

Magyar Tudomány

SZEMTŐL SZEMBEN A LÉZEREKKEL

Vendégszerkesztő: Bor Zsolt,
Szabados László

Ötven éve halt meg Szekfü Gyula
Hidvégi gróf Mikó Imre – Erdély Széchenyije
World Science Forum

2005 • 12

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA FOLYÓIRATA. ALAPÍTÁS ÉVE: 1840
166. ÉVFOLYAM – 2005/12. SZÁM

Főszerkesztő:

CSÁNYI VILMOS

Vezető szerkesztő:

ELEK LÁSZLÓ

Olvasószerkesztő:

MAJOROS KLÁRA

Szerkesztőbizottság:

ÁDÁM GYÖRGY, BENCZE GYULA, CZELNAI RUDOLF, CSÁSZÁR ÁKOS, ENYEDI GYÖRGY,
KOVÁCS FERENC, KÖPECZI BÉLA, LUDASSY MÁRIA, NIEDERHAUSER EMIL,
SOLYMOSI FRIGYES, SPÁT ANDRÁS, SZENTES TAMÁS, VAMOS TIBOR

A lapot készítették:

CSAPÓ MÁRIA, GAZDAG KÁLMÁNNÉ, HALMOS TAMÁS, JÉKI LÁSZLÓ, MATSKÁSI ISTVÁN,
PERECZ LÁSZLÓ, SIPOS JÚLIA, SPERLÁGH SÁNDOR, SZABADOS LÁSZLÓ, F. TÓTH TIBOR

Lapterv, tipográfia:

MAKOVECZ BENJAMIN

Szerkesztőség:

1051 Budapest, Nádor utca 7. • Telefon/fax: 3179-524

matud@helka.iif.hu • www.matud.iif.hu

Kiadja az Akaprint Kft. • 1115 Bp., Bártfai u. 65.

Tel.: 2067-975 • akaprint@akaprint.axelero.net

Előfizethető a FOK-TA Bt. címén (1134 Budapest, Gidófalvy L. u. 21.);
a Posta hírlapüzleteiben, az MP Rt. Hírlapelőfizetési és Elektronikus
Posta Igazgatóságánál (HELP) 1846 Budapest, Pf. 863,
valamint a folyóirat kiadójánál: Akaprint Kft. 1115 Bp., Bártfai u. 65.

Előfizetési díj egy évre: 6048 Ft

Terjeszti a Magyar Posta és alternatív terjesztők

Kapható az ország igényes könyvesboltjaiban

Nyomdai munkák: Akaprint Kft. 26567

Felelős vezető: Freier László

Megjelent: 11,4 (A/5) ív terjedelemben

HU ISSN 0025 0325

TARTALOM

Szemtől szemben a lézerekkel

Vendégszerkesztő: Bor Zsolt, Szabados László

Bor Zsolt: Bevezető	1474
Földes B. István – Szatmári Sándor – Kuhlevszkij Szergej: Ultrarövid és koherens ultraibolya és röntgenimpulzusok keltése és alkalmazása	1477
Hebling János – Almási Gábor: Képkötés és spektroszkópia THz-es sugárzással: a csillagásztól az orvosi alkalmazásokig	1483
Szabó Gábor – Bozóki Zoltán – Mohácsi Árpád – Szakáll Miklós – Hegedűs Veres Anikó – Filus Zoltán – Ajtai Tibor – Huszár Helga – Varga Attila: Fotoakusztikus gázdetektáló rendszerek alkalmazásorientált fejlesztése	1489
Erdélyi Miklós – Horváth Zoltán – Szabó Gábor – Bor Zsolt: Többszörös leképezési módszerek az optikai mikrolitográfiában	1495
Czitrovsky Aladár – Bánó Gergely – Nagy Attila – Farkas Győző – Oszetzky Dániel – Jani Péter – Gál Péter – Donkó Zoltán – Kiss Árpád – Rózsa Károly – Koós Margit – Varga Péter – Csillag László: Lézerfejlesztések és lézeralkalmazások a KFKI-ban, majd az SZFKI-ban	1499
Osvay Károly – Kovács Attila – Kurdi Gábor – Bor Zsolt: A TeWaTi lézerrendszer és első alkalmazásai	1511
Gyimesi Ferenc: Látványholográfia, holografikus mérés technika és digitális holográfia Lőrincz Emőke – Koppa Pál – Erdei Gábor – Ujhelyi Ferenc – Richter Péter: Holografikus memóriakártya	1521
Szörényi Tamás – Geretovszky Zsolt: Anyagszabászat lézerekkel: a makrostruktúráktól a nanorészecskékig	1525
Hopp Béla – Smausz Kolombán Tamás – Csete Mária – Tóth Zsolt – Kresz Norbert – Kecskeméti Gabriella – Bor Zsolt: Lézerek speciális orvosi és biológiai alkalmazási lehetőségei	1530
Szipőcs Róbert: Femtoszekundumos lézer- és parametrikus oszcillátorok femtobiológiai alkalmazásokhoz	1535
Groma Géza – Ormos Pál: Femtoszekundumos lézerimpulzusok a biofizikában	1540
Sörlei Zsuzsa – Bakos József – Demeter Gábor – Djotyán Gagik – Ignác Péter – Kedves Miklós – Szigeti János – Tóth Zoltán: Hideg atomok	1544
Janszky József – Domokos Péter: Kvantumoptika és kvantuminformatika	1550
Glosszárium	1557

Tanulmány

Dénes Iván Zoltán: A magyar politikai skizofréria feloldási kísérletei – ötven éve halt meg Szekfű Gyula	1561
Egyed Ákos: Hídvégi gróf Mikó Imre – Erdély Széchenyije, az Erdélyi Múzeum-Egyesület megalapítója (1805-0876)	1570

Tudós fórum

A Tudomány Világfóruma, Budapest 2005	1578
Az MTA főtitkára, Meskó Attila beszéde a WSF záró ülésén	1584
Kitüntetések és kitüntetettek a Magyar Tudomány Ünnepe 2005-ben	1587
Gergely János: Klein György és Éva 80 évesek	1589

Vélemény, vita

Szabó István Mihály: Magyar őstörténettudomány: kritikai ambíciók szaktudományi alapismeretek nélkül – válasz Simon Zsoltnak is	1594
Bálint Csanád: Lektorai jelentés	1604
Honti László: Lektorai vélemény	1609
Simon Zsolt: Válasz Szabó István Mihálynak	1612
Balázs Ervin válasza Darvas Béla hozzászólására	1613

<i>Kitekintés (Jéki László – Gimes Júlia)</i>	1614
---	------

Könyvszemle

Kőrösfői-Kriesch Aladár: Naplók (<i>Sipos Lajos</i>)	1617
T. Litovkina Anna: Magyar közmondástár (<i>Vargha Katalin</i>)	1620
Antus Sándor – Mátyus Péter: Szerves kémia (<i>Hajós György</i>)	1622
Hargittai István – Hargittai Magdolna: Képes szimmetria (<i>Meskó Attila</i>)	1623

Szemtől szemben a lézerekkel

ELŐSZÓ

Bor Zsolt
az MTA rendes tagja

A lézer különleges fényforrás, melynek nyalábja rendkívül rendezett, nagyon párhuzamos, kicsi a széttartása, és ezért lencsék segítségével nagyon kis területre fókuszálható. Van olyan lézer, amely nyalábjának olyan kicsi a széttartása, hogy a Földtől 380 ezer kilométerre lévő Holdra világítva, a lézerfény foltja mindössze ötven méter átmérőjű lesz. A lézer másik lényeges tulajdonsága, hogy hullámvonulata elképesztően tökéletes. Elő lehet állítani olyan hibátlan hullámvonulatot is, amely olyan hosszú, hogy tízszer hosszabb a Föld területénél, rajta a hullámok olyan sűrűk, hogy egy milliméteren belül ezer hullámvonulat van, és ezen a hosszú hullámvonulaton egyetlen hibás alakú hullámocskát se lehet találni. A lézerekkel mint tökéletes hullámokkal rendkívül pontos méréseket lehet végezni. Például a lézerrel vezérelt, úgynevezett atomórák olyan pontosan működnek, hogy ha az atomórát Krisztus születésekor indították volna, akkor az mára még tízezred másodpercet sem késne vagy sietne. John L. Hall és Theodor W. Hänsch e fantasztikus mérési pontosság eléréseért és azért, hogy a kvantummechanika helyességét ilyen pontossággal kísérletileg is igazolták, kapták a 2005. évi fizikai Nobel-díjat.

A lézer szó az angol LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* – fényerősítés kényszerített fénykibo-

csátás útján) betűszóból származik, és egy nagy eszközcsalád közös működési elvére, az Albert Einstein által 1917-ben megjósolt kényszerített emisszióra utal. A lézerek a fizikai méret, a sugárzás hullámhossza, a teljesítmény, az előállítási költség, felhasználhatóság stb. paraméterek tekintetében rendkívül különböznek. Például a félvezetőlézerek a mákszemnél is kisebbek lehetnek, míg a termonukleáris fúzió begyűjtására épített lézerrendszer egy több futballpálya alapterületű, tízezer hektáros területet tölt meg. A lézeres mutatópálcában vagy a DVD-lejátszóban lévő félvezetőlézer teljesítménye 1 milliwatt, azaz százszor kisebb, mint egy zseblámpaizzó teljesítménye. A termonukleáris fúzió begyűjtására épített lézer impulzusának csúcsteljesítménye viszont több ezer terawatt (TW). (1 TW = 1 millió megawatt. Összehasonlításképpen a paksi erőmű teljesítménye 0,002 TW, a világ teljes elektromos fogyasztása 2 TW.)

A lézerek a mikrohullámú, az infravörös, a látható, az ultrabolya, a röntgen- és a gamma-tartományban, vagyis az elektromágneses hullámok teljes spektrumában képesek működni. A lézerek bonyolultságuk és előállítási költségeik tekintetében is nagyon különbözőek. A CD-lemezjátszóban lévő félvezetőlézer mindössze pár forintba kerül. Az árszála költséges végén lévő Stratégiai

Védelmi Kezdeményezés, vagyis az űrbe és levegőbe telepített lézer alapú rakétaelhárító rendszer előállításának költsége még az Egyesült Államok költségvetését is alaposan megterhelte, a hasonló szovjet védelmi lézerrendszer kifejlesztésének költsége pedig egyenesen megroppantotta a kommunista világrendszer amúgy is atrofias gazdasági gerincét.

A lézereket a mindennapi életben is széles körben használjuk. A CD- és DVD-lejátszó, az áruházi vonalkód-leolvasó, a rendőrségi sebességmérő kamera, a lézernyomató, a postai és internetvonalak többsége lézereket alkalmaz. Lézertechnikával állítják elő mindennapi használati tárgyaink egy részét is: a borotvapengét, a füstszűrős cigarettát, a számítógép-processzort, a perforált nyomtatópapírt, a mobiltelefon alkatrészeit, továbbá lehet lézerrel birkát nyírni, arcbőrt fiatalítani, vérösszetételt analizálni, fekélyes sebeket gyógyítani, szőrteleníteni és tetoválást eltávolítani. De használják a lézereket a sebészek, a szemészek, az építészek, a régészek, a gépészek, a zenészek, fényképészek és a térképészek is.

Se szeri, se száma a lézerek tudományos felhasználásának, amelyet tematikus összeállítás cikkei is igazolnak. A lézernyalábbal mint különlegesen szabályos hullámvonulattal elképesztően pontosan mérhető a távolság, sebesség, rezgés, deformáció, hőmérséklet, felületi érdesség, keménység vagy akár a kémiai összetétel. A lézeres eljárások jelentősen gazdagítják a kísérletes természettudományok szinte minden ágának instrumentális eszköztárát. A lézerek forradalmi változásokat hoztak a biológia számára oly fontos mikroszkópia számára is.

A lézertechnikának a jövőben is fontos tudományos és technikai szerep jut majd. Az Einstein-féle gravitációs hullámok létét lézeres interferométerrel kívánják igazolni vagy cáfolni. Nagy erőket koncentrálnak kisméretű, olcsó lézeres részecskegyorsítók

fejlesztésére. Változatlanul folyik a szinte korlátlan és környezetvédelmi szempontból tiszta energiaforrás reményével kecsegtető lézeres fúziós reaktor fejlesztése. A fotolitográfia, vagyis az elektronikai komponensek előállításának technológiája szintén lézereket használ. Az anyagtudományok, a nanotechnológia, a környezetvédelem, a hírszerzés, a terrorizmus elleni harc eszköztárában a lézereknek mindig fontos szerepe lesz.

A modern haditechnikai eszközök hatékonyságát a lézertechnika ugrásszerűen növelte. Ennek elvileg akár örülhetnénk is, de ezt mégsem tehetjük önfelédten, mert a gondolkodó ember emlékszik a távol- és közelmúlt történelmi példáira, amelyek azt igazolják, hogy a technikai fölény nem mindig jár együtt a politikai jó szándékkal.

A magyar fizikusok jelentős sikereket értek el a lézerfizikai kutatásokban. Az első hazai lézert 1963-ban a KFKI-ban Bakos József, Csillag László, Kántor Zoltán és Varga Péter építették, ami szép teljesítmény volt az akkori titkolózós-embargós világban. (Az első lézerek egyikét e beosztású szerzője még középiskolás diákként látta, amikor a készüléket bemutatták a *Középiskolai Matematika Lapok* által szervezett fizikaszkörön.) A hazai spektroszkópiai és optikai tudományos műhelyek érdeklődése természetesen azonnal a lézerek felé fordult. Kényes, mégis hálás feladat néhány személy és csoport máig ható tudományos teljesítményének kiemelése.

Farkas Győző és csoportja a nagyintenzitású lézerterekben lejátszódó fotoeffektust tanulmányozta, és eredeti eljárást javasolt az attoszekundumos lézerimpulzusok előállítására, egy évtizeddel megelőzve ezzel az akkor még kételkedő, de ma már az ötletet magukénak valló nemzetközi versenytársakat. Bakos József, Csillag László és Jánossy Mihály csoportja a gázlézerfejlesztésben, a spektroszkópiában, a nemlineáris optikában, a plazmafizikában és az utóbbi időben

a lézeres hűtés területén ért el kiemelkedő eredményeket. Bakos József jól képzett, tájékozott, igényes fizikus. Alapos, érdeklődő és kíváncsi természetéről személyesen is meggyőződhettem saját kandidátusi és nagydoktori értekezésem védelése során.

Szipócs Róbert és Krausz Ferenc unikális, úgynevezett diszperziót kompenzáló tükröt talált fel. Ezeket a tükröket a világban működő több ezer femtoszekundumos lézerrendszerben alkalmazzák, használata nem kerülhető meg. A diszperziót kompenzáló tükröknek meghatározó szerepük volt, van és lesz az ultragyors lézertechnikában. A két kitűnő kutató útjai később szétváltak. Szipócs Róbert sikeres magyarországi vállalkozó lett, lézerei számos hazai és külföldi laboratóriumban működnek. Így például Szegeden több; Pécsen és az MTA Kísérleti Orvostudományi Kutató Intézetben, ahol segítségével egy nagyfelbontású, pásztázó többfotonos mikroszkóp továbbfejlesztését végzik. Krausz Ferenc a bécsi műegyetemen dolgozván a korábban kevésbé ismert fizika tanszékét híressé tette, majd a világ egyik legmagasabb presztízsű lézerfizikai intézetének, a garchingi Max-Planck-Institut für Quantenoptiknak lett az igazgatója. Az attoszekundumos lézerimpulzusok generálása és a rendkívül erős lézerterek fizikájának területén elért eredményei olyan kiemelke-

dők, amelyeket Nobel-díjjal szoktak jutalmazni. Ne feledjük, hogy Krausz Ferenc még csak 43 éves!

A hazai lézerfizika többközpontú. A KFKI és a Műegyetem mellett erős csoportok alakultak ki a Szegedi Tudományegyetemen és a Szegedi Biológiai Központban. Szegedről elszármazott fizikusok Hebling János vezetésével megalapozták a Pécsi Tudományegyetemen a kísérletes lézerfizikai kutatásokat, amelyhez a Janszky József köré csoportosuló kivételes képességű fiatal elméleti kvantumoptikusok csatlakoztak.

A hazai lézerfizikai kutatásokat az 1970-es és 80-as években az MTA „szilárdtestfizikai kutatások” kiemelt főirány támogatta. A támogatás megszerzésében meghatározó érdeme volt Kroó Norbertnek. Többen nosztalgiával emlékeznek azokra az időkre, amikor az alapkutatások támogatását a kiszámíthatóság és nem a csapongó kalmárszemlélet jellemezte.

1990 óta a kutatástámogatás súlypontja az ország gazdaság igényeivel összhangban fokozatosan az alapkutatásokról az alkalmazott kutatásokra helyeződik át. Ki kényszerből, ki meggyőződésből, de mindenesetre egyre többen foglalkoznak alkalmazott kutatással és műszaki fejlesztéssel. Ezt a súlypontát helyeződést jól tükrözi ez a cikkgyűjtemény is. Fogadják szeretettel!



ULTRARÖVID ÉS KOHERENS ULTRAIB- OLYA ÉS RÖNTGENIMPULZUSOK KELTÉSE ÉS ALKALMAZÁSA

Földes B. István

az MTA doktora, tudományos tanácsadó
MTA KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet,
Magyar Euratom Fúziós Szövetség
foldes@mkki.kfki.hu

Szatmári Sándor

az MTA doktora, tanszékvezető egyetemi tanár
Szegedi Tudományegyetem Kísérleti Fizikai Tanszék

Kuhlevszkij Szergej

a fizikai tudomány kandidátusa, egyetemi docens
Pécsi Tudományegyetem Kísérleti Fizika Tanszék

Bevezetés

Amióta az első lézer 1960-ban működni kezdett, egyre újabb és újabb koherens fényforrások születtek. Rövid két évtized alatt az egész látható spektrumban, minden hullámhosszon sikertült lézert készíteni. Az első lézer Theodore Maiman (1960) rubinlézere volt, azaz egy szilárdtestlézer a 694,3 nm hullámhosszon, impulzus üzemmódban. Ezt hamarosan követték a gázkisüléssel lézerek, amelyek folyamatos üzemmódban működtek, közülük a hélium-neon lézer szintén vörös fénye a legismertebb. Mára egyértelműen a miniatűr diódalézerek terjedtek el leginkább, ilyeneket használnak a CD-olvasókban és írókban, de mutatópálcának is leggyakrabban a bolhapiacra néhány száz forintért kapható diódalézert alkalmazzzák. Már az említett lézerekkel is a legkülönbözőbb hullámhosszakokat lehet elérni, de a nagy áttörést a látható spektrum teljes lefedéséhez a festéklézerek tették lehetővé, amelyek hullámhossza a rezonátor tükreivel és a festékanyag változtatá-

sával folytonosan módosítható. A lézerek hullámhosszát növelni könnyű volt, az infravörös lézerek hullámhossza gyakorlatilag összeért a korábban felfedezett (mikrohullámú) mézerekével, ebben az irányban azonban festék híján nem folytonos a lefedettség. A különböző hullámhosszak mellett változtatható a világítás időtartama is. Léteznek folytonos és impulzuslézerek, ez utóbbiak igencsak különböző impulzushosszakkal: A legrövidebb – látható – fényimpulzusok időtartama a másodperc milliárdod részének néhány milliomod része, ami időben a fényrezgések mintegy két periódusának felel meg (néhány femtoszekundum hosszú, $1\text{fs}=10^{-15}\text{s}$). Ezeket az impulzusokat az infravörös tartományban kapták. Ahhoz, hogy megmaradjon a lézer monokromatikussága, ezt a két periódust meg kellene őrizni, azaz rövidebb monokromatikus impulzusokat csak rövidebb hullámhosszon lehet előállítani.

Természetes tehát az igény a lézerek működésének kiterjesztésére az ultraibolya, sőt a röntgentartományba is. Szükség van

e tartományokban is koherens fényforrásra, ami interferenciát tud létrehozni (és így például hologramkészítésre is alkalmazható), aminek intenzitása jól koncentrálható, valamint impulzushossza olyan rövid, hogy ultragyors folyamatok tanulmányozására is alkalmazható legyen. Mik az előnyei a hullámhossz csökkentésének? Legelőször azt a tulajdonságot emeljük ki, hogy ha valamilyen mintát vizsgálni kívánunk, a vizsgálható szerkezet méretét, az ún. felbontást a hullámhossz határozza meg. A rövid hullámhossz által az ultraibolya, illetve röntgentartományban az anyagszerkezet egyre nagyobb pontossággal, részletességgel lesz meghatározható, továbbá a rövidebb hullámhosszú sugárzás nagyobb mélységbe képes behatolni. Ma már – éppen magyar tudósok úttörő szerepével (Tegze – Faigel, 1996) – a röntgen-holográfia is megvalósult, igaz, egyelőre szinkrotronforrásokon, elég bonyolult kísérletekkel, amelyek végén számítógépes elemzés adja az eredményt, s amely módszer nem minden anyag esetén használható. Egy lézerforrás abban a tartományban egyszerűbb hologramkészítést tenne lehetővé, és általánosan alkalmazható lenne. A rövid impulzushosszak pedig gyors folyamatok vizsgálatát teszik lehetővé, szilárdtestek, molekulák gyors relaxációjának vizsgálatára is alkalmasak. És ekkor még nem is említettük a lehetséges biológiai alkalmazásokat. A rövid hullámhossz további előnye a teljesítmény nagyobb koncentrálhatósága. A lézerfény sugárzása minimálisan egy körülbélül hullámhossz méretű foltba koncentrálható. Rövidebb hullámhosszú sugárzás lineárisan kisebb foltba fókuszálható, ami az intenzitás négyzetes növekedését eredményezi, így nagy intenzitások érhetők el ultraibolya impulzusokkal. Az elérhető finomabb struktúrák pedig a félvezető technikában való alkalmazást (litográfia) segítik.

Ebben a cikkben összefoglaljuk a rövid hullámhosszú, koherens sugárforrások, vala-

mint az ultrarövid, ultraibolya és röntgenimpulzusok létrehozásának lehetőségeit, különös tekintettel azokra a módszerekre, amelyekkel hazai kutatók is foglalkoznak.

Ultraibolya, ultrarövid lézerimpulzusok

Az egyes lézerfajták konkrét ismertetése előtt összefoglaljuk a nem fizikus olvasó számára a lézerműködés néhány feltételét. A lézer szó a *light amplification by stimulated emission of radiation* angol kifejezés rövidítése, aminek magyar jelentése: fényerősítés sugárzás indukált kibocsátásával. Ismeretes, hogy az atomokban, molekulákban az elektronok diszkrét energiaszinteket töltenek be. Ha egy magasabb energiájú szintre gerjesztett elektron visszamegy az alacsony energiájú szintre, az energiakülönbséget sugárzás, fény formájában kibocsáthatja, mégpedig indukált vagy spontán kisugárzás útján. Egyidejűleg az alacsonyabb szinteken lévő elektronok a sugárzást el is nyelhetik, abszorbeálhatják. A lézerműködéshez az szükséges, hogy több legyen a kibocsátott indukált emisszió, mint az abszorpció. Ez (durván) akkor történik meg, ha több atom/molekula van a gerjesztett állapotban, mint az alacsonyabb szinten. Ezt nevezzük *populációinverzió*nak. Tehát populációinverzió kell létrehozni, mégpedig olyan szintek között, amelyek energiakülönbsége megfelel az ultraibolya hullámhosszon kibocsátott fotonok energiájának. A legtöbb egyszerű atomi és molekuláris átmenet energiája azonban a látható és infravörös fotonenergia-tartományban van. Ez éppúgy igaz a szabad atomokra, mint a szilárdtestekben található kötött atomokra.

Léteznek azonban olyan molekulák is, amelyek átmenetei az ultraibolya tartományban vannak. Ezek az ún. *excimer* molekulák. Az excimer molekulák általában egy nemesgáz- és egy halogénatomból állnak. Mivel a nemesgáz-molekulák még a halogénnel sem lépnek könnyen reakcióba, létrehozásukhoz energiabefektetés kell, ezért nagy

(2-3 atmoszféra) nyomású gázkisülésekben hozzák létre őket, viszonylag rövid (~10 nanoszekundum, azaz 1 százmilliomod másodperc) ideig. Maga az inverzió is ilyen rövid ideig marad fenn. Ezek a gerjesztések azonban az ultraibolya tartományban vannak, ott működnek az excimer lézerek. A hétköznapiakban az excimer lézerek a dioptriakorrigáló szemműtétekből ismertek. A leggyakoribb típusok a XeCl lézer 308 nm, a KrF lézer 248 nm és az ArF lézer 198 nm hullámhosszon. Ilyen lézerimpulzusok nemlineáris keverésével, például Raman-szórással további lézerhullámhosszak is elérhetők egészen a 150 nm-nél rövidebb hullámhosszú vákuum-ultraibolya tartományig (az ilyen hullámhosszú fényt a levegő elnyeli). A gázkisülésekben működő lézereknek vannak előnyei és hátrányai is a szilárdtestlézerekkel összehasonlítva. Nyilván a szilárdtestek sűrűsége nagyobb, ezért egységnyi térfogattól több energia szedhető ki, mint a gázokból. Ezért a legtöbb nagyteljesítményű lézer szilárdtest alapú. Másfelől a nagyobb sűrűség következtében több nemlineáris jelenség lép fel, ami a kijövő fényimpulzus alakját torzíthatja, szélsőséges esetben pedig a lézeraktív anyagot (önmagát) roncsolhatja is. Ezzel szemben a sokkal ritkább, a szilárdtestnél lényegesen kisebb sűrűségű gázban a fényimpulzus torzulásmentesen erősödhet még nagy intenzitások esetén is.

Ezért az excimer lézerek egyik érdekes alkalmazása az ultrarövid fényimpulzusok erősítése. Ultrarövid impulzusoknak manapság a pikoszekundumnál (10^{-12} s) rövidebb impulzusokat nevezik. Ilyen rövid idő alatt lézerekkel akár 10^{15} W teljesítmény is létrehozható, és a 10^{12} wattos lézer akár kisebb asztalon is elfér. Ilyenek akár szilárdtestlézerekkel, akár festéklézerekkel létrehozhatók, erősítéstük azonban nem triviális, szilárdtestlézerekkel a fenti okok miatt ez közvetlenül nem lehetséges. Ott az impulzusok széthúzásával, majd

újra összenomásával lehet erősíteni (lásd Osvay Károly és munkatársai cikkét e szám 1511. oldalán). Az excimer lézerek fentebb említett előnye, hogy a gázok kisebb sűrűsége miatt még a nagy teljesítményű impulzusok is közvetlenül, torzulásmentesen erősíthetők. Az erősített ultrarövid impulzus festéklézerrel vagy szilárdtestlézerrel állítható elő. Egy saját fejlesztésű (Szatmári–Schäfer, 1988) excimer-festéklézer-kombináció található Szegeden is a HILL laboratóriumban. A kétszövű excimerlézer első csöve pumpálja a festéklézerláncot, amely egy 600 fs impulzushosszúságú látható impulzust állít elő. A hullámhossz pontosan a 248 nm-es hullámhossz kétszerese. Ennek az impulzusnak a hullámhossza egy nemlineáris kristályon keresztülhaladva feleződik, majd a második excimer lézercső nagy intenzitásra erősíti. Itt érdekes egy kicsit játszani a számokkal. A lézer energiája még mindig csak néhány 10 mJ, a rövid impulzushossz következtében viszont a teljesítmény már több mint 10 gigawatt lesz. És ha kihasználjuk a jó fókuszálhatóságot, akkor ezzel akár a négyzetcentiméterenkénti 10^{19} watt is elérhető egy piciny, a mikrométernél is kisebb foltban (Szatmári et al., 1996). Hasonló rendszerek állíthatók elő, és működnek úgy is, hogy a lézeroszcillátor nem festéklézer, hanem szilárdtestlézer, mégpedig a titán-zafir lézer, amelynek hullámhosszát a nemlineáris kristályok segítségével harmadolni kell az erősítés előtt.

A nagy intenzitások hasznosítása

Az ilyen hatalmas intenzitások az anyagot nem hagyják meg eredeti állapotában, az atomokból az elektronok kiszabadulnak, sokszorosán ionizált forró plazma keletkezik a lézerimpulzus igen rövid ideje alatt. Ez a forró plazma több millió fok hőmérsékletű. Ha a plazmát ultrarövid lézerimpulzussal hoztuk létre, akkor a lézerimpulzus ideje alatt nincs ideje kitágulni, sűrűsége nagy marad, a szilárdtest sűrűségének megfelelően. Ez a

forró plazma, illetve a benne lejátszódó lézerező plazma-kölcsönhatások alkalmasak arra, hogy még rövidebb hullámhosszú koherens fénysugárzást, akár ultrarövid lézerimpulzusokat hozzunk létre.

Amint azt korábban említettük, már a 248 nm-es lézerrel erősített sugárzást is hosszabb hullámhosszú lézerek frekvenciájának többszörözésével hoztuk létre speciális kristályokban. Ez a kiváló módszer azonban még rövidebb hullámhosszakon nem folytatható, hiszen a 200 nm-nél rövidebb hullámhosszakot a kristályok teljesen elnyelik, sőt, a rövidebb hullámhosszú sugárzást az atmoszferikus nyomású levegő is erősen abszorbeálja, ezért is hívják ezt a tartományt vákuum-ultraibolyának. Mindazonáltal a gázok kiválóan használhatók a frekvencia koherens többszörözésére, és így koherens sugárzás létrehozására egészen a közel 1 keV fotonenergiáig (Schnürer et al., 1998). Ezekben a kísérletekben kisméretű, vákuumban elhelyezett gáztartókat használtak, hogy a gázok abszorpciója elhanyagolható maradjon. A magas felharmonikusok keltésének ilyen módja igen jól működik, számos diagnosztikai alkalmazása van, s ez a módszer vezetett el egy magyar ötlet (Farkas – Tóth, 1992) nyomán a femtoszekundumos (10^{-15} s) impulzusok keltéséhez (Papadogiannis et al., 1999). Az ezzel kapcsolatos, komolyan tűnő probléma, hogy a rövid hullámhosszakba történő konverzió hatásfoka igen alacsony, legfeljebb a lézerenergia milliomod része. Az összes foton száma sem növelhető korlátlanul, hiszen a lézerintenzitás növelésekor a gázok a fentiek szerint ionizálódnak, s ezzel gyakorlatilag megszűnnek harmonikuskelésre alkalmas médium lenni.

Nincs ilyen ionizációs veszély, ha például eleve plazmát használunk harmonikusforrásnak, és a konverzió is lehet egy-két nagyságrenddel hatásosabb. Laboratóriumunkban végzett kísérleteinkben az ultra-

ibolya lézer felharmonikusait állítottuk elő a 4. rendig, azaz a 63 nm hullámhosszig. A felharmonikusokat a szabad elektronoknak a lézertér hatására, a meredek vákuum-plazma határon keresztül végzett nemlineáris oszcillációja kelti. Kísérleteinkben megmutattuk azt is, hogy a plazma meredekségének változtatásával a harmonikusokba történő konverzió is szabályozható (Földes et al., 1999). A Rutherford Laboratórium hatalmas, petawatt teljesítményű lézert használva ezzel a módszerrel is sikerült a keV fotonenergiát megközelíteni (Norreys et al., 2004). Amint ez is mutatja, a rövid hullámhosszak eléréséhez egyelőre még nagyon nagy lézerintenzitások szükségesek. További probléma az, hogy a harmonikusok forrásául szolgáló oszcilláló plazmafelület-réteg nem marad sima, hanem fodrozódik, s ennek következtében a harmonikusok nagy lézerintenzitások esetén nem nyalábszerűen, hanem diffúzan terjednek (Rácz et al., 2005). Rövidebb lézerimpulzusok használata azonban megoldhatja ezt a problémát.

A lézertény és a forró plazma nemlineáris kölcsönhatásai lehetővé teszik ultrarövid röntgenimpulzusok előállítását is. A kölcsönhatásokban az elektronok egy része nagy sebességre gyorsul, ezeket nevezzük forró elektronoknak, amelyek mintegy nyalábként behatolnak a szilárdtest target még hideg részébe. A nagy energia következtében az atomok belső, K-héjának elektronjait is mintegy kiütik a helyükről, vakanciák keletkeznek. A vakanciák gyorsan betöltődnek, egyidejű Ka sugárzás kibocsátásával. Ez a folyamat olyan gyors, hogy a keletkező röntgensugárzás impulzushossza megegyezik vagy rövidebb lesz a keltő lézer impulzushosszánál. Jelenleg folytatott kísérleteinkben 1,5-1,8 keV energiájú röntgenimpulzusokat várunk. Ha ezek a kísérletek sikerrel járnak, komoly esély van az egyesült Európa valamelyik nagy lézerén (Laserlab Europe) ennél akár nagyságrenddel nagyobb energiájú intenzív, ultrarövid rönt-

genimpulzusok létrehozásában és annak diagnosztikai alkalmazásában való közreműködésre. Már ma is használnak rövid röntgenimpulzusokat időtől függő röntgendiffrakcióra a femtoszekundumos időtartományban, ahol az új források új távlatokat nyitnak.

