. 64, e202505811. (2025)



Válogatás

Az MTA Kémiai Tudományok Osztálya által kiválasztott három publikáció közül az elsőben a szerzők egy fontos vegyipari alapanyag, a furfural-alkohol katalitikus előállítását mutatják be a molekuláris szintű reakciótervezéstől a koncepcionális folyamattervezésig. A második közlemény szerzői először írták le C-típusú lektin (DC-SIGN fehérje) kovalens módosításait elektrofil fragmensekkel. A harmadik publikáció szerzői az LNO-CCSD(T) módszer segítségével (MRCC programcsomag) gyógyszermolekula-fehérje kötődési modellekre végeztek nagy pontosságú vizsgálatokat.

Perczel András

az MTA Kémiai Tudományok Osztályának elnöke

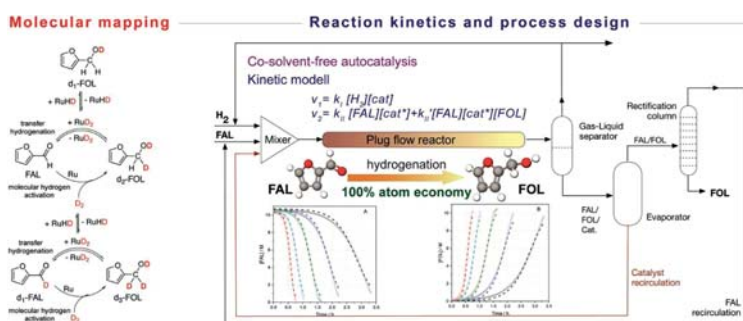
A molekuláris szintű a folyamattervezésig:
A furfural segédoldószer-mentes autokatalitikus
hidrogénezése furfural-alkohollá

Chemical Engineering Journal, 2025<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894725023721>Csaba Árvai,¹ Attila K. Horváth,² Kinka Komka,¹ László T. Mika¹

¹Department of Chemical and Environmental Process Engineering,
Faculty of Chemical Technology and Biotechnology, Budapest University
of Technology and Economics, Hungary

²Department of General and Inorganic Chemistry, Institute of Chemistry,
Faculty of Sciences, University of Pécs, Hungary

A különböző biomassza-eredetű platformmolekulák hatékony szintézise új technológiai lehetőséget biztosíthat a nem fosszilis eredetű alapvegyületek gazdaságos előállítására. Az egyik ilyen építőelem a furfural-alkohol, amelynek a furfuralból történő előállítása során először igazoltuk segédoldószer-mentes autokatalitikus reakció jelenlétét. A tanulmányban az izotópjelzéses mechanizmusvizsgálattól az átfogó kinetikai modellezésen keresztül a koncepcionális folyamattervezésig mutatjuk be a 100% atomhatékonysággal végbemenő hidrogénezési reakciót.



A DC-SIGN lektin aktiválása kovalens fragmensekkel
Angewandte Chemie International Edition, 2025
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/anie.202520594>

Jonathan Lefèvre^{1,2,3}, Maurice Besch^{1,2,3}, Noémi Csorba^{4,5,6},
Kristóf Garami^{4,5,6}, Zoltán Orgován^{4,6}, Gitta Schlosser⁷,
Iris Bermejo^{1,2}, Péter Ábrányi-Balogh^{4,5,6}, György M. Keserü^{4,5,6},
Christoph Rademacher^{1,2}

¹Department of Pharmaceutical Sciences, University of Vienna, Austria

²Department of Microbiology, Immunology and Genetics, Max E Perutz
Labs, Vienna, Austria

³Vienna Doctoral School of Pharmaceutical, Nutritional and Sport
Sciences, University of Vienna, Austria

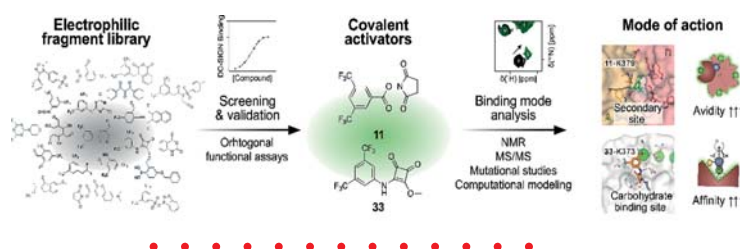
⁴Medicinal Chemistry Research Group, Research Centre for Natural
Sciences, Budapest, Hungary

⁵Department of Organic Chemistry and Technology, Faculty of Chemical
Technology and Biotechnology, Budapest University of Technology and
Economics, Hungary

⁶National Laboratory for Drug Research and Development, Budapest,
Hungary

⁷MTA-ELTE Lendület Ion Mobility Mass Spectrometry Research Group,
Institute of Chemistry, Eötvös Loránd University, Budapest, Hungary

A DC-SIGN fehérje kulcsfontosságú receptor, amely szerepet játszik a kórokozók felismerésében és az immunválasz szabályozásában. A DC-SIGN szénhidrátkötő helyének sajátosságai miatt kihívást jelent a megfelelő ligandumok tervezése, ezért a szerzők egy új stratégiát vizsgáltak: lizinek specifikus kovalens módosítását végezték el elektrofil fragmensekkel. Két aktivátort azonosítottak, amelyek eltérő mechanizmusokon keresztül fejtik ki hatásukat; ezeket NMR-spektroszkópia, tömegspektrometria és számítógépes modellezés segítségével tárták fel.



Biológiai fehérje-ligandum kölcsönhatás-modellek
nagy pontosságú kvantumkémiai szimulációja

Nature Communications, 2025<https://www.nature.com/articles/s41467-025-63587-9>

Mirela Puleva^{1,2}, Leonardo Medrano Sandonas^{1,3},
Balázs D. Lőrincz^{4,5,6}, Jorge Charry^{1,7}, David M. Rogers⁸,
Péter R. Nagy^{4,5,6}, Alexandre Tkatchenko^{1,2}

¹Department of Physics and Materials Science, University of
Luxembourg, Luxembourg

²Institute for Advanced Studies, University of Luxembourg,
Luxembourg

³Institute for Materials Science and Max Bergmann Center of
Biomaterials, TUD Dresden, University of Technology, Dresden,
Germany



⁴Department of Physical Chemistry and Materials Science, Faculty of Chemical Technology and Biotechnology, Budapest University of Technology and Economics, Hungary

⁵HUN-REN-BME Quantum Chemistry Research Group, Budapest, Hungary

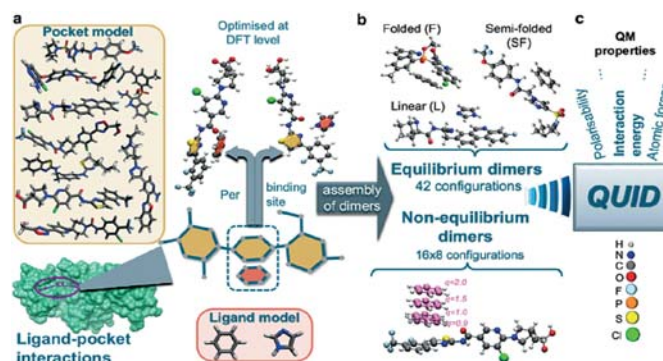
⁶MTA-BME Lendület Quantum Chemistry Research Group, Budapest, Hungary

⁷Luxembourg Researchers Hub asbl, Esch-sur-Alzette, Luxembourg

⁸National Center for Computational Sciences, Oak Ridge National Laboratory, USA

A szerzők nagy pontosságú vizsgálatokat végeztek gyógyszer-molekula–fehérje kötődési modellekre az MRCC programcsomagban fejlesztett LNO-CCSD(T) módszer segítségével. Az eredmények kiválóan egyeznek egy másik, jelentősen számításgényesebb referencia-módszerrel, ami ekkora molekulaméretben a

kvantumkémiaiában eddig példa nélküli. A bemutatott munka különösen nagy értékét az adja, hogy a 2. modell független és más elven alapszik, de mindkettő egyezik (nagyon szűk hibabecelesekkel), ami eddig elérhetetlen minőségi bizonyosságot ad. ●●●



Felmérés a magyar kutatók helyzetéről

Tavaly év végén mutatták be az Akadémián *A magyarországi és az országhoz kötődő kutatók helyzete* című, 2025 nyarán készült felmérés eredményeit.