Röntgenlézerek

Harmonikuskeléssel kétségkívül lehet koherens sugárzást kelteni a vákuum-ultraibolya és röntgentartományban, természetesnek tűnik viszont az az igény is, hogy lézert hozzanak létre itt is. A röntgenlézer fejlesztése számos okból szükséges és perspektivikus. Lehetőséget ad az anyagok nagy precizitású megmunkálásától kezdve a röntgen-holográfia fejlesztésére, atomi folyamatok vizsgálatára, fotokémiai vizsgálatokra és (például a termonukleáris fúzióhoz szükséges) nagyon sűrű plazmák diagnosztikai vizsgálatára. A biológusok mohón várják a lézert, amellyel élő sejtekről készíthetnek hologramokat. A gyakorlatban használható, asztali méretű légyröntgenlézer teljesen új területeket nyithat, például az ultrarövid hullámhosszú nemlineáris optikában. A légyröntgenlézerek megvalósítása viszont nagy kihívás a lézerkutatók számára, mert a gerjesztéshez a látható tartományhoz képest sok nagyságrenddel nagyobb pumpáló energiára van szükség, és az optikai nivók élettartamával összevetve a gerjesztett szintek élettartama is nagyságrenddel rövidebb. További nehézség, hogy a légyröntgenhullámhosszakon nem léteznek jó reflexiójú tükrök.

A légyröntgenbe eső hullámhosszakon a lézerműködéshez szükséges többszörösen ionizált plazma előállításának egy fontos módja a kapillárisban létrehozott gyors kislülés. A homogénean összehúzódó plazmát létrehozó ilyen típusú kislüéseket Z-pinch-nek nevezik a szakirodalomban. A Z-pinch-et eredetileg a termonukleáris fúzióhoz dolgozták ki, de a módszer új utat nyitott a relatíve egyszerű, olcsó, jó hatásfokú, asztali méretű légyröntgen-

lézerek területén is. Kapilláris-kislúessel gerjesztett plazmában létrehozott, nagymértékben erősített légyröntgensugárzásról először 1994-ben Jorge J. Rocca és munkatársai (1994) számoltak be az USA-ban. A lézerfolyamatot a neonszerű, nyolcszorosan ionizált argon (Ar^{+8}) 46,9 nm-es hullámhosszú $3p-3s$ ($J=0-1$) átmenetén detektálták. Később ez a csoport az előállított légyröntgenimpulzusok energiájának telítődését 1 mJ-nál érte el, és 5-7 mrad divergenciájú nyalábot hozott létre. A nyaláb intenzitásprofilja gyűrű alakú. A nagy érdeklődést kiváltó eredmények és új elméletek kidolgozása ellenére a világ más csoportjai képtelenek voltak az 1994-es eredményeket megismételni egészen 2001-ig. 2001-2002-ben egymástól függetlenül egy izraeli, egy japán és egy olasz-magyar csoport számolt be mérsékelt energiájú (~5 μJ) légyröntgentartományú erősítésről a nem telítődő tartományban.

A magyar-olasz együttműködés során elértük, hogy viszonylag lassú (130-180 ns) és alacsony áramú (17-20 kA) Z-pinch kislülés még nagyon hosszú (~0,5 m) Al_2O_3 -kapillárisban is stabil és hatékony lézerműködést teygen lehetővé (Ritucci et al., 2003). Az Ar^{+8} 46,9 nm-es légyröntgenvonala dominál az időátlagolt spektrumban. A röntgenlézer impulzusa 2 ns-nál rövidebb, miközben a plazma háttérsugárzása néhány száz ns időtartamú. A Z-pinch kislülés megfelelően stabil ahhoz, hogy 300 μJ energiájú sugárzást bocsásson ki. A lézernyaláb divergenciája közel diffrakció által határolt, 0,5 mrad értékű, a sugárzás majdnem teljesen koherens, és a nyalábprofil Gauss-görbe alakú. Kísérleti adataink összevetése elméleti számításunkkal azt mutatta, hogy a nyaláb kis divergenciáját a hosszú (~0,5 m-es) plazmaoszlopon belüli hullámvezetési mechanizmus hozza létre. A hullámvezetés a lézer aktív közegében csökkenti a veszteségeket. Ez különösen nagy jelentőségű kis erősítés esetén, amikor a sugárzásnak hosszú plazmaoszlopon

kell keresztülhaladnia. A hosszú plazma hullámvezetők előállításának önmagában is számos potenciális alkalmazása van, például részecskegyorsítás ultranagy intenzitású lézerimpulzusokkal vagy magasrendű felharmonikusok előállítása.

A lézer magas energiája ($\sim 1 \mu\text{J}$), ismétlési frekvenciája ($\sim 1 \text{ Hz}$), valamint a sugárzás jó térbeli koherenciája (m^{-1}) és nyalábjának Gauss-görbe alakú intenzitáseloszlása miatt

sok potenciális alkalmazást tesz lehetővé. A lézert jelenleg a PTE és SZTE Kísérleti Fizika Tanszékei, a PTE-DDKKK és az MTA-RMKI együttműködésével továbbfejlesztjük. A cikkben említett kutatásokat az OTKA (M045644, T035087 és T046811) és a KPI KMA (GVOP-3.2.1.-2004-04-0166/3.0) támogatja.

Kulcsszavak: ultrarövid lézerimpulzus, ultraibolya és röntgensugárzás

IRODALOM:

- Farkas Gy. – Tóth Cs. (1992): Phys. Lett. A **168**, 447.
Földes I. B. – Bakos J. S. – Bakonyi Z. – Nagy T. – Szatmári S. (1999): Physics Letters A. **258**, 312–316.
Maiman, T. H. (1960): Nature. **187**, 493–494.
Norreys, P. A. – Krushelnick, K. M. – Zepf, M. (2004): Plasma Physics and Controlled Fusion. **46**, B13–21.
Papadogiannis, N. A. – Witzel, B. – Kalpouzos, C. – Charalambidis, D. (1999): Physical Review Letters. **83**, 4289–4292.
Rácz E. – Földes I. B. – Kocsis G. – Veres G. – Eidmann K. – Szatmári S. (2005): Applied Physics B. közlésre elfogadva
Ritucci, A. – Tomassetti, G. – Reale, A. – Palladino, L. – Reale, L. – Flora, F. – Mezi, L. – Kukhlevsky, S. V. – Faenov, A. – Pikuz, T. – Kaiser, J. – Consorte, O. (2003): Europhysics Letters. **63**, 694–700.
Rocca, J. J. – Shlyaptsev, V. – Tomasel, F. G. – Cortázar, O. D. – Hartshorn, D. – Chilla, J. L. A. (1994): Physical Review Letters. **73**, 2192–2195.
Schnürer, M. – Spielman, Ch. – Wöbroschek, P. – Strelt, C. – Burnett, N. H. – Kan, C. – Ferencz K. – Kopitsch, R. – Cheng, Z. – Brabec, T. – Krausz F. (1998): Physical Review Letters. **80**, 3236–3239.
Szatmári S. – Almási G. – Feuerhake M. – Simon P. (1996): Applied Physics B. **63**, 463–466.
Szatmári S. – Schäfer F. P. (1988): Optics Communication. **68**, 196–202.
Tegze M. – Faigel G. (1996): Nature. **380**, 6569, 49–51.



KÉPKALKOTÁS ÉS SPEKTROSKÓPIA THz-ES SUGÁRZÁSSAL: A CSILLAGÁSZATTÓL AZ ORVOSI ALKALMAZÁSOKIG

Hebling János

az MTA doktora, egyetemi tanár, PTE Kísérleti Fizika Tanszék
hebling@fizika.ttk.pte.hu

Almási Gábor

PhD, egyetemi docens, PTE Kísérleti Fizika Tanszék
almasi@fizika.ttk.pte.hu

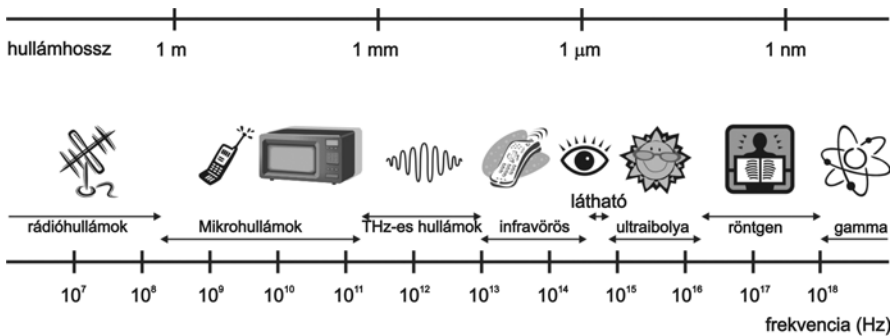
Bevezetés

A tárgyak alakjáról és szerkezetéről általában képkalkotás segítségével szerzünk információt. Leggyakrabban mindennapi látásunk során szemünket használjuk képkalkotásra, konkrétan leképezésre. A leképezéshez valamilyen, a tárgyról kiinduló sugárzásra van szükség. A látás során ez a sugárzás a fény, ami elektromágneses hullám. Más sugárzások is használhatóak leképezésre vagy általánosabban, képkalkotásra. Például az elektronmikroszkópban elektronok nyalábját használják.

Az elektromágneses hullámot jellemezhetjük a hullámhosszával vagy frekvenciájával (ami a hullámhossztól független fényssebesség és a hullámhossz hányadosával

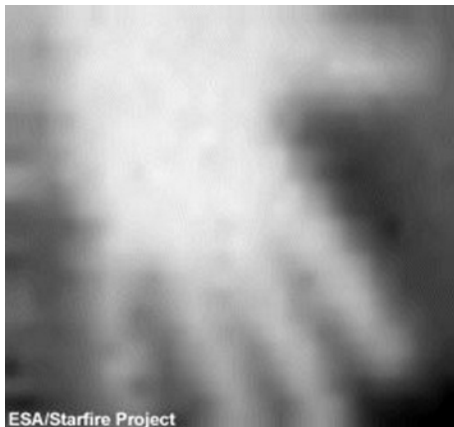
egyenlő). A különböző hullámhosszú elektromágneses sugárzásra az 1. ábrán feltüntetett különböző elnevezéseket szokás használni. A rádióhullámok hullámhossza akár 1 km is lehet, míg a gyógyászatban használt röntgensugárzás hullámhossza rövidebb, mint 1 angström, vagyis az 1 mm tízmilliomod része. E két hullámhossz tizenhárom nagyságrendnyi különbségéhez képest érezhetjük, hogy az emberi szemmel látható egyoktávnyi tartomány, a fény mennyire kis részt képvisel a teljes elektromágneses spektrumban.

Először Wilhelm Conrad Röntgen alkalmazott a látható fénytől eltérő elektromágneses hullámot – a róla elnevezett röntgensugárzást – képkalkotásra. Amióta elkészítette



1. ábra • Az elektromágneses spektrum

első röntgenfelvételét, eltelt egy évszázad, és ezalatt a röntgenkészülékek számos tudományág, köztük az orvostudomány nélkülözhetetlen eszközeivé váltak. Időközben megszületett az MRI, a mágneses rezonancián alapuló képalkotás is, ami az elektromágneses hullámok spektrumának egy másik részén elhelyezkedő rádióhullámokat használja elemspecifikus képalkotásra.



2. ábra • 1,5 cm vastag papírréteg mögött elhelyezkedő kéz THz-es sugárzással készített képe

Az elektromágneses hullámoknak egy, a rádióhullámok és a látható fény tartománya között elhelyezkedő részét a legutóbbi időkig nem használták képalkotásra. Csak 1995-ben jelent meg az a dolgozat, amely elsőként mutatott be e tartományra, a 0,1–10 THz frekvenciájú tartományra eső ún. terahertzes vagy T-sugárzás alkalmazásával készített képet. A késésnek az volt az oka, hogy e tartományban korábban nem álltak rendelkezésre intenzív „fény”-források, olyanok, mint a látható tartományban a lézerek, a mikrohullámok területén pedig a különböző elektrotechnikai eszközök, például a klisztron. Mára a helyzet jelentősen megváltozott. Noha még csak két évtized telt el az első ultrarövid terahertzes (THz-es) impulzus előállításával (Auston et al., 1984) óta, mára nemcsak a THz-es

impulzusok és folytonos THz-es hullámok előállítására szolgáló eszközök fejlődtek sokat, hanem a THz-es hullámok detektálására szolgáló eszközök is. Így lehetséges az, hogy a hőmérsékleti sugárzás detektálásával még külső forrás nélkül is lehet például egy kézről képet készíteni, ráadásul úgy, hogy az több mint 1 cm vastag papírréteg mögött helyezkedik el (lásd a 2. ábrát).

A THz-es sugárzásnak a képalkotás mellett a spektroszkópia a másik fontos felhasználási területe. Mindkét tevékenység a ma még nagyon új, de rohamosan fejlődő és rendkívül perspektivikus terahertzes tudomány és technika része. E dolgozat célja, hogy a THz-es sugárzás tulajdonságainak és néhány alkalmazási példának a bemutatásával felkeltse a különböző tudományterületeken dolgozó magyarországi kutatók érdeklődését azon új lehetőség iránt, amit a terahertzes technika felhasználása jelenthet kutatásaikban. Úgy érezzük, erre feltétlenül szükség van, hiszen ez a technika nagyon gyorsan és látványosan fejlődik, ezzel foglalkozó cégek jönnek létre világszerte, ugyanakkor nincs tudomásunk arról, hogy Magyarországon rajtunk kívül mások is fejlesztenék vagy használnák ezt a technikát.

A magyarországi lézerfizikai kutatásokat bemutató számban azért van helye e dolgozatnak, mert mint látni fogjuk, a THz-es sugárzás előállításának több hatásos módja is lézerek alkalmazásán alapul. Az egyik módszer ultrarövid lézerimpulzusok segítségével állít elő szélessávú, mindössze egy időbeli periódust tartalmazó THz-es elektromágneses jelet. A dolgozat végén e módszert ismertetjük; hatásosságát a PTE Kísérleti Fizika Tsz. oktatói által végzett kutatások eredményeként nagyságrendekkel sikerült növelni (Hebling et al., 2002; Stepanov et al., 2005).

A terahertzes tudomány lehetőségeinek és korlátainak bővebb, színes képekkel is gazdagon illusztrált leírása megtalálható az Amerikai Energiahivatal honlapján (<http://www.>

sc.doe.gov/bes/reports/abstracts.html#THz) *Workshop on Opportunities in THz Science* címmel.

*A THz-es sugárzás tulajdonságai
(a különböző anyagok THz-es sugárzással szembeni viselkedése)*

A THz-es sugárzás 0,1-10 THz frekvenciatartományának 3-0,03 mm hullámhossz, 10-0,1 ps periódusidő, 4,8-480 K hőmérséklet és 0,41-41 meV energiataromány felel meg. A hullámhossz a hagyományos képkalkotás esetén alsó határt szab a feloldható méretre. Bár közeltér-mikroszkópiával ennél a határnál kisebb struktúrák is feloldhatóak, és THz-es sugarakkal a közeltér-mikroszkópia egyszerűen, egy vezető tű segítségével megvalósítható, a THz-es képkalkotás vélhetően mégis a 10 μm-nél nagyobb tárgyak vizsgálatára fog korlátozódni. THz-es sugarakat alkalmazó, de egyébként hagyományos (nem közeltér-) képkalkotó eljárások esetén a látható tartományhoz képest hosszú hullámhossz miatt a szót sugárzás gyakorlatilag elhanyagolható.

A THz-es hullámcsomagok vagy impulzusok legrövidebb időtartama (mint minden hullám esetén) az átlagos periódusidőnél nem lehet rövidebb. Az ebből következő időbeli feloldás THz-es impulzusok gyors folyamatok vizsgálatára történő felhasználásánál tehát 10-0,1 ps lehet. Ez a feloldás elektromos eszközökkel nem érhető el. Ugyanakkor a THz-es sugárzásnak a látható fényhez képest hosszú periódusideje és néhány speciális előállítási és detektálási módszer (lásd később) alkalmazása lehetővé teszi a THz-es impulzusokban az elektromos térerősség időbeli lefutásának mérését. (Látható fényimpulzusoknál ez nem lehetséges, csak az

intenzitás időbeli lefutása mérhető.¹) Az elektromos térerősség közvetlen mérésével pl. egyidejűleg meghatározható az abszorpció és törésmutató, valamint a hullámhossznál pontosabban mérhető tárgyak távolsága.

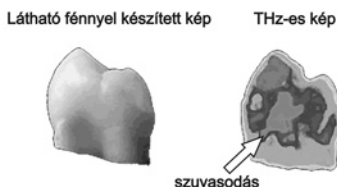
A THz-es spektroszkópia széleskörűen alkalmazható anyagok azonosítására, mivel a THz-es sugárzás két nagyságrend szélességű tartományában szinte minden anyagnak vannak olyan jellegzetes abszorpciós sávjai, amelyek „ujjlenyomatként” használhatóak az azonosításukra. Ugyanakkor e széles tartományon belül sok anyag esetén van olyan sáv, amelynél kicsi az abszorpció; az anyag átlátszó. Alkalmazások szempontjából fontos, hogy csomagolóanyagok (műanyag, papír), ill. a ruhanemű esetén vannak ilyen sávok.

A THz-es sugárzás fotonjainak alacsony energiája azt eredményezi, hogy a THz-es sugárzás *nem ionizáló sugárzás*. Ez orvosi és biológiai képkalkotó alkalmazásokban nagy előny a röntgensugárzással szemben.

Alkalmazási területek

Ebben a fejezetben néhány (már megvalósult vagy lehetséges) alkalmazási példával kívánjuk érzékeltetni a ma még csak gyerekcipőben járó THz-es tudomány által nyújtott lehetőségeket.

A THz-es képkalkotás két legfontosabb alkalmazási területe a *biztonságtechnika* és a *gyógyítás* lehet. Például a repülőtéri pogy-gyászátvilágító röntgenberendezéseket felválthatják THz-es készülékek. Ezek előnye, hogy a megfelelő „ujjlenyomat”-sávot használva segítségükkel könnyebben felis-



3. ábra • Szuvas fogról látható fényvel és THz-es sugárzással készített kép

¹ A teljesség kedvéért megjegyezzük, hogy nemrégiben megjelent egy közlemény a *Nature* folyóiratban, amely arról számol be, hogy fs-os (0,001 ps) fényimpulzusokkal keltett, még egy nagyságrenddel rövidebb impulzusokkal a keltő impulzus elektromos terének időbeli lefutását sikerült meghatározni.

merhetőek a fémeket nem tartalmazó plasztik robbanószerkezetek. Hasonlóan borítékba helyezett *kábítószereket* vagy például a *lépfenebaktérium* spóráit is azonosítani lehet a boríték felbontása nélkül, meg lehet ezeket különböztetni más anyagoktól. Homokba helyezett aknákat észrevehetőek THz-es fényképezéssel. Spektrálisan bontott THz-es képalkotással ellenőrizni lehet becsomagolt *gyógyszereket*.

A THz-es képalkotás *orvosdiagnosztikai* alkalmazására mutat egy példát a 3. *ábra*, amelyen egy fogról látható fényvel, illetve THz-es sugárzással készült kép szerepel. A fog belsejében elkezdődött a szuvasodás, de a fogzománc még ép. Ezért a szuvasodás csak a THz-es képen látható. Az orvosi alkalmazásokat korlátozza, hogy a víz erősen abszorbeálja a THz-es sugárzást. Ezért emberi lágy szövetbe csak kb. 1 cm mélységig lehet „belátni”. Ez nem okoz korlátozást a bőr betegségeinek felismerésében. Demonstrálták például, hogy THz-es leképezéssel *rákos bőrszövet eloszlását* meg lehet határozni a bőrfelület különböző mélységben. Jelenleg kb. 4 percig tart egy féltényéymű felület 0,1 mm feloldású THz-es fényképezése egy hullámhosszon. Ez az idő a THz-es technika gyors fejlődésének köszönhetően várhatóan jelentősen rövidülni fog. Az orvosi alkalmazásokat kiszolgáló eszközök fejlesztésében szembetűnő a korábbi képalkotási technológiákat kiszolgáló világcégek aktivitása. A Nikon és a Hitachi mellett megjelentek új, kifejezetten a terahertzes tartományra eszközöket fejlesztő cégek, mint a TeraView vagy a Picometrix.

A *csillagászat* is profitálhat a THz-es képalkotó technika fejlődéséből. A Világegyetem hőmérsékleti háttérsugárzása irány szerinti eloszlásának ismerete elősegítheti a keletkezésének pontosabb megértését. A THz-es sugárzás – a látható fényvel ellentétben – viszonylag akadálytalanul halad át a légkörön, ez az előny kihasználható

távérzékelési alkalmazásokban. Az Európai Űrügynökség StarTiger projektjében passzív THz-es megfigyelést alkalmazva vizsgálják a globális meteorológiai változásokat.

Mivel a kisebb molekulák rotációs átmenetei a THz-es tartományra esnek, ezek az anyagok THz-es technikával kimutathatóak például az atmoszférában vagy a világűrben. Időbontott THz-es spektroszkópiával vizsgálták például molekulák rotációs átmeneteit lángokban, valamint fémhalidok alagúteffekttussal történő inverzióját.

Nagy atomszámú molekulák esetén – ideértve a *biológiailag fontos molekulákat* – a másodlagos struktúra változásai játszódhatnak le a THz-es sugárzásnak megfelelő időskálán. Emiatt várhatóan fontos szerepe lesz a THz-es tudománynak, például a proteinek struktúrájának és dinamikájának vizsgálatában. Már jelenleg is lehetséges sok aminosav megkülönböztetése a THz-es spektrumuk alapján, igaz, elsősorban kristályos állapotban. Néhány dolgozatban demonstrálták, hogy lehetséges egyes és dupla szálú DNS-szekvenciák detektálása. A közeljövőben megvalósíthatónak látszik THz-es technikán alapuló *jelölő nélküli (label-free) DNS-szenzorok* kifejlesztése. Távlabbi célkitűzés a fehérje-fehérje kölcsönhatások mint sejtaktivitások jelölő nélküli mérése élő sejtekben.

Rendezett kémiai és biológiai struktúrák (önszervező struktúrák, Langmuir–Blodgett-filmek, membránok) esetén egy fotóerjesztést eredő polarizációváltozás követhet, ami THz-es impulzus kibocsátásával jár. Az MTA-SZBK Biofizikai Intézete és a stuttgarti Max Planck Intézet kutatóival közösen sikeres kísérleteket végeztünk fotoszintetikus reakciócentrumok által így kibocsátott THz-es sugárzás detektálására. E kísérletek folytatásaként meg kívánjuk határozni egy ultrarövid fényimpulzus hatására kibocsátott THz-es sugárzás elektromos terének időbeli lefutását, ily módon nyomon követhetjük a reakciócentrumban lejátszódó gyors töltésmozgást.

A modern technika félvezető alapú elektronikai eszközökre épül. Ezeknek az eszközöknek a működését befolyásoló, esetleg korlátozó folyamatok vizsgálatára különösen alkalmasak a THz-es impulzusok, hiszen például a fononok (rácsrezgések) vagy a különböző spin állapotok (mágneses momentum) energiája a THz-es tartománynak megfelelő. Egyesek szerint egy új technika, a *spintronika* fogja az elektronikát felváltani vagy legalábbis kiegészíteni. A spintronikában az információt nem az elektromos töltések áramlása (elektromos áram), hanem spin állapotok áramlása hordozza. A THz-es technika nemcsak spin állapotok meghatározására, de azok manipulálására, megváltoztatására is alkalmas lehet. Ezt *kvantumkontrollnak* nevezhetjük. Kvantumkontroll segítségével *kémiai reakciókat* vagy *biológiai folyamatokat* is befolyásolhatunk, irányíthatunk. Mindezen esetekben a megfelelő időbeli lefutású THz-es impulzusoknak döntő szerepük lehet.

A THz-es impulzusok több alkalmazása esetén (például kvantumkontroll, *nanomágneselektronika* forgatása, egyidejű képzőművészet nagy felületéről, nemlineáris optika, THz-ESR berendezés) nagy energiájú impulzusokra van szükség, olyanokra, amelyekkel 0,001–1 MV/cm elektromos térerősség érhető el.

Előállítás

Kétségtelenül az olyan nagyberendezések, mint a szinkrotron és a szabadelektron lézerek szolgáltatják a legintenzívebb THz-es sugárzást (Knippels et al., 1999), és ezek a berendezések fedik le a legszélesebb spektrumot is. Ugyanakkor az ezekhez való hozzáférés korlátozott, ami a széles körű alkalmazásokat gátolja. A THz-es kutatások rohamos fejlődése következtében szerencsére megjelentek különböző elven működő asztali források is. THz-es sugárzás keltése félvezetőkben – a korábban a mikrohullámú tartományon alkalmazott – Gunn dióddal

lehetséges (Karpowicz et al., 2005). Ezekkel közvetlenül 150 GHz frekvenciájú rezgéseket tudtak előállítani, így második felharmonikusuk elérte a 300 GHz-et. Ennél magasabb frekvenciájú THz-es sugárzás generálható egy újabban kifejlesztett speciális félvezető eszközzel, az ún. kvantum-kaszád lézerrel (Barbieri et al., 2004). Ez keskeny sáv szélességű sugárzást bocsát ki egy rögzített frekvencián. Az elérhető teljesítmény akár 1 W is lehet, hátránya ugyanakkor, hogy alacsony hőmérsékleten (<100 K) működik.

Több THz-előállítási módszert is kifejlesztettek, amelyekhez szükség van lézertényre. Ezek közé tartozik a fotóvezető kapcsoló (Budiarto et al., 1996), amelyekkel elérhető közel 1 μ J THz-es energia, azonban a széles sávú spektrum maximuma 0,5 THz-re korlátozódik. Látható lézertényből nemlineáris optikai módszerrel is lehet THz-es sugárzást előállítani, ha elérhető, hogy a nemlineáris kristályban a látható és THz-es sugárzás sebessége megegyezzen (sebességillesztés). Két félvezető lézerténynek különböző frekvenciájaként tipikusan keskenysávú THz-es sugárzás állítható elő. Ultrarövid lézertényimpulzusokból nemlineáris optikai folyamattal (Nahata et al., 1996) *sebességillesztés* esetén hatásosan állítható elő csak egy periódust tartalmazó THz-es impulzus (optikai egyenirányítás).

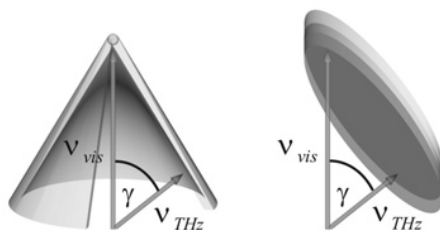
Detektálás

A THz-es sugárzások detektálhatóak a távoli infravörös sugárzásnál használt eszközökkel; bolométtel és Golay-cellával. Ezek érzékeny eszközök, de hátrányuk a nehézkes kezelhetőség. A bolométert tipikusan 4 K hőmérsékleten lehet használni, a Golay-cella pedig nagyon érzékeny a mechanikai behatásokra. Mindkét eszköz igen lassú. Újabban kényelmesen használható félvezető alapú eszközöket is fejlesztenek erre a hullámhossz-tartományra, sőt megjelentek ezek térbeli felbontást lehetővé tevő változatai is. A THz-

es impulzusok jellemzésének nagyon fontos eszköze az elektrooptikai mintavételezés (Nahata et al., 1996), amelynek működése azon alapul, hogy nemlineáris optikai kristályon áthaladó látható fény polarizációs állapotát megváltoztatja a vele egy időben átküldött THz-es sugárzás.

Nagyenergiájú THz forrás

THz-es impulzusok keltése ultrarövid lézer-impulzusok optikai egyenirányításával csak akkor hatásos, ha sebességillesztés valósul meg. Ezért korábban olyan kristályokat (ZnTe, GaAs) használtak, amelyeknél a hatásosságot szintén befolyásoló nemlineáris optikai együttható nem volt optimális. A sokkal nagyobb nemlinearitású lítiumniobát esetén több mint kétszeres faktor van a THz-es sugárzás és az azt keltő látható lézertény sebessége között. E probléma megoldására nemrégiben új módszert javasoltunk (Hebling et al., 2002), amely lehetővé teszi nagy energiájú és ezért (a roncsolóhatást elkerülendő) szükségképpen nagy keresztmetszetű lézermalábok alkalmazását, és ezen keresztül nagy energiájú THz-es impulzusok előállítását. Ennek lényege, hogy a keltő és THz-es impulzusfront tartós együtt haladását a keltő lézer impulzusfrontjának megdöntésével biztosítjuk (lásd a 4. ábra jobb oldalán). Ez együtt jár azzal, hogy a THz-es impulzus a keltő impulzustól különböző irányban halad. Korábban a lítiumniobáthoz hasonló kristályok esetén teljesült ugyan a sebességillesztés a Cserenkov-típusú geometria alkalmazásával (lásd a 4. ábra bal oldala), de extrém kis



4. ábra • THz-es sugárzásnak erősen fókuszált (balra) illetve döntött frontú (jobbra) fényimpulzus segítségével történő keltésének sematikus rajza

nyalábméretre volt szükség (Auston et al., 1984). Ez pedig azzal járt, hogy a gerjesztő energia, ennek következtében a THz-es impulzus energia is erősen korlátozott volt.

A döntött impulzusfrontú elrendezéssel nemrégiben 250 nJ energiájú, egy periódusú THz-es impulzusokat sikerült előállítanunk (Stepanov et al., 2005). A döntött impulzusfrontú elrendezés hatásosságát jelzi, hogy azonos gerjesztő forrást és ZnTe kristályt használva csak ezerszer kisebb energiájú impulzust tudtak előállítani. A térorösség csúcserőke esetünkben meghaladja az 1 MV/cm értéket (fókuszálás nélkül is). Ez a térorösség lehetővé teszi mindazokat az alkalmazásokat, amelyeket az *Alkalmazási területek* című fejezet utolsó bekezdésében felsoroltunk.

Kulcsszavak: *biológiai folyamatok, biztonságtechnika, elektronika, kémiai reakciók, kvantumkontroll, orvosdiagnosztika, spintronika*

IRODALOM

- Auston, D. H. – Cheung, J. A. – Valdmanis, J. A. – Kleinman, D. A. (1984): *Physical Review Letters.* **53**, 1555–1558.
 Barbieri, S. – Alton, J. – Beere, H. E. – Fowler, J. – Linfield, E. H. – Ritchie, D. A. (2004): *Applied Physics Letters.* **85**, 1674–1676.
 Budiarto, E. – Margolies, J. – Jeong, S. – Son, J. (1996): *IEEE J. Quantum Electron.* **32**, 1839–1846.
 Hebling J. – Almási G. – Kozma I. Z. – Kuhl J. (2002): *Optics Express* **10**, 1161–1166.

- Karpowicz, N. – Zhong, H. – Zhang, C. – Lin, K. I. – Hwang, J.-S. – Xu, J. – Zhang, X.-C. (2005): *Applied Physics Letters.* **86**, 054105.
 Knippels, G. M. H. – Yan, X. – MacLeod, A. M. – Gillespie, W. A. – Yasumoto, M. – Oepts, D. – van der Meer, A. F. G. (1999): *Physical Review Letters.* **83**, 1578–1581.
 Nahata, A. – Weling, A. S. – Heinz, T. F. (1996): *Applied Physics Letters.* **69**, 2321–2323.
 Stepanov, A. G. – Kuhl, J. – Kozma I. Z. – Riedle, E. – Almási G. – Hebling J. (2005) *Optics Express* **13**, 5762–68

FOTOAKUSZTIKUS GÁZDETEKTÁLÓ RENDSZEREK ALKALMAZÁSORIENTÁLT FEJLESZTÉSE

Szabó Gábor

az MTA levelező tagja, egyetemi tanár
Szegedi Tudományegyetem

Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék, Szeged
gszabo@physx.u-szeged.hu

Bozóki Zoltán

PhD, tudományos főmunkatárs

Mohácsi Árpád

PhD, tudományos munkatárs

MTA Lézerfizikai Tanszéki Kutatócsoport, Szeged

Szakáll Miklós

PhD, tudományos munkatárs

Hegedűs Veres Anikó

tudományos segédmunkatárs

Filus Zoltán

tudományos segédmunkatárs

Ajtai Tibor

tudományos segédmunkatárs

Huszár Helga

PhD-hallgató

Varga Attila

PhD-hallgató

Szegedi Tudományegyetem Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék, Szeged

Gázok fotoakusztikus elven történő detektálásának alapja az a jelenség, hogy egy periodikusan modulált fénysugár elnyelődése során hang keletkezik, amely hang amplitúdója arányos a fényelnyelő gázkomponens koncentrációjával. Ha olyan, keskeny spektrumú fényforrást – célszerűen lézert – használunk, amelynek fényét csak az általunk mérni kívánt gázkomponens képes elnyelni, a módszer nagy szelektivitást biztosít. Bár az így keletkező hang rendkívül gyenge (jóval az emberi fül által hallható szint alatt van), megfelelő mérés technikával nagy érzékenységgű mérések végzésére van lehetőség.

Az SZTE Optikai és Kvantumelektronikai Tanszékén, illetve a tanszéken működő MTA Lézerfizikai Kutatócsoportban a fotoakusztikus

elvi gázdetektálásra vonatkozó kutatómunkának több mint egy évtizedes múltja van. E kutatómunka során célunk mindvégig olyan berendezések fejlesztése volt, melyek alkalmasak ipari, illetve terepi körülmények között megbízható mérések végzésére. Műszereink gyakorlati kivitelezésében döntő szerepe volt a Videoton Holding Rt. szakembereivel folytatott többéves, igen gyümölcsöző együttműködésnek. Az utóbbi évtizedben számos, gyakorlati körülmények között alkalmazható fotoakusztikus rendszert sikerült kifejleszteni. A földgáz vízgőz- és kénhidrogén-tartalmát mérő berendezésünk a MOL Rt. algyői, illetve üllési gáztüzemében végez évek óta folyamatos, megszakítás nélküli méréseket, miközben a rendszer eleget

tesz a robbanásveszélyes területen történő működés legszigorúbb (hatósági) feltételeinek. Olyan rendszert is kifejlesztettük, amely képes folyadékok szennyező komponenseinek (például víz vagy szerves oldószerek) nagyérzékenységű és szelektív mérésére. Ez a rendszer az ún. diffúziós mintavételezésen alapul, azaz a mérendő folyadékba benyúló mintavételi cső egy szakasza egy olyan membránt tartalmaz, melyen keresztül a mérendő komponens a folyadékból a gáztérbe jut. E módszerrel sikerül megtartani a gázfotóakusztika nagy szelektivitását. Fotoakusztikus mérések ugyanis folyadékfázisban is végezhetőek, csak ekkor az elnyelési vonalak kiszélesednek, ami a vonalak átfedéséhez és ezáltal a szelektivitás csökkenéséhez vezet.

A fotoakusztikus rendszerek fejlesztése komplex akusztikus terek numerikus modellezésétől kezdve, a lézerfejlesztésen át, elméleti spektroszkópiai kérdésekig számos érdekes tudományos problémát vet fel, amelyeket külön-külön is csak igen vázlatosan lehetne tárgyalni a rendelkezésre álló terjedelemben. Az alábbiakban ezért inkább négy különböző területről vett példán keresztül próbáljuk meg demonstrálni a fotoakusztikus módszer előnyeit és a benne rejlő lehetőségeket.

A légkör vízgőztartalmát mérő, repülőgépre telepített fotoakusztikus rendszer

A *Rio de Janeiro-i*, majd később a *Kiotói Jegyzőkönyv* is kiemelten foglalkozott a légkörben található üvegházgázok koncentrációjának csökkentésével, folyamatos mérésük szükségességével. Köztudott, hogy Földünk légkörének egyik legfontosabb komponense a vízgőz, ami amellet, hogy részt vesz a csapadék- és felhőképződésben, a légkör fizikai és kémiai reakcióiban is fontos szerepet játszik, és az egyes légrétegek közti energiacsere talán legfontosabb közvetítője. (Az már általában kevesebb figyelmet kap, hogy a víz egyúttal az egyik

legfontosabb üvegházgáz is.) Mindezek ellenére a vízgőz *in situ* mérése – különösen a légkörkémiailag folyamatok szempontjából kritikus felső troposzféra–alsó sztratoszféra régióban – mindeztáig nem kielégítően megoldott. Természetesen műholdas, légköri kutatóballonos méréseket hosszú idő óta végeznek, így sok más légköri összetevő mellett a vízgőz koncentrációját is folyamatosan mérik. E mérések azonban integrális jellegűek, csak a függőleges térbeli eloszlásról szolgáltatnak információt, ezért csakis korlátozott mértékben alkalmazhatók atmosféramodellekben, légköri előrejelzésekben, kutatásokban. További nehézség, hogy nem akármilyen berendezés képes a magaslégköri körülmények között megbízható méréseket végezni. Általában elmondható, hogy a légköri gázok tanulmányozására az utóbbi esztendőekben egyre inkább elterjednek az optikai spektroszkópiail elven alapuló mérési módszerek. Előnyük elsősorban a keskeny hullámhosszon működő fényforrásból adódó nagyfokú szelektivitás, ami azt jelenti, hogy e módszerek mérési pontosságát más gázkomponensek jelenléte nem befolyásolja.

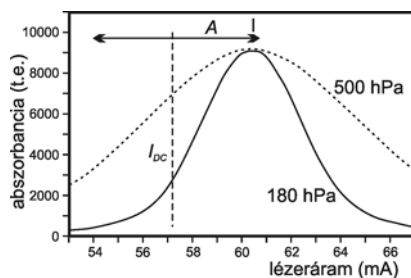
Speciálisan felsőlégköri vízgőzméréshez fejlesztettük ki azt a diódalézeres fotoakusztikus berendezést, mely jelenleg az Európai Unió által is támogatott CARIBIC elnevezésű projekt (www.caribic-atmospheric.com) keretében egy utasszállító repülőgép fedélzetére telepítve végez méréseket sok egyéb, más légköri összetevőket mérő berendezéssel együtt. A fotoakusztikus rendszer és a klasszikus optikai spektroszkópiail módszerek szelektivitása összemérhető, ugyanakkor a mérőberendezés felépítése egyszerűbb, mert nem tartalmaz extrém nagy stabilitást igénylő optikai elemeket, ezáltal a repülőgépeken fellépő mechanikai zavarok, rezgések nem befolyásolják az eszköz működését.

A fotoakusztikus vízgőzmérő berendezés fényforrása egy optikai szálba csatolt elosztott visszacsatolási (DFB) diódalézer. A DFB diódalézerek keskeny sáv szélességű, kisméretű, áramukkal és hőmérsékletükkel könnyen hangolható fényforrások, melyek a közeli infravörös tartományban sugároznak, így ideálisak fotoakusztikus spektroszkópiai alkalmazásokhoz. A fotoakusztikus jelkeltéshez a fényforrás valamilyen modulációjára van szükség. DFB diódalézerek esetén általában a lézer teljesítményét vagy hullámhosszát modulálják. A teljesítménymoduláció során a lézert periodikusan ki-be kapcsoljuk, azaz a kikapcsolás során a gerjesztő áramot arra a szintre csökkentjük, ahol már nem okoz lézerműködést. Ezzel szemben a hullámhosszmoduláció során a lézer áramát csak olyan mértékben változtatjuk meg, hogy a lézer hullámhossza az elnyelési vonalról periodikus módon lehangolódjon. Mivel a vízgőz elnyelési vonalai rendkívül keskenyek, ezért elegendő a lézer áramának néhány százalékos megváltoztatása ennek eléréséhez.

Összehasonlítva a két modulációs módszert, megállapítottuk, hogy a hullámhosszmoduláció több szempontból előnyösebb, mint a teljesítménymoduláció az alábbiak szerint. Egyrészt, mivel a lézer áramát kíméletesebben változtatjuk, ezért a lézer élettartama sokkal hosszabb lesz. Másrészt, mivel a hullámhosszmoduláció során az optikai elnyelés különbségét mérjük a vízgőz abszorpciós vonalán, illetve annak közvetlen szomszédságában, a módszer egyfajta differenciális mérésként működik. Ennek következtében a hullámhosszmodulált lézerral végzett mérések szelektivitása sokkal nagyobb, hisz például egy széles elnyelési sáv (ami például a viszonylag nagy, tipikusan legalább öt atomot tartalmazó molekulákra jellemző) által keltett fotoakusztikus jel minimális mértékű lesz. Spektroszkópiai tanulmányainkból tudjuk, hogy légköri nyomás környékén a gázok abszorpciós vonalainak szélességét az ütközési kiszélesedés határozza meg. Mivel ez nyomásfüggő, ezért az abszorpciós vonalak szélességének is függenie kell a nyomástól. Az 1. ábrán a vízgőz elnyelési vonala látható két különböző

nyomáson (miután a lézer hullámhossza a lézeráramnak egyértelmű függvénye, ezért a vízszintes tengelyt hullámhossz helyett áramban is skálázhatjuk). A vonal szélesség változása miatt hullámhosszmoduláció esetén a rendszer érzékenysége – ami definíció szerint az egységnyi koncentráció által keltett fotoakusztikus jel nagysága – erősen nyomásfüggő. Az 1. ábrán szaggatott vonallal bejelöltük azt az I_{DC} egyenáramot, illetve nyílal az áramtartományt, amelyek 180 hPa nyomáson optimális modulációt és ezáltal maximális érzékenységet biztosítanak. Az ábráról láthatjuk, hogy ugyanezek az értékek 500 hPa nyomáson már távolról sem optimálisak. Az érzékenység nyomásfüggése különösen kritikus probléma a repülőgépre telepített rendszer esetén, mivel a repülőút során a légköri nyomás gyorsan változik. Ezért a hullámhosszmoduláció alkalmazása megköveteli a légköri nyomás folyamatos mérését és figyelembevételét azon számolás során, amikor a fotoakusztikus jelből meghatározzuk a vízgőz-koncentrációt. Emellett a megbízható mérésekhez alapvető fontosságú a lézer áramának és hőmérsékletének nagyon pontos és nagy stabilitású beállítása.

A légköri vízgőz mérésére alkalmas, általunk kifejlesztett fotoakusztikus rendszer kellően stabil és számos olyan önellenőrző és önbeállító funkciót tartalmaz, amely a repülőgépen történő mérés extrém körülményei között is biztosítja a megbízható működést. A rendszert 2004 decemberében telepítettük egy

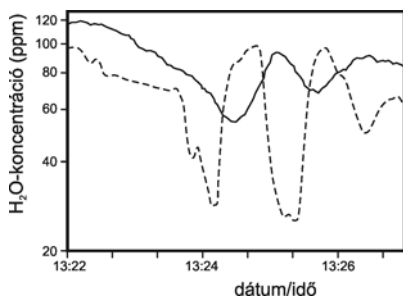


1. ábra • Vízgőz abszorpciós vonala két különböző nyomáson.

menetrendszerű Airbus típusú repülőgép fedélzetén, és azóta végez folyamatos méréseket. A berendezésünk egy tükrös harmatpontmérővel párhuzamosan méri a levegő vízgőztartalmát. A két rendszer által mutatott vízgőz-koncentráció jó egyezést mutat, viszont megállapítható, hogy a fotoakusztikus berendezés válaszüzeje és dinamikája is jobb, mint a tükrös harmatpontmérőé (2.ábra).

A bioszféra által kibocsátott ammónia fotoakusztikus mérése

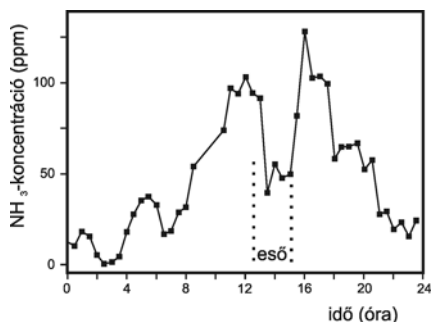
A környezetvédelem fontossága hazánk európai uniós csatlakozásával tovább növekedett, hiszen ezen a téren vagyunk talán a leginkább elmaradva az EU régebbi tagállamaitól. A környezetvédelem egyik kulcskérdése gázok megbízható monitorozására alkalmas rendszerek kifejlesztése. Az ammónia fontos légszennyező mind a regionális léptékű troposzferikus vegyi folyamatokban játszott szerepénél, mind lerakódásakor az ökológiai rendszerekre gyakorolt hatásainál fogva. Ezért szükség van *in situ* mérésére is, melyet a jelenlegi módszerekkel vagy egyáltalán nem, vagy csak igen magas költségek árán lehet megvalósítani. Az *in situ* mérések egyik legnagyobb előnye a folyamatos



2. ábra • A léghöz vízgőztartalma repülőgép fedélzetére telepített fotoakusztikus berendezés (szaggatott görbe) és tükrös harmatpontmérő (folyamatos görbe) mérései alapján a Sao Paolo-Santiago de Chile útvonalon 2005. július 28-án.

és valós idejű adatszolgáltatás, amelynek eredményeképpen hirtelen nagyarányú változások is mérhetőek és követhetőek, és így a szükséges beavatkozások időben megtehetőek. A folyamatos monitoring nyilvánvaló előnyei ellenére sem terjedt még el hazánkban. Kutatócsoportunk egy korszerű, folyamatosan üzemelő, rövid válaszüzejű és szelektív mérőeszköz kifejlesztésén dolgozik, amelynek üzemeltetéséhez nem szükséges speciális ismeret, és lehetőleg kevés karbantartást igényel.

Műszerünkben fényforrásként egy 1532 nm hullámhosszon működő DFB diódlézeret alkalmazunk. A rendszerben egy speciális, polimerből készült fotoakusztikus kamrát alkalmazunk. Erre azért van szükség, hogy a kamra falán fellépő abszorpciót/deszorpciót és ezzel a mintavételezési műtemékeket a minimálisra csökkentjük. Ez a berendezésünk a levegőben található ammónia mérésére alkalmas akár terepi körülmények között is. Jelenleg a rendszerrel kimutatható legkisebb ammóniakoncentráció 10 ppb. Ez az érték ismereteink szerint több mint egy nagyságrenddel jobb, mint a jelenleg az irodalomból ismert rendszereké. Az eszközt 2005 nyarán két héten át teszteltük terepi mérések során Braunschweigben, az ottani mezőgazdasági kutatóintézet kísérleti búzamezőjén. A cél a búzamező



3. ábra • Egész napos ammóniadetektálás a fotoakusztikus rendszerünkkel terepi körülmények között.

műtrágyázása és locsolása után megemelkedett ammóniakibocsátás mérése volt. A napi mérésekből jól látszik, mikor indul el a növények fotoszintézise, és az is, hogy amikor esik az eső, az ammóniakoncentráció lecsökken, mivel az esővízben elnyelődik az ammónia (3. ábra).

Fotoakusztikus ózonmérő rendszer

Környezetvédelem szempontjából légkörünk egyik igen fontos összetevője az ózon. Amíg jelenléte a felső légkörben nélkülözhetetlen, addig a földfelszín közelében – ahol például gépjárművekben az üzemanyag elégeése során keletkezhet – többféle módon is káros hatást fejt ki. Az ózon keletkezése és emiatt térbeli eloszlása is meglehetősen egyenetlen. Az ózonkoncentráció térbeli és időbeli változásainak nyomon követéséhez szükségessé vált a pillanatnyilag létező ózonmérők mellett egy hordozható, viszonylag kis méretű, nagy érzékenységű, rövid válaszidejű, automatikusan vezérelhető ózondetektor kifejlesztése.

Az ózon abszorpció maximuma 254 nm-en található. Ere a hullámhosszra természetesen már nem léteznek az eddig ismertett berendezéseinkben alkalmazott telekommunikációs diódlézerek. Szerencsére azonban a technikailag ugyancsak igen kiforrottnak tekinthető Nd-YAG lézer frekvencianégszerezett hullámhosszán (266 nm) az ózon abszorpciója a maximumnál csak alig kisebb. Ezért rendszerünkben nagy ismétlési frekvenciájú, Q-kapcsolt Nd-YAG lézert használtunk, amely fényt két nemlineáris kristály segítségével konvertáljuk (frekvencianégszerezéssel) 266 nm-re. A frekvencianégszerezés során a lézer 1064 nm-en leadott 1500 mW-nyi teljesítményéből 5 mW teljesítményű UV fényt kapunk. A teljes rendszer elfér egy 40×60 cm alapterületű optikai asztalon. A hozzá tartozó elektronika és gázkezelés együttesen egy 70×65×53 cm-es dobozba integrálható.

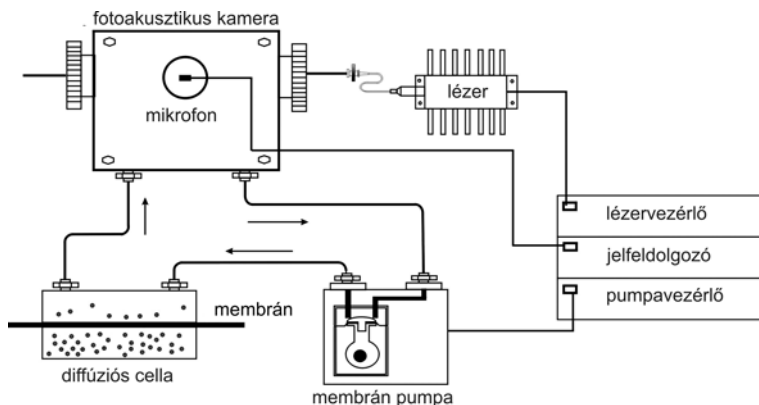
Az ózonmérő rendszerünket megfelelő teszt-mérések elvégzése után egy ózonkalibrátor se-

gítségével hitelesítettük és meghatároztuk érzékenységét, ami 2 ppb-nek adódott. Ezt követően a rendszert egy környezetállapot-monitorozó rendszerbe integráltuk, ahol a levegő ózontartalmát mérte egy kereskedelmi forgalomban kapható ózonelemzővel párhuzamosan. A két rendszer által mért értékek kiválóan egyeztek. Megjegyzendő: a fotoakusztikus rendszer időfelbontása lényegesen jobb, mint a hagyományos ózonelemzőé.

Fóliák gázáteresztő képességét mérő fotoakusztikus rendszer

Csomagolóanyagok, fóliák gázáteresztő képessége alapvetően meghatározza a csomagolt élelmiszer vagy a gyógyszer eltarthatóságának idejét. A fóliák áteresztőképességét legtöbbször vízgőzre, oxigénre és széndioxidra vizsgálják. További fontos kérdés, hogy a fólia milyen mértékben enged át a csomagolás során alkalmazott, az áru romlását késleltető, speciális összetételű védőgázokat.

A mérés elve, hogy a mérendő fóliát egy ún. diffúziós cellába helyezzük, melynek alsó térrészébe nagy koncentrációban a vizsgálandó gázkomponenst juttatjuk, míg a felső térrész eredetileg semleges gázzal van feltöltve. A mérés során a membránon átdiffundáló molekulák megjelennek a diffúziós cella felső térrészében, ami egy membránpumpán keresztül zárt (áramlási) kört alkot a fotoakusztikus kamrával. Ily módon az átdiffundált gáz mennyisége a rendszer megbontása nélkül folyamatosan mérhető. A mért görbére, azaz a koncentráció időfüggésére a diffúziós egyenlet alapján felírt modell numerikusan illeszthető, és az illesztés eredményeként megkapjuk a mintára és a vizsgált gázkomponensre jellemző diffúziós paramétereket. Mivel a fotoakusztikus módszer igen kedvező jel/zaj viszony mellett folyamatos méréseket tesz lehetővé, a numerikus illesztést elegendő a mérések kezdeti szakaszára elvégezni. Ezzel a módszerrel a korábban, alacsony



4. ábra • Fotoakusztikus gázáteresztőképesség-mérő berendezés sematikus rajza.

gázáteresztő képességű minták esetén akár több napot is igénybe vevő mérési időt néhány órára lehet rövidíteni.

Az általunk kifejlesztett áteresztőképesség-mérési módszerrel sikeresen meghatároztuk különböző műanyagok metán, szén-dioxid stb. áteresztőképességét. Jelenleg egy olyan rendszer kifejlesztésén dolgozunk, amely lehetővé teszi az

áteresztőképesség-mérését 1000 barnyomásig. A fotoakusztikus módszer alkalmazása gázáteresztő képesség mérésére legjobb tudomásunk szerint világviszonylatban is újdonságnak számít. (4. ábra)

Kulcsszavak: *fotoakusztikus mérés, gázdektálás*

IRODALOM:

Veres A. H. – Sarlós F. – Varga A. – Szabó G. – Bozóki Z. – Motika G. – Gyapjas J. (2005): Spectroscopy Letters. **38**, 377–388.
 Szakáll M. – Bozóki Z. – Mohácsi Á. – Varga A. – Szabó G. (2004): Applied Spectroscopy. **58**, 792–798.



TÖBBSZÖRÖS LEKÉPEZÉSI MÓDSZEREK AZ OPTIKAI MIKROLITOGRÁFIÁBAN

Erdélyi Miklós
egyetemi adjunktus
erdelyi@titan.physx.u-szeged.hu

Horváth Zoltán
egyetemi docens

Szabó Gábor
az MTA
levelező tagja

Bor Zsolt
az MTA rendes tagja
SZTE Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék

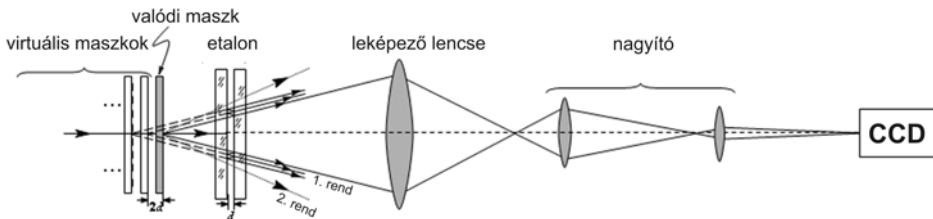
Az optikai mikrolitográfiában alapvető cél, hogy a maszkon lévő mintázat képe leképezési hibák nélkül a lehető legnagyobb kicsinyítéssel kerüljön egy fényérzékeny lemezre. A mintázat méretét a rendszer feloldóképessége (R) korlátozza, ami alapvetően az alkalmazott fény hullámhosszától (λ) és a rendszer numerikus apertúrájától (NA) függ. Növelve a numerikus apertúrát vagy csökkentve az alkalmazott fény hullámhosszát, a rendszer feloldóképessége nő ($R \propto \lambda/NA$), és így finomabb mintázatok is leképezhetővé válnak. Ezzel egyidejűleg azonban a mélységélesség (DOF) csökken ($DOF \propto \lambda/NA^2$). Ez a korlátozó feltétel arra ösztönözte a kutatókat, hogy más módszereket dolgozzanak ki a feloldóképesség és a mélységélesség egyidejű növelésére. A koherens többszörös leképezés egy olyan módszer, amely alkalmas a mélységélesség és a feloldóképesség

együttes javítására (Erdélyi et al., 1997; Horváth et al., 1997; Erdélyi et al., 2000).

A koherens többszörös leképezés alapelve

A tradicionális leképezés során a fotomaszknak egy kicsinyített képe jelenik meg a fényérzékeny lemezen. A többszörös koherens leképezés lényege, hogy egy optikai eszközzel megsokszorozzuk a maszk képét, amely képeket a lencse koherens (azaz egymással interferenciára képes) módon szuperponál. A javasolt technika elvi vázolata az 1. ábrán látható.

Az interferométerben bekövetkező többszörös reflexió miatt a valódi maszknak több virtuális képe jön létre. A virtuális maszkok távolsága $2d$, intenzitásarányuk R^2 , ahol d az interferométer tükreinek távolsága, R pedig a reflexiós képességük. Mivel a tükrök távolsága egy piezo-eltolóval könnyedén



1. ábra

változtatható, a képpontok közti szeparáció is állítható. A szomszédos képek közötti relatív fáziskülönbség $\delta = 2\pi \cdot 2d/\lambda$. A maszkok képeinek távolsága $2dM^2$, ahol M^2 a lencse longitudinális nagyítása. A leképező objektív által létrehozott végső kép a valódi és a virtuális maszkok képeinek szuperpozíciója. Itt érdemes bevezetni a relatív képsűrűség fogalmát (N), amely megadja, hogy egy mélységelességen belül hány kép van: $N = \text{DOF}/2dM^2$. Ha N kisebb, mint 1, akkor a képek szeparáltan jelennek meg. Bár mind a relatív képsűrűség, mind a relatív fáziskülönbség az interferométer tükreinek távolságától függ, praktikus okok miatt célszerű független paraméterként kezelni őket.

Pontszerű fényforrások leképezése

A javasolt módszer a mélységelességen túl a feloldóképességet is megnöveli. Ennek demonstrálására vizsgáljuk meg a rendszer pontátviteli függvényét, azaz számítsuk ki és mérjük meg egy pontszerű fényforrás esetén a képet. A Fabry-Perot-interferométer bázistávolságát úgy kell megválasztani, hogy csak egy gyűrű haladjon át a lencse apertúrájának szélén. Megmutatható, hogy ilyenkor a lencse képsíkjának közelében kialakult intenzitás radiális eloszlása a J_0^2 függvénnyel jellemezhető, ahol J_0 a nulladrendű Bessel-függvény. Határesetben – amikor a Fabry-Perot-gyűrű végtelenül keskeny és teljesen az apertúra szélén van – a feloldás 60 %-kal javítható. Fontos megemlíteni azonban, hogy a J_0^2 függvény mellékmaximumai jóval intenzívebbek, mint az Airy-féle elhajlási kép esetén voltak. Míg utóbbinál az első mellékmaximum intenzitása nem haladja meg a főmaximum 2 %-át, addig a Bessel-függvény négyzete esetén ugyanez az arány 16%.

A fény hullámtermészetét figyelembe vevő hullámoptika segítségével a leképező lencse mögötti fényintenzitás kiszámítható. A hengerszimmetria miatt az intenzitás a z és az r koordináták függvénye, ahol z és r a

megfigyelési pontnak a fókuszsíktól, illetve az optikai tengelytől mért távolsága. Az etalon bázistávolságának csökkentésével a képsűrűség (N) növekszik, aminek következtében az optikai tengely mentén az oszcilláció eltűnik, az intenzitást megadó görbe simább lesz, és a mélységelesség az Airy-féle képhez tartozó értékének többszörösére nő. A kísérleti eredmények szerint mikor a lencsére csak egy (éles) Fabry-Perot-gyűrű esik, akkor az optikai tengelyre merőleges síkokban az intenzitást a nulladrendű Bessel-függvény négyzete írja le. Ezt a számolási eredményeink megerősítik.

Kiterjedt mintázatok leképezése

A pontszerű források leképezése sok gyakorlati és elméleti tapasztalattal szolgál a javasolt módszerre vonatkozóan, gyakorlati jelentősége azonban csekély. Az integrált áramkörökön lévő mintázatokat ugyanis optikai litográfiai úton hozzák létre, azaz az egész struktúrát egyszere képezik le, és nem „húzzák” a vonalakat. A kérdés tehát az, hogy kiterjedt mintázatok esetén hogyan használható a koherens többszörös leképezés. Itt az ún. *off-set* kontaktusokból álló mintázatok leképezését vizsgáljuk meg részletesen.

A szimulációk és a kísérletek során alkalmazott hullámhossz 441,6 nm (*He-Cd* lézer), a tükrök reflexiója $R = 0,97$, a bázistávolság 122 μm volt. A nagy reflexiónak és a kicsi képsűrűségnek ($N = 4$) köszönhetően az apertúra szélén lévő Fabry-Perot-gyűrű vékony. A szimuláció során alkalmazott paraméterek megegyeztek a kísérletek során alkalmazottakkal.

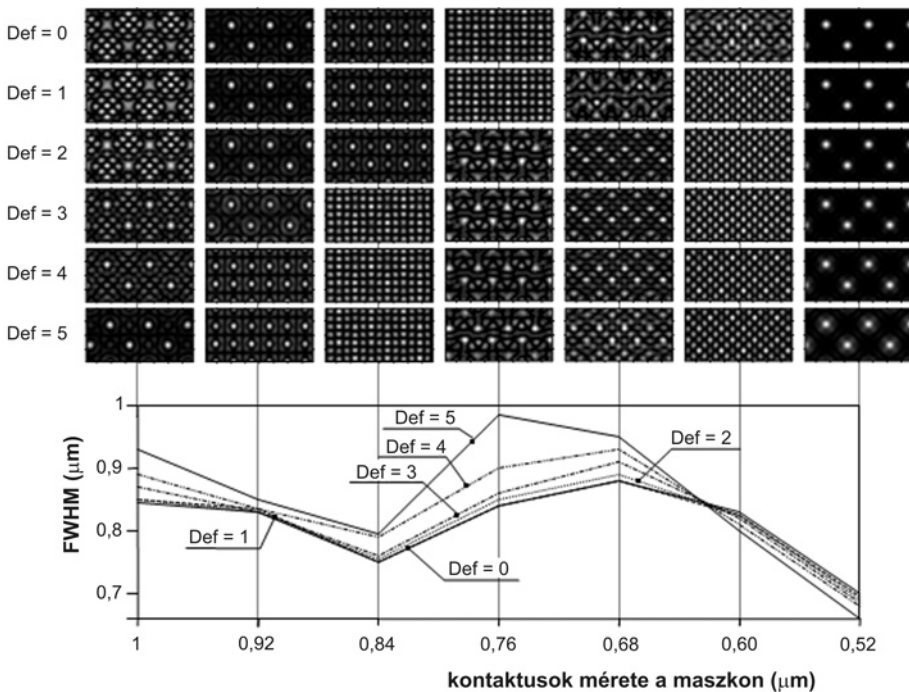
A leképező lencse által létrehozott képet két, kaskád módon egymás után elhelyezett mikroszkópobjektívvel nagyítottuk fel, és *CCD*-kamerával vizsgáltuk. A két objektív együttes nagyítása $20 \times 40 = 800$ volt. Az első objektívet egy z -eltolóra helyeztük, aminek következtében az axiális intenzitáseloszlást is fel lehetett venni.

A keletkezett kép minőségét az határozza meg, hogy mennyi Fourier-komponens vesz részt a leképezésben. Fabry-Perot-szűrő nélkül a lencse numerikus apertúrája önmagában meghatározza az átengedett maximális térbeli frekvenciakomponenst, és végső soron a kép minőségét. Minél kisebb a periódus a maszkon, annál nagyobb a diffrakciós szög, illetve a diffrakciós rendek térbeli szeparációja. A mintát nem lehet leképezni, ha csak a nulladik rend halad át a lencsén.

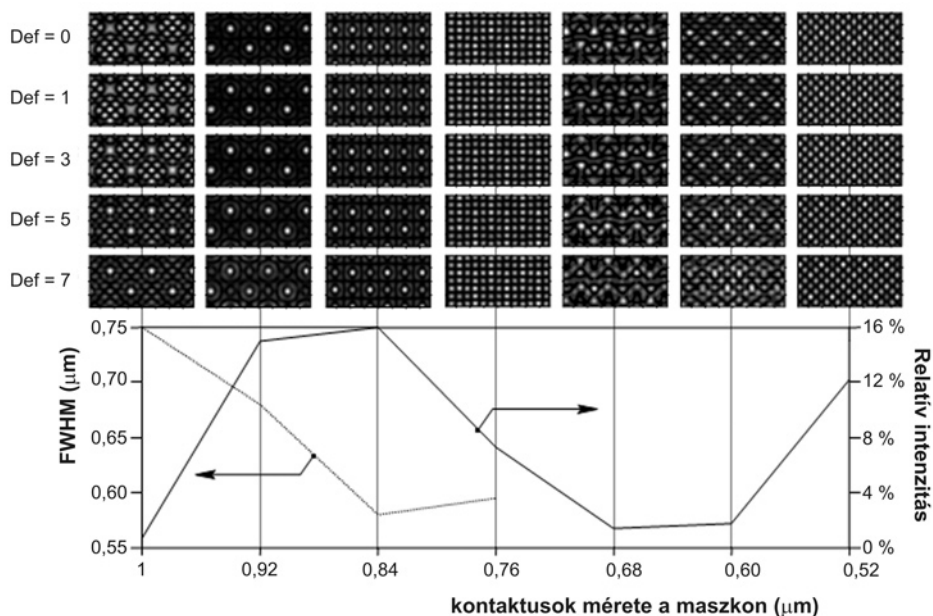
A 2. ábra a számolt intenzitáseloszlásokat mutatja hét minta esetén különböző mélység-élességek mellett. Az ábrázolt $7,5 \times 15 \mu\text{m}^2$ területek kiértékeléséből nyert *FWHM* értékek szintén láthatóak. A *FWHM* (szimulált feloldás) függése a *CD*-től (a maszkon mért tényleges méret) minden mélység esetén hasonló karakterisztikát mutat. Ugrásszerű változás akkor tapasztalható, amikor a *CD* $0,84 \mu\text{m}$ alá csökken, ekkor ui. a ± 2 rendek már nem haladnak

át a lencse apertúráján, így nem vesznek részt a leképezésben. A *FWHM* jelentősen megnő, míg a mélységélesség csökken. Tovább csökkentve a *CD* értékét, a ± 1 rendek egyre közelebb kerülnek az apertúra széléhez, csökkentve ezzel a *FWHM* értékét.

Egy keskenysávú Fabry-Perot-szűrő jelentős szelekciót vezet be a térbeli Fourier-komponensek között: csak azok a diffrakciós rendek vesznek részt a leképezésben, amelyek áthaladnak a szűrőn. Ez egyúttal erős mintázatfüggőséget jelent. A 3. ábrán a Fabry-Perot-szűrő használatával nyert szimulációs képeket láthatjuk. A szimulált mintázatok karakterisztikája nagymértékben függ a mintázat periódusától, de nem érzékeny a mélység-élesség változtatására. Figyelemreméltó, hogy a *FWHM* $0,75 \mu\text{m}$ -ról $0,58 \mu\text{m}$ -re csökkent a $0,84 \mu\text{m}$ -es mintázat esetén. Ez a mintázat a legjobban leképezhető a fényvesztés szempontjából is, ugyanis ebben az esetben a 2.



2. ábra • Szimulált képek Fabry-Perot-szűrő használata nélkül



3. ábra • Szimulált képek Fabry-Perot-szűrő használatával

diffrakciós rendek éppen a Fabry-Perot-szűrő transzmissziós maximumára esnek. Tovább csökkentve a mintázat periódusát, a 2. rendek kívülre kerülnek az apertúrán, csökkentve mind a feloldást, mind az intenzitást.

Összefoglalás

Egy Fabry-Perot-etalon alkalmazásán alapuló koherens többszörös leképezési eljárást

vizsgáltunk elméleti és kísérleti módszerekkel. Az eljárás elsősorban kontaktusok leképezésénél alkalmazható, ahol megfelelően választott paraméterek mellett a feloldás 25 %-kal, míg a mélységélesség 300 %-kal volt növelhető.