Néhány fontos megállapítás:

- A 40 év alatti kutatóknak csak 21%-a gondolja azt, hogy a kutatói életpályamodell kiszámítható.
- A válaszadók kétharmada (66%) szerint a hazai pályázati rendszer nem kiszámítható.
- A kutatók nagyobb része (57%) nem érzi magát társadalmilag megbecsültnek.
- A tudományos pálya elhagyásának gondolata a kutatók felében már felmerült, a 40 év alattiaknak pedig közel kétharmadában.
- A női kutatók csaknem fele (48%) számolt be hátrányos megkülönböztetésről.
- A kutatók pszichés jólléte jelentősen alacsonyabb, mint a teljes hazai népességé.
- A kutatók többsége jó munkahelyi légkorról számolt be, megfelelő önállósággal és alapvetően korrekt szakmai bírálati gyakorlattal.
- Az egyetemi tanári kinevezés feltételeként előírt MTA doktora cím megítélése erősen megosztja a kutatói közösséget.

Érdekes megállapításokhoz vezetett, többek között, a kutatók mentális egészségének felmérése. Ennek alapján „a kutatók jólléte közepes, a kiegész szintje pedig változó, de nem elhanyagolható. A legfeljebb 30 éves korosztály érte el a pszichés jóllétet mérő legalacsonyabb átlagos összpontszámot, amely a WHO által javasolt 50 százalékos határérték alatt marad, így rossz pszichés jóllétre utal. A magyarországi és a Magyarországhoz kötődő kutatók pszichés jólléte jelentősen alacsonyabb szintű, mint a teljes népességé. A kutatók a kiegész kiábrándultság-alskáláján nem érik el a kiegész határértékét, a kimerülés-alskálán viszont igen. A nők körében magasabb a kiegész szintje, mint a férfiak között. A magas munkaterhelés, az oktatási feladatok súlya és a munkahelyi elvárások erősen összefüggenek a kiegész magasabb szintjével. A külföldi intézményekben dolgozók jobb mentális állapotról



és alacsonyabb szintű kiegészről számoltak be, mint a magyarországi intézmények munkatársai.

A válaszadók több mint felénél (53%) merült már fel a tudományos pálya elhagyása, ami a fiatalabbaknál sokkal gyakoribb: a legmagasabb arány a 31–35 évesek körében figyelhető meg, ahol valamivel több mint 70 százalék jelezte, hogy eddigi pályafutása során már gondolt a tudományos pálya elhagyására. A magyarországi kutatóintézetek munkatársai között az egyetemen dolgozókhoz képest (56,1%) magasabb arányban (62,6%) vannak azok, akik gondoltak már a pálya elhagyására. [...]

A teljes minta 52,8 százaléka rendelkezik valamilyen külföldi szakmai tapasztalattal. A legtöbb kutató egy évnél rövidebb időt töltött külföldön szakmai tevékenységgel. A férfiaknál hosszabb külföldi tartózkodás jellemző, mint a nőknél. Az MTA tudományos osztályai között a matematikusok, a fizikusok és a biológusok körében vannak a legtöbben, akik 3 évnél hosszabb időt töltöttek külföldön. A jelenleg Magyarországon élők 38 százalékában az utóbbi 3 évben felmerült, hogy munkahelyet váltsanak, és külföldön keressenek állást, 24 százalékuk pedig párhuzamos külföldi affiliáció felvételén (is) gondolkozott. A motivációk között leggyakrabban a magasabb anyagi juttatásokat, a jobb munkafeltételeket és a kutatók nagyobb megbecsülését említették. A külföldi munkavállaláson vagy újabb affiliáció felvételén gondolkodók 40 százaléka már tett konkrét lépéseket a munkahely-változtatással vagy további affiliáció felvételével kapcsolatban. Azok közül, akiknek jelenleg nincs affiliációjuk külföldi tudományos intézménnyel, 27 százalék kapott már legalább egy konkrét állásajánlatot Magyarországon kívüli egyetemről vagy kutatóintézetről, de a csoportnak csak 24,8 százaléka fogadott el ezek közül legalább egyet.”

A kutatás főbb eredményei itt olvashatók:

https://mta.hu/data/dokumentumok/egyeb_dokumentumok/2025/kutatok_helyzete_osszefoglalo_2025_11.pdf



OKTATÁS

Átadták a 2025. évi Rátz Tanár Úr Életműdíjakat

December 10-én 25. alkalommal adták át a Rátz Tanár Úr Életműdíjakat az MTA székházában. Az Ericsson Magyarország, a Graphisoft SE és a Richter Gedeon Nyrt. által alapított díj a magyar természettudományos oktatás egyik legrangosabb kitüntetése, melyet minden évben az a 8 pedagógus (2-2 matematika-, fizika-, kémia- és biológiatanár) kap, aki kiemelkedő munkájával jelentős mértékben hozzájárul a hazai természettudományos oktatás fejlődéséhez, a tehetséggondozáshoz és a reáltárgyak iránti érdeklődés felébresztéséhez. A díj iránt 2025-ben is nagy volt az érdeklődés: 125 jelölés érkezett, a végső döntést az alapítvány négytagú kuratóriuma hozta meg. Az életműdíj személyenként 2,5 millió forint pénzjutalommal is jár, és a díjakat az alapítók képviselői minden évben népes közönség előtt ünnepélyes körülmények között adják át.

Az alapítók képviselői emlékezetes gondolatokkal köszöntöttek a kitüntetetteket, ezek közül Bojár Gábor, a Graphisoft SE alapítójának véleménye ragadott meg leginkább, aki nehezményezte, hogy a felsőoktatás és a közoktatás irányítása évekkel ezelőtt külön minisztériumi hatáskörbe került azon elv alapján, hogy a felsőoktatásnak nagyobb a hatása a gazdasági folyamatokra. Az eredmény azonban attól függ, hogy a közoktatás tud-e felkészülni, a gazdasági folyamatok, a természettudományok iránt érdeklődő fiatalokat adni a felsőoktatás számára.

Jó érzéssel vehettük tudomásul, hogy a Rátz Tanár Úr Életműdíjak átadása ezúttal a Nobel-díjak stockholmi átadásának napján történt itt, Budapesten.