Kulcsszavak: *többszörös leképezés, optikai litográfia, mélységélesség, feloldóképesség*

IRODALOM

Erdélyi M. – Horváth Z. L. – Szabó G. – Bor Zs. – Tittel, F. K. – Cavallaro, J. R. – Smayling, M. C. (1997): Journal of Vacuum Science and Technology B. **15**, 2, 287–92

Erdélyi M. – Bor Zs. – Wilson, W. L. – Smayling, M. C. – Tittel, F. K. (2000): Applied Optics. **39**, 7, 1121–29

Horváth Z. L. – Erdélyi M. – Szabó G. – Bor Zs. – Tittel, F. K. – Cavallaro, J. R. (1997): Journal of the Optical Society of America A. **14**, 11, 3009–13

LÉZERFEJLESZTÉSEK ÉS LÉZERALKALMAZÁSOK A KFKI-BAN, MAJD AZ SZFKI-BAN

Czitrovszky Aladár
az MTA doktora, tudományos tanácsadó
czi@szfki.hu

Farkas Győző
a fizikai tudomány doktora,
tudományos tanácsadó

Bánó Gergely
PhD, tudományos munkatárs

Nagy Attila
PhD, tudományos munkatárs

Oszetzky Dániel
PhD-ösztöndíjas

Jani Péter
az MTA doktora, tudományos tanácsadó

Gál Péter
PhD-ösztöndíjas

Donkó Zoltán
az MTA doktora, tudományos főmunkatárs

Kiss Árpád
kandidátus, tudományos főmunkatárs

Rózsa Károly
a fizikai tudomány doktora, tudományos tanácsadó

Koós Margit
az MTA doktora, tudományos tanácsadó

Varga Péter
az MTA doktora, tudományos tanácsadó

Csillag László
kandidátus, tudományos főmunkatárs
MTA Szilárdtestfizikai és Optikai Kutatóintézet

*A fejlődést magalapozó tudást azért is
kötelességünk megszerezni,
hogy továbbadhassuk azt utódainknak*

Bevezetés

Optikai és spektroszkópiai kutatások a KFKI-ban már annak megalakulása (1950) óta folytak, amikor a fény kettős tulajdonságát, fényhullámok sajátosságait, a fotonok viselkedését, az atomok és a fény kölcsönhatását kezdték tanulmányozni. 1959-ben alakult itt meg az optikai osztály, amely az optikai mérés technikai csoportból, valamint a fényanyag kölcsönhatást, a koherenciát és a

fluktuációkat tanulmányozó részlegekből és a spektroszkópiai csoportból állt (Jéki, 2001). Nem véletlen, hogy az első hazai lézer – egy He-Ne gázlézer, 1963-ban, kb. három évvel az első gázlézer megalkotása után – a KFKI-ban készült el (Bakos József, Csillag László, Kántor Károly és Varga Péter építették). Ez a hazai lézer annyiban jelentett előrelépést Ali Javan lézéréhez képest (Bertolotti, 1983), hogy a tükrök a vákuumrendszeren kívülre kerültek. A másik különbség, hogy a tükrök anyaga nem dielektrikum, hanem ezüstrétegből készült, ezért a lézer több vonalon is működött: az 1,15, 2,39 és 3,39 mikrométeres hullám-

hosszon. A kilépő teljesítmény az 1,15-ös vonalon 2,5 mW volt.

A következő évben (1964) ugyanitt jött létre az első hazai rubinlézer (Farkas Győző, Náray Zsolt és Varga Péter), 1965-ben pedig a látható hullámhosszon – 0,63 mikronon – működő He-Ne lézer (Bakos József, Csillag László, Kántor Károly és Salamon Tamás).

1970-ben megépült az első He-Cd⁺ lézer (Csillag László, Jánossy Mihály, Kántor Károly, Rózsa Károly), 1972-ben pedig az első hazai Nd-YAG lézer (Czigány Imre és Kertész Iván). Jelentős előrelépés volt az első DFB festéklézer megépítése 1974-ben (Bakos József, Füzesy Zoltán, Sörlei Zsuzsa és Szigeti János), valamint az első He-Kr⁺ és He-Cu⁺ üreges katódú lézerek létrehozása, amelyek világviszonylatban is újdonságok voltak. Az újfajta lézerek közül itt épült az első Nd-foszfát üveg hordozható minilézer (1981, Czigány Imre és Kertész Iván), amely néhány gyufaskatulya méretű volt és tepről is üzemelt.

Több új lézer a 60-as években megalakult lézeralkalmazási osztályon jött létre (például a Nd-YAG lézer, a Nd-foszfát üveg lézer), ahol ezek ipari, orvosi (főleg sebészeti) és mérés technikai alkalmazása is elkezdődött. A Lézerfizikai osztályon ugyanebben az időben készült az első hazai hologram (Jánossy Mihály, Füzesy Zoltán), később pedig a világon elsőként itt felfedezett Glória lézer, amely a *Laser Focus* címlapján is szerepelt (Horváth Zoltán).

A 60-as évek közepétől a fény-anyag kölcsönhatás kutatása a kvantumelektrodinamika (QED) linearitásának kérdéseire irányult, például a foton-elektron kölcsönhatás tanulmányozására alacsonyabb fényintenzitások (akár egyetlen foton) esetén (Farkas – Varga, 1964). A QED azonban nagy fényintenzitásoknál előre jelezte az addig ismeretlen nemlineáris jelenségeket is. Az ilyen jelenségek vizsgálata céljából a közreműködő kutatóink (Farkas Győző, Horváth Zoltán Gy., Kertész Iván, Kóházy-Kis Ambrus, Náray Zsolt, Tóth Csaba,

Varga Péter) egyre nagyobb teljesítményű impulzusüzemű szilárdtestlézereket építettek; az első ilyen egy 0,69 μm hullámhosszú „óriás impulzusú” szilárdtest rubinlézer volt (~100 MW). E lézerimpulzusok alkalmazásaival tarták fel a világon elsőként a fémek QED által előre jelzett sokfotonos fotoeffektusát (Farkas et al. 1967, 1971). Nagyobb lézerintenzitásokhoz érve a 10 ns-os impulzusoknál termikus elektron-emisszió lépett fel, mely eltakarta a fotoeffektust, ezért olyan rubin- és neodímium módusszinkronizált (mode-locked) lézereket építettek, melyek jóval rövidebb, 1 ps hosszúságú, GW teljesítményű lézerimpulzusokat generáltak. Ezen ultrarövid impulzusokkal szintén elsőként írták le, hogy a rövid kölcsönhatási idő következtében külön elektron-, illetve ionhőmérséklet lép fel, és elnyomhatóvá válik a termikus emisszió, valamint a megnövekedett intenzitás kimutathatóvá tette az „optikai tunnelemissziót” (a Keldis-elmélet első igazolása) (Farkas et al., 1972, 1977; Farkas, 1978). E kísérleti eredmények lényegében igazolták, hogy az extrém kis intenzitásoknál érvényes egyfotonos perturbációs kölcsönhatás az intenzitás növelésével sokfotonos kölcsönhatásba, majd még további növelés esetén a perturbációs küszöb átlépésével az ún. „optikai tunnelemissziós” kölcsönhatásba megy át. Ugyanez a kutatócsoport elsőként mutatta meg, hogy a módusszinkronizált lézerimpulzusok vonulatából izolált egyetlen hangolható pikoszekundumos impulzust használva a szabadelektron gáz elektronjai csak egész számú $h\nu$ lézerfotont nyelnek el (Lompré et al., 1979). E kísérlet volt a megalapozója az ún. „Above threshold ionization” jelenségnek (ATI), melynél atomok, illetve fémek fotoelektronjai mindig csak egymástól $h\nu$ fotonenergiával követő energiaértékekből álló diszkrét vonalas spektrum alakjában jelennek meg. Ezt fémkatódok esetén elsőként igazolták (Farkas – Tóth, 1989, 1990; Farkas et al., 1993). Ezen elektronok, valamint

szabad elektronok esetére kidolgozták a röntgenemisszió keltését, valamint a lézeres elektrongyorsító új elvét (Tóth et al., 1991; Bergou et al., 1983). A további vizsgálatokhoz szükséges még nagyobb intenzitások eléréséhez elkészült egy ún. „Chirped Pulse Amplification” elnevezésű összetett lézerrendszer, mely negatív visszacsatolással működött. Közben ugyancsak elsőként egymást $h\nu$ fotonenergiával követő, magasrendű harmonikusok keltését (HHG) figyelték meg fémfelületeken, mely HHG jelenség az ATI-val együtt jelentkező folyamat. Az így nyert szabályos diszkrét vonalakból álló spektrumok a röntgentartományig terjednek, és a lézerrel hangolhatók (Varró et al., 1999).

A fotoeffektus során nyert, rendkívül nagy áramsűrűségű, igen rövid elektronimpulzusokat a hivatkozások szerint a nagy elektrongyorsítók, továbbá a szabadelektronlézerek katódjaiban stb. használják. Ugyancsak fontos eredmény, hogy a fotoeffektust taszító külső elektrosztatikus térben keltve igen erős UV- és röntgenemissziót detektáltak (Varró et al., 1999).

Kitűzött alapkutatói programjuk egyik legújabb eredménye az *attosekundumos* fényimpulzusok ($1 \text{ as} = 10^{-18} \text{ s}$) keltésének felismerése (Farkas – Tóth, 1992). Az ez ideig előállított legrövidebb ilyen impulzusok időtartamának szemléltetése: az elektron a hidrogénatom Bohr-pályáján 140 attosec alatt tesz meg egy fordulatot. Így $1 \text{ as} = 1/140$ Bohr-körülfordulási idő, ami térben 0,3 nanométer távolságnak felel meg. Így az attofizika találkozik a nanofizikával: új kísérleti eszköz született az atom belső dinamikájának attosekundumos időbeli, illetve nanométeres térbeli skálán történő felbontásához. Ilyen vizsgálatokat (Auger-effektus dinamikája, szabad elektron dinamikája stb.) a rohamosan fejlődő attofizikai kutatóközpontokban sikeresen és rutinszerűen végeznek.

A 70-es években a lézeralkalmazási osztályon már lézeres berendezések és rendszere-

rek fejlesztése is folyt, amelyek között ellenállás-trimmelő berendezések voltak a REMIX számára, lézeres gravírozó berendezések, melyeket a Gammában helyeztek üzembe, szubmikronos mérő interferométerek a Szerszámgépipari Művek (SZIM Csepel) részére, orvosi lézerrendszerek különböző diagnosztikai és sebészeti célokra. Később, a különböző lézerek több új méréstechnikai módszer kidolgozását is lehetővé tették – például a szórt fény frekvenciájának spektrális felbontása a kontaktusmentes lézeres sebességmérés terén lehetővé tette új doppleres sebességmérő berendezések kifejlesztését (Jani – Czitrovsky, 1989–1991). Lézerfény-szórással, amit fotonszámlálással detektáltunk és korrelációs módszerrel dolgoztunk fel, fázisátmeneteket lehetett vizsgálni, diffúziós állandókat lehetett meghatározni (Krivokhiza et al., 1993; Chaikov et al., 1994). Az interferenciakísérletek új mérő-interferométerek létrehozásához vezettek (Yearbook, 1985–86, 1989-91).

A lézerek kutatása segítette a plazmafolyamatokat hasznosító, új anyagtudományi mérési eljárások kifejlesztését. Ezek közül fontos kiemelni a gyémántszerű vékonyrétegek, a szilícium-karbid, szilícium-nitrid kompozit anyagok plazmakisüléssel történő előállítását, azok kötési, valamint elektron szerkezeti jellemzőinek meghatározását, amelyre kiválóan alkalmas a Raman-szórás és fluoreszcencia-spektroszkópiai módszer.

Később, a 80-as években, a *cocom*-listás időszakban, az embargós berendezések kiváltása is napirendre került – ilyenek voltak például a *high tech* megvalósításához nélkülözhetetlen, pormentes tiszta terek mérésére szolgáló levegőportartalom-mérő és részecskeszámláló berendezések, amelyek a lézerfényszórás alapján határozták meg a levegőben lebegő porszemcsék méreteloszlását és koncentrációját. A 90-es években ezekből a berendezésekből fejlődtek ki a magasabb porkoncentrációk mérésére alkalmas műszeresaladók a légkör aeroszol-szennyezett-

ségének monitorozására, valamint ipari üzemek porszennyezettségének mérésére. A kifejlesztett, szabadalmazott műszercsaládok a 90-es évek közepétől széles körben hasznosultak a környezetvédelemben (az ÁNTSZ-szel közösen), a gyógyszergyártásban (Kőbányai Gyógyszergyár, PHARMA Kft.), a toxikológiában (NEVIKI, Toxikológiai központ, Veszprém), az egészségügyben (pl. kórházak műtőiben – Szent Imre Kórház, Szent János Kórház), a vegyiparban (Viscosa, Nyergesújfalu), az acéliparban (Alcoa, Székesfehérvár), a gáziparban (Fővárosi Gázművek) és számos kisüzemben (például a Paraplán Kft.-ben, szűrők minősítésére, a Kisipari Termelő Vállalatban pomonitorozásra stb.) (Czitrovsky – Jani, 1993a, b, 1994a, 1995; Czitrovsky, 1997). A 90-es években, az igényeknek megfelelően a levegőtisztaság-mérő berendezésekből fejlődtek ki a folyadék tisztaság-mérő berendezések (Czitrovsky – Jani, 1994b); ezek a fotokémiai iparban (FORTE, Vác), a gyógyszergyártásban (HUMET Rt.) és a vegyipar számos területén hasznosultak (Czitrovsky – Kertész, 1997).

A magas hőmérsékletű nukleáris aeroszolok mérésére kifejlesztett részecskeszámláló berendezések egyik érdekes tudományos hasznosítására az Atomenergia Kutatóintézetrel közösen végzett atomreaktor-katasztrófa szimulációs kísérletekben került sor egy nemzetközi projekt keretében. Itt a fűtőelemekből felszabaduló aeroszolok méreteloszlásának és koncentrációjának hőmérsékletfüggésében találtunk érdekes összefüggéseket a 100–2200 °C-os hőmérséklettartományban (Czitrovsky et al., 1996c, 1998a, b; Jani et al., 1999; Pintér et al., 2000; Hózer et al., 2003).

Ugyancsak az AEKI-vel közösen történt a lézer ionizációs repülési idő tömeganalizátor kifejlesztése (LIRITA) (Vértes et al., 1988). Ezzel párhuzamosan folyt a lézeralkalmazási osztályon a kontaktusmentes lézeres sebességmérési módszerek fejlesztése, ahol fotonszámlálásos korrelációs módszerekkel sikerült javítani az érzékenységet és a felbontást (Jani – Czitrovsky, 1996). A lézeres interferometriát a gépipari méréseken kívül fel lehet használni felületek topológiájának nagyfelbontású vizsgálatára is.

A kvantumoptikai mérés technikai módszerek lehetővé tették, hogy a nem klasszikus fény tulajdonságait kihasználva új módszereket dolgozzunk ki a fotodetektorok paramétereinek mérésére. Ezek közül megvalósítottuk a kvantumhatásfok etalon nélküli mérését, az egyfotonos és kétfotonos csúcs amplitúdótartományának gyors meghatározását a fotonszámlálási görbe elemzése alapján (Czitrovsky et al., 2000a, b).

A lézerfizikai osztályon intenzív kutatások folytak a fém/szigetelő felületen keltett optikai hullámok (plazmonok) terén, melyek lehetővé tették ezen felületek állapotának (érdesség, tisztaság, esetleges kémiaiilag és/vagy fizikailag kötött adszorbeált rétegek jelenléte) meghatározását. A rétegek vastagságának és komplex törésmutatójának mérésére kidolgoztak csillapított teljes visszaverődésen alapuló módszert (Kroó – Szentirmay, 1995, 1996). Meghatározták, hogy a bevonatként széles körben alkalmazott arany vékonyrétegek optikai tulajdonságai drasztikusan függenek a hordozó érdességétől, valamint megállapították, hogy a Fresnel-egyenletek, eredeti formájukban, nem alkalmasak érdes felületek optikai folyamatainak (transzmisszió, reflexió) leírására. A felületi plazmonok által közvetített emisszióból kimutatták, hogy az így mért érdességi paraméterek jelentősen különböznek az atomierő-mikroszkóppal (AFM) mért paraméterektől. Ennek valószínű oka, hogy a fényszórással kapcsolatos folyamatok a fény hullámhosszával összemérhető komponensekre érzékenyek, míg az AFM ezeket – számára mérhetetlen – hullámoságként detektálja. A Max Planck Intézetrel együttműködésben közelítér-pásztázó alagútmikroszkóppal vizsgálták különböző vékonyréteg-rendszerekben keltett plazmonok fluktuációját. Megállapították hogy a közvetlen plazmon jel keskeny Gauss- vagy Poisson-eloszlást, míg a plazmon rezgés termikus jele Boltzmann-eloszlást mutat. A

keskeny Poisson-eloszlás arra utal, hogy a keltett plazmonok sugárzásának nem klasszikus sajátságai lehetnek (Kroó et al., 2005).

A lézeralkalmazási osztályon a 90-es években kezdődött a femtoszekundumos lézerek létrehozása és alkalmazása, melyeket az új diszperzió-kompenzált lézertükrök megalkotása tett lehetővé.

A kísérleti tevékenységben sokat segített az optikai vékonyréteg laboratórium (Bakos József és Szigeti János), ahol az ott dolgozó szakemberek és a jó műszaki háttér gyakorlatilag bármilyen optikai réteg (lézertükrök, interferenciaszűrők, polarizációs osztótükrök, antireflexiós rétegek, felületi hullámvezetők) létrehozását lehetővé tette. Itt készült az első rezgőkvarcos rétegvastagság-mérő berendezés, és a világújdonságot jelentő diszperziós (csörpölt) lézertükrök, amelyekkel 1997-ben sikerült kb. 4 femtoszekundumos világcsúcsot beállítani a rövid lézerimpulzusok generálásában (Szipőcs Róbert és Ferencz Kárpát). Az utóbbi években itt jöttek létre a genomikában és a klónozási technológiában alkalmazható speciális interferenciaszűrők, amelyeket génátültetésben is használnak.

A fejlesztésekhez hozzájárult az elektronikai osztály, ahol a lézertápegységektől a mérésautomatizálásig gyakorlatilag minden feladatot meg tudtak oldani.

A lézerfizikai osztályon az 1970-es években fontos szerepet kapott a fűtött fémionlézerek kutatása. Ilyen típusú lézerre példa a kék ($\lambda = 441,6 \text{ nm}$) fényt sugárzó He-Cd⁺ lézer (Csillag et al., 1970), amely a gázkisülés pozitív oszlop térrészében működik. A lézerátmenet szelektív gerjesztésének mechanizmusa a $\text{He}^m + \text{Cd} \rightarrow \text{He} + \text{Cd}^+$ Penning-ionizációs folyamat (ahol He^m metastabil állapotú héliumatomokat jelöl). A szükséges Cd fémgőzkoncentrációt egy, az anód környékén elhelyezkedő Cd fém tartalmazó kályha biztosította. A héliumgázzal töltött kisülési csőbe jutva a Cd atomok az alacsony ionizációs potenciál miatt könnyen ionizálódtak, és a pozitív oszlopú plazmában (azaz a lézer aktív közegében)

a katód felé haladva a kisülésben egyenletes fémgőzsűrűséget alakítottak ki.

A 80-as évektől kezdődően a gázlézerkutatások központi témája az SZFKI-ban az üreges katódú lézerek fejlesztése volt, ahol aktív közegként a ködfénykisülés negatív fény részét használjuk fel. Az üreges katódokban egymással szemben álló katódfelületek találhatók, és olyan járulékos folyamatok léphetnek fel, amelyek jelentősen módosíthatják a kisülés tulajdonságait. A legfontosabb folyamat a gyors elektronok oszcilláló mozgása a szemben elhelyezkedő katódfelületek között kialakuló potenciálvölgyben, ami az ionizáció nagymértékű növekedéséhez vezet. Ennek tudható be, hogy üreges katódú kisülésekben elsősorban olyan lézerátmeneteket lehet előnyösen működtetni, amelyek gerjesztési mechanizmusában az ionok szerepe meghatározó.

Az üreges katódú lézerek két csoportjának terén, a nemesgázkeverék-lézerek és fémionlézerek fejlesztésében folytak kutatások. Nemesgázkeverék-lézerekre példaként a He-Kr⁺ valamint a He-Ne-Xe⁺ típusok említhetők (Jánossy et al., 1984, 1988). Az üreges katódú fémionlézereket a legtöbb esetben nemesgáz-ionok és fématomok közötti töltéscsereelő ütközések gerjesztik. Ilyen például a $\text{He}^+ + \text{Cu} \rightarrow \text{He} + \text{Cu}^{**}$ folyamat, amelynek során a rézatom egy lépésben ionizálódik és gerjesztődik. A fémionlézerek hatékony gerjesztéséhez fontos, hogy az aktív közegben (jelen esetben az üreges katódú kisülésben) nemesgázionok és fématomok nagy sűrűségét állítsunk elő. Fématomok számottevő koncentrációjának elérésére (tipikusan néhányszor 10^{13} cm^{-3} sűrűsége van szükség) két lehetőség adódik. Az első esetben a már említett pozitív oszlopú fűtött kadmiumion-lézerhez hasonlóan a fém termális úton egy oldalkályhából lehet a kisülési térfogatba párologtatni. Fontos előrelépésnek számított, amikor az SZFKI-ban felismerték, hogy üreges katódú kisülésekben a megfelelő fémgőz-koncentráció katódporlasztással szobahőmérsékleten is elérhető (Csillag et al., 1974).

A fent említett időszakban közben a KFKI Szilárdtestkutató Intézetből (SZTKI), amelyhez a lézerfizikai és lézeralkalmazási osztály tartozott, 1981. április 1-jén két intézet alakult – a KFKI Szilárdtestfizikai Kutatóintézet (KFKI SZFKI) és a KFKI Anyagtudományi Kutatóintézet (KFKI ATKI). 1992-ben az SZFKI független intézetté vált, az 1998-as akadémiai átszervezések során az MTA Kristályfizikai Kutatólaboratórium csatlakozása után módosult a neve Szilárdtestfizikai és Optikai Kutatóintézetre. Az egyesítés során az SZFKI olyan kutatógárdával erősödött, amely addig is kimagasló tudományos tevékenységet végzett az elméleti kvantumoptika területén (Janszky József). Ugyanakkor a lézerfizikai és lézeralkalmazási osztályok átvészelték az átalakulásokat, és a két osztály létszáma folyamatosan nőtt. Jelenleg ezen a területen mintegy harminc kutató dolgozik, akik számos nemzetközi programban vesznek részt és számos NKFP, GVOP, OTKA, TÉT szerződést teljesítenek, valamint kb. harminc kül- és belföldi kutatóintézettel és egyetemmel működnek együtt.

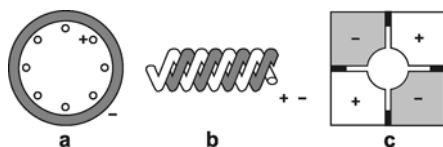
Az új eredmények hasznosításában segítséget nyújtottak az intézetből kinőtt vállalkozások (például Optilab Kft., Technoorg-Linda Kft., R&D Ultrafast Kft.), valamint az együttműködő ipari partnerek (régbben a MOM, Gamma, KUTESZ, ma a LASRAM, GE, Videoton). Ezekben a cégekben, illetve rajtuk

keresztül számos új eredmény, berendezés, új mérési módszer és eljárás hasznosult különféle ipari területeken, mind Magyarországon, mind külföldön.

A hosszúra nyúlt bevezetés még hosszabb lenne, ha felsorolnánk minden olyan újdonságot, amely a KFKI-ban és az SZFKI-ban született, ezért inkább bemutatunk néhány perspektivikusnak mutakozó jelenlegi kutatási eredményt.

Ultraibolya fémionlézerek fejlesztése napjainkban

A szilárdtest- és félvezetőlézerek előretörése miatt a gázlézerek kutatásának az utóbbi évtizedben a távoli ultraibolya hullámhosszknál volt jelentősége. Az ultraibolya tartományba eső fémion-lézerátmenetek közül érdemes megemlíteni a rézion 248 nm-es, az aranyion 280 nm-es és az ezüstion 224 nm vonalát. Ez utóbbi a jelenleg ismert leg-rövidebb hullámhosszú folytonosan gerjeszhető lézerátmenet. Ha sikerül megoldani az üreges katódú fémionlézerek gyártásával kapcsolatos kérdéseket, ezek a lézerek nemcsak a rohamosan fejlődő ultraibolya Raman-spektroszkópia olcsó fényforrásai lehetnek, de számos más területen is hasznosíthatók. A rövid hullámhossz nagy határfokú gerjesztést (rezonáns Raman-szórás) és jó határfokú detektálást tesz lehetővé, továbbá kiküszöbölhetővé teszi a zavaró fluoreszcencia-jelet, ami nagyon sok szerves anyag vizsgálatánál alapvetően fontos. Napjainkban egyetlen gyártó (Photon Systems, USA) forgalmaz porlasztott üreges katódú ultraibolya réz- és ezüstlézereket. Ezek a lézerek hagyományosnak nevezhető, ún. felhasított üreges katódú elektrodaelrendezésen alapulnak, amelynek alacsony az égési feszültségük. A porlasztott lézerek határfokának növelésére az SZFKI-ban az elmúlt időszak során ún. *nagyfeszültségű üreges katódú kisüléseket* fejlesztettünk ki (lásd az *1.a* és *1.c ábrákat*), amelyek segítségével az irodalomban talál-



1. ábra • Nagyfeszültségű üreges katódú kisülések. a) üreges anód-katódú kisüléskeresztmetszet (az irodalomban a HAC rövidítés terjedt el, hollow anode-cathode); b) helikális kisülés – oldalnézet; c) szegmenált üreges katódú kisülés – keresztmetszet.

ható korábbi adatokkal összehasonlítva jelentősen magasabb erősítést sikerült elérni több lézerátmeneten (Tobin et al., 1995; Donkó et al., 1998).

Az elmúlt néhány évet a lézerfizika osztály gázlézer csoportjában egy praktikus üreges katódú fémionlézer kifejlesztésére irányuló, szisztematikus kutatásnak szenteltük. Elsőként arra a kérdésre kerestünk választ, hogy a lehetséges hagyományos, illetve nagyfeszültségű elektrodaelrendezések közül melyikben – és a fémgőznek porlasztott vagy fűtött előállításával mellett – lehet a leghatékonyabb lézergyerjesztést elérni. A kérdés eldöntéséhez a He-Zn⁺ lézerrendszer 492 nm-es kék átmenetén végzett erősítésméréseket vettük alapul. Az irodalomban található adatok kiegészítésére a saját magunk megítélése alapján ígéretesnek tűnő fűtött üreges anód-katód (HAC – hollow anode-cathode) lézert és porlasztott szegmentált üreges katódú (SHC – segmented hollow-cathode) lézert építettünk. A legnagyobb erősítést a porlasztott szegmentált üreges katódú kisülésemben sikerült elérni (Bánó et al., 2003, 2005), ezért a továbbiakban ennek az elrendezésnek a fejlesztésével foglalkoztunk.

Az elérhető fémion-lézerátmenetek közül az ultraibolya Raman-spektroszkópia céljainak a 224 nm-es Ag-II és a 248 nm-es Cu-II vonalak felelnek meg. A 248 nm-es átmenetet a rézatomok neonionokkal történő töltéskicserélő ütközése gerjeszti, a 224 nm-es vonal esetében a gerjesztéshez ezüstatomokra és héliumionokra van szükség. Mivel a héliumkisülések sokkal stabilabbak, mint a neonkisülések, döntésünk porlasztott szegmentált üreges katódú ezüstionlézer kifejlesztésére esett.

Praktikus lézer építésénél fontos, hogy szem előtt tartsuk nemcsak a teljesítményre, de az élettartamra vonatkozó elvárásokat is. Az üreges katódú porlasztott lézerek élettartamát két komoly tényező korlátozza. A lézerek kimenő teljesítménye nagymértékben

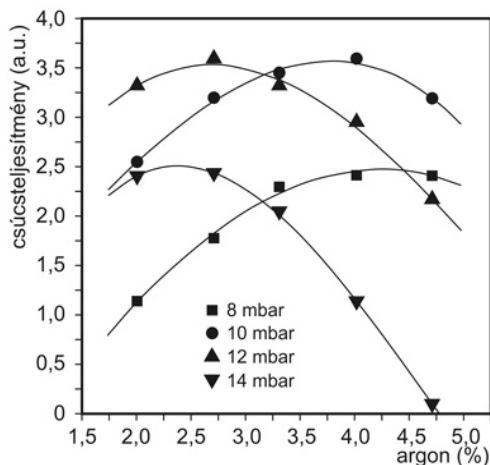
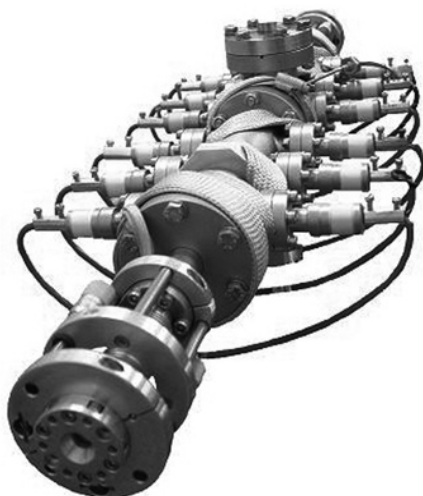
csökken, ahogy a töltőgáz tisztasága időben romlik. A különböző szennyeződések szintjét csak maximálisan tiszta kisülési csövekben lehet hosszú távon alacsonyan tartani. A második korlátozó tényező a porlott fém lerakódásaival függ össze. A lerakódott fémréteg kedvezőtlen esetben az elektródák közötti zárlathoz vezethet.

Az SZFKI-ban épített első szegmentált üreges katódú ezüstionlézer a *2.a ábrán* látható. A lézert belső tükrökkel láttuk el, mivel a rövid hullámhossz (magas abszorpciós veszteségek) miatt nem engedhető meg a Brewster-ablakok használata. A porlasztás hatásfokának növelésére a hélium töltőgázhoz kis mennyiségű argont kevertünk. Az argon-adalék koncentrációjának és a töltőgáz nyomásának optimalizálását mutatja a *2.b ábra*. (Bánó et al. 2005).

A tapasztalatok alapján megépítettük az ezüstionlézer javított változatát. Az új lézer moduláris felépítésű, egy modul szerkezetét mutatja a *3.a ábra*. Három modul összekapcsolásával 45 cm aktív kisülési hossz kaptunk. A katód túlhevülésének elkerülésére a lézert kvázifolytonos üzemmódban, 0,3 ms hosszú áramimpulzusokkal járatunk. A maximálisan elért 150 mW csúcsteljesítményt a használt tápegység maximális feszültsége korlátozza (*3.b ábra*). A lézer további tesztelése jelenleg is folyamatban van, reményeink szerint az ipari partnerek bevonásával néhány éven belül kereskedelmileg is forgalmazható terméket tudunk előállítani.

Kvantumoptikai módszerek a modern optikai mérés technikában

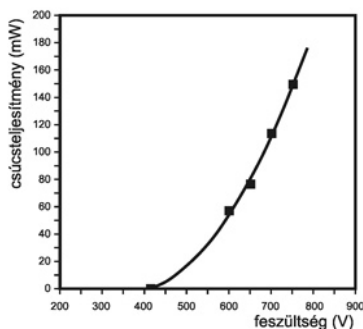
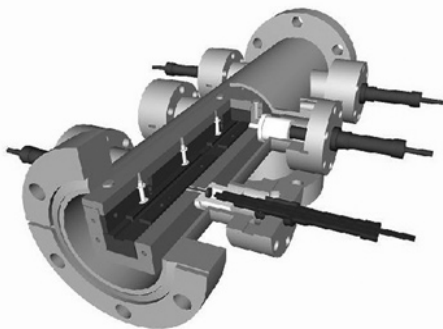
Az utóbbi időben az összefonódott fotonpárokkal végzett kísérletek új kutatási területet nyitottak a kísérleti kvantumoptikában. Az összefonódott fotonpárok generálásának legelterjedtebb módja nemlineáris optikai folyamat, a parametrikus fényszórás vagy dekonverzió (parametric down conversion – PDC). A parametrikus fényszórást olyan



2. ábra • a) Az első szegmentált üreges katódú 224 nm-es ezüstionlézer
b) Az argonadalék és a nyomás optimalizálását mutató eredmények

nemlineáris törésmutató-változások idézik elő, amelyeket maga a fényhullám indukál, a jelenség hatásfoka viszont csak $\sim 10^{-7}$. Ez a fajta fényszórás azért érdekes, mert ennek során úgynevezett összefonódott fotonpárok keletkeznek, melyeknek bizonyos szempontból rendhagyóak a tulajdonságaik (nem klasszikus fény jön létre). Az összefonódott fotonpárok generálásához lézerrel világítunk meg egy nemlineáris kristályt. A folyamat során a belépő nyaláb egy fotonja a nemlineáris kristállyal való kölcsönhatás során két foton-

ra bomlik, kielégítve az energia-, illetve impulzusmegmaradás törvényeit. Az így keletkezett fotonpárok egy képzeletbeli körkúp felületén hagyják el a kristályt, amelynek a tengelye a bejövő fényre van felfűzve. A keletkező fotonokat összefonódottoknak nevezik, mert tökéletes korreláltság tapasztalható fizikai paramétereik (energia, impulzus, polarizáció, irányultság stb.) között. A dekonverzió nagy előnye más folyamatokhoz képest, hogy itt a fotonok mindig párokban keletkeznek, azaz egyikük detektálása bizonyossá teszi „párja”



3. ábra • a) Az ezüstionlézer jelenlegi változatának szerkezete
b) A lézer teljesítménye a kisülés feszültségének függvényében

létezését. Az így előállított fotonpárok igen széles körben alkalmazhatóak az optikai mérés technikában (fotodiódák kvantumhatásfokának hitelesített etalon nélküli mérése), a kvantum-kriptográfiában vagy az ellipszometriában. Mi néhány általunk megvalósított eljárást mutatunk be, amelyeket széleskörűen alkalmaztunk a kvantumoptikai mérés technikában (Czitrovszky et al., 2000a, b).

Fényforrásnak egy ultraibolya vonalakra hangolt Ar-ion lézert használunk, amely 351,1 nm hullámhosszon sugároz. A lézer maximális teljesítménye egy ultraibolya vonalon ~800 mW. Az összefonódott fotonpárok keltéséhez, a dekonverzióhoz nemlineáris anyagként egy KDP kristályt alkalmazunk. A keletkező fotonpárokból azokat használjuk, amelyek energiája megegyezik ($\lambda=702$ nm); ezek egy kb. 3 fok nyílásszögű kúp felületén hagyják el a kristályt.

A fotonpárok detektálásához magas kvantumhatásfokú, hűtött lavina-fotodiódákat alkalmaztunk fotonszámítási üzemmódban. Mivel a fotonpárok egyszerre keletkeznek, detektálásuk során a fotodiódáknak egyszerre kell megszólalniuk. Ha az így keletkezett fotoelektromos jelek egyikét konstans értékkel késleltetjük, és a jelek időbeli eloszlását egy idő-amplitúdó konverter után helyezett sokcsatornás analizátorral vizsgáljuk, éles koincidencia-csúcsot kell kapnunk. A mért koincidencia-csúcsokon jól látható, hogy a véletlenszerűen jövő fotonok száma 3-4 nagyságrenddel kisebb a koincidenciában jövő fotonpárokéhoz képest.

E berendezéssel a detektorok kvantumhatásfoka egyszerűen, az igen költséges kalibrált etalon nélkül megadható. A mérési elv azon a már ismertetett tényen alapszik, hogy ha az egyik ágban detektálunk egy foton, akkor annak párja a másik ágban bizonyosan jelen van; ha azonban a detektor nem szólal meg, akkor az a detektor hibája.

Mérve a beütésszámot az egyik, illetve másik ágban, és a koincidenciabeütések számát, a fotodiódák kvantumhatásfoka ezek arányából kiszámolható.

Az eddigiekben leírt kísérleti összeállítás lehetőséget ad egy ún. előre programozható fotonszámú fényforrás megalkotására, mely az összefonódott fotonpárok előnyös tulajdonságait kihasználva képes adott irányban előre meghatározott számú, adott frekvenciájú és polarizációjú foton kibocsátására. A megvalósítás lényege, hogy az egyik ágban detektáljuk a foton, míg a másik ágban késleltetjük annak párját. A detektált foton ágában a detektor után egy gyors vezérlő elektronika a késleltetett ágba helyezett opto-elektronikai kapcsolót vezérel. Így lehetőségünk nyílik arra, hogy a detektált foton által keltett trigger jellel nyissuk vagy zárjuk a kapcsolót, így vezérelve annak kimenetét, azaz a fotonforrásunkat. E módszerrel elérhető, hogy adott számú, előre meghatározott tulajdonságú foton generáljunk, létrehozva az előre programozott fotonszámú fényforrást.

Multifunkciós aeroszol analizátor környezetvédelmi célokra

Környezetünket, egészségünket, az éghajlatot, valamint egyes ipari technológiákat jelentősen befolyásolják a levegőben jelen lévő, szubmikronos vagy mikronos méretű aeroszol részecskék, mikroorganizmusok, spórák, pollenek, vírusok. E részecskék fizikai paramétereinek vizsgálatkor fontos szerepet töltenek be a fényszóráson alapuló mérési módszerek.

A fényszóráson alapuló optikai részecskeszámítókban a részecskéket a többnyire lézerfényvel megvilágított érzékelő térfofagon vezetik át, ahol méri a részecskéről kiszórt fényt. Ezt elemelve határozzák meg a méreteloszlást, valamint kiszámolják a koncentrációt. A monokromatikus fényvel megvilágított homogén, gömb alakú részecskék fényszórását a Mie-elmélet írja le. Ezen az el-

ven alapuló műszerek által megcélzott méret-tartomány a néhány száz nanométertől kb. tíz mikrométerig terjed. A részecskeszámlálók megjelenése óta rengeteg kísérlet történt az ideális detektálási geometria megtalálására, a monoton válaszfüggvényt előállító berendezés megalkotására.

Az általunk fejlesztett kéthullámhosszú multifunkciós aeroszol-analizátor esetében két, különböző hullámhosszú megvilágító lézert használtunk, és mindkét hullámhosszon mérjük a részecskéről az előre és a hátra szórt fény intenzitását egy bizonyos optimalizált térszögben (Nagy et al., 2001; Szymanski et al., 2002). Az így detektált négy intenzitásértéket összehasonlítva az elmélet által meghatározott értékekkel, négydimenziós kereséssel nemcsak a részecskék mérete vagy méreteloszlása határozható meg, de azok törésmutatója, illetve extinkciója is. Ezenkívül mérettartományonként mérhető a darabszám-koncentráció is, amit bizonyos közelítéssel át lehet számolni tömegkoncentrációra. A fenti paraméterek meghatározásának gyorsasága nagymértékben függ a digitalizálás felbontásától. Numerikus szimulációval megmutattuk, hogy a módszer még 10 % detektálási bizonytalanság esetén is megbízható adatokat szolgáltat, és a pontosság nem függ számottevően a mérettől.

Az általunk javasolt és kidolgozott mérési módszer nagy előnye, hogy nagy felbontással, *real-time* üzemmódban *in situ* képes meghatározni az aeroszol részecskék geometriai és optikai paramétereit (illetve ezek eloszlását), valamint a darabszám- és tömegkoncentrációt. Mindez lehetőséget ad a különböző



4. ábra • A légkör aeroszolszennyezettségét mérő mobil laboratórium.

fajta légköri aeroszokok eredetének meghatározására, a szennyező források pontosabb felderítésére, ami mind környezetvédelmi, mind toxikológiai szempontból igen fontos.

A kifejlesztett berendezést csakúgy, mint az aeroszol szemcsék elektromos töltését mérő műszert beépítésre szánjuk a környezetvédelmi mérésekre létrehozott mobil aeroszol-vizsgáló laboratóriumba, amelyet a Széchenyi-program támogatásával hoztunk létre (4. ábra).

Fotonkorrelációs lézeres mérés technika

A légkörben lebegő szubmikronos (néhány-szor tíz nm méretű) részecskék sebességének és méretének kontaktusmentes meghatározására integrált optikai fotonkorrelációs berendezést építettünk. A berendezés fontosabb részegységei a valós idejű fotonkorrelátor, a stabilizált lézerfényforrás, a száloptikás levilágító és detektáló optika, valamint az adatgyűjtő és -feldolgozó elektronika. A berendezést ismert bemenő jelekre poliszitíren latexszel kalibráltuk, majd különböző megvilágítási körülmények és beállítási paraméterek mellett végeztünk méréseket.

A mérés technikai eljárás számítástechnikai modellezése is megtörtént. Megállapítottuk, hogy az általunk alkalmazott fotonkorrelációs eljárással a részecskék sebessége és mérete egyidejűleg az 50 nm-es mérethatártól regisztrálható.

*

Számos gyakorlati alkalmazásban a szórt intenzitás eloszlásának ismerete fontos, mert ez hordoz alapvető információt az aeroszol optikai tulajdonságairól, vagy mert más fizikai mennyiségek meghatározásának pontosságát befolyásolja. Kézenfekvő példa erre a fény repülési idejének meghatározása a szórt fényimpulzusok alapján. Analitikus kifejezést találtunk a szórt intenzitás eloszlására abban az esetben, amikor az érzékelő térfogatban levő részecskék száma Poisson-

eloszlást, a részecskék mérete pedig log-normál eloszlást mutat (Jani – Czitrovsky, 1996a; Jani et al., 2002; Lipp – Jani, 2002). Az elért eredmény fontos következménye, hogy egy adott aeroszolmintára vonatkoztatva a szórt intenzitás várható értékének és szórásának aránya csak a részecskeszámától függ. E tulajdonságból következik, hogy az intenzitáseloszlás pontossági feltételeket szab a szórt felvillanásokhoz tartozó repülési idő mérésének pontosságára. Ennek detektálására új típusú Time to Digital Converter

(TDC) alapú többcsatornás mérésadatgyűjtő és kiértékelő rendszert (DAS) hoztunk létre. Ennek segítségével az általunk fejlesztett kiértékelő szoftver a környezetben terjedő lézérimpulzusok jelenlétét és terjedési irányát határozza meg 1 fok pontossággal.

Kulcsszavak: *aeroszolak, fény-anyag kölcsönhatás, fényszórás, fotoeffektus, fotonszámítás, interferometria, korrelációs technika, környezetvédelem, kvantumoptika, sokfotonos folyamatok, squeezing*

IRODALOM

- Bánó G. – Horváth P. – Donkó Z. – Rózsa K. – Adamowicz, T. M. (2003): Applied Physics B. **77**, 403–407.
- Bánó G. – Horváth P. – Csillag L. – Glosik J. – Adamowicz, T. M. – Rózsa K. (2005): Applied Physics B. **80**, 215–219.
- Bergou, J. – Vamó S. – Farkas Gy. – Fedorov, M. V. (1983): Soviet Physics JETP. **85**, 57.
- Bertolotti, M. (1983): *Masers and Lasers, an Historical Approach*. Adam Hilger Ltd. Bristol
- Chaikov, L. L. – Fabelinski, I. L. – Krivokhizha, S. V. – Lugovaia, O. – Czitrovsky A. – Jani P. (1994): Journal of Raman Spectroscopy. **25**, 7–8, 463–468.
- Csillag L. – Jánossy M. – Kántor K. – Rózsa K. – Salamon T. (1970): Journal of Physics D: Applied Physics. **3**, 64.
- Csillag L. – Jánossy M. – Rózsa K. – Salamon T. (1974): Physics Letters. **50A**, 13.
- Czitrovsky A. (1997): In: Czitrovsky A. (ed.) *Trends in Laser Development, Application and Technologies*. Technoorg-Linda Ltd, Budapest, 105–127.
- Czitrovsky A. – Jani P. (1993a): Journal of Aerosol Science. **24**, 227–228.
- Czitrovsky A. – Jani P. (1993b): Optical Engineering. **32**, 10, 2557–2562.
- Czitrovsky A. – Jani P. (1994a): Journal of Aerosol Science. **25**, 465–466.
- Czitrovsky A. – Jani P. (1994b): Journal of Aerosol Science. **25**, 447–449.
- Czitrovsky A. – Jani P. (1995): Journal of Aerosol Science. **26**, 793–794.
- Czitrovsky A. – Kertész I. (eds.) (1997): *Trends in Laser Development, Application and Technologies*. Technoorg-Linda, Budapest
- Czitrovsky A. – Csonka P. – Jani P. – Ringelhann Á. – Bobvos J. (1996a): Egészségtudomány. XI. 215–25
- Czitrovsky A. – Csonka P.L. – Jani P. – Ringelhann Á. – Bobvos J. (1996b): Journal of Aerosol Science. **27S**, 19–20.
- Czitrovsky A. – Frecska J. – Jani P. – Matus L. – Nagy A. (1996c): Journal of Aerosol Science. **27S**, 467–68
- Czitrovsky A. – Jani P. – Maróti L. – Matus L. – Windberg P. (1998a): Journal of Aerosol Science. **29S1**, 471–472.
- Czitrovsky A. – Jani P. – Maróti L. – Matus L. – Pintér A. – Windberg P. (1998b): Journal of Aerosol Science. **29S1**, 469–470.
- Czitrovsky A. – Sergienko, A. – Jani P. – Nagy A. (2000a): Laser Physics. **10**, 1, 86–89.
- Czitrovsky A. – Sergienko, A. – Jani P. – Nagy A. (2000b): Metrologia. **37**, 617–620.
- Donkó Z. – Szalai L. – Rózsa K. – Ulbel, M. – Pöckl, M. (1998): THE IEEE Journal Of Quantum Electronics. **34**, 47.
- Farkas Gy. (1978): In: Eberly, J. H. (ed.): *Multiphoton Processes*. John Wiley and Sons, New York, 81.
- Farkas Gy. – Tóth Cs. (1989): In: Ehlötzky, F. (ed.): *Fundamentals of Laser Interactions II*, Springer, Heidelberg, 289.
- Farkas Gy. – Tóth Cs. (1990): Physical Review. **A41**, 4123.
- Farkas Gy. – Tóth Cs. (1992): Physics Letters. **A168**, 447–450.
- Farkas Gy. – Varga P. (1964): Journal of Scientific Instruments. **41**, 704.
- Farkas Gy. – Kertész I. – Náray Zs. – Varga P. (1967): Physics Letters. **25A**, 572.
- Farkas Gy. – Horváth Z.Gy. – Kertész I. – Kiss G. (1971): Lettere al Nuovo Cimento. **1**, 314.
- Farkas Gy. – Horváth Z.Gy. – Kertész I. (1972): Physics Letters. **39A**, 231.
- Farkas Gy. – Horváth Z.Gy. – Lompré, L. A. – Petite, G. (1977): Physica status solidi. **39**, (a) K25.
- Farkas Gy. – Tóth Cs. – Kőházi-Kis A. (1993): Optical Engineering. **32**, 2476.
- Hózer Z. – Windberg P. – Nagy I. – Maróti L. – Matus L. – Horváth M. – Pintér A. – Czitrovsky A. – Jani P. (2002): Nuclear Technology. **141**, 3, 244–256.
- Jani P. – Czitrovsky A. (1989–1991): In: *Yearbook of the Central Res. Inst. for Physics*. Res. Inst. for Solid

- State Physics, B12–B15.
- Jani P. – Czitrovsky A. (1996): In: *Simulation and Experiment in Laser Technology*: Akademie Verlag, Berlin, 269–274.
- Jani P. – Czitrovsky A. – Nagy A. – Hummel R. (1999): *Journal of Aerosol Science*. **30S**, 101–2
- Jani P. – Koniorczyk, M. – Nagy A. – Lipp Z. – Barta L. – László B. – Czitrovsky A. (2002): *Journal of Aerosol Science*. **33**, 697–704.
- Jánossy M. – Rózsa K. – Apai P. – Csillag L. (1984): *Optics Communication*. **49**, 278.
- Jánossy M. – Mezei P. – Horváth P. (1988): *Optics Communication*. **65**, 287.
- Jéki L. (2001): *KFKI. Arteria Studio*, Budapest
- Krivokhizha, S. V. – Lugovaia, O. – Fabelinski, I. L. – Chaikov, L. L. – Czitrovsky A. – Jani P. (1993): *JETP*, **103**, 115–124.
- Króó N. – Szentimay Zs. (1995): *Surface Science*. **331**, 1305.
- Króó N. – Szentimay Zs. (1996): *Surface Science*. **352**, 1043.
- Króó N. – Szentimay Zs. – Walter H. (2005): *Surface Science*. **582**, 110.
- Lipp Z. – Jani P. (2002): *SPIE*. **4829**, 1039–1040.
- Lompré, L. A. – Mainfray, G. – Manus, C. – Thébault, J. – Farkas Gy. (1979): *Physical Review Letters*. **43**, 1243.
- Nagy A. – Szymanski, W. W. – Czitrovsky A. – Schindler C. – Jani P. (2001): *Journal of Aerosol Science*. **32**, 1028–1029.
- Pintér A. – Csordás A. – Matus L. – Czitrovsky A. – Jani P. – Maróti L. – Hózer Z. – Windberg P. – Hummel R. (2000): *Journal of Nuclear Materials*. **282**, 205–215.
- Szymanski, W. – Nagy A. – Czitrovsky A. – Jani P. (2002): *Measurement Science and Technology*. **13**, 303–308.
- Tobin, R. C. – Peard, K. A. – Bode, G. – Rózsa K. – Donkó Z. – Szalai L. (1995): *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*. **1**, 830.
- Varró S. (szerk.) (1985): *A kvantumelektronika alapjai*. Téli iskola, Visegrád
- Tóth Cs. – Farkas Gy. – Vodopyanov, K. L. (1991): *Applied Physics B*. **53**, 221–225.
- Varró S. – Farkas Gy. – Ehlötzky, F. (1999): *Optics Communication*. **172**, 47.
- Vétes Á. – Juhász P. – Jani P. – Czitrovsky A. (1988): *International Journal of Mass Spectrometry*. **82**, 45–70
- Yearbook (1985–1986): *Yearbook of Central Research Inst. for Physics*. KFKI, Budapest
- Yearbook (1989–1991): *Yearbook of Central Research Inst. for Physics*. Research Institute for Solid State Physics, KFKI-SZFKI, Budapest



A TEWATI LÉZERRENDSZER ÉS ELSŐ ALKALMAZÁSAI

Osvay Károly

a fizikai tudomány kandidátusa, egyetemi docens
osvay@physx.u-szeged.hu

Kurdi Gábor

PhD, tudományos munkatárs
MTA Lézerfizikai Tanszéki
Kutatócsoport

Kovács Attila

PhD, egyetemi adjunktus
SZTE Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék

Bor Zsolt

az MTA rendes tagja, egyetemi tanár
SZTE Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék,
MTA Lézerfizikai Tanszéki Kutatócsoport, Szeged

A minket körülvevő reális világ fizikai, biológiai és kémiai elemi folyamatainak nagy része femto-, illetve attoszekundumos (10^{-15} - 10^{-18} s) időskálán játszódik le. Az elektronikus tudományos-technikai eszközök feloldó-képessége ettől több nagyságrenddel elmarad. A lézertechnikában az utóbbi évtizedben bekövetkezett nagy fejlődés eredményeképpen azonban ma már előállíthatók olyan lézerimpulzusok, melyek segítségével az elemi jelenségek kísérleti vizsgálata lehetségessé válik.

Az esetek jó részében a megfelelő vizsgálathoz nem elegendő a lézerezscillátor által kibocsátott nJ nagyságrendű energia. Sőt, igazán izgalmas kísérletekhez, alapvető felfedezésekhez nem elegendő 6-9 nagyságrenddel megnövelnünk a felhasználandó ultrarövid lézerimpulzus energiáját, hanem gondoskodnunk kell a nyaláb céltárgyra juttatásáról és a lehető legkisebb területre való torzulásmentes fókuszálásáról.

Az ultrarövid lézerimpulzusok alapkutatósi felhasználása tehát alapvetően két területre osztható: egyrészt az elemi folyamatok időbontott (jelenleg szub-fs skálájú) vizsgálata mellett például lézeres hűtés és alkalmazásai (például Bose-Einstein-kondenzátum stb.) hajthatók végre, másrészt oly mértékű fóku-

szált intenzitás állítható elő (10^{15} - 10^{21} W/cm²), mellyel egy sor rendkívül érdekes jelenség – az attoszekundumos impulzusok előállításától kezdve a relativisztikus fény-plazma kölcsönhatásokon keresztül a lézerindukált nukleáris reakciókig – idézhető elő.

A kezdetben festék- és gázlézerek kutatásával foglalkozó szegedi lézeres csoport érdeklődése az ultrarövid festék- és excimer lézerimpulzusok keltése, nemlineáris optikája és alkalmazásai felé fordult. E hagyományokon alapulva dolgozatunk első szerzője vezetésével a 90-es évek végén megterveztünk, s az új évezred első éveiben felépítettünk egy *terawatt* csúcsteljesítményű *ttán-zafir* lézerrendszert, a *TeWaTi*-t. A lézerrendszer által kibocsátott 25 fs (25×10^{-15} s) időtartamú, terawatt (10^{12} W) csúcsteljesítményű lézerimpulzusok fókuszált intenzitása megközelíti a 10^{17} W/cm² értéket, időbeli tisztasága (kontrasztja) meghaladja a 10^7 szintet. A közép-kelet-európai régióban elsőként az SZTE Optika Tanszékén megépített TeWaTi lézerrel lehetőség nyílik nagy intenzitású lézer-anyag kölcsönhatás elemi folyamatainak (nemlineáris optika, lézergenerált plazma, elektrongyorsítás stb.) nagy időfelbontású kísérleti vizsgálatára. A lézerrendszer nemcsak Magyarországon, a régióban is egyedülálló

berendezés.

A dolgozatban először az ultrarövid lézerimpulzusok néhány sajátosságát ismertetjük, majd bemutatjuk a lézerrendszert a főbb paramétereivel együtt. Ismertetjük az elmúlt néhány évben elért kiemelkedő tudományos eredményeinket.¹ A dolgozat végén a TeWa-Ti laborban hazai együttműködésekkel elért eredményeinkről is röviden szót ejtünk.

Ultrarövid lézerimpulzusok tulajdonságai

Mindenekelőtt az ultrarövid (lézer)impulzusok néhány fontos sajátosságát említjük meg. A monokromatikus elektromágneses hullámok közegbeli terjedésének Maxwell-egyenleteken alapuló leírása a mai egyetemi törzsanyag része. Egy lézerimpulzus azonban hullámcsomagként fogható fel, azaz a Fourier-tétel szerint időben minél rövidebb, annál nagyobb a sávszélessége. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy például egy 20 fs időbeli félértékisélességű, 800 nm központi frekvenciájú lézerimpulzus spektrális félértékisélessége 50 nm, míg a „lábtól lábíg” való kiterjedése kb. 730-870 nm között van. Ez a 140 nm-nyi sávszélesség az emberi szem spektrális érzékenységének – amely átlagosan 400-750 nm között enged szín- és fényérzékelést – 40%-a! A nagy sávszélesség miatt az optikai elemek diszperziós tulajdonságai olyannyira nem hanyagolhatóak el, hogy például az említett 20 fs-os impulzust a levegő közismerten igen kicsiny diszperziója is 12 m-es terjedés után duplájára, azaz 40 fs-ra nyújtja meg. A nagy sávszélesség további következménye, hogy ultrarövid (tipikusan 10 fs és rövidebb) impulzusok esetén az elektrodinamikában általánosan használt, lassan változó burkoló közelítés nem vagy csak megszorításokkal érvényes.

Az időbeli rövidség, illetve a megnyúlás

¹ Az eredményeinkről megjelent összes tudományos közlemény listája, valamint a TeWaTi-val kapcsolatos egyéb tudnivalók a <http://titan.physx.u-szeged.hu/~tewati/> honlapunkon tekinthetők meg.

az impulzus átlagteljesítménye, azaz az impulzus energiája és időbeli félértékisélességének hányadosa szempontjából igen lényeges. Az impulzusokkal besugárzott anyagok, tárgyak ugyanis elsősorban ezt az átlagteljesítményt érzékelik, amely – az időbeli rövidség miatt – rendkívül nagy lehet. Például egy 20 fs-os, mindössze 20 mJ energiájú lézerimpulzus átlagteljesítménye 10^{12} W (azaz 1 TW), ami körülbelül megegyezik az USA áramtermelési teljesítményével.

A nagy átlagteljesítmény még az átlátszónak tűnő optikai anyagokban, például a lézerrendszer optikáiban, erősítő közegeiben is nemlineáris effektusokat (önfázis-moduláció, önfókuszálódás stb.) kelt, melyek nemcsak az adott elem roncsolódásához vezethetnek, hanem a lézernyaláb oly mértékű idő- és térbeli nemkívánatos torzulásait is okozhatják, amelyek a további felhasználást is lehetetlenné teszik. Ezt elkerülendő találták ki az úgynevezett fázismodulált lézerimpulzus-erősítési technikát (CPA – chirped pulse amplification). Ennek lényege, hogy az erősítendő impulzus időbeli hosszát egy erre alkalmas eszközzel, nemritkán több tízezerszeres mértékben megnyújtják, így az átlagteljesítmény még az erősítések után is jóval a kritikus szint alatt marad. Természetesen, az erősítő után az impulzust egy ún. kompresszorral össze kell nyomni, lehetőleg az eredeti hosszára. Ez a művelet viszont már rendszerint a célkamrával egybekötött vákuumrendszerben történik.

A TeWaTi lézerrendszer

A lézerrendszer (1. ábra és 1. táblázat) 800 nm központi hullámhosszú, 60 nm sávszélességű magimpulzusait egy Ti-zafir oszcillátor hozza létre. A 16 fs hosszú lézerimpulzusokat a CPA technikának megfelelően 250 ps-ra nyújtjuk. A nemkollineáris optikai parametrikus erősítésen (NOPA) alapuló első erősítő fokozatot egy Nd-YAG lézerrel 10 Hz ismétlési frekvencián pumpáljuk, így

két átmenetben a jel 5×10^4 -szeres erősítését érjük el. Ezt követően az impulzusokat egy, az Nd-YAG lézer energiájának nagyobb részével pumpált Ti-zafir kristályban, nyolc átmenetben erősítjük fel 40 mJ-ra. Ezen erősítő telítésben van, amely biztosítja a kijövő impulzusok lövésről lövésre való energetikai stabilitását. A megerősített impulzusokat egy optikai rácsokból álló kompresszorral időben összenyomjuk, melyek hossza így 25 fs lesz, az energiája pedig közel 30 mJ marad.

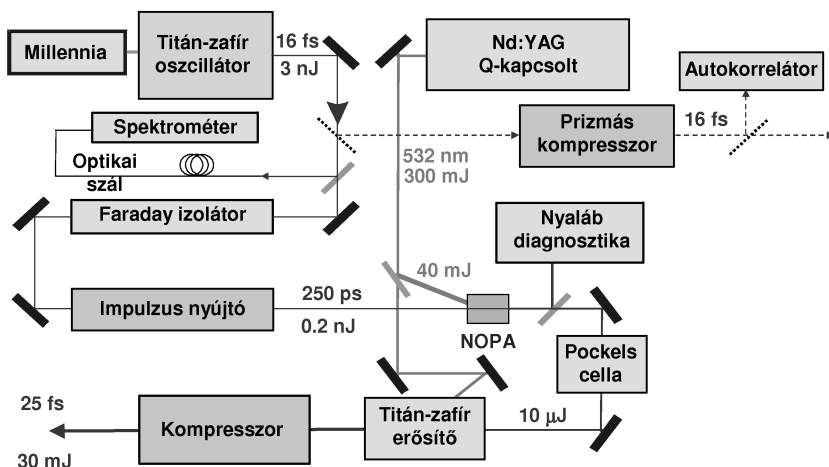
A lézerrendszer egyik újdonsága, hogy az előerősítést nem hagyományos Ti-zafir alapú regeneratív vagy többátmenetes (multi-pass) erősítőben hajtjuk végre, hanem egy optikai parametrikus erősítőben. Általánosan parametrikus pumpálásról vagy erősítési folyamatról akkor beszélünk, ha egy rezgésre képes rendszer valamely paraméterét a rezgés frekvenciájával moduláljuk. Egyszerű példa erre a mechanika területéről a hinta. Ha a hintázó személy megfelelő frekvenciával változtatja a súlypontjának helyzetét, a hinta lengésbe jön. A lengő mozgás a „semmiből” (zajból) parametrikus módon erősödik ki. Megfelelő anyagi közegbe (ún. nemlineáris kristályba) belépő két, különböző frekvenciájú elektromágneses hullám hatására

Hullámhossz	Impulzus jellemzők
800 nm	3 nJ, 16 fs, 72 MHz 30 mJ, 25 fs, 10 Hz
532 nm	380 mJ, 10 ns, 10 Hz 350 mJ, 3 ns, 10 Hz
400 nm	1 mJ, 25 fs, 10 Hz
266 nm	150 mJ, 10 ns, 10 Hz 140 mJ, 3 ns, 10 Hz

1. táblázat

az anyagban a nemlineáris polarizáció a két jel frekvenciájának különbségével modulálódik. Ennek hatására a zajból a különbségi frekvenciával rezgő hullám erősödik ki, optikai parametrikus erősítés figyelhető meg. Az optikai parametrikus erősítés során tehát az erősítő kristály mintegy „katalizátorként” szolgál, ami a pumpáló lézerfény energiáját azonnali módon (intrinsic) átadja az erősítendő impulzusnak (plusz egy új hullám, az ún. idler impulzus is keletkezik).

A NOPA elrendezésnek több közvetlen előnye van. Egyrészt az igen széles sávú (220 nm) erősítési spektrum alakja négyzetögléhez közelít, így az erősítés folytán a spektrális beszűkülés (GN – gain narrowing) gyakorlatilag nem lép fel, az impulzusok sávszéles-



1. ábra • A lézerrendszer sematikus felépítése

sége így közel 60 nm marad. Összehasonlítással: hagyományos erősítési mód alkalmazása esetén a GN effektus a sávszélességet 40–45 nm-re korlátozza. Továbbá, mivel a pumpa energiájának csak elhanyagolható része nyelődik el a kristályban, gyakorlatilag megszűnik az amúgy jól ismert, termális okokra visszavezethető nyalábtorzulás, ezért jobb a nyalábminőség. Az erősített impulzus időbeli kontrasztja is jelentősen javul, mert nincsenek előimpulzusok, és ráadásul az erősített spontán emisszió helyett fellépő parametrikus szuperfluoreszcencia szintje is alacsonyabb. Az elrendezés további technikai és anyagi vonzatokat sem nélkülöző előnye, hogy e módon – a hagyományos eljárásokkal szemben – egyetlen pumpáló Nd-YAG lézer elegendő a TW teljesítmény eléréséhez.

Femtoszekundumos impulzusok közvetlen erősítése a közeli UV tartományban

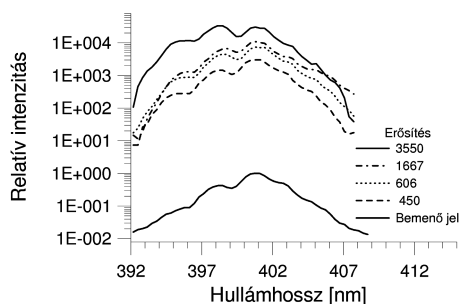
Ultrarövid (100 fs-nál rövidebb) lézerimpulzusok előállítása és erősítése főleg az 550–900 nm hullámhossztartományban történik. Ennél rövidebb hullámhosszak másodharmonikus és/vagy összegfrekvenciaképzéssel érhetők el. A felharmonikusok kristályok anyagi diszperziója limitálja az adott sávszélesség (ezáltal impulzusidő) eléréséhez használható maximális kölcsönhatási hosszt, ami behatárolja egyben az elérhető energiát is. Születtek ugyan különleges technikák ezen határok kitolása érdekében, de mindeddig nem terjedtek el széleskörűen. A probléma egy másik lehetséges megoldása az lehet, ha a nagy sávszélességet megtartva, de a fentiek miatt szűk képpen energiaszegény UV impulzusokat optikai úton megerősítjük.

Az ultraibolya tartományban működő nagy teljesítményű erősítők az ún. *excimer* technológiára épülnek. Ezeknek – rengeteg előnyük mellett – ultrarövid lézerimpulzusok erősítése szempontjából két komoly hátrányuk is van: i) keskeny a spektrális sávszélességük, amit

tovább csökkent az erősítés beszűkülése, így 150–220 fs-nál rövidebb impulzusok excimerekben nem erősíthetőek, és ii) jelentős az erősített spontán emisszió, ezért nagy időbeli kontraszt csak nehezen érhető el.

A fentiekben jelzett NOPA eljárással kapcsolatos kutatásaink kapcsán önkéntelenül is adódott az ötlet, hogy az ultraibolya tartományra fejlesszünk ki hasonló eljárást. Az elvégzett kísérletünkben a 800 nm-es, 1,6 ps-ra „túlkompenzált”, azaz negatív csoportsebesség-diszperzióval nyújtott fundamentális impulzusok kis részéből szélessávú frekvenciaképzés segítségével állítottuk elő az erősítendő 400 nm-es impulzusokat. A 800 nm-es impulzusok energiájának túlnyomó részéből kis sávszélességű frekvencia-háromszorozás, valamint egy további prizmas nyújtó segítségével hoztuk létre a 3,5 ps hosszú, 250 mJ energiájú, 267 nm hullámhosszú pumpáló lézerimpulzusokat.

A fenti módon létrehozott impulzusok egy 12 mm hosszú BBO nemkollineáris optikai parametrikus erősítő kristályban léptek kölcsönhatásba; a világon először sikerült demonstrálnunk 400 nm-es impulzusok szélessávú (talptól talpig 17 nm), nagy mértékű (több mint 3500-szoros) közvetlen erősítést (2. ábra). Kimutattuk továbbá, hogy a pumpáló impulzus energiájának „kiürítésével” további sávszélesítés, végső



2. ábra • A NOPA eljárással erősített femtoszekundumos UV impulzusok spektruma az erősítés paraméterével

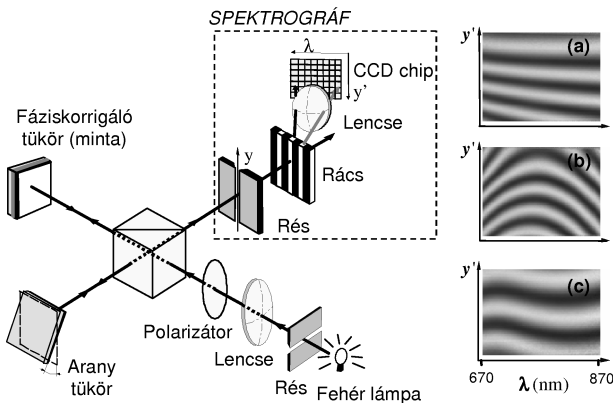
sonon az erősített impulzus időtartamának csökkentése érhető el.