A 2025. évi díjazottak:

Matematika

Dr. Kántor Sándorné – Debreceni Fazekas Mihály Gimnázium/DE TTIK Matematikai Intézet

Dr. Pintér Klára – SZTE Báthory István Gyakorló Gimnázium és Általános Iskola/SZTE Juhász Gyula Pedagógusképző Kar, Szeged

Fizika

Ábrám László – Városmajori Gimnázium, Budapest

Horváth Norbert – Baár-Madas Református Gimnázium, Általános Iskola és Kollégium, Budapest

Kémia

Karasz Gyöngyi – Gödöllői Török Ignác Gimnázium

A díjazottak



Nagy István – Szekszárdi I. Béla Gimnázium, Kollégium és Általános Iskola

Biológia

Bódis Bertalan – Börzsöny Általános Iskola, Nagyoroszi

Mándics Dezső – ELTE Radnóti Miklós Gyakorló Általános Iskola és Gyakorló Gimnázium, Budapest

Gratulálunk a kitüntetetteknek!

A díj és a kitüntetettek részletes bemutatása elérhető a Rátz Tanár Úr Életműdíj hivatalos weboldalon:

<https://www.ratztanarurdij.hu/>

KT

Magyar Kémiaoktatásért díj, 2025

1999-ben a Richter Gedeon Nyrt. életre hívta a Magyar Kémiaoktatásért Alapítványt. Az alapítvány célja a magyarországi kémiaoktatás támogatása, melynek során évről évre díjazza az általános iskolai és középiskolai kémiatanárok legjobbjait. 2025-ben 26. alkalommal adták át a díjat, melyet az alapítvány kuratóriuma ítelt oda a díjra felterjesztett pályázatok alapján. Az elmúlt évekhez hasonlóan a díjátadó idén is a Magyar Tudományos Akadémián, a Vörösmarty-teremben volt.

A beérkezett pályázatok közül a kuratórium öt pályázatot részesített az elismerésben. Olyan tanárok kapták meg a díjat, akik éveken keresztül a legtöbbet tettek a kémia iránti érdeklődés felkeltéséért, elkötelezett és sikeres cselekvői voltak a tehetséggondozásnak, akiknek tanítványai sikeresen szerepeltek hazai és nemzetközi kémiai tanulmányi versenyeken, akiknek tevékenysége túlmutat saját iskolájukon.

Elsőként *Bogsch Erik*, a Richter Gedeon Nyrt. örökös tiszteletbeli elnöke köszöntötte a díjazottakat. Megköszönte lelkiismeretességüket, hogy munkájukat hivatásként kezelik, és megvan az a kisugárzásuk a diákok felé, ami szeretetben és empátiában nyilvánul meg. „Akkor, amikor a Richternél alapítottuk ezt a díjat, akkor úgy gondoltuk, nekünk is erkölcsi kötelességünk, hogy azokat, akik ilyen áldozatokat hoznak a diákok jövőjéért, megpróbáljuk elismerni. Magyarország a kémiában mindig erős volt, és a jövőre 125 éves Richter is ennek köszönheti sikereit. Reméljük, hogy a tehetséges fiatalok tanulmányaikat Magyarországon folytatják, ami nem jelenti azt, hogy ne menjenek külföldre, de szeretnénk, ha vissza is térnének és tapasztalataikkal segítik mind a Richtert, mind a haza ipart.”

Szakács Zoltán, az alapítvány kuratóriumának elnöke köszöntőjében elmondta, hogy a kémia nem csupán egy tantárgy. Ez az anyag és energia világának kulcsa, nyelv az élő és élettelen természet jelenségeinek leírására. Fenntartható technológiák alapja, használati tárgyak, élelmiszerek és gyógyszerkészítmények formájában minden nap értéket teremtő iparág. A kémiatanárok munkája határozza meg, hogy lesz-e minőségi utánpótlása mérnökeinknek és kutatóinknak, akik kulcsszereplői az innovációnak és a gazdasági sikernek nemcsak a Richter Gedeon gyógyszergyár, hanem a magyar vegyipar többi szereplője számára is. A Richter 1999-ben küldetést vállalt magára az Alapítvány a Magyar Kémiaoktatásért létrehozásával. A nagyvállalati szférában elsőként tett hitet amellett, hogy a legkiemelkedőbb kémiatanárok lényegesen nagyobb figyelmet, elismerést és megbecsülést érdemelnek, mint amellyel a magyar társadalom tekint rájuk. A Richter ezzel a díjjal az elmúlt évtizedekben száznál is több kiváló kémiatanár munkáját ismerte el, olyanokét, akik általános iskolákban, gimnáziumi és középfokú szakképző intézményekben, részben hatá-



ron túl magyar nyelven oktató intézményekben a legtöbbet tettek a tanulmányi versenyfelkészítés, versenyszervezés, a tananyagfejlesztés és általában véve a kémia népszerűsítése területén.

Szántay Csaba, a Richter tudományos főtanácsadója, egészségügy- és oktatástámogatási vezetője arról beszélt, hogy társadalmi felelősségvállalási programjainak keretében a Richter egyedülállóan sokszínű és innovatív oktatástámogatási portfólióval kapcsolódik a felső- és közoktatás világához. A cég kiemelt figyelmet fordít a természettudományok oktatására, illetve arra, hogy oktatási ökoszisztémában gondolkodva minél több és minél szorosabb szálakon keresztül mutassa meg a természettudományos érdeklődésű diákoknak és tanáraiknak a munka világának igazi értékkínálatát és értékigényét – azt, hogy pontosan miért érdemes tanulni és tanítani. A Magyar Kémiaoktatásért díj ennek a szándéknak és szellemiségnek egyik legrangosabb képviselője. A díjnak számos sajátos tulajdonsága van – többek között „lelke” is: a díj derűs, minőségorientált, közösségépítő, inspiráló, erőt adó, innovációra buzdító, szemléletformáló és előremutató lelkülettel rendelkezik. De mindenek felett, a díjnak „varázsléleke” van, mert az olyan „varázstanárokat” díjazza, akik nemcsak szaktudásukkal, hanem a személyiségükkel is el tudják varázsolni diákjaikat. A díj nemcsak a díjazott tanárok eddigi teljesítménye előtt tiszteleg, hanem egyben jövőbe mutató felajánlás, hogy a tanárok bekapcsolódjanak ebbe az ökoszisztémába.

A díjak átadása előtt *Kubik Anna* Kossuth- és Jászai Mari-díjas színművésznő előadásában meghallgathattuk *Bencze Kinga* a „Te és a természettudományok – mesés történetek” című természettudományos történetíró pályázat középiskolás korcsoportjában első helyezést elért művét, amelynek címe: Váratlan kémiai reakciók.

A díjazott tanárokat egykori tanítványaik méltatták személyes hangvételű köszöntőikkel. A laudációkat és a díjak átvételét követően a díjazott tanárok is felszólaltak.

Az idei év díjazottjai és köszönőbeszédük egy-egy gondolata:

Muzsnay Zoltánné Murai Enikő, a Debreceni Egyetem Kossuth Lajos Gyakorló Gimnáziumának és Általános Iskolájának tanára: „Az utóbbi pár évben nagyon jó érzéssel gondolok a Richterre, mert nekem nagyon sok pozitív élményt és motivációt adott. Egy gyárlátogatásra, egy szakmai előadásra, *Szántay* professzor úrnak a diáira a mai napig emlékszem, mély nyomokat hagyott bennem. Ezek mind-mind segítettek és inspiráltak abban, hogy a hétköznapiakban tovább vigyem ezt a munkát. Nagyon hálás vagyok az egykori kémiatanáromnak, mert én is tőle kaptam az indítást, azt a tudást és elhivatottságot, amit próbálok egyszerűen csak továbbadni.”