Spektrálisan bontott interferometria

A TeWaTi lézerrendszerben használt optikai elemek (fáziskonigáló tükrök, kristályok), illetve a teljes rendszer fázisdiszperziójának nagy pontosságú mérésére spektrális interferometrián alapuló módszereket fejlesztettünk ki. E technika lényege, hogy a diszperzív mintát tartalmazó interferométert széles spektrumú fényforrással világítjuk meg, és a kialakuló interferenciacsíkokat spektrográffal bontjuk. Így egy mérésből, széles hullámhossztartományon, nagy spektrális felbontás mellett meghatározható az optikai elem fázisdiszperziója. A mérési elrendezés és a spektrálisan bontott interferogramok kiértékelése a vizsgált minta típusától függ. A továbbiakban a fáziskonigáló tükrökre kidolgozott módszerünket ismertetjük részletesebben.

A vizsgálandó tükröt egy Michelson-interferométer egyik karjában helyezzük el, míg a másik karba egy elhanyagolható diszperziójú, ezüst vagy arany bevonatú tükröt teszünk referenciaként (3. ábra). Az interferométert fehér lámpával világítjuk meg, melynek fényét egy nyalábosztó két részre osztja. Az egyik fénynyaláb a fáziskonigáló tükrőről,

míg a másik a referenciatükörről való visszaverődés után éri el ismét a nyalábosztót. A két nyaláb között frekvenciafüggő fáziskülönbség lép fel, mivel a fáziskonigáló tükrő a róla visszaverődő fény különböző színű (hullámhosszú) komponenseinek fázisát megváltoztatja. A referenciatükört kicsiny szöggel megdöntve a fehér fényt alkotó minden egyes komponens a hullámhosszal arányos periódusú, vízszintes interferenciacsík-rendszert hoz létre az interferométer kimenetén. A csíkok éppen annyival tolnak el egymáshoz képest, mint amekkora a tükrő fázistolása. Mivel az interferométer kimenetén a különböző színű csíkrendszerek átfednek, így közvetlenül nem lehet meghatározni a tükrő diszperzióját. Ha viszont az interferométer után egy spektrográft helyezünk el, akkor a spektrális komponensek egymás mellett hozzák létre a csíkokat, azaz a spektrálisan bontott interferenciacsíkok menete egyben megadja a fáziskonigáló tükrő fázisfüggvényének menetét. Ily módon pusztán vizuális megfigyeléssel a tükrők fázisdiszperziója kvalitatívan vizsgálható. Ha a spektrográf kimenetére egy CCD csipet helyezünk, lehetővé válik a csíkrendszer számítógépes kiértékelése, ami igen nagy pontosságú mérést tesz lehetővé.



3. ábra • A spektrálisan bontott interferometriai eljárás alapelve

A teljes lézerrendszer diszperziójának vizsgálatánál a Ti-zafir oszcillátor impulzusait használjuk, melyek spektruma szintén széles. A fehér lámpával összehasonlítva nagyobb a fényintenzitásuk, jobb a koherencia-tulajdonságuk, így az interferenciacsíkok láthatósága, kiértékelhetősége is sokkal jobb.

A spektrális interferometriával lézerimpulzusok szögdiszperziója is meghatározható, de eredményesen használták már fémgőzök anomális diszperziójának, oldatok törésmutatójának mérésére is. A levegő diszperziója, mint tudjuk, nem túl nagy mértékű, de e technikával jól mérhető. Egy igen modern eljárásban, az optikai koherens tomográfiában is alkalmazzák e több mint százéves múltú módszert.

További alkalmazások

Ahogy a bevezetőben említettük és a továbbiakban megmutattuk, a lézerrendszer és a laboratórium által szolgáltatott lézerimpulzusok központi hullámhossza és időbeli impulzushossza egyaránt rendkívül széles tartományba esik. Ennek következtében az elvelt

viszonylag rövid idő alatt is gyümölcsöző tudományos együttműködés alakult ki mind „házon belül” az anyagtudományi kutatókkal és a fotoakusztikus csoporttal (lásd e cikk-gyűjtemény további írásait), mind pedig a BME Atomfizikai Tanszékével, az SzFKI néhány részlegével és az SzBK Biofizikai Intézetével. Közös projektejaink vannak az LOA (Párizs), LLC (Lund), LP3 (Marseille), MBI (Berlin) és RAL CLF (Anglia) külföldi kutatóintézetekkel is. Talán említenünk sem kell, hogy a labor és a TeWaTi lézer nyitva áll az eszközparkkal végrehajtható minden egyéb tudományos célú alkalmazás előtt is!

A fentiekben leírt tudományos kutatásokat OTKA (T33018, T47078, TS40759) támogatással hajtottuk végre, a lézerrendszer egyes elemeit OTKA (M36843), OM (MU266/2001) és GVOP (3.2.1-2004-04-0114/3.0) műszerpályázatok segítségével szereztük be, illetve újítottuk fel.

Kulcsszavak: *femtoszekundumos (ultrarövid) lézerimpulzus, nagy intenzitású lézer, nem-lineáris optika, spektrális interferometria*



LÁTVÁNYHOLOGRÁFIA, HOLOGRAFIKUS MÉRÉSTECHNIKA ÉS DIGITÁLIS HOLOGRÁFIA

Gyimesi Ferenc

a fizikai tudomány kandidátusa, egyetemi docens
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Fizika Tanszék
gyimesif@goliat.eik.bme.hu

Bevezetés

A holográfia, Gábor Dénes Nobel-díjas tudósunk felfedezése, jó fél évszázada indult hódító útjára, és azóta is egyedülálló azzal a tökéletes, a szem képességeit is messze meghaladó hitelességgel, amellyel valóban háromdimenziós képet hoz létre. Ezek a képek sok mindenre alkalmasak, amelyből a jelen cikk indításként a lenyűgöző látványkeltést, lényegi részként pedig a holografikus mérés technikát ragadja ki. Befejezésként kitekintünk napjaink digitális világának legújabb, digitális holográfia-formációjára. Mindehhez az illusztrációs háttérrel a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Fizika Tanszékén végzett kutatások és fejlesztések eredményei szolgálnak.

A Fizika Tanszéken három évtizede alapította meg Füzesy Zoltán professzor a Koherens Optikai Laboratóriumot (KOL), amely a holográfia mint mérés technika ipari alkalmazását az elsők között tűzte ki céljává. Mellékcélként volt jelen mindvégig a látványholográfia, mintegy a szárazabb mérés technikai hologramok üdítő ellenpontjaként. A KOL átalakulása után ennek egyik utódszervezete lett a lassan évtizedes múlthoz közelítő, a szerző által vezetett Holográfia Csoport. A KOL alapítója segítségével, a folytonosságot megtartva vitte tovább mindkét irányvona-

lat. A Holográfia Csoport tevékenységének legújabb eredményeit mutatjuk most be: két aktuális látványhologramot, és a mérési részről a különbségi holografikus interferometriát s a „kirakós” holografikus interferometriát, továbbá a „kirakós” technika lehetőségét a digitális holográfia kiterjesztésében.

A holográfia (és látványholográfia) alapjai

A holográfia „röviden” háromdimenziós kép rögzítési és -rekonstruálási eljárás, igazán röviden és talán költőibben: a hologram egy „emlékező ablak”. A hologramlemezen mint teljesen átlátszó ablakon áttekintve a szemlélő a maga tökéletes térbeliségében látja a rögzített és rekonstruált tárgyat – az „ablak” keretei által adott határok között. A rekonstrukció a hologramlemez megvilágítását jelenti megfelelő fényforrással. A rögzítésen pedig a hologramlemez mint fotólemez megvilágítása, exponálása értendő. A két lépés között van a hologramlemez fotólemezhez hasonló előhívása.

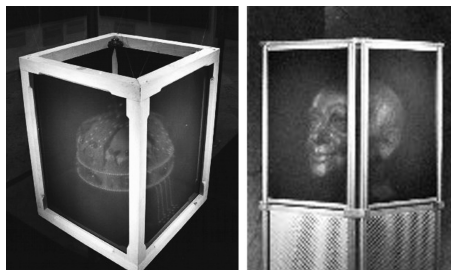
A holografikus rögzítéshez nem szükséges lencsés leképezés, a tárgyról érkező, szóródó hullámfrontot egy másik, ún. referencia-hullámfronttal kódoljuk, „rögzítjük” – kölcsönhatásuk, azaz interferenciájuk révén. Ehhez mindkét hullámnak koherensnek kell lennie, a gyakorlatban egy lézerből kell származnia.

A hologramlemez síkjában az interferencia eredményeképpen foltos, ún. lézerszemcsés háttéren töredezett csíkrendszer keletkezik – ha nagy nagyítással megnézzük. Ez exponálódik rá a hologramlemezre, ez hívódik elő a fotókémiai előhívás során – és ezen a töredezett csíkrendszeren hajlik el, azaz diffraktálódik a lézertény, amikor rekonstrukciókor a hologramot a változatlan referencia-hullámfronttal megvilágítjuk.

Gábor Dénes levezette s kísérletileg igazolta, hogy a diffrakcióval keletkező hullámfrontok egyike tökéletesen megegyezik azzal a hullámfronttal, amely felvételtkor a hologramlemezre érkezett a tárgyról. Ezt megfigyelve a megfigyelő képtelen eldönteni, hogy az eredeti lézerténnyel megvilágított tárgyat látja, vagy a tárgy hűlt helyén a hologram által rekonstruált másolatot. A hologram előtt mozogva a rekonstruált kép távlati sajátosságai, az elől lévő részek által keltett takarások pontosan ugyanúgy változnak, mint a valóságban.

Szokások esetében a hologram felvétele és rekonstrukciója egyaránt lézertényt használ, de elérhető, hogy a rekonstrukcióhoz közönséges fehér fényű lámpa is megfelelően. Ehhez speciális, vastag rögzítőanyagot kell használni, amely mélységében is rögzíti az interferenciamezőt. Ekkor már a lézeres laboratóriumban készült hologramok a nagyközönség elé is kerülhetnek kiállítási tárgyként.

A térbeliség érzete akkor a legmegdöbbentőbb, ha több hologrammal egyszerre állítjuk elő a tárgy képét – a tárgyat több, esetleg minden oldalról megmutatva. Az *1. ábrán* ezt szemléltetjük a Szent Koronát megjelenítő négyoldalú, teljesen körbejárható „hologram-vitrinnel”, illetve a Neumann Jánost ábrázoló háromoldalú holografikus „fényszoborral”. Az előbbire kissé felülről nézve közvetlenül érzékelhetjük a benne lévő meglepő ürességet, az utóbbinál ugyanezt az ellentmondást a szándékosan nyílást hagyó, a látványt megszakító illesztésekkel

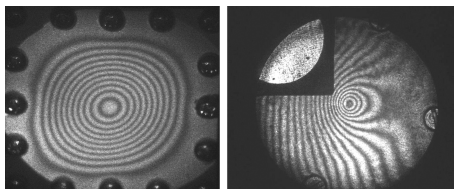


1. ábra • A Szent Koronát megjelenítő hologramvitrin (készült a BME részére, 2000), és Neumann Jánost ábrázoló holografikus fényszobor (készült az IHM részére, 2002)

A holografikus interferometria alapjai

Mint említettük, a holografikus rekonstruált képek a szem képességeit is messze meghaladóan hitelesek – nevezetesen a képpontok nemcsak tökéletesen helyükön vannak, hanem még a róluk érkező fény fázisa is eredeti. Ez a fázis az eredeti tárgypontra és a megvilágító hullámfront-forrás, továbbá a megfigyelő eszköz viszonylagos helyzetétől függ. Ha a tárgypontra kicsit, akár csak a fényhullámhossz töredékével is elmozdul, új helyéről már más fázissal érkezik a fény a megfigyelőhöz. Ugyanarról a tárgyról ugyanarra a hologramlemezre egyszerre két felvételt készítve; egyet a tárgy eredeti helyzetében és egyet elmozdult helyzetében, a rekonstrukciókor a két kép fénye találkozik és interferál egymással. Ennek eredményeképpen a kis elmozdulásoknál a szemlélő számára még teljesen összeesőnek tűnő képpárt sötét és világos csíkok mintázzák be.

Ezek a csíkok hasonlóan, mint a magasságszintvonalak a térképen, itt az azonos elmozdulású pontokat kötik össze – általában félhullámhossznyi, azaz jóval fél mikrométer alatti lépésközzel. Ez a holografikus interferometriai elmozdulás-, illetve általánosabban deformációmérés. Teljesen hasonló elven működik átlátszó tárgyak esetében a törésmutató változásának mérése, és ettől csak



2. ábra • Holografikus interferometriai csíkképzések: deformáció és alak szintvonalazására

kissé eltérően az alakmérés. A 2. ábrán egy membrán közel szimmetrikus deformációjának, középponti kidudorodásának csíkképzése látható, mellette pedig egy kissé megdőlt csúcsos membránalak magasságszintvonalai, szintén interferometrikus csíkok formájában.

Különbégi holografikus interferometria (KHI)

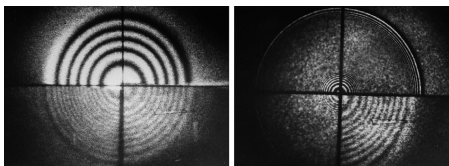
A holografikus interferometria, mint láttuk, nagy érzékenyséű, természetesen érintésmentes és ráadásul „teljesfelületi” is – azaz minden pontban egyszerre mér a megvilágított felületen. Ez utóbbi nagy előny azonban párosul egy nagy hátránnyal is. A teljes csíkképzést egyszerre, egyben kell tudni megfigyelni ahhoz, hogy a „szintvonalak” értelmezhetőek, vagyis leszámlálhatóak legyenek. Az interferenciacsíkok viszont a technika nagy érzékenysége miatt nagyon gyorsan besűrűsödnek, láthatatlanul sűrűvé válnak – nagyítás nélkül. A nagyítás viszont lecsökkenti az egyben megfigyelhető képet, elvesz a „teljesfelületiség” előnye. A képrészletek összeillesztése nehezen megoldható feladat, mert azoknak az emberi szem számára jellegtelen, zavaros struktúrájuk van: hasonló szemcsék és csíkok egymás hegyén hátán.

A KHI az egyik megoldás, legalábbis két tárgy összehasonlítása esetén: optikai kivonással oldja fel ezt a problémát. Ehhez holografikus megvilágítást használ a holografikus interferometriában: mondhatjuk, holográfia

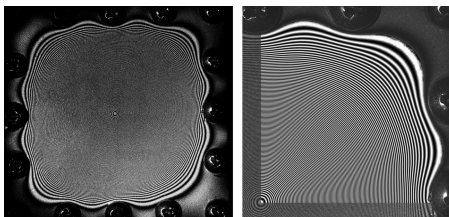
a négyzetet! Az összehasonlítás alapul szolgáló mestertárgy holografikus képeivel világítja meg a vizsgálandó testet. Így közvetlenül csak a két tárgy deformációjának különbsége jelenik meg az interferometrius csíkképzés révén – amely kis különbségek esetén már megfelelően ritka lehet. Ez látható a 3. ábra fotótechnikailag összeillesztett képein, két membrán hasonló deformációjakor. A felső fél a mestertárgy csíkképzésének darabja, a bal alsó rész a testtárgyhoz tartozik, a jobb alsó rész pedig a keresett különbség.

„Kirákos” holografikus interferometria (KirHI)

A KirHI a másik, csak napjaink számítógépes környezete által lehetővé tett megoldás a sűrű csíkképzések elleni harcban. Ez a technika mégis megpróbálkozik a kinagyított jellegtelen képrészletek pontos, „kirakós” összeillesztésével, és sikerrel – videokamerás képbevitellel és számítógépes képfeldolgozással (korrelációs számítással). Időigényes, de egyetlen tárgyra is alkalmazható technika, és nem csak összehasonlításban működik. A 4. ábra



3. ábra • Különbégi csíkképzések (jobb alsó sarok) – láthatóan és „láthatatlanul” sűrű alap-csíkképzések esetén



4. ábra • Kirakós csíkképzések: teljes csíkképzés (alatta egy videokamerányi elemi kép) és nagyított jobb felső része

mutatja egy deformációmérés így összerakott csíkrendszerét, amely 10×12 darab videokép együttese. A csíkok sokaságát képtelenség ek-kora méretben felbonthatóan megmutatni, de a többet megmutató nagyított részlet jelezheti, hogy a „mélyben” valóban ott látható a leszámolhatóan rengeteg interferometrikus csík.

A digitális holográfia „kirakós” kiterjesztési lehetősége

A digitális holográfia igazából talán csak félig valós holográfia, mert a holográfia másodlik lépése már csak a digitális térben zajlik le. A hologramsíkban keletkező szemcsés háttérű töredezett csíkrendszert nem fotólemez, hanem videokamera rögzíti, azaz olvassa be a számítógépbe. Innen már valódi fénnel való megvilágításról nincs is szó, hanem csak kiszámolják, hogy mi történne akkor, és milyen is lenne a rekonstruált kép. Ennek nagy előnye a hosszadalmas fotókémiai hívás elhagyása, s a digitális megközelítés kínálta páratlan rugalmasság. Nagy hátránya viszont a videokamerák ma még igen kicsi felbontása és érzékelőelemük igen kis mérete – legalábbis a fotólemezekhez viszonyítva.

A Holográfia Csoport jelenleg a KIR-HI „kirakós” technikájának a digitális holográfiába történő átültetésén dolgozik, hogy azzal az

előbbi hátrányt csökkentse. A videokamerás egylépéses hologram-beolvasást akarja felváltani nagyítással összekötött, részenkénti beolvasással és számítógépes összeillesztésekkel. Az első eredmények biztatóak, már sikerült egy videokamera méretét így, mint egy virtuálisan, megnyolcszorozni.

A bemutatott eredmények elérését, a kutatási eszközpark összeállítását OMF/OM, OTKA, MÚFA, IKMA és egyéb pályázati támogatások sora tette lehetővé az elmúlt három évtizedben. Az utóbbi évek támogatásai közül kiemelendők az OTKA T015778 és T025677 pályázatok. A jelen és a vázolt közeljövő kutatásai a GVOP-3.1.1.-2004-05-0403/3.0 pályázati támogatáson alapulnak.

Az itt bemutatott eredmények elérésében Füzesy Zoltán és a szerző mellett meghatározó szerepet vivő munkatársak voltak még Ráczevi Béla és Borbély Venczel (PhD-hallgató), továbbá sok egyetemi hallgató diplomamunka- és TDK-tevékenysége is kapcsolódott hozzá.

Kulcsszavak: holográfia, holografikus interferometria, különbségi holografikus interferometria, kirakós holografikus interferometria

IRODALOM

- Füzesy Z. – Gyimesi F. (1984): *Optical Engineering*, **23**, 780–785.
Gábor D. (1976): *Válogatott tanulmányok*. Gondolat, Budapest
Gyimesi F. – Füzesy Z. – Ráczevi B. (2000): *Difference Holographic Interferometry*. In: Rastogi, P. – Inaudi, D. (eds.): *Trends in Optical Nondestructive*

Testing and Inspection. Elsevier Science, Oxford, 129–140.

Gyimesi F. – Borbély V. – Ráczevi B. – Füzesy Z. (2004): *Journal of Holography and Speckle*, **1**, 39–45.

Kreis T. (1996): *Holographic Interferometry, Principles and Methods*. Akademie Verlag, Berlin

HOLOGRAFIKUS MEMÓRIAKÁRTYA

Lőrincz Emőke

PhD, egyetemi docens
lorincz@eik.bme.hu

Koppa Pál

PhD, egyetemi adjunktus
koppa@eik.bme.hu

Erdei Gábor

PhD, egyetemi tanársegéd
erdei@eik.bme.hu

Ujhelyi Ferenc

tudományos segédmunkatárs
ujhelyi@eik.bme.hu

Richter Péter

a műszaki tudomány doktora, egyetemi tanár
richter@eik.bme.hu

BME Atomfizika Tanszék

Nemzetközi és hazai előzmények

Már a 60-as évek végén és a 70-es évek elején számos laboratóriumban foglalkoztak a holografikus adattárolással. A nagy kapacitású optikai tárolók mégis a digitális területen jelentek meg, túlszámalyva akkor a beépített mágneses tárolók kapacitását. 1982-ben a Sony és a Philips bejelentette az audió CD-eket, majd rövidesen megjelentek a CD-ROM-ok, a digitális számítógépes adatok rögzítésére alkalmas CD-k is. Adatsűrűségük $0,6 \text{ bit}/\mu\text{m}^2$ 780 nm-es lézerciódá alkalmazásával. A digitális adattárolók új generációja, a 650 nm-es félvezető lézerrel működő DVD esetén már $4,7 \text{ bit}/\mu\text{m}^2$ az adatsűrűség. 2002. februárban 8 neves céget tömörítő konzorcium (Hitachi, Philips, Samsung, Sony stb.) megállapodott a legújabb, 405 nm-es lézerre alapozott DVD szabványában, ennek adatsűrűsége és kapacitása hatszorosa a jelenleginek, és célul tűzték ki az 50 GB diszkkapacitás elérését 2004-re. A tárolási sűrűség, ill. a diszk kapacitásának növelése a hullámhossz csökkentésével, ill. a fókuszáló objektív numerikus apertúrájának növelésével érhető el, de minden határon túl tovább nem növelhető. Az 50 GB a CD típusú digitális tárolók

kapacitásának felső határa. A kapacitáson túl még az adatátvitel sebessége is fontos paraméter, a cél a 20 MB/s sebesség elérése.

A DVD-fejlesztés várható csúcskapacitását meghaladó és nagyobb átviteli sebességgel működő cserélhető memóriaként alkalmazható lemez megvalósításához más technológiára van szükség. Jelenleg versenyben vannak például: a magnetooptikai (MO) technológia; a közel-téri, speciális optikai megoldást alkalmazó technika, melynek megvalósításához nagy numerikus apertúrájú ($\text{NA} > 1$) fókuszáló objektív szükséges, ami kérdésessé teszi a kivehetőség megvalósíthatóságát; a többrétegű fluoreszcens kiolvasást alkalmazó technológia (a szakirodalomban C^3D néven ismert) és a holografikus adattárolók (Haw, 2003).

A felületi adatsűrűség növelésére a harmadik dimenzió kihasználásával, a tároló anyag vastagságának növelésével és az azonos térfogatba különbözőképpen beírt és kiolvasott információ, vagyis a multiplexelés alkalmazásával van lehetőség. A holografikus adattárolók esetén $>100 \text{ bit}/\mu\text{m}^2$ adatsűrűséget és 1 Gbit/s adatforgalmat demonstráltak már, de a holografikus tárolók kereskedelmi termékként még nem

jelentek meg a piacon. Kutatásuk új lendületet vett az utóbbi években. Elsősorban az alkalmas lézerek (frekvenciakétszerezett szilárdtestlézerek és diódalézerek), térbeli fénymodulátorok (folyadékkristályos vagy Si alapú mikrotükrök) és nagysebességű mátrixdetektorok megjelenésével kapcsolatos az új lendület. Fő probléma még az alkalmas tároló anyag. A követelmény hatalmas az anyaggal szemben: kiváló optikai minőség, megfelelő érzékenység, nagy dinamika, nagy felbontás, könnyű és olcsó gyárthatóság, fizikai és kémiai stabilitás szükséges. A hírekben gyakran olvashatunk a holografikus rendszerek fejlesztésén dolgozó cégek (például: Optware,¹ InPhase²) legújabb eredményeiről, de hiába keressük a holografikus lemezt és lejátszót a boltban, mivel termék még nincs forgalomban a piacon.

Hordozható holografikus adattároló

A BME Atomfizika Tanszéken az adattárolók kutatás-fejlesztése a 80-as évek végén kezdődött CD és MO fej optikai elemei, finommechanikája, MO lemez tárolóréteg területeken, majd 1995-ben a svéd Optilink cég kezdeményezésére lapszervezésű digitális optikai tároló modelljét készítették el. 2001-ben elkészült egy hordozható holografikus memóriaberendezés (Anscombe, 2001), együttműködve az Optilink Magyarország Rt.-vel és a dániai Risø Kutatóintézettel.³ Az adathordozó egy, a rendszerből kivehető és visszatehető bankkártya méretű műanyag kártyába épített „optikai chip” 1 cm²-es felülete. A tárolóréteg pedig 1-2 μm vastagságú azobenzén poliészter.

Mivel az anyagban a beíró nyálábok hatására helyi anizotropia jön létre, az adattárolásra polarizációs holográfiát használunk. A polarizációs rögzítés elvét mutatja az 1. ábra. Ellentétben a hagyományos holográfiával, a

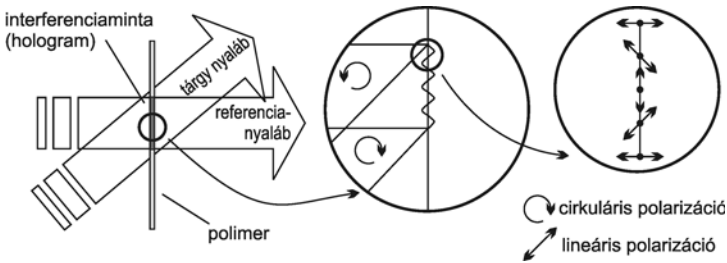
tárolóanyagra érkező tárgy és referencianyáláboknak ellentétes cirkuláris polarizációjuk van, az eredő, síkban változó irányú lineáris térerősség hatására alakul ki a lokális anizotropia. Ezen mint rácson diffraktálódik kiolvasáskor a cirkuláris referencianyáláb akár közel 100%-os hatásfokkal. Ez az anizotropia egyetlen cirkulárisan polarizált nyálákkal „törölhető” is, azaz a síkbeli rendezettség megszüntethető. Nagy adatsűrűséget úgy lehet elérni, hogy az adatmátrix Fourier-hogramját rögzítjük. A megvalósított rendszerben 532 nm-es frekvenciakétszerezett Nd:YAG lézert, egytengelyű referencia- és tárgynyálábokat, a Fourier-térben 0,69 numerikus apertúrájú objektívet és olcsó csavart nematikus térbeli fénymodulátort használunk a beírásra, és a transzmissziós hologram reflektált rekonstruált képét olvassuk ki CCD-detektorral. Kiolvasáskor rövid ideig kis teljesítményű referencianyálákkal világítjuk meg a hologramot. Újraíráshoz az előzőleg beírt hologramot nagy teljesítményű referencianyálákkal törölni kell. Így egy újraírható optikai tárolót készíthetünk. A megvalósított elrendezés szabadalmaztatott optikai megoldásokat tartalmaz (Szarvas et al., 2000). Az általunk demonstrált 2,77 bit/μm² adatsűrűség a vékony anyagban, multiplexelés nélkül elérhető eddigi legnagyobb adatsűrűség (Lőrincz et al., 2003). Az író/olvasó egység vázlatos felépítését mutatja a 2. ábra

A párhuzamos elrendezésű tárgy- és referencianyáláb lehetőséget biztosít a beíró hullámhossztól eltérő hullámhosszú referencianyálákkal való kiolvasásra is. Ennek előnye, hogy a tárolóanyag érzékenységi tartományán kívül eső (például piros) hullámhosszt választva a beírt információ törlése nélkül lehet kiolvasni, és a csak olvasó berendezés lényegesen egyszerűbb és olcsóbb az író/olvasónál (például olcsó, kis koherenciahosszú lézerdióda is alkalmazható). A hullámhosszváltáshoz a kiolvasó Fourier-objektívet megfelelően korigálni kell.

¹ <http://www.optware.co.jp/english/top.htm>

² <http://www.inphase-technologies.com/>

³ <http://www.risoe.dk/ofd/people/psra.htm>



1. ábra • A polarizációs holográfia elve

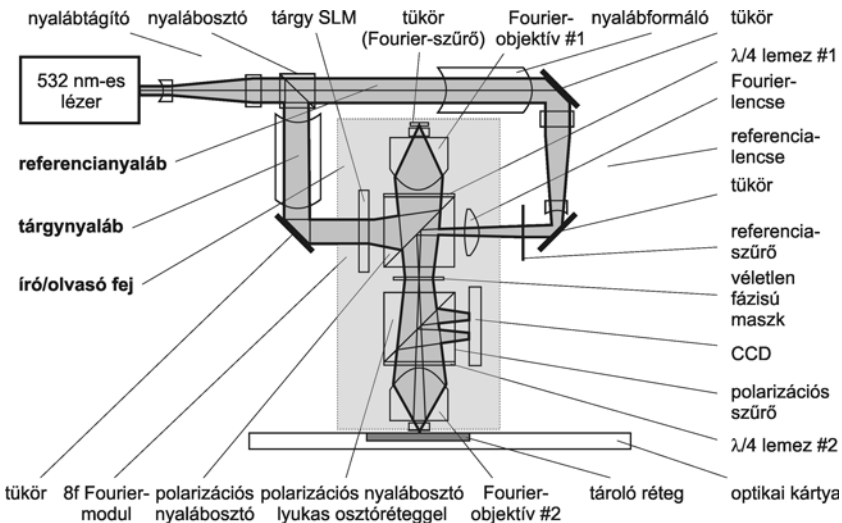
Két hordozható író/olvasó készülék és egy piros lézertióddával működő csak olvasó készülék is készült. Demonstráltuk, hogy az egyik író/olvasó készülékkel megírt kártyát a másik író/olvasó, illetve a csak olvasó készülékkel is ki lehet olvasni. A 3. ábrán bemutatunk két rekonstruált hologramot: a 3.a ábrán az író/olvasóval és a 3.b ábrán pedig ugyanazt a hologramot a csak olvasó készülékkel olvastuk ki.

Alkalmazás: biztonsági kártya

A holografikus adattárolás már önmagában biztonságosabb, mint a bitenkénti tárolás, mivel az adatok hagyományos optikai eszközökkel (mikroszkóp, szkennel, CCD kamera) nem

olvashatók ki. A polarizációs holográfia alkalmazása pedig tovább növeli a kiolvasóval szembeni követelményeket. A biztonság tovább növelhető, mivel a holografikus adattárolásnál lehetőség van az információt például fázismodulált referencianyalábbal rögzíteni. A referencianyaláb modulációja mint kód segítségével az illetéktelen kiolvasás lehetetlenné válik, ugyanis kiolvasni csak a megfelelő fázismodulált referenciával lehet (4. ábra, Ujvári et al., 2004).

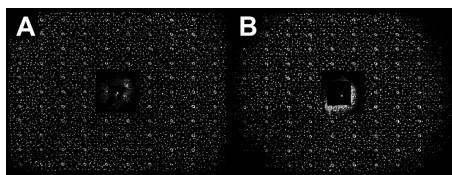
A technológia megvalósíthatóságának bizonyítására az egyik meglévő író/olvasó berendezést átalakítottuk. A referenciágba változtatható fáziskódot építettünk. Az eredmények igazolták az elméleti elvárásokat.



2. ábra • Holografikus író/olvasó felépítésének vázlata

Jelenleg a technológia hasznosításán dolgozunk. Ma már a svéd Optilink helyébe a Bayer Innovation GmbH lépett. Az ismert német cég új leányvállalata célul tűzte ki a holografikus biztonsági technológia piacra vitelét és ezzel egyidejűleg a Bayer által kifejlesztett fényvel címezhető polimer (photo-addressable polymer – PAP) anyag alkalmazását a biztonságikártya-piacon.

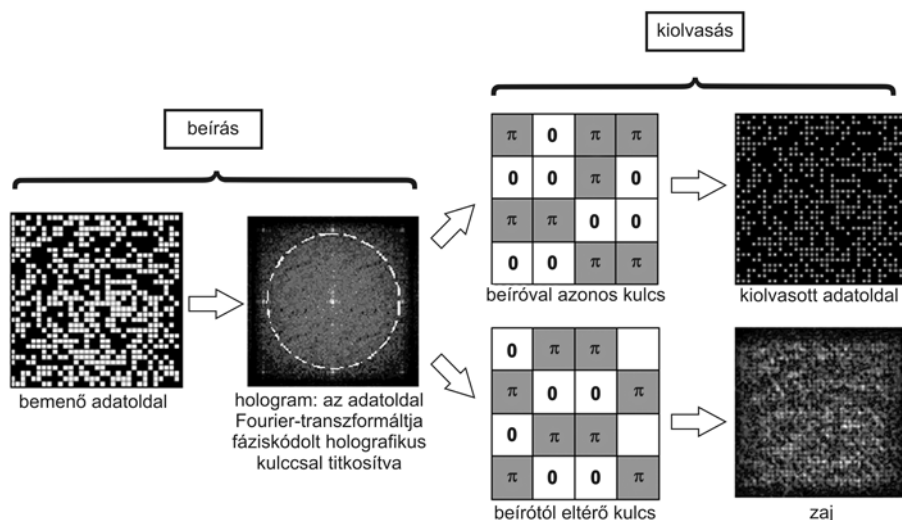
A kereskedelmi hasznosításon kívül a holografikus adattárolók kutatása új tudományos eredmények megszületését is lehetővé tette. A csoport eredményességét a kutatásba bevont hallgatók, diplomázók és doktoranduszok hozzájárulása is nagymértékben



3. ábra • Holografikus író/olvasóval írt hologram kiolvasása író/olvasóval (a), csak olvasóval (b)

emelte. Eddig négy PhD-fokozat született, és újabb három van előkészületben.

Kulcsszavak: fáziskódolás, holografikus adattárolás, polarizációs holográfia



4. ábra • Fáziskódolt titkosítás elve

IRODALOM

Anscombe, N. (2001). *Opto&Laser Europe*, January-February, 26–28.
 Haw, M. (2003): *Nature*, **422**, 556–558.
 Lőrincz E. – Szarvas G. – Koppa P. – Ujhelyi F. – Erdei G. – Sütő A. – Várhegyi P. – Sajti Sz. – Kerekes Á. – Ujvári T. – Ramanujam, P. S. (2003): In: Grote J. G. – Kaino T. (eds.): *Proc. SPIE 4991 Organic Photonic Materials and Devices VI.*, 34–44.

Szarvas G. – Lőrincz E. – Richter P. – Koppa P. – Erdei G. – Fodor J. – Kalló P. – Sütő A. – Domján L. – Ujhelyi F. (2000): *Method and Apparatus for the Holographic Recording and Readout of Data*. EP 1492095
 Ujvári T. – Koppa P. – Lovász M. – Várhegyi P. – Sajti Sz. – Lőrincz L. – Richter P. (2004): *Journal of Optics A: Pure and Applied Optics*, **6**, 401–411.

ANYAGSZABÁSZAT LÉZEREKKEL: A MAKROSTRUKTÚRÁKTÓL A NANORÉSZECSKÉKIG

Szörényi Tamás

PhD, MTA-SZTE Lézerfizikai Kutatócsoport
t.szorenyi@physx.u-szeged.hu

Geretovszky Zsolt

PhD, SZTE Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék

A lézerek látványos fejlődése, új lézertípusok megjelenése, a már beváltak egyre kompaktabbá, nagyobb hatásfokúvá válása nemcsak az immár klasszikusnak számító acéllemezvágás vagy autókarosszéria-hegesztés minőségének, hatékonyságának, s így gazdaságosságának folyamatos javulását eredményezi, hanem újabb elemekkel bővíti mind a megmunkálható anyagok, mind az alkalmazható technológiák palettáját.

Miért használunk felületmegmunkálásra lézereket? Mert a kis divergencia miatt a lézersugárzás különféle közegekben nagy távolságra is könnyen továbbítható, a felhasználás helyén pedig az energia mikroszkopikus méretű területekre koncentrálható. A kibocsátott fotonok számának és az impulzus hosszának beállításával az energiabevitel és a kölcsönhatás ideje finoman szabályozható, sőt, ez utóbbi megfelelő megválasztásával a lézer hullámhosszán átlátszónak gondolt anyagok is megmunkálhatók nemlineáris folyamatok segítségével.

Hol van a lézerek felhasználásán alapuló módszerekkel kialakítható mintázatok laterális méretének alsó határa? Egy TEM_{00} alapmódusú lézernyaláb – diffrakciólimitált leképezést lehetővé tevő optikai elemek alkalmazásával – kb. a hullámhosszának megfe-

lelő méretű területre fókuszálható. A lézeres mikromegmunkálási folyamatok elérhető laterális feloldása azonban a mintázat létrehozásának mechanizmusától is függ: mikrokémiai módszerekkel az optika törvényei által megszabott alsó határ alatti laterális méretű mintázatokot is létre tudunk hozni. Ez a gyakorlatban néhány száz nanométert jelent. Az UV tartományban működő excimer lézereket fényforrásként alkalmazó fotolitográfiai eljárásokkal 100 nm alatti mérettartományba eső mintázatok kialakítása lehetséges.

A következőkben döntően az MTA-SZTE Lézerfizikai Kutatócsoportjában, ill. a SZTE Optikai és Kvantumelektronikai Tsz-en elért eredményekre alapozva példákkal illusztráljuk a lézeres anyagszabászat mikrovilágbeli lehetőségeit, az egyes módszerek teljesítőképességét és korlátait. Felvázoljuk, miért fordul megkülönböztetett figyelem napjainkban a lézerrel keltett plazmából történő vékonyréteg-építésre, miben rejlik ez új, különleges tulajdonságú anyagprototípusok előállítására is képes laboratóriumi technika sikerének titka. Két, már klasszikusnak számító felületstrukturálási technika, a lézeres direktírás és a vékonyréteg-átmásolás bemutatása után felvillantjuk azt is, hogy lehet impulzuslézeres ablációval nanoszerkezeteket készíteni.

Vékonyréteg-építés lézerrel keltett plazmából

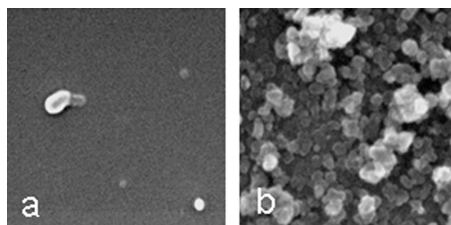
Megfelelően nagy energiasűrűségű (teljesítménysűrűségű) lézerimpulzusok bármely anyagból plazmát tudnak képezni. A mikrotérfogatba (10^{-4} - 10^{-7} mm³) 10^{-8} - 10^{-14} s alatt betáplált, tipikusan néhány tíz vagy száz mJ energia kongruens anyagátvitelt eredményez. A vákuumban kitáguló plazmafelhő útjába helyezett hordozón kondenzálódó, a lézer paramétereitől függően néhány eV-től több száz eV-ig változó kezdeti mozgási energiájú plazmaalkotók a tarral megegyező összetételű vékonyréteget építenek. Reaktív atmoszférában ablálva a réteg kémiai összetétele hangolható. A *Pulsed Laser Deposition* elnevezés betűszavaként az irodalomban PLD-ként emlegetett technika sokoldalúságát az alábbiakban azzal illusztráljuk, milyen szénmódosulatok és -vegyületek állíthatók elő ugyanazon grafittarget ablálásával.

A vákuumban épülő gyémántszerű szén (DLC) rétegek szerkezetét és így tulajdonságait meghatározó sp^2/sp^3 arány a szénatomok és -klaszterek mozgási energiájának függvénye. A plazmaalkotók energiája a hullámhossz rövidítésével és az abláló impulzusok energiasűrűségének növelésével nő. Ennek megfelelően például a Nd:YAG lézeres abláció a grafitéhoz hasonló tulajdonságokat mutató rétegeket eredményez. Excimer lézerek néhányszor 10^8 Wcm⁻² teljesítménysűrűségű (~5-10 Jcm⁻² energiasűrűségű) impulzusaival keltett plazmából viszont a gyémánthoz nagyon hasonló tulajdonságú, 90 % fölötti sp^3 hibridizációjú, gyakorlatilag hidrogénmentes, ún. tetraédres amorf szén, ta-C rétegek növeszthetők.

Ha ta-C vagy gyémántréteg előállítása a cél, kihasználhatjuk, hogy az atomi hidrogén és oxigén kikutatottan marja a grafitos (sp^2) szén. Mivel a H₂ molekulák közvetlenül nem képesek a szénatomokkal reakcióba lépni, olyan nyomástartományban kell dol-

goznunk, amelyben a nagy energiájú plazmaalkotókkal való ütközés következtében a H₂ molekulák disszociálnak. Az oxigén molekuláris állapotban is intenzíven reagál, ezért a mechanizmus már kis nyomásokon is működik. Szobahőmérsékleten, 10-100 Pa nyomású H₂, illetve 0,01-1 Pa nyomású O₂ környezetben, 70 % feletti sp^3 tartalmú DLC rétegeket tudunk előállítani. Gyémántrétegek heteroepitaxiális növesztéséhez magasabb hőmérsékletekre van szükség. Az ablak meglehetősen keskeny: O₂ környezetben 550-600 °C-on, 15±10 Pa nyomáson, H₂ atmoszférában ugyanebben a hőmérséklet-intervallumban, 500 Pa környékén sikerült gyémántrétegek növesztése grafit excimer lézeres ablációjával.

A N₂ atmoszférában épített filmek atomszám szerint 30-40 % nitrogént tartalmazhatnak. A beépülő nitrogén mennyiségének változtatásával a szén-nitrid rétegek szerkezete, optikai és elektromos tulajdonságai széles tartományban hangolhatók, az alkalmazások széles skáláját kínálva. A rétegépítés során a kémiai effektus mellett a N₂-molekulák szórócentrumként is működnek. Általában igaz, hogy a munkatérbe vezetett gáz nyomásának növelése a plazmaalkotók kezdeti mozgási energiájának folyamatos csökkenését eredményezi. A néhány Pa-nál kisebb nyomások tartományában a plazma-



1. ábra • ArF excimer lézer 10 Jcm⁻² energiasűrűségű impulzusaival ablált grafit targetból 5 (a) és 50 Pa (b) nyomású N₂ atmoszférában épített szén-nitrid rétegek felületének 3×3 μm-es darabjáról pásztázó elektronmikroszkóppal készített felvételek.

alkotók tükörsima, tömör, mechanikai szempontból kitűnő, kemény réteget építenek. Az 5 Pa nitrogénben épített, nanoskálán homogén réteg simaságát csupán néhány szubmikron méretű csepp töri meg (1.a ábra). A nyomás egy nagyságrendes növelése a mikroszerkezet radikális megváltozásához, porózus klaszterréteg kialakulásához vezet (1.b ábra). Ezek az óriási fajlagos felületű, porózus rétegek kemény védőréteggént ugyan nem, szenzorként viszont annál inkább beválnak. A kPa feletti nyomástartományban egyre kevésbé van értelme rétegekről beszélni, az atmoszferikus nyomáshoz közelítve pedig belépünk az individuális nanorészecskék, a fullerének, nanocsövek birodalmába.

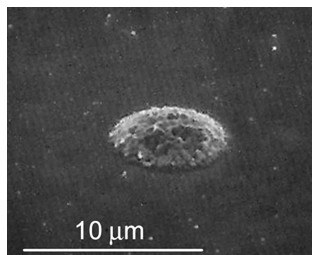
Mikromintázatok lézeres direktírása

Egy lézernyalábot a megmintázni kívánt felület egy kiválasztott pontjára fókuszálva a felületből kiemelkedő vagy abba bemélyedő mintázatot alakíthatunk ki, vagy a felszín fizikai és kémiai tulajdonságainak lokális megváltoztatásával a megvilágított terület például vezetővé vagy átlátszóvá, netán éppen árnýékolóvá tudjuk tenni. A struktúrák méretét – a lézer- és anyagparaméterek mellett – a megvilágítás ideje határozza meg.

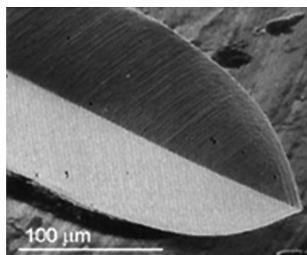
Kémiaailag aktív környezetben a megvilágított területen vagy annak egy részén, mint egy miniatűr kályhában – ugyanúgy, mint makroszkopikus méretekben egy gázláng fölött tartott kémcsőben – reakciók indíthatók be. Heterogén fototermikus vagy

fotokémiai reakciók eredményeként a felületbe bemélyedő vagy abból kiemelkedő mintázatokot egyaránt létre tudunk hozni. Kvarc hordozóra porlasztott 70 nm vastag W filmet $WF_6 + H_2$ gázkeverékben 647 nm-en 176 mW-ot sugárzó Kr^+ lézer 3 μm -re lefókuszált nyalábjával 0,07 s-ig megvilágítva például a 2. ábrán látható wolframpötty az eredmény. A pöttyöt alkotó kristályszemcsék méretének fokozatos növekedése néhány tized másodperc elteltével egykristály-növekedésbe megy át. Ha a fókuszfoltot az egykristály csúcsán tartjuk, például úgy, hogy a szubsztrátot a növekedési sebességnek megfelelő sebességgel távolítjuk, néhány perc alatt több mm hosszú W rudat növesztethetünk (3. ábra).

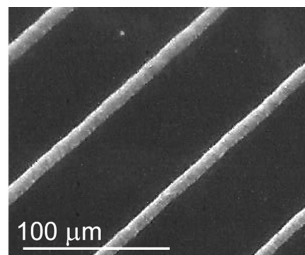
Ha a lefókuszált nyalábot a felületen elmozdítjuk, akkor a reakciótér a lézerfókusz-szal együtt végigvándorol a felszínen, a reakció eredményeként „írás”, rajzolatot hagyva maga mögött. A rajzolatot alkothatja az eredetileg csupasz felszínre lerakódó anyag, a felszínről lemarat vékony réteg, vagy – kémiaailag inert környezetben – a felszínen lévő anyagok lokális hevítésével létrehozott új vegyület. A 4. ábrán bemutatott wolfrámcsíkokat ugyanúgy $WF_6 + H_2$ gázkeverékből építettük, mint a pöttyöt vagy a tűt. A lézernyaláb mozgatása helyett technikaailag könnyebben megvalósítható megoldást választottunk: a hordozót mozgattuk a lézernyaláb fókuszsíkjaiban, a nyalábra merőlegesen, 100 $\mu m/s$ sebességgel, a Kr^+ lézer teljesítményét 83 és 146 mW között változtatva. Természe-



2. ábra



3. ábra



4. ábra

tesen a W struktúrák létrehozása csak egyetlen példa. A módszer folyadékkörnyezetben szintén működik, tovább bővítve a lehetséges mintázategyedek körét, bizonyos alkalmazások esetében költségtakarékosabb eljárást is eredményezve.

Inaktív környezetben a lézerrel iniciált mechanikai vagy termikus hatás leggyakrabban anyageltávolítást, ablációt eredményez. Ez a folyamat, optimalizációt és technológia-transzfert követően komoly ipari alkalmazásra számot tartó területeken eredményezhet minőségi javulást a kialakítandó felszíni mintázatok tulajdonságaiban, s így az ezeket tartalmazó eszközök jellemzőiben. A közelmúlt és jelen szegedi K+F eredményei közül kettőt említve: demonstráltuk, hogy lézeres interferometrikus eljárással kiváló minőségű optikai rácsok alakíthatók ki integrált optikai szenzorok fényvezető rétegében, és eljárást dolgoztunk ki $\text{CuIn}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Se}_2$ aktív rétegű amorf vékonyréteg-struktúrájú napelemek szelektív vágására. Az üveg hordozó/Mo/CIGS/CdS/ZnO szerkezet egyes rétegeibe úgy tudunk 10-50 μm széles vágatokat készíteni, hogy a vágandó réteg alatti, jellemzően mikron vagy szubmikron vastagságú másikkal vékonyréteg nem sérül meg.

A lézerkezelés következménye lehet fázisváltozás vagy az anyagösszetétel lokális megváltozása is. Nem is kell túlzottan nagy lézerteljesítmény ahhoz, hogy például egy cink- és szelénfilmekből álló rétegszerkezetben a Zn és Se atomok reakciója ZnSe kialakulásához vezessen. A ZnSe mint széles tiltott sávú vegyület-félvezető, szemben az eredeti Zn réteggel, fényáteresztő. Az eljárás, amely természetesen nemcsak a Zn-Se anyagpárral, hanem például CdTe, AlSb, GeSe esetén is működik, alkalmas tehát optikai adattároló készítésére.

A direktírás egyetlen komoly szépséghibája az, hogy relatíve lassú. Az esetek többségében nem is versenyképes a litográfiával szemben. A direktírás akkor lehet gazdaságos

alternatíva, ha kis szériában, netán egyedileg kell a rajzolatokat elkészíteni (például prototípus fejlesztésénél), vagy például akkor, amikor bonyolult 3D felületekre kell mintázatot felvinni, mert a párhuzamos procesz-szalást lehetővé tevő technikák általában csak sík felületen működnek.

Lézeres vékonyréteg-átmásolás

A mikroelektronikai iparban alkalmazott optikai maszkok hibáinak javítása például „testhezálló” lézeres alkalmazás. A fedett hibák (felesleges átkötések) javításának kézenfekvő módja az abláció, a krómréteg eltávolítása a kérdéses területről. Az átlátszó hibák korrekciójára elvben szimpatikusan egyszerű, szabad levegőn működő alternatívát kínál a lézeres vékonyréteg-átmásolás, az angol *Laser Induced Forward Transfer* elnevezésből adódóan LIFT-nek nevezett eljárás. Ennél az átmásolandó anyagot egy, az alkalmazott lézer hullámhosszán átlátszó hordozóra visszük fel vékonyréteg formájában. A hordozó felől a vékonyrétegre irányított egyetlen impulzus kivágja a kívánt alakzatot, és egyben átrepíti arra a felületre, ahol a mintázatra szükség van. Bár az elv nagyon egyszerű, a konkrét esetekben a követelményeknek minden szempontból megfelelő másolat(ok) létrehozása komoly optimalizációt igénylő feladat. Egyik legelső alkalmazásként mikroméretű fémfoltok adott helyre másolását sikerült megoldanunk a hordozó és a fémréteg páros megfelelő megválasztásával és a megmunkáló lézerimpulzus energiájának, hosszának és időbeli lefutásának optimalizálásával. Megmutattuk, hogy néhány száz nm vastag wolfrám vékonyrétegeknek egy elektronikusan vezérelt, diódapumpált Nd:YAG lézer néhány száz mikroszekundum felértékszélességű háromszög-impulzusaival kiváltott átmásolásával az átlátszó hibák tökéletesen javíthatók. Az ultrarövid impulzusú lézerek egyre elterjedtebb alkalmazása, és a funkcionális anyagok vékonyréteg formában

történő előállítására a biológiában és orvosi tudományokban egyre fokozódó igény látványosan szélesíti a LIFT alkalmazási körét mind a méretek csökkentése, mind a másolandó anyagok körének bővítése irányában. Hopp Béla és munkatársainak e számunk 1530. oldalán közölt cikke például hőre és fényre érzékeny biológiai objektumok irányított átvitelére optimalizált LIFT konfigurációt mutat be.

Nanostruktúrák, még mindig lézerrel

Lézerrel keltett plazmából megfelelően választott körülmények között nanostruktúrák is létrehozhatók. Az ötlet 1985 szeptemberéből származik, amikor is a Rice Egyetem ötfős kutatócsoportja lézerrel keltett szénplazma nagy nyomású héliummal történő hűtésével fullerén (C_{60}) molekulákat állított

elő. A felfedezésért egyébként 1996-ban Robert Curl, Harold Kroto és Richard Smalley kémiai Nobel-díjat kapott. Az eredmény hihetetlen lökést adott a fullerének vizsgálatának, és jelentősen hozzájárult a nanotechnológia kezdeti szárnybontogatásához. A nanostruktúrák lézerplazmából történő előállításának technológiája mára odáig fejlődött, hogy egy impulzuslézer, egy kályha, egy gázkeringető rendszer és némi finesz segítségével változatos összetételű nanorészecskék, sőt akár e nanorészecskék által katalizált további folyamatok segítségével epitaxiális nanoszálak vagy nanoszálakban kialakított szuperrácsok (superlattice) is növeszthetők ezzel az eljárással.

Kulcsszavak: *felületstrukturalás, lézer, nanostruktúrák, plazma, vékonyrétegek*

IRODALOM

- Bäuerle, D. (2000): *Laser Processing and Chemistry*. Springer-Verlag, Berlin–Heidelberg–New York
 Chrisey, D. B. – Hubler G. K. (eds.) (1994): *Pulsed Laser Deposition of Thin Films*. John Wiley & Sons, New York
 Curl, R. F. (1997): Reviews of Modern Physics. **69**, 691.

- Duan, X. – Lieber C. M. (2000): Advanced Materials. **12**, 298–302.
 Gudiksen, M. S. – Lathon L. J. – Wang J. – Smith D. C. – Lieber, C. M. (2002): Nature. **415**, 617.
 Kroto, H. (1997): Reviews of Modern Physics. **69**, 703.
 Smalley, R. E. (1997): Reviews of Modern Physics. **69**, 723.



LÉZEREK SPECIÁLIS ORVOSI ÉS BIOLÓGIAI ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI

Hopp Béla

a fizikai tudomány kandidátusa,
tudományos főmunkatárs
bhopp@physx.u-szeged.hu

Csete Mária

PhD, tudományos munkatárs

Kresz Norbert

tudományos ügyintéző

Smausz Kolumbán Tamás

PhD, tudományos munkatárs
MTA Lézerfizikai Tanszéki
Kutatócsoport, SZTE

Tóth Zsolt

PhD, tudományos főmunkatárs

Kecskeméti Gabriella

tudományos ügyintéző

Bor Zsolt

az MTA rendes tagja, tanszékvezető egyetemi tanár

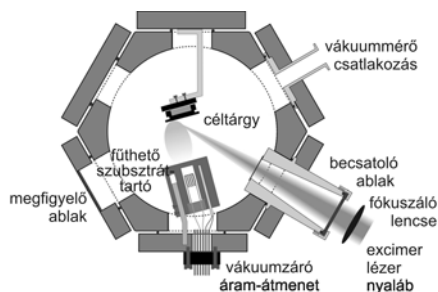
SZTE Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék, Szeged

A lézerek kedvező tulajdonságainak köszönhetően az utóbbi évtizedekben több lézeres anyagmegmunkálási módszert dolgoztak ki, melyek közül sokat már alkalmaznak is az ipar és az orvostudomány számos területén, mások alkalmazhatóságát pedig jelenleg kutatják. Az alábbi kísérleteink során három anyagmegmunkálási eljárás (az impulzuslézeres vékonyréteg-leválasztás, anyagátvitel és felületmódosítás) potenciális orvosi alkalmazási lehetőségeit vizsgáltuk.

Abláció és impulzuslézeres vékonyréteg-építés

Nagy teljesítményű impulzuslézer nyalábját a céltárgyra fókuszálva, a besugárzás hatására a felületre merőlegesen plazmaállapotú anyagfelhő lép ki. Ezt a jelenséget *ablációnak* nevezzük. Ez egy komplex folyamat, mely függ az alkalmazott lézer paramétereitől és a céltárgy optikai, termikus és morfológiai tulajdonságaitól. Az ablációs anyagfelhő atomok, molekulák, ionok, mikronméretű szilárd törmelékek és olvadt cseppek egyvelege, mely nagy sebességgel terjed ki a felületre

merőleges irányban. Ez az anyagfelhő felfogható egy, az útjába helyezett hordozón, ahol vékonyréteggént rakódik le. Az általunk alkalmazott kísérleti elrendezés vázlatát mutatja be az *1. ábra*. A módszer előnye, hogy ha ez a cél, megfelelő leválasztási paraméterek mellett az anyag átlagos sztóchiometriája a folyamat során megmarad, az anyagfelhő nagy kinetikus energiája következtében tömör vékonyréteg hozható létre, és az egy impulzussal épített réteg vékonysága miatt jól meghatározott vastagságú film állítható elő.

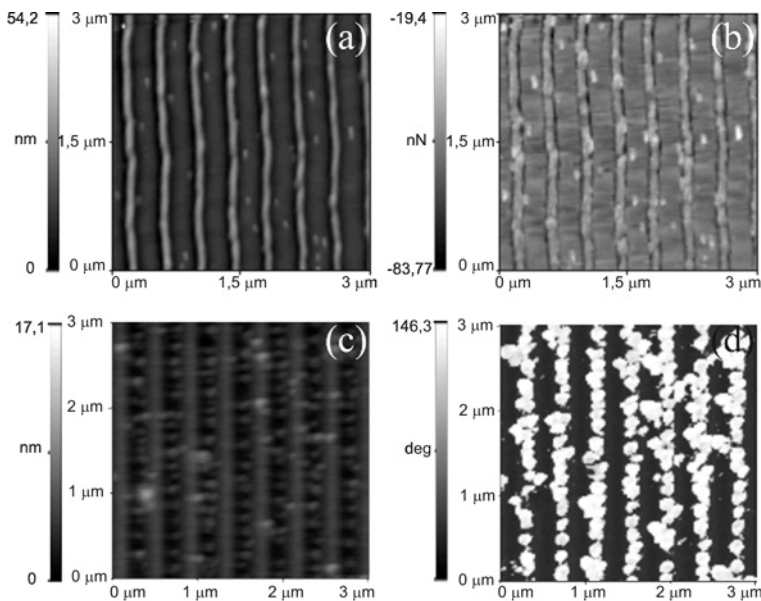


1. ábra • A vékonyréteg-leválasztáshoz alkalmazott elrendezés vázlatá

Szervezetbarát teflon védőrétegek leválasztása allergén tárgyak felületére

Az allergia a test abnormális válaszreakciója egy vagy több olyan anyagra, amely ártalmatlan a legtöbb ember számára. Mindazt, ami allergiás reakciót vált ki, allergénnek nevezjük. Nagyon gyakori az egyes fémekkel szembeni allergia. Ennek legfőbb kiváltói a bőrrel gyakran érintkező fémtárgyak, mint például az ékszerek, karórák hátlapja, szemüvegkeret szára, evőeszközök stb., illetve a szervezetbe beépített fém gyógyászati segédeszközök, fogtömések, implantátumok. A leghatékonyabb védekezés: el kell kerülni minden közvetlen érintkezést az allergiát okozó tárgyakkal. Ennek egyik módja lehet például a fémtárgyak bőrrel érintkező felületének bevonása biológiailag semleges védő/szigetelő réteggel. Erre alkalmas anyag lehet a kémiai ellenállásáról jól ismert teflon. Az orvostudományban már számos területen alkalmazzák, főként implantátumok készítésére, mivel egészségügyileg teljesen

veszélytelen. Kísérleteinkben célul tűztük ki olyan teflon vékonyrétegek előállítását, melyek alkalmasak lehetnek allergén tárgyak emberi testtől való elszigetelésére az allergiás reakciók elkerülése érdekében. A kísérletek során céltárgyként teflonporból préselt tablettákat sugároztunk be ArF excimer lézerrel ($\lambda=193$ nm). Mind az infravörös (FTIR), mind pedig a röntgenfotoelektron-spektroszkópia (XPS) bebizonyította, hogy a céltárgy anyagával megegyező összetételű vékonyrétegeket tudtunk előállítani megfelelő kísérleti paraméterek alkalmazásával. Ezután már lehetővé vált fém (14 karátos arany, ékszerézüst, titán) tárgyak felületének teflon védőréteggel való bevonása. Az elkészült rétegeket utólagos hőkezelésnek vetettük alá. 360 °C-os kezeléssel közel átlátszó réteget sikerült előállítani. Az elektronmikroszkópos vizsgálat kimutatta, hogy a hőkezelt réteg igen tömör (2. ábra). A felülnézeti képen (a) kristályszerű struktúrák láthatóak, míg a keresztmetszeti képen (b) a réteg belső szerkezete figyelhető meg. A vékonyrétegek



2. ábra • 360°C-on utókezelt teflonréteg pásztázó elektronmikroszkópos képei

megbízható és eredményes alkalmazásának szempontjából nézve fontos tényező, hogy mennyire tapadnak a bevont tárgyakhoz. Nyilvánvaló, hogy az a réteg, amelyik könnyen leválik kis erőlk vagy dörzsölés hatására, alkalmatlan védőréteggént. Ezért megmértük a réteg és a hordozó közötti tapadási szilárdságot. Ennek értéke meghaladta az 1-4 MPa-t az utókezelés hőmérsékletének függvényében. Megállapítottuk, hogy az általunk leválasztott teflon vékonyrétegek alkalmasak lehetnek az emberi test és az allergén tárgyak egymástól való elszigetelésére, és ez által az allergiás reakció elkerülésére.

„Fog-vékonyréteg” előállítás a impulzuslézeres vékonyréteg-építéssel

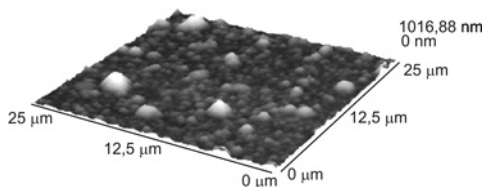
Napjainkban a szájszövetben és ortopédiában sokféle implantátumot alkalmaznak, melyek szervezetbe való beépülésének alapkövetelménye a biokompatibilitás. A csontokba ültetett, terhelésnek kitett implantátumok esetében a rájuk ható nyomás tartós elviselése szempontjából fontos az oszoeintegráció, melynek során az implantátumok felszínén lévő mikropórusokba közvetlenül belenőnek a kötőszöveti sejtek. A fogimplantátumok az esetek bizonyos százalékában kilökődnek a szervezetből, vagyis a csontintegráció nem jön létre. A titán a leggyakrabban alkalmazott implantátumanyag. Biológiai szempontból a legalkalmasabb bevonat egy fogászati implantátum beépülésének elősegítésére maga a fog anyaga lenne. Az implantátum felületének saját fogszövet anyagával történő bevonása járható útnak látszik. Ezért kísérletet tettünk elsősorban a módszer kifejlesztése céljából „fog-vékonyréteg” előállítására PLD-vel (*pulsed laser deposition*, impulzuslézeres leválasztás), humán fogat használva kiinduló anyagként. Céltárgynak foggyökerek megőrlésével előállított porból préselt tablettákat használtunk. Kísérleteinkben kimutattuk, hogy megfelelő energiasűrűség mellett az eredeti

fog anyagáéhoz hasonló kémiai összetételű vékonyrétegeket lehet előállítani. Implantátumok felületére leválasztott vékonyrétegek esetén a mikronméretű szemcsékből adódó érdesség (3. ábra) feltételezhetően nem okozna problémát, éppen ellenkezőleg, elősegíthetné az ebbe a mérettartományba eső sejteknek a felületen való megtapadását. Ennek ellenőrzésére sejtenyészési kísérletek már folyamatban vannak.

Titán mintára növesztett vékonyréteg tapadását ún. ragasztószalagos teszttel vizsgáltuk, melynek során a vékonyrétegre ragasztószalagot simítottunk, majd lerántottuk róla. A ragasztószalag már első próbálkozásra sem távolított el számottevő anyagmennyiséget, a réteg nehezen sérthető volt.

Pepszin vékonyréteg leválasztása

Impulzuslézeres leválasztási technológia alkalmazásával egy emésztő enzimből, pepszinből is sikerült vékonyrétegeket készítenünk. A 0,38 és 5,1 J/cm² közötti energiasűrűségek esetén növesztett rétegek kémiai összetétele hasonló volt a kiinduló anyagéhoz. Azonban az emésztési teszt kimutatta, hogy a kémiai hasonlóság nem feltétlenül jelenti az enzimátikus képesség megőrzését. A katalitikus képességüket a 0,38 és 1,22 J/cm² energiasűrűséggel készített vékonyrétegeink őrizték meg, viszont 2,4 J/cm²-nél (és feltételezhetően ennél magasabb értékeknél) már elveszítették.



3. ábra • Fog-vékonyréteg atomierő-mikroszkópos képe

Biológiai minták kontrollált lézeres átvitele

A lézerindukált előre irányuló átvitel (Laser Induced Forward Transfer – LIFT) egy ún. direktírási eljárás. Egy lézerimpulzus segítségével szétbontanak és átmásolnak egy abszorbeáló vékony filmet egy transzparens hordozóról egy, vele szemben párhuzamosan elhelyezett szubsztrátra. Kísérleteink során kidolgoztunk egy új átmásolási eljárást, amely a LIFT technika módosítása, s kísérleteink szerint lehetővé teszi biológiai objektumok kontrollált átvitelét. A transzparens hordozóra (kvarc lap) felvittünk egy jól abszorbeáló, ezüst vékonyréteget. Ezen szélesztettük szét a biológiai célnyagokat, amelyek *Trichoderma* gomba spórája, illetve különböző típusú élő (sertés epithélium, patkány astroglia és Schwann-) sejtek voltak (4. ábra). Az átvitel ekkor úgy történik, hogy az 50-100 nanométeres ezüstfilm elnyeli és mozgási energiává alakítja a megmunkáló KrF excimer impulzus energiáját, elhagyja a hordozó felületét, s elindul a szubsztrát felé, maga előtt tolván a biológiai objektumokat, amelyeket egyúttal meg is véd az elnyelt energia okozta hő károsító hatásától.

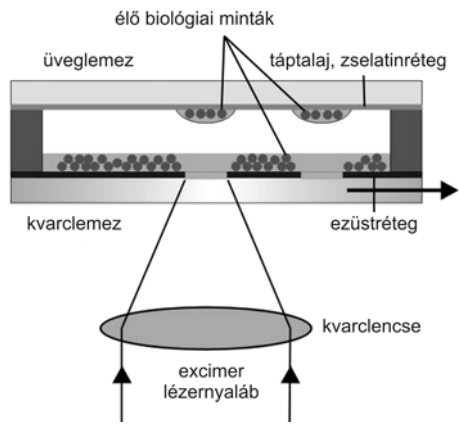
Hűsűrítés inkubációs idő eltelte után jól látható volt, hogy az átjuttatott konídiumok nagyon szépen kicsíráztak, a sejtek pedig néhány nap után szépen fejlődtek, azaz a lézeres átvitel során is életképesek maradtak (5. ábra). Mindez tehát azt mutatja, hogy a módosított eljárás, amelyet *Absorbing Film*

Assisted Laser Induced Forward Transfer (AFA-LIFT)-nek neveztünk el, alkalmas lehet biológiai objektumok nagypontosságú, irányított lézeres átvitelére.