Dr. Várallyainé Balázs Judit, a debreceni Tóth Árpád Gimnázium tanára: „Ritkán adatik meg az embernek, hogy ilyen elismerő szavakat halljon, főleg egy volt diákjától, aki ma kémiatanár lett, és ő ismeri el a munkámat. Különös érzés ez most nekem, hiszen akkor, amikor elindult ez a díj, 2000-ben az iskolánk egy másik tanára, dr. Kónya Józsefné tanárnő vette át a díjat. Nekem ő volt az igazi példaképem, így most különös boldogságot jelent nekem, hogy én is a díjazottak között lehetek. Valahol ott kezdődött az egész, hogy kiskoromban az anyukám fogta a kezem és mesélt a természetről. Úgy gondolom, ez csak így tud működni, ha a család, az iskola és az ilyen cégek együttműködnek.”

Darvas József, a Salgótarjáni Általános Iskola és Kollégium, a Karancssági I. István Általános Iskola tanára: „Mindenkinek nagyon köszönöm, és hajrá kémia, hajrá mobillabor!”

Fandel Richárd Gábor, a Budapesti Műszaki Szakképzési Centrum Petrik Lajos Két Tanítási Nyelvű Technikumának tanára:



Díjazottak és néhányan az őket köszöntők közül (balról jobbra): Fogarasi József, a kuratórium tagja; Muzsnay Zoltánné Murai Enikő díjazott; Szántay Csaba, a Richter Gedeon Nyrt. tudományos főtanácsadója, egészségügy- és oktatástámogatási vezetője; Darvas József díjazott; Várallyainé Balázs Judit díjazott; Szakács Zoltán, a kuratórium elnöke; Fandel Richárd Gábor díjazott; Riedel Miklós, a kuratórium titkára; Bogsch Erik, a Richter Gedeon Nyrt. örökös tiszteletbeli elnöke

„Elsősorban szeretném megköszönni a Magyar Kémiaoktatásért díjat felterjesztő kollégáimnak, barátaimnak, akik bíztak bennem és támogattak, valamint tanítványaimnak a méltató szavakat és a közös munkánkat. Nem utolsósorban köszönöm a kuratóriumnak, hogy megtisztelték bizalmukkal, hogy ma ezt a díjat átvehetem. Köszönöm a családomnak és mindazoknak, akik lehetővé tették, hogy ma itt állhassak Önök előtt.”

Varga Bence, az ELTE Apáczai Csere János Gyakorló Gimnázium és Kollégium tanára (videóüzenetben): „A díjat azért nem tudom személyesen átvenni, mert ezekben a napokban zajlik a 22. Nemzetközi Junior Természettudományi Diákolimpia az oroszországi Szocsiban, ahol a magyar csapat kísérőréjeként én is részt veszek az eseményen. Ez olyan verseny, amelyre a kezdetektől fogva a budapesti ELTE Apáczai Gyakorló Gimnázium tanárai készítik fel a hazai diákokat, és ebben a munkában már ötödik éve én is részt veszek. Rendkívül szerencsének tartom magam, mert egy olyan foglalkozással tölthettem mindennapjaimat, ami számomra nem is munka, sokkal inkább hobbi. Szerencsés vagyok azért is, mert mindvégig biztos családi háttér állt mögöttem, ahol sosem volt kétséges, hogy megengedhetem-e magamnak, hogy a tanári pályán maradhassak.” Nevében a díjat édesanyja vette át.

Az ünnepi eseményt a richteres kollégák klasszikus, romantikus és jazz műfajú zenei produkciói színesítették *Szakács Zoltán* (zongora), *Ouanphanivanh-Kiss Noémi* (hegedű), *Birta Katalin* ének, *Szántay Csaba* (szájharmonika), valamint *Szabó János* (az MKE ügyvezető elnöke, gitár) és *Urbányi Zoltán* (az MKE alelnöke, basszusgitár) előadásában.

Gratulálunk a díjazottaknak!

Fogarasi József





22. Nemzetközi Junior Természettudományi Diákolimpia

Szocsi, Oroszország, 2025. november 23. – december 2.

A Nemzetközi Junior Természettudományi Diákolimpiát (International Junior Science Olympiad, röviden IJSO) 2004-ben Indonézia alapította. A versenyen való részvétel egyik leglényegesebb kritériuma, hogy csak 16. életévüket be nem töltött diákok indulhatnak. Magyarországon ez azt jelenti, hogy érdemben a középiskolát épp elkezdő 9.-esek, illetve – szerencsés helyzetben – egyes 10. osztályos diákok, kivételes esetben pedig igen tehetséges 8. osztályosok mérhetik össze tudásukat.

A versenyen elvileg egyenlő arányban szerepel a három természettudományos tantárgy (fizika, kémia, biológia), így azoknak, akik több tárgyban is járatosak, a felkészítón kevesebbet kell hozzátanulniuk. Erre egyébként azokat a diákokat hívjuk, akik az olimpiát megelőző tanévben bejutottak egy vagy több korosztályi természettudományi verseny országos döntőjébe. Ebben az évben nagy fejtörést okozott, hogy egyáltalán elindítsuk-e a válogatást és felkészítést, ugyanis felő volt, hogy Oroszországba – a sajátos politikai helyzet miatt – nem fogják elengedni a gyerekeket a szüleik. Végül úgy döntöttünk, hogy meghirdetjük a versenyfelkészítést, és meglepetésünkre 28 diák jelentkezett a júniusi „táborra”. Azt is kikötöttük, hogy a szeptember eleji első válogatón csak azok a diákok kerülhetnek a szűkebb felkészítőbe, akik – a megfelelő teljesítményükön túl – szülői nyilatkozatot is leadnak, amelyben a szülők hozzájárulnak gyermekük utazásához. A nyár folyamán többen feladták az első válogatón való megmérettetést, illetve néhány szülő meggondolta magát, így a szeptember elején megírt dolgozattal már csak 18 diák mérte össze tudását.

Ezt az olimpiát az oktatási kormányzat 2007 és 2017 között anyagi segítséggel is támogatta. A versenyek támogatási rendszerének átalakulása után, 2017 óta a Nemzeti Tehetség Program (NTP) ideillő pályázatából kapunk támogatást. Az utazás anyagi oldalának kezelését, illetve a pályázatok lebonyolítását a Magyar Kémikusok Egyesülete (MKE) végzi, ami óriási segítséget jelent a csapat számára. A verseny további állandó támogatója, a Richter Gedeon Nyrt. szponzorálása tette lehetővé, hogy időben megvegyük a repülőjegyeket, illetve az utazás bonyolultsága miatt az odaúton egy éjszakát Isztambulban töltsön a csapat.

A felkészítést ebben az évben is júniusban kezdtük meg (Gyertyán Attila matematikából és fizikából, Varga Bence és Villányi Attila kémiából, valamint Papp Ádám biológiából), ugyanis a megtanulandó tananyag olyan nagy, hogy a tanévkezdés utáni három hónap felkészítés nem lenne elegendő. Néhány napos elméleti bevezető után az általános és középiskolai tankönyvekből jelöltük ki az elsajátítandó (vagy átismétlendő) ismereteket, összefüggéseket, illetve az általunk készített prezentációkból kellett az új anyagot megtanulniuk a versenyre készülőknek. Szeptember 7-én, vasárnap írtuk az első selejtező dolgozatot. A válogató eredménye alapján és a korábbi hagyományok szerint a legalább 50%-os teljesítményt elérő legjobb diákokat terveztük kiválasztani. Ebben az évben azt a feltételt is megfogalmaztuk, hogy csak olyan diákok kerülhessenek be a szűkebb válogatóba, akik egyik tárgyból sem értek el 50% alatti teljesítményt, de ezt a szabályt végül nem tudtuk betartani, mert túl kevesen maradtak volna a felkészítón, és egyikük fizikából kiemelkedően jó teljesítményt mutatott. Az idej, várhatóan nehéz feladatok miatt a válogató feladatsorát is az átlagosnál nehezebbre terveztük. A megjelent 18 diák közül kilencen érték el a kritériumként meghatározott 50%-os

határt. Mind a kilenc diák szülei rábólintottak gyermekük esetleges utazására, így örömmel jelenthettük be, hogy ebben az évben is a teljes, hatfős csapattal vehet részt Magyarország a 22. IJSO-n.

A diákokat szeptember és október folyamán minden hétfőgén – és több esetben hét közben is – a korábbi versenyek tapasztalatai és a követelmények alapján készítettük a versenyre az ELTE Apáczai Csere János Gyakorló Gimnáziumban. Az orosz szervezésről csak a nemzetközi intézőbizottságon keresztül értesültünk. A sajátos politikai helyzet miatt Oroszországban nem működnek a nem orosz hitelkártyák, és európai bankból sem lehet átutalást indítani, így a részvételi és egyéb díjakat is készpénzben kellett befizetnünk a verseny helyszínén. Szocsiig a távolság ugyan nem nagy, de Európából csak az Air Serbiának volt ajánlata Szocsiba, viszont nem megfelelő menetrenddel, ezért végül két külön repülőjeggyel, a Turkish Airlines és az Rossiya Airlines járatával Isztambulon keresztül vettünk jegyet Szocsiba. Ez jelentősen megrágította az utazást. A repülőjegy-foglalás és az orosz vízum beszerzéséhez szükséges idő is arra kényszerített bennünket, hogy ne várjuk meg a második válogatót, hanem az első válogató és a döntésig megíratott röpdolgozatok eredményeinek 2:1 arányú összegzésével kapott pontszám alapján állapítsuk meg a bejutási rangsort. Ezután még betegség miatt elmaradt órákat pótoltak a kollégák, illetve novemberben három hétfőgén a gyakorlati munkát próbálták ki a csapat tagjai a három tantárgyból.

A legjobban teljesítő hat diák került a csapatba, név szerint:

a tavalyi IJSO bronzérmese, *Kiss Mihály*, valamint *Roszkos Vilmos* 10. osztályos tanulók a budapesti ELTE Apáczai Csere János Gyakorló Gimnázium és Kollégiumból, *Rajtik Sándor Barnabás* 10. osztályos tanuló a budapesti Fazekas Mihály Gyakorló Általános Iskola és Gimnáziumból, *Csonka Sebestyén* 9. osztályos tanuló a pécsi Ciszterci Rend Nagy Lajos Gimnáziumából, *Kaszab Kristóf István* 9. osztályos és *Hicsó Máté Kristóf* 10. osztályos tanuló, a debreceni Fazekas Mihály Gimnáziumból.

A hat diákból és három kísérő tanárból (Gyertyán Attila, Varga Bence és Villányi Attila) álló csapat november 22-én indult el Isztambulba, ahol a menetrend és a külön repülőjegyből adódó átszállási bizonytalanságok miatt egy éjszakát töltöttünk, és 23-án délben indultunk tovább Szocsiba. A verseny és a szállás a 2014-es téli olimpiára felépített, Szocsi melletti olimpiai faluban volt (ez ma már a Sziriusz Szövetségi Körzet nevű önálló közigazgatási egység), amelynek egy részét tehetséggondozó iskolákká alakították át, ahol az ország diákjai rövidebb-hosszabb ideig bentlakásos formában készülhetnek azokból a tantárgyakból, amelyben kimagasló tehetségük megmutatkozott. A diákokat és a tanárokat már az érkezés napján elkülönítették, két külön helyen szálltunk meg. A verseny első napjától az utolsóig – a verseny szabályzatának megfelelően – az ott-tartózkodás teljes ideje alatt a szervezők biztosították a csapat transzferét, szállását és teljes ellátását. A nyitóünnepélyre november 24-én délelőtt került sor. Ezután a kísérő tanárok begyűjtötték a csapatuk tagjainak összes kommunikációra alkalmas eszközét, amelyet csak a verseny utolsó fordulója után kaptak vissza a diákok.

A kísérő tanárokból álló nemzetközi zsűri (International Board) a második, negyedik és hatodik napon vitatta meg az egyes fordulók feladatait, majd a nem angol nyelven kommunikáló országok tanárai hajnalig fordították a saját nyelvükre a feladatlapokat, másnap pedig a diákok versenyeztek. Az eddigiektől eltérően



a versenyrészek sorrendje megfordult: az első, gyakorlati forduló kísérleti feladatait a diákok 3 fős csapatokban oldották meg. Erre a versenyrészre az adott csapat minden tagja ugyanazt a pontszámot kapta. A második forduló elméleti jellegű volt, itt két téma köré csoportosuló kérdéseket kellett megválaszolni. Végül a harmadik forduló 30 feleletválasztásos tesztfeladatból állt, 10-10 fizika, kémia és biológia tárgyú kérdésből. A legnagyobb nehézséget az okozta, hogy a laborforduló megvitatására és fordítására jutott a legkevesebb idő, hiszen csak a megnyitó utáni délután kezdtük el a munkát, és másnap hajnali 6:00 órára el kellett készülnünk a fordítással is.

A gyerekek versenyzését nehezítette, hogy az első forduló előtti éjjel, illetve a második forduló reggelén lehetséges dróntámadás miatt óvóhelyre kellett vonulniuk, és néhány órát – biztonságban – ott töltöttek el. Emiatt mindkét forduló csak néhány órával később, délután kezdődött el.

Ebben az évben – mint azt az orosz szervezőktől várni is lehetett – az átlagosnál jóval nehezebb feladatokat kellett megoldani a „vizsgázók”-nak. A politikai helyzet miatt a szokásos 50–55 ország helyett csupán 22-ből jöttek csapatok. Az Európai Uniót egyedül Magyarország képviselte. A környező európai országok közül rajtunk kívül Észak-Macedónia hozott csapatot, Szerbia és Szlovénia pedig egy-egy megfigyelőt küldött. Afrikai ország egyáltalán nem volt jelen, ahogy Ausztrália sem, és az amerikai kontinensről mindössze két országból érkezett csapat. A versenyfeladatok megvitatása során hiányoztak az európai vitapartner-kollegák, akikkel együtt esetleg meggyőzhettük volna a szervezőket vagy legalábbis megszavazhattuk volna a feladatok könnyítését. A főként ázsiai országok tanárai nem ellenkeztek, könnyen beletrődtek a feladatokba úgy, ahogy voltak, és megszavazták, bármilyen elképesztően nehéz problémákról volt is szó.

A bizottság elnöke egy fizikus volt, akinek sok tapasztalata volt már korábbi fizikaversenyek feladatainak összeállításában. Ő maga mellé vett néhány, nemrégiben a Nemzetközi Fizikai Diákolimpián érmet nyert fiataalt, és néhány fiatal biológussal és egy kémikussal együtt így ők alkották a szakmai bizottságot. A gyakorlati forduló kémiai és fizikai jellegű feladatai is nagyrészt spektroszkópiai mérésekből álltak, amivel egy középiskolás a legtöbb országban nem találkozott. Az elvégzendő kísérletek mennyisége és idegensége miatt diákjaink – de mint később kiderült, a legtöbb ország versenyzői – a laborfeladatoknak közel a feléről semmilyen dokumentációt nem adtak be (azaz üres oldalakat kaptunk vissza értékelésre). Az sem könnyítette a versenyzők munkáját, hogy mind a labor-, mind az elméleti forduló feladataiban nem különböztek el a biológiai, kémiai és fizikai kérdések. Ez a komplexitás természetesen dicsérendő, de a feladatok mennyisége miatt igen alacsony teljesítményt eredményezett szinte minden ország versenyzőinél. A feleletválasztásos tesztlap a hagyományos szaktárgyi felosztásban tantárgyanként 10-10 feladatot tartalmazott, de a feladatok itt is meglehetősen nehezek voltak.

A versenyzők a versenyek közti napokon, a tanárok a diákok versenynapjain vettek részt különféle érdekes programokon (kirándulás Krasznaja Poljanába, a Kaukázusba; Moja Rosszija etnográfiai múzeum; Skypark). Főként önkéntes egyetemisták vállaltak „kurátori” feladatokat, azaz ők voltak a diákcsoportok guide-jai, de közülük többen vállalkoztak a kirándulások alatt a kizárólag oroszul tudó idegenvezetők tájékoztatójának tolmácsolására is.

A szakmai zsűri munkája – a feladatok nehézségén túl – jónak mondható, a dolgozatokat és értékeléseket mindig időben megkaptuk. Az értékelés is nagyrészt megfelelően történt, a pont-



A versenyzők és kísérők

egyeztetésénél is elfogadták a kért módosításokkal kapcsolatos érvelésünket. Az idei versenyen 22 ország mintegy 126 versenyzője mérte össze tudását. Ebben az évben is valamennyi diákunk éremmel tért haza. Kiss Mihály és Hicsó Máté Kristóf ezüst-, Csonka Sebestyén, Rajtik Sándor Barnabás, Kaszab Kristóf István és Roszkos Vilmos bronzérmes lett. Az országok közti nem hivatalos versenyben mindössze Oroszország versenyzői szereztek 6 aranyérmet. Mi a 2 ezüst- és 4 bronzérmünkkel a nyolcadik helyen végeztünk.

Évek óta gondot okoz, hogy kevés ország vállalja ennek a versenynek a megszervezését. A 2026-os IJSO lebonyolítására egy potenciális jelölt van, aki azonban csak 2027 januárjában tudná megrendezni a versenyt, ami több problémát is felvet. Egyes országokban a minisztériumi költségvetés naptári évre vonatkozik, így elképzelhetetlen lenne egy évben (2027-ben) kétszer ugyanazt az olimpiát támogatni. Másrészt a versenyzők korhatárával kapcsolatos kikötéseket is fel kellene oldani ebben az esetben. Magyarországon januárban zajlanak jellemzően a természettudományi versenyek első fordulóit, így a következő évi válogatáshoz szükséges korosztályi versenyeredményeket nem tudnák megszerezni a magyar diákok, ha kiutaznak az olimpiára. 2028-ra Katar, 2029-re Szaúd-Arábia vállalta a verseny megszervezését, valamint 2027-re is van két komoly jelölt. Magyarország szellemi potenciálja egyelőre még meglenne a verseny színvonalas megszervezésére, de az oktatási kormányzat támogatásának hiányában továbbra sem tudtunk ilyen ígéreteket tenni a közeljövőre.

A program részben a Kulturális és Innovációs Minisztérium megbízásából a Nemzeti Tehetség Program és a Nemzeti Kulturális Támogatáskezelő által meghirdetett NTP-NTMV-25-B-0013 pályázati azonosító számú pályázati támogatásból valósult meg.

Villányi Attila

TÁMOGATÓK



KULTURÁLIS ÉS INNOVÁCIÓS
MINISZTERIUM



NEMZETI KULTURÁLIS
TÁMOGATÁSKEZELŐ



Nemzeti Tehetség
Program



RICHTER GEDEON
Richter Gedeon Nyrt.



ELTE APÁCZAI CSERE JÁNOS
GYAKORLÓ GIMNÁZIUM ÉS KOLLÉGIUM



Vegyipari mozaik

Új hatóanyaggyártó üzemet avatott az Egis Gyógyszergyár Zrt. Az Egis Gyógyszergyár Zrt. 112 éves történetének egyik legnagyobb volumenű hatóanyaggyártási beruházását adta át Budapesten. Az új, saját forrásból finanszírozott, 30 milliárd forint értékű üzem egy globálisan piacvezető gyógyszer hatóanyagát fogja előállítani, számos technológiai újdonsággal.

Az utóbbi évtizedekben Európában általános gyógyszeripari trendként jelent meg a hatóanyaggyártás visszaszorulása. Az Egis azonban elkötelezett a hatóanyaggyártás mellett, és ennek szellemében újította meg ez irányú tevékenységét több lépcsőben az elmúlt 12 év során. A mostani, 30 milliárd forint értékű kőbányai barnamezős beruházás különlegessége, hogy nemrég adták át annak normandiai „ikerüzemét”. A két, technológiailag azonos létesítmény a franciaországi székhelyű gyógyszeripari vállalat, a Servier Csoport vénás megbetegedésekre ajánlott gyógyszerének hatóanyagát állítja elő, így a két üzem együtt biztosítja a szükséges gyártási kapacitást.

Az üzemeknek köszönhetően megduplázódik a szóbanforgó hatóanyag gyártási volumene. A legkorszerűbb technológiáknak és a hatékonyabb gyártási eljárásnak köszönhetően az üzemek kisebb környezeti terhelés mellett, hatékonyabban tehetnek eleget a növekvő betegségek által támasztott keresletnek.



„Meggyőződésünk, hogy a hatóanyaggyártás nagymértékben hozzájárul nemcsak a versenyképességhez, hanem az ellátásbiztonsághoz is” – mondta Poroszlai Csaba, az Egis Gyógyszergyár Zrt. vezérigazgatója. „Az Egis európai vertikálisan integrált vállalat – azaz mi itt Európában kutatunk, fejlesztünk, gyártunk gyógyszerhatóanyagokat és -készítményeket is, amelyeket aztán világszerte értékesítünk. Ráadásul nem pusztán megtartottuk, de az elmúlt évtizedben új alapokra helyeztük, korszerűsítettük hatóanyaggyártásunkat, még olyankor is, amikor a globális trendek ennek az ellenkezőjét diktálták, és sok más gyártó megszüntette vagy Európán kívülre telepítette ezt a tevékenységét.” Hangsúlyozta: az újonnan átadott üzemmel olyan hatóanyaggyártási kapacitások állnak az Egis rendelkezésére, amelyek biztosítják a hosszú távú fejlődés alapjait, hiszen tovább erősítik a vállalat versenyképességét, és segítségükkel a gyógyszergyár aktívan hozzájárulhat az európai ellátásbiztonság erősítéséhez is.

„Ez a beruházás nemcsak a vállalat, hanem az egész európai gyógyszergyártás számára előremutató” – szögezte le Várhelyi Olivér, az Európai Bizottság egészségügyért és állatjólétért felelős biztos. A szakpolitikus kiemelte: az egész európai gyógyszeripar versenyképessége miatt kulcsfontosságú, hogy ismét kiépüljenek és fejlődjenek a hatóanyaggyártási kapacitások földrésünkön. „Csak így tehetjük biztonságosabbá az ellátási láncokat és biztosíthatjuk

a betegeknek a magas minőségű gyógyszerekhez való hozzáférést a megfelelő időben az uniós minden tagállamában” – mondta.

A négy év alatt megvalósult projekt során egy modern, több technológiai szintű gyártóüzem épült, amely a legkorszerűbb műszaki és minőségbiztosítási megoldásokat alkalmazza.

Az Egis a most átadott budapesti beruházáson túl is folyamatosan erősíti termelési kapacitásait, piaci jelenlétét. A vállalat idén nyáron jelentette be, hogy több mint 14 milliárd forint értékű fejlesztéssel tovább korszerűsíti körmendi telephelyét, ahol 2018 óta csaknem 29 milliárd forintnyi, munkahelyeket is teremtő beruházás valósult meg állami támogatással. (<https://hu.egis.health>)



A MOL-csoport és a SOCAR szárazföldi kutatási és termelésmegosztási megállapodást írt alá. A MOL-csoport és a SOCAR (Azerbajdzsáni Állami Olajtársaság) átfogó szénhidrogén-kutatási, -fejlesztési és -termelésmegosztási megállapodást írt alá, amely Azerbajdzsán Shamakhi-Gobustan régiójának egy szárazföldi területére vonatkozik. A közös kutatási projektben a MOL-csoport operátorként 65%-os, a SOCAR pedig 35%-os részesedéssel rendelkezik.



A 2025. júniusi megállapodásra alapozva, amely a Shamakhi-Gobustan régióban tervezett szénhidrogén-kutatás legfontosabb feltételeiről szól, ez a teljes körű megállapodás jelentős mérföldkővet jelent a MOL és a SOCAR

stratégiai partnerségében, amely a korábbi sikeres együttműködésekre épül.

A megállapodás megerősíti a MOL-csoport hosszú távú stratégiai jelenlétét a Kaszpi-térségben, valamint partnerségét a SOCAR-ral Azerbajdzsán szénhidrogén-készleteinek fejlesztésében. Emellett tovább erősíti az Azerbajdzsán és Magyarország között régóta fennálló gazdasági és energetikai együttműködést. A kutatási projekt következő lépéseként szeizmikus mérés kezdődik 2026 elején, amelyet később kutatófúrások követnek.

A MOL-csoport 2020-ban jelent meg Azerbajdzsánban, amikor 9,57%-os részesedést szerzett a világ egyik legnagyobb olajmezőjében, az Azeri-Chirag-Gunashli (ACG) mezőben, valamint 8,9%-os tulajdonrészt a Baku-Tbiliszi-Ceyhan (BTC) olajvezetékben, amely nyersolajat szállít a Földközi-tenger partján fekvő Ceyhan kikötőjébe. Az azerbajdzsáni termelés 2024-ben a MOL szénhidrogén-termelésének 14%-át és készleteinek 25%-át adta. Bár a MOL az ACG-projektben kisebbségi tulajdonos, nyolc évtizedes készletmenedzsment- és termelésoptimalizálási szakértelmével aktívan hozzájárul a mező fejlesztéséhez.

A BTC vezeték kiemelkedően fontos szerepet tölt be a MOL régiós finomítóinak – például a pozsonyi Slovnaft és a rijekai INA finomítók – ellátásában. Eddig összesen 18 millió hordónyi MOL-kőolajat szállítottak az ACG mezőről a BTC vezetéken és tengeri szállítással ezekbe a finomítóba. (<https://mol.hu>)



Újabb magyar ipari műholdak a világűrben. A C3S Kft., az Európai Űrügynökség (ESA) támogatásával fejlesztett, ütközéssel



kerülő technológiát demonstráló WISDOM műholdja, valamint a Blue Skies Space Ltd. első tudományos műholdja, a 16U méretű Mauve, 2025. november 28-án 19:45-kor emelkedett a magasba a SpaceX Falcon 9 Transporter-15 rakétáján a kaliforniai Vandenberg Űrbázisról [1U = 44,45 mm (1,75 inch)].

A WISDOM 6U méretű műhold a beüzemelési fázist követően két önálló, 3U méretű egységre válik szét, lehetővé téve az autonóm ütközésselkerülő képességek bemutatását.

A MAUVE 16U méretű, nagy teljesítményű csillagászati műhold; 13 cm-es teleszkóppal és 200–700 nm-es UV–VIS tartományban működő spektrométerrel van felszerelve. A műhold több száz csillag megfigyelésére képes, feltérképezi a csillagkitörések jelenségét és azok hatását a közeli exobolygókra.

A tudományos megfigyelések 2026 elején kezdődnek.

A cég budapesti földi állomása a rakétáról történő leválást követően néhány órában már fogadta a két műhold első rádiójeleit. (<https://www.muszaki-magazin.hu>)



Az ABB új gázkromatográfja integrált kiberbiztonsági funkcióval védi az ipari rendszereket. Az ABB piacra dobta a GCPI100 gázkromatográfot, amely új mércét állít fel a kiberbiztonság és az összetett gázkeverékek valós idejű elemzése terén a földgáz-, biogáz-, olaj- és petrokémiai iparágakban. Az új GCPro sorozat részét képező GCPI100 valós időben támogatja az üzemeltetőket a folyamatok stabilitásának és a termékminőségnek figyelemmel kísérésében. A kiberbiztonsági funkciókat integráló GCPI100 átalakítja a hagyományos folyamatelemzést, és biztonságos módon hatékonyságnövelő információkat nyújt az üzemeltetőknek.

A GCPI100 az első olyan gázkromatográf (GC) a piacon, amely beépített kiberbiztonsági funkcióval és integrált WIFI-vel rendelkezik. A piacon lévő más gázkromatográfoktól eltérően nem kell harmadik féltől származó eszközökhöz csatlakoztatni, így nincs rés a titkosításban és a biztonságban. Mivel a titkosítás minden eleme be van építve a GCPI100 analízátorba, a bizalmas folyamatadatok biztonsága nagyobb, mint valaha. A kiberbiztonság elengedhetetlen a gázkromatográfok esetében, mivel ezeket az eszközöket gyakran használják kritikus infrastruktúra-ágazatokban, például az energetikában és a környezetvédelmi monitorozásban.

Az iparágak és az alkalmazások széles körére tervezett GCPI100 elősegíti, hogy az ipari üzemeltetők kiemelkedő pontossággal és precizitással, újszerű digitális csatlakozási lehetőségekkel, alacsony gázminta- és hordozó-gázfogyasztással, valamint alacsony energiafogyasztással alakítsák át folyamatelemzési rendszereiket, ezáltal lehetővé téve a rendszerek folyamatos figyelemmel kísérését anélkül, hogy növelnék az üzemeltetők technikai és karbantartási terheit. A kibővített 60–100 °C közötti működési hőmérsékleti tartományban a detektálási pontossága 1 ppm, valamint a fejlett modularitásnak köszönhetően a GCPI100 az iparágak és az alkalmazások szélesebb körét fedi le.

A hardver és a szoftver terén végrehajtott fejlesztéseknek, többek között a dinamikus QR-kódnak és a mesterséges intelligencia által támogatott funkcióknak köszönhetően a megoldás akár 75 százalékkal is csökkentheti a karbantartással kapcsolatos leállási időt.

Az ABB AI-alapú My Measurement Assistant+ és az ABB Ability™ Genix Copilot integrációjának köszönhetően a kezelők azonnal hozzáférhetnek a dokumentációhoz, a hibakódokhoz és a pótalkatrészekhez kapcsolódó információkhoz, ami megkönnyíti a diagnosztikát, a prediktív karbantartást és az állapotfigyelést is.

A GCPI100 alacsony, 12 wattos energiafogyasztásra lett tervezve. Ezenkívül a kisebb méretű, és egyes esetekben védőház („shelter”) nélküli telepítések alacsonyabb fűtési, szellőzési és légkondicionálási költségekkel járnak, ami hozzájárul az alacsonyabb beruházási költségekhez.

Dobó Dorina összeállítása

MKE-HÍREK

Nobel-díjasok és tehetséges diákok XXV. találkozója

4000 diák és biológia-, illetve kémia tanárai Szegeden, a Pick Arénában hallgatták meg Peter Ratcliffe Nobel-díjas tudós előadását a Nemzeti Tudósképző Akadémia (NTA) rendezvényén 2025. november 24-én.

Az eseményen jelentették be azt is, hogy az NTA új tudományterületként nyit a kémia felé 2026 őszétől az MKE Kémia tanári Szakosztállyal együttműködésben.



Évzáró MKE Intézőbizottság-ülés Pécsen

Az MKE vezető szerve, az Intézőbizottság (IB) 2025. évi utolsó ülését tartotta a Pécsi Tudományegyetem Kémia Intézetében és az Pécsi Akadémiai Bizottság székházában december 5–6-án. Az IB tagjai önkéntesen végzik munkájukat, amit ezúton is köszönünk az Magyar Kémikusok Egyesülete nevében.





Akadémiai székfoglalók

A Magyar Tudományos Akadémia Kémiai Tudományok Osztálya hat székfoglaló előadást rendezett 2025 őszén.

Október 22-én **Hohmann Judit**, az MTA rendes tagja „Természetes vegyületek a gyógyszerkutatásban: új eredmények, kihívások, perspektívák” és **Kónya Zoltán**, az MTA levelező tagja „Tudomány, szenvedély, elhivatottság: a zeolitoktól a nanoszerkezeteken át a bio-nanotechnológiáig – a változás és a folyamatosság kémiai narratívája” címmel tartott előadást.



November 24-én **Nyulászi László**, az MTA rendes tagja „A foszfor változatos kémiájából”, **Fábián István**, az MTA levelező tagja „Kalandtúra: az összetett redoxireakciók mechanizmuskutatásától a funkcionális nanoszerkezetű anyagok sajátságainak felderítéséig” címmel tartott előadást.

FOTÓK: SZIGETI TAMÁS / MTA-HU



Nyulászi László



Fábián István

December 15-én **Keserő György Miklós** (balra), az MTA rendes tagja „Oldás és kötés – kémiai reakciók fehérjékkel”, **Szalay Péter** az MTA levelező tagja (és az MKE elnöke) „Kvantumkémiaiával a molekulák nyomában: módszertantól az alkalmazásokig” címmel tartott előadást.

Gratulálunk!



FOTÓ: SZABÓ JÁNOS ZOLTÁN

HUNGARIAN CHEMICAL JOURNAL LXXXI. No. 2. February

CONTENTS

Nobel prizes	
Chemistry	34
KRISZTINA LÁSZLÓ	
Physiology or medicine	37
ERNŐ DUDA	
Physics	39
PÉTER MAKK and SZABOLCS CSONKA	
We must keep our curiosity. Interview with Polányi Prize winner Gergely Samu PhD	42
TAMÁS KISS	
50 years of Qualified Persons in pharmaceutical industry	44
ILDIKÓ ZIEGLER	
The visual language of safety in laboratories	48
TAMÁS AGÁRDI	
Young researchers' László Zechmeister lecture competition 2025	50
PÉTER KELE and KRISZTINA NÉMETH	
Farewell to James D. Watson (1928–2025)	51
ISTVÁN HARGITTAI and MAGDOLNA HARGITTAI	
Marie Curie's thesis and the 1903 Nobel prize in Physics. Part – I	54
SÁNDOR HOSZTAFI	
Chembits	58
GÁBOR LENTE	
Publication of the month	60
News of the month	62

LABORTECHNIKA KIÁLLÍTÁS

és

ANALITIKAI ANKÉT 2026

ELTE Gömb Aula, 2026. február 10 – 11.

A belépés ingyenes, de regisztrációhoz kötött.

Regisztráció itt:

<https://analitikaexpo.mke.org.hu/latogatoi-regisztracio>



**A résztvevők között 10 ingyenes bérletet sorsolunk ki
az analytica 2026 (München) nemzetközi analitikai kiállításra!**

<https://analytica.de/en/munich/>

A Labortechnika Kiállítás célja, hogy lehetőséget adjon
a legkorszerűbb analitikai termékek, szolgáltatások megismertetésére,
kapcsolatok építésére, előadások és poszterek bemutatására.

A kiállításhoz Analitikai Ankéttal csatlakozunk, melynek keretében
az analitika korszerű fejlesztési irányai és fontos alkalmazási területei
kerülnek bemutatásra.

Az ankét részeként kapcsolódunk az IUPAC Global Women's Breakfast,
IUPAC GWB2026 kezdeményezéshez.

Szeretettel várjuk Önöket! MKE Titkárság



Megbízható Mennyiségi Meghatározás

Minden komponens, mátrix és felhasználó esetében

A tudományos és üzleti célok elérése csak megbízható eredmények birtokában lehetséges.

A felhasználási területtől függetlenül a Thermo Scientific™ TSQ hármass kvadrupól tömegspektrometriás rendszerei kiemelkedő precizitást biztosítanak a mennyiségi meghatározási feladatokra. Nagy felbontású SRM üzemmód, robusztusság, megbízhatóság és érzékenység egy készülékben, mely segítségével minden felhasználó a mérendő komponenstől vagy a mátrixtól függetlenül megbízható mérési eredményekhez juthat.



Thermo Scientific™ TSQ Altis™ hármass kvadrupól tömegspektrométer



Thermo Scientific™ TSQ Quantis™ hármass kvadrupól tömegspektrométer



Thermo Scientific™ TSQ Fortis™ hármass kvadrupól tömegspektrométer

További információk:

thermofisher.com/confidentquantitation

Kizárólagos képviselő:

UNICAM Magyarország Kft.
1144 Budapest, Kőszeg utca 29.
Telefon: +36 1 221 5536
E-mail: unicam@unicam.hu
Web: www.unicam.hu

UNICAM
Magyarország Kft.