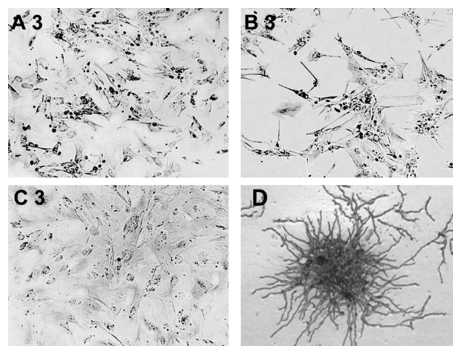
Sejtek megkötése lézerral strukturált felületeken

Lézeres besugárással a céltárgy felületének topográfiája, kémiai és mikromechanikai tulajdonságai is kontrolláltan módosíthatóak. Biológiai objektumok megkötésére alkalmaztunk UV lézeres megvilágítással strukturált polimer felületeket.

Polietilén-tereftalát filmek felületén periodikus struktúrát hoztunk létre ArF excimer lézeres ablációval. Atomerő-mikroszkópos vizsgálataink szerint a lézeres besugárással által generált önszerveződő folyamatok eredményeként néhány mikrométeres periódusú, sokszöges mintázat jelenik meg. A struktúra periódusa a lézerfény beesési szögével hangolható, a 80° alatt megdöntött minták 25 lézerimpulzussal történő besugárása esetében 1,25 µm periódusú, 150 nm modulációs mélységű, párhuzamos polimersávokból álló rácsot kapunk. Ezen lézerkezelt felületekre egészséges és az ún. neurofibromatózis nevű betegségben szenvedő páciensek bőréből mintavételezett sejteket (melanocitákat) helyezve azt



4. ábra • Az alkalmazott elrendezés

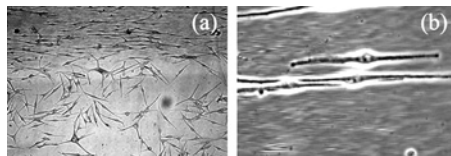


5. ábra • Az átvitt Schwann- (A), astroglia (B) és epithélium (C) sejtek három nap után és a kicsírázott konídiumok húsz óra után (D).

tapasztaltuk, hogy a sejtek morfológiáját és orientációját a felület struktúrája határozza meg. A beteg melanocitáknak a kezeletlen felületen számos *random* módon orientálódott nyúlványuk van (6.a ábra), míg a strukturált felületrészen az egészséges sejtekhez hasonlóan a ráccsal párhuzamosan helyezkednek el és bipoláris alakúak (6.b ábra). Ezen eredményünk bizonyítja, hogy a lézerrel generált mikrométeres struktúrák alkalmazhatóak sejtek alakjának, valamint a morfológiával szoros kapcsolatban levő funkcióinak befolyásolására.

Lézerrel generált szubmikrométeres struktúrák alkalmazása a bioszenzorizációban

A bioszenzorok érzékenységének és specifikusságának tökéletesítésében az egyedi tulajdonságú polimerfelületek alkalmazása új távlatokat nyithat. A felület mikromechanikai tulajdonságainak feltérképezésére is alkalmas atomerő-mikroszkópos módszerrel kimutattuk, hogy a két UV lézernyaláb interferenciájának köszönhetően kialakuló intenzitásmoduláció hatására létrejövő szubmikrométeres felületi struktúrák jelenlété-



6. ábra • (a) Melanociták a lézerrel strukturált felületrész határán, (b) bipoláris morfológia a mikrométeres polimerrácson

ben a felület adhéziója is periodikusan modulált. A fehérjemolekulák a nagyobb adhéziójú völgyekben tapadnak meg, a rács modulációs mélységét csökkentve.

Spektroszkópiai (FTIR, XPS) vizsgálataink szerint a polimer UV lézerfény által okozott fotodegradációja befolyásolja a minta polaritását, a fehérjék helyszelektív megkötődése a periodikus topográfia és a periodikus kémiai és fázisátalakulások együttes eredménye.

Készült az OTKA (T046394, TS049872, D42228), az NKFP (3A/071/2004), az AMFK és a Bolyai János kutatási ösztöndíj támogatásával.

Kulcsszavak: *abláció, átvitel, felületmódosítás, impulzuslézer, vékonyréteg-leválasztás*



FEMTOSZEKUNDUMOS LÉZER- ÉS PARAMETRIKUS OSZCILLÁTOROK FEMTOBIOLÓGIAI ALKALMAZÁSOKHOZ

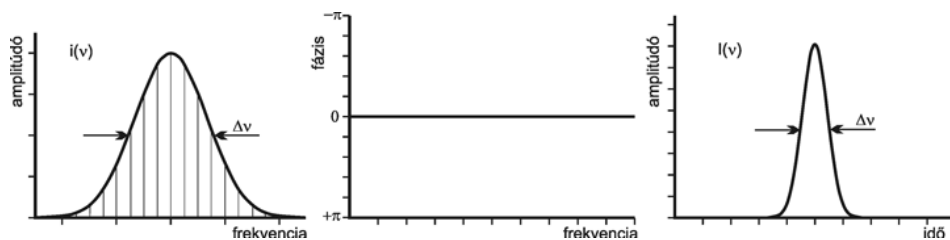
Szipőcs Róbert

tudományos főmunkatárs, MTA Szilárdtestfizikai és Optikai Kutatóintézet –
tudományos főmunkatárs, MTA Kísérleti Orvostudományi Kutatóintézet –
ügyvezető igazgató, R&D Ultrafast Lasers Kft.
szipoecs@sunserv.kfki.hu • r.szipoecs@szipoecs.com

Napjaink lézerfizikai kutatásainak és fejlesztéseinek egyik legdinamikusabban fejlődő területe a femtoszekundumos ($1 \text{ fs} = 10^{-15} \text{ s}$) időtartományban működő lézerek kutatása, fejlesztése és alkalmazása a fizika, a kémia, a biológia, az orvostudomány és az informatika területén. Magyarországon jelentős, több évtizedes hagyománya van e területnek, amit e lézerfizikai cikkgyűjtemény vendégszerkesztőjének, Bor Zsoltnak és munkatársainak munkássága is bizonyít (Szabó et al., 1984; Bor – Rácz, 1985).

A 80-as években a fejlesztések közepontjában a módusszinkronizált, elosztott visszacsatolású festéklézerek álltak, melyek megfelelő sáv szélességet biztosítottak ahhoz, hogy a fényimpulzusok időtartama a femtoszekundumos időtartományba essen

(Szabó et al., 1984). Fontos itt megjegyeznünk, hogy a festékek mint lézeraktív közegek alkalmazására a lézerimpulzusok időbeli és a frekvenciatartománybeli leírása között fennálló Fourier-traszformációs kapcsolat miatt volt szükség. Ez gyakorlatilag két dolgot jelent: az egyik, hogy minél rövidebb egy lézerimpulzus, annál nagyobb a spektrális sáv szélessége, és viszont – amennyiben feltesszük, hogy a különböző frekvenciakomponensek (végtelen szinuszhullámok) a tér egy adott pontjában egy adott időpillanatban azonos fázisban rezegnek (lásd *1. ábra*). Ez a matematika nyelvén fordított arányosságot jelent, vagyis $\Delta\nu\Delta\tau = \text{állandó}$. A másik fontos következmény, hogy a lézerimpulzusok időbeli hossza, gyakran alakja is erősen függ a különböző frekvenciakomponensek relatív



1. ábra • Az ultrarövid fényimpulzusok komplex frekvenciaspektruma (a) és (b) és időbeli alakja (c) között fennálló Fourier-transzformációs kapcsolat szemléltetése: $\Delta\nu\Delta\tau = \text{állandó}$, ha a fázis is állandó

fázisától, az ún. csörptől is. (A „csörp” angol eredetű szó – eredetileg madárcsinipelést jelent –, és az akusztikus, elektromos vagy optikai jel időben változó frekvenciájára utal.)

Az eddigiekből következik, hogy egy femtoszekundumos lézer megépítésekor a megfelelő sávszélességű erősítő közeg megválasztásán kívül még meg kell oldanunk a lézer módusszinkronizálását (vagyis azt, hogy a fényimpulzus frekvenciakomponensei közel azonos fázisban rezegjenek), valamint azt, hogy az így létrejövő lézerimpulzus különböző frekvenciakomponensei a lézert alkotó optikai közegeken (például a lézeraktív közegen) való áthaladásakor időben ne folyjanak szét, vagyis az ún. diszperziókompenzálást. A diszperzió a különböző frekvenciájú fénykomponensek különböző terjedési sebességéből származik: optikai közegekben tipikusan a „piros” komponensek gyorsabban terjednek, mint a „zöld” illetve „kék” komponensek. A diszperziókompenzálásra sokáig közel tökéletes megoldást nyújtottak a Brewster-szögű prizmaközből álló kompresszorok (Bor – Rácz, 1985).

Jelentős technológiai fejlődést hozott a femtoszekundumos lézerek területén a jó termikus tulajdonságokkal és széles erősítési tartománnyal jellemezhető Ti-zafir kristály (Moulton, 1986) felfedezése. E femtoszekundumos szilárdtestlézerek fő előnye egyszerűbb felépítésük és megbízhatóbb működésük volt, talán azzal az egy hátránnyal, hogy működési tartományuk a vörös, illetve a közeli infravörös (IR) hullámhossztartományba esett, míg az erősítő közegként alkalmazott lézerfestékek megfelelő megválasztásával a festéklézerek gyakorlatilag a teljes látható hullámhossztartományt lefedték.

Az ultrarövid impulzusú lézereknek azonban megvan az az előnyük, hogy viszonylag kis átlagteljesítmények (0,1-1 W) mellett is nagy a fényintenzitásuk a lézerimpulzusok időtartama alatt, így a lézermaláb megfelelő

optikai közegekre történő fókuszálásakor különböző nemlineáris hatások lépnek fel, például a másodharmonikus-keltés, optikai parametrikus lekonverzió, önfázis-moduláció, két- és többfoton-abszorpció, csak hogy a dolgozatunk szempontjából legfontosabbakat említsük.

A lézerek módusszinkronizálása szempontjából van még egy fontos nemlineáris hatás, mely nemcsak a lézerimpulzusok spektrumának változásaként (önfázis-moduláció) figyelhető meg, hanem a lézersugár nyalábparamétereiben is jelentkezik: ez az ún. Kerr-nemlinearitás. Ekkor a közeg törésmutatója már jelentősen függ az aktuális fényintenzitástól ($n(I) = n_0 + n_2 I$), és például térbeli intenzitását tekintve Gauss-eloszlású fénynyaláb esetében n_2 előjelétől függően a lézermaláb fókuszálásában vagy defókuszálásában jelentkezik.

1993-ban az MTA SZFKI Optikai Vékonyréteg Laboratóriumának munkatársaként speciális dielektrikum lézertükröket fejlesztettem ki femtoszekundumos lézerrendszerekhez. A fényimpulzusok fázisát korrigáló tükröket mint *csörpölt tükröket* ismeri azóta a szakirodalom (Szipócs et al., 1994). Az első lézerkísérletek óta – melyek osztrák-magyar tudományos együttműködés keretében a Bécsi Műszaki Egyetemen egy csörpölt tükrökkel diszperziókompenzált Ti-zafir lézerrel zajlottak (Stingl et al., 1994) – az új technológia jelentős tudományos fejlődést hozott a femtoszekundumos lézerfizika területén, és – többek között – az addigi *legrövidebb (4,5 fs) fényimpulzus előállításához* vezetett 1997-ben a Groningeni Egyetemen (Hollandia) (Baltuska et al., 1997). Az új találmány – ami a diszperzív lézertükrökre, illetve velük diszperziókompenzált Ti-zafir lézerekre vonatkozik – szabadalmi védettséget is élvez Magyarországon, illetve az USA-ban (Lajstromszám: 214 659, illetve US Pat. No. 5,734, 503; feltalálók: Szipócs Róbert [70 %] és Krausz Ferenc [30 %]), és már több kommerciális lézerrendszerben is alkalmazzák azt.

Az *R&D Lézer-Optika Bt.*-t akkori munkatársaimmal, Kóházi-Kis Ambrussal és Kovács Attilával alapítottuk 1995-ben, hogy tudományos ismereteinket a gyakorlatban is kamatoztassuk: az általunk kifejlesztett fáziskomigáló tükrökre (Stingl et al., 1994) és az azokat minősítő eljárásokra (Kovács et al., 1995) több kiemelt tudományos kutatóhelytől, iparvállalattól érkezett igény, amit ebben a formában lehetett (és kellett) kielégíteni. 1997-ben az R&D Lézer-Optika Bt. a KFKI telephelyén megalapította az *R&D Ultrafast Lasers Kft.*-t abból a célból, hogy tevékenységét a femtoszekundumos lézerezőscillátorok kutatásának-fejlesztésének és gyártásának területére is kiterjessze.

A korábbi megoldásokkal (kisdiszperziójú, negyedhullámú rétegekből álló dielektrikumtükrökkel) szemben a csörpölt tükrök nagy előnye, hogy szélesebb frekvenciatartományon biztosítanak nagy visszaverőképességet, továbbá diszperziós tulajdonságaik is tervezhetőek a rétegvastagságok megfelelő megválasztásával. Ennek következtében a csörpölt tükrök segítségével a korábbiaknál lényegesen rövidebb fényimpulzusokat előállító rendszerek tervezhetőek. Ilyen például az R&D Ultrafast Laser Kft. által is gyártott, 10 fs-nál rövidebb fényimpulzusokat előállító, Kerr-lencsével módusszinkronizált *FemtoRose 10 MDC Ti-zafir lézer* (2. és 3. ábra). Ezek a rendkívül rövid lézerimpulzusok már közel 100 nm-es spektrális felértékszélességűek, és előnyösen alkalmazhatóak például a széles-



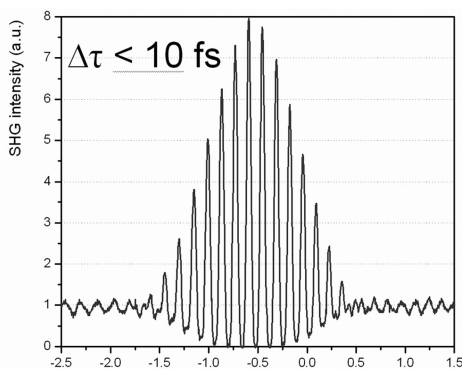
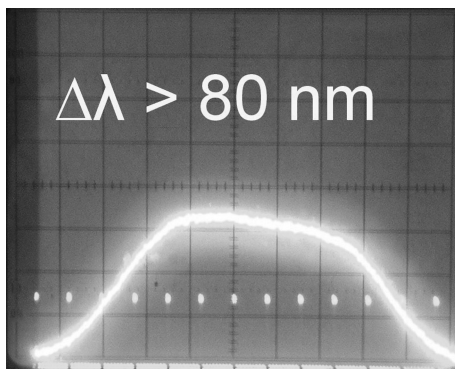
2. ábra • Az R&D Ultrafast Lasers Kft. FemtoRose 10 MCD csörpölt tükrökkel kompenzált, Kerr-lencsével módusszinkronizált Ti-zafir lézere

sávú, ultrarövid impulzusú *erősítő rendszerek* meghajtó oszcillátoraként, vagy *3D biológiai képpalkotó eljárások*, például az *optikai koherencia tomográfia (OCT)* fényforrásaként.

A mindennapi orvosi diagnosztika, a gyógyítás ma már szinte elképzelhetetlen a korszerű háromdimenziós (3D) képpalkotó eljárások alkalmazása nélkül, gondoljunk például a számítógépes röntgentomográfiára (CT), vagy akár a korszerű ultrahangos vizsgálatokra. A lézereket és a különböző optikai képpalkotási módszereket, például a fent említett optikai koherens tomográfiát (OCT) – a fény hullámhosszából és az orvosi, biológiai minták elnyelési tulajdonságaiból adódóan – elsősorban közvetlen felületi vizsgálatokra (például bőr, retina), testüregek endoszkópos vizsgálatára (például nyelőcső, gyomor, belek és erek) vagy különböző szövetmetszetek vizsgálatára használhatjuk. Rendkívül jelentősek azok a különböző mikroszkópiai módszerek, melyek a fény hullámhosszának nagyságrendjébe eső felbontással adnak képet a vizsgált biológiai objektumokról.

A korábban említettekén túl a femtoszekundumos lézerek fontos további alkalmazása a *2-foton abszorpciós fluoreszcencia mikroszkópia* (Denk et al., 1990), amelynek segítségével szubmikronos felbontású 3D képeket lehet készíteni – többek között – élő biológiai szövetekről (például az agyban lévő idegsejtek hálózatáról). Jelenleg az MTA Kísérleti Orvostudományi Kutató Intézetben munkatársaimmal közösen egy nagy felbontású, pásztázó kétfotonmikroszkóp továbbfejlesztésén dolgozunk (Rózsa et al., 2005). Az általunk vizsgált kétfoton-mikroszkópiában az egyes fényimpulzusok nagy intenzitásával együtt járó nemlineáris hatást, az alkalmazott indikátorfestékekben kétfoton-abszorpció révén létrejövő fluoreszcencia-jelét használjuk a mikron alatti térbeli felbontású 3D képek előállítására.

Az R&D Ultrafast Lasers Kft. *FemtoRose 100 TUN* Ti-zafir lézerét olyan alkalmazásokhoz fejlesztettük ki, ahol hangolható, 80-150



3. ábra • A 2. ábrán látható lézer tipikus mért spektruma (a) és másodrendű interferometrikus autokorrelációs függvénye (b)

fs-os lézerimpulzusokra van szükség, mint például a kétfoton-mikroszkópiában, ahol az egyes festékek kétfotonos, specifikus gerjesztéséhez szükséges a lézer működési hullámhosszának megfelelő beállítása. Ebben az elrendezésben a kb. 25 mm hosszú lézerkristály anyagi diszperzióját egy nagy diszperziójú SF10-es prizmapárral kompenzáljuk. A lézer hangolásához egyelemű kettőtörő szűrőt használunk, amellyel a lézer fs-os impulzusai a tipikusan a 720–920 nm-es hullámhossztartományban hangolhatóak; e tartományban a legtöbb indikátorfesték kétfotonosan gerjeszthető. Magyarországon többek között *FemtoRose 100TUN* típusú lézeroszillátor biztosítja a hangolható femtoszekundumos fényimpulzusokat az MTA SZFKI Lézerfizikai és Lézerspektroszkópia Laboratóriumában femtokémiai és nemlineáris optikai, az MTA KOKI Gyógyszerkutatási Osztályán kétfoton-mikroszkópiái alkalmazásokhoz, valamint az MTA Szegedi Biológiai Kutatóközpont Biofizika Intézetében femtoszekundumos pumpa-próba mérésekhez és Pécsi Tudományegyetem Általános Orvosi Kar Biofizikai Intézetében fluoreszcencia élettartam-mérésekhez. Mint a felsorolásból kitűnik, a lézer a kétfoton-mikroszkópiái alkalmazások mellett jól alkalmazható *időfelbontásos lézerspektroszkópiái vizsgálatokhoz* is.

A hangolható, femtoszekundumos lézerek segítségével nagyon gyors, a fs-os időskálán lejártsódó fizikai, kémiai vagy biológiai

folyamatokat vizsgálhatunk lézerspektroszkópiái módszerekkel. A téma jelentőségét jelzi, hogy 1999-ben a kémiai Nobel-díjat Ahmed H. Zewail kapta a *femtokémia* területén végzett munkásságáért. Ő olyan, ún. pumpa-próba mérési eljárást fejlesztett ki, mellyel a femtoszekundumos időskálán követhető a kémiai, biológiai reakciók időbeli lefolyása.

Az eltelt néhány évben mi is hasonló pumpa-próba mérőrendszer fejlesztésén dolgoztunk, melyben gerjesztő (pumpa) jelként fs-os Ti-zafir lézerünk (UV vagy kék) másodharmonikus impulzusait használjuk, míg próbaimpulzusként az infravörös tartományban működő, hangolható femtoszekundumos optikai parametrikus oszcillátorok (IR fs OPO) – zöld, sárga vagy piros – másodharmonikus impulzusait használjuk. Ezek az IR OPO-k az ún. kvázi-fázisillesztéses technikán alapulnak, és például az MTA SZFKI, a PTE és az R&D Ultrafast Lasers Kft. által közösen fejlesztett PPLN (periodically poled lithium niobate) frekvenciakonvertáló eszközöket tartalmaznak nemlineáris elemként (Pálfalvi et al., 2004). A PPLN minták előnyös tulajdonsága, hogy az IR OPO működési hullámhossza a PPLN minták periódusának megfelelő beállításával (kvázi-fázisillesztés) megválasztható, míg a korábban alkalmazott KTP kristály esetén (Hebling et al., 1995) ez csaka pumpáló

lézer hullámhosszának megváltoztatásával volt lehetséges. APPLN-t tartalmazó IROPO-ktovábbi előnyös tulajdonsága nagyobb konverziós hatásfokuk is.

Tapasztalatom szerint a femtoszekundumos lézereken alapuló mérési technikák elterjedésének két fő gyakorlati korlátja van: az egyik a femtoszekundumos lézerek jelenleg még viszonylag magas ára; a másik, hogy az említett rendszerek kezelése viszonylag bonyolult, többnyire lézerfizikus alapismeretek meglétét feltételezi. Ezért az utóbbi időben jelentős erőfeszítéseket teszünk fs-os lézerrendszereink árának jelentős csökkentése és a rendszerek kompakttá tétele érdekében (Császárról et al., 2005). Ehhez a munkánkhoz reményeink szerint megfelelő anyagi háttérrel biztosít majd 2006-tól a kutatási konzorciumunk által a napokban elnyert *Femtobiológia* című, NKFP1-00007/2005

számú pályázatunk. Befejezésül a teljesség igénye nélkül megemlítem azokat a kollégákat, akik a fent hivatkozott lézer-, illetve mikroszkóprendszer fejlesztésében az utóbbi években részt vettek: *Császár Balázs, Katona Gergely, Kőházi-Kis Ambrus, Lukács András, Szipőcs Ferenc (mind R&D Ultrafast Lasers Kft.), Bogár István (Optometal Kft.), Groma Géza, Makai András (MTA SZBK), Hebling János (Pécsi Tudományegyetem TTK), Fekete Júlia, Bányász Ákos (MTA SZFKI), Rózsa Balázs és Vizi E. Szilveszter (MTA KOK).*

Kulcsszavak: *femtoszekundumos lézerek, femtoszekundumos pumpa-próba mérések, fáziskorrigáló dielektrikum tükrök, optikai parametrikus oszcillátorok, pásztázó két-foton-abszorpciós fluoreszcencia-mikroszkópia*

IRODALOM

- Baltuska, A. – Wie, Z. – Pshenichnikov, M.S. – Wiersma, D. A. – Szipőcs R. (1997): *Applied Physics*. **65**, 175–188.
- Bor Zs. – Rácz B. (1985): *Optics Communication*. **54**, 165–170.
- Császár B. – Kőházi-Kis A. – Szipőcs R. (2005): in *Advanced Solid State Photonics Conference*, Vienna, Austria, 6-9 February 2005, Paper WB17 (ISBN 1-55752-781-4)
- Denk, W. – Strickler, J.H. – Webb, W.W. (1990): *Science*. **248**, 73–76.
- Hebling, J. – Mayer, J. – Kuhl, J. – Szipőcs R. (1995): *Optics Letters*. **20**, 919–921.
- Kovács A. P. – Osvay K. – Bor Z. – Szipőcs R. (1995): *Optics Letters*. **20**, 788–790.
- Moulton, P. F. (1986): *Journal of the Optical Society of America*. **B3** 125.
- Pálfalvi L. – Hebling J. – Almási G. – Péter Á. – Polgár K. – Lengyel K. – Szipőcs R. (2004): *Journal of Applied Physics*. **95**, 902–908.
- Rózsa B. – Vizi E. Sz. – Katona G. – Lukács A. – Várallyay Z. – Ságghy A. – Valenta L. – Maák P. – Fekete J. – Bányász Á. – Szipőcs R. (2005): in *Advanced Solid State Photonics 2005*, Craig Denman (ed.): *Trends in Optics and Photonics Series (TOPS)*, Vol. **98**, Optical Society of America
- Stingl, A. – Spielmann, Ch. – Krausz F. – Szipőcs R. (1994): *Optics Letters*. **19**, 204–206.
- Szabó G. – Rácz B. – Müller A. – Nikolaus B. – Bor Zs. (1984): *Applied Physics*. **B34**, 145–147.
- Szipőcs R. – Ferencz K. – Spielmann Ch. – Krausz F. (1994): *Optics Letters*. **19**, 201–203.



FEMTOSZEKUNDUMOS LÉZERIMPULZUSOK A BIOFIZIKÁBAN

Groma Géza

tudományos főmunkatárs,
MTA Szegedi Biológiai Központ, Biofizikai Intézet, Szeged

Ormos Pál

az MTA rendes tagja, igazgató,
MTA Szegedi Biológiai Központ, Biofizikai Intézet, Szeged
pormos@szbk.u-szeged.hu

Az MTA Szegedi Biológiai Központ Biofizikai Intézetében széles körben, nagyon eltérő kutatásokban használjuk a lézereket. Példaként bemutatjuk az ultrarövid lézerimpulzusok alkalmazásának két területét. A témák igen különbözőek, de természetesen egyaránt a rövid impulzusok speciális tulajdonságaira épülnek. Az egyikben a rövid impulzusokra támaszkodva nagy időfeloldással követünk nagyon gyors biológiai reakciókat, a másikban az impulzusokat mikroszkopikus struktúrák építésére, optikai manipulációra használjuk.

Femtobiológia

A femtobiológia elnevezés – amely a femtoszekundumos időskálán lezajló biológiai jelenségekkel foglalkozó tudományágra utal – látszólag értelmetlen fogalmat takar. A biológiai jelenségek mögötti kémiai reakciók jellegzetesen ms-nál, de legalábbis μ s-nál hosszabb időállandójúak. Az ellentmondás oka az, hogy a kinetikai állandók statisztikai paraméterek, azzal kapcsolatosak, hogy a kiindulási anyagot a terméktől elválasztó potenciálgáton az időegység alatt a molekulák mekkora hányada képes átjutni. Merőben más kérdés, hogy az akadályt éppen sikeresen „megmászó” egyedi molekula mennyi idő alatt jut át a potenciálgáton. (Világcsúcs körüli magasságokat néhány hónapos időközönként ugranak,

a sikeres ugrás folyamata ugyanakkor rövidebb egy másodpercnél.) A kémiai kötések felszakadása, átrendeződése, új kialakulása a fs időskálán zajlik le. Ebben az értelemben minden kémiai jelenség femtokémia, minden biológiai folyamat femtobiológia. A fs-os tartományban figyelhetők meg továbbá valószínűleg a molekuláris vibrációk és rotációk, melyekről hagyományos (infravörös, Raman-) spektroszkópiával csak részleges (fázis nélküli) információt nyerhetünk.

Előbbiek alapján kívánatosnak tűnne, hogy minden biokémiai reakciót részletekbe menően megvizsgáljunk a fs-os időskálán. Ezzel például az enzimreakciók mechanizmusának gazdag birodalmába nyerhetnénk betekintést, s a jövőbeli kutatások feltehetőleg egyre inkább ebbe az irányba tolnak el. A jelenlegi mérés technikai korlátok miatt azonban általában csak molekulák nagy sokaságán létrejövő folyamatokat tudunk detektálni. Ha fs-os jelenségeket akarunk tanulmányozni, a sokaságot fs-os pontossággal szinkronizálnunk kell. Erre jelenleg egyetlen módszer kínálkozik: az ultragyors lézerimpulzussal való szinkronizálás. A kísérletileg elérhető femtobiológia tehát leszűkül a fényvel indítható reakciók tartományára.

Mivel egyetlen fotodetektor sem képes femtoszekundumos időfelbontással működni,

valamennyi fős-os mérés technika az úgynevezett pumpa-próba módszeren alapszik. Ennek lényege, hogy a fénysebesség állandóságát kihasználva az időmérést távolságmérésre vezetjük vissza. A fentieknek megfelelően a pumpáló lézermimpulzussal molekulák nagy sokaságán szinkronizáltan elindítjuk a tanulmányozni kívánt reakciót. A pumpával szinkronban (optikai nyelven koherensen), de valamelyes késleltetéssel elindítunk egy másik, próbaimpulzust. A fotoreakció termékének abszorpciós spektruma általában különbözik a kiindulási anyagétól, tehát a próbaimpulzus hullámhosszának alkalmas megválasztásával a mintán áthaladt próba intenzitásának megméréseiből megállapíthatjuk az adott késleltetési pillanathoz tartozó termék koncentrációt. Ezután egy tükör pozíciójának megváltoztatásával pontról pontra változtatva a késleltetést és megismételve a mérést megkapjuk a reakció kinetikáját. Az eljárásnak számtalan válfaja létezik, hiszen az egyszerű abszorpció helyett bármilyen (lineáris vagy nemlineáris) optikai paramétert mérhetünk.

Az SZBK Biofizikai Intézetében évtizedek óta vizsgáljuk a bakteriorodopszin működését. Ez a fehérje a fényenergiát használja oly módon, hogy protonokat pumpál át a sejtmembránon, ezáltal elektrokémiai potenciált hoz létre. Intézetünk egyik legjelentősebb eredménye a protonmozgás direkt elektromos méréssel való detektálása a ps-tól a s-ig terjedő széles időskálán. Az alapvető kérdés azonban nyitva maradt: hogyan alakul át a fényenergia elektromos energiává, mi a kezdeti töltésszeparáció mechanizmusa. Ez a kérdés már a femtobiológia birodalmába tartozik, és megoldása merőben új elméleti és kísérleti megközelítést igényelt.

A Stark-effektuson alapuló mérésekből a 70-es évek közepén kiderült, hogy miközben a bakteriorodopszin retinál kromofórja az alapállapotból a gerjesztett állapotba jut, annak mobilis π elektronszerkezete hatalmas töltésátrendeződésen megy keresztül: a két

állapot közötti dipólmomentum különbsége 12 Debye. Néhány kutató felvetette, hogy ez a jelenség kapcsolatos lehet az energiaátalakítási funkcióval, de az elképzelés később háttérbe szorult. Ugyanakkor az eltelt 30 év során egy nagyon izgalmas kérdés az irodalomban fel sem merült: ha a gerjesztés során változik a dipólmomentum, akkor a retinának a klasszikus elektrodinamika szerint sugározni kell! Nyilvánvaló volt, hogy az elektromos mérésekhez használt makroszkopikusan orientált membránokat tartalmazó mintákon ez a sugárzás kísérletileg is detektálható. Kevésbé nyilvánvaló azonban, hogy optikai értelemben ez a sugárzás hova sorolható, hiszen intuitíve meglehetősen szokatlan tulajdonságai várhatók. A gerjesztés során a dipólmomentum változása azonnali (Frank-Condon-) folyamat, tehát miközben a retinál abszorbeál, egyúttal emittál is. A dipólmomentum a gerjesztett állapotbeli populációval tűnik el, a sugárzás tehát aperiodikus, nem tartalmaz vivőfrekvenciát. A jelenség nyilvánvalóan rezonáns és csak orientált (nem centrálisan szimmetrikus) mintán léphet föl.

A fenti tulajdonságokból következik, hogy a várható sugárzás nem elsőrendű optikai folyamat, és a szimmetriából adódóan csak páros rendű lehet. A közelmúltban általunk kidolgozott kvantumelektrodinamikai levezetés szerint a jelenség az optikai egyenirányítás rezonáns esetével azonos. Az optikai egyenirányítás a frekvenciakétszerezéssel ellentétes (down-conversion) másodrendű folyamat, melynek során az anyagban zérus frekvenciájú (azaz vivőfrekvencia nélküli) polarizáció keletkezik. Nem rezonáns esetben – amely jól ismert és újabban kiterjedten használatos THz-es sugárzások keltésére – a polarizáció a gerjesztő impulzus burkológörbét követi. Ennek megfelelően a sugárzási tér a burkológörbe (a gerjesztési geometriától függően első vagy második) deriváltjával arányos. Számításaink szerint az irodalomban eddig nem vizsgált rezonáns esetben a helyzet merőben más, a fent leírt intuitív képnek megfelelően a polarizáció követi a gerjesztett állapot populációját. A

klasszikus és a kvantumelektrodinamikai számítás csak csekély eltérést mutat.

A jelenség kísérleti kimutatása a Palaiseau-i (Fr) École Polytechnique intézettel való együttműködés során vált lehetővé. Ebben az intézetben működik a világ jelenleg egyetlen koherens infravörös emissziós készüléke. A mérőkészülékben egy félvezető anyagon keltezt nemrezonáns optikai egyenirányításból származó sugárzást interferáltatunk a mintából eredő sugárzással. Az interferogramot pumpapróba módszerrel detektálva kiszámítható a minta sugárzási térerőssége <10 fs időfelbontással. E méréstechnikával elsőként mutattuk ki biológiai objektumon az optikai egyenirányítás jelenségét, melyet fenti elmélet alapján az energiaátalakítási mechanizmus funkcionális motorjának gondolunk. Detektáltunk egy legalább 9 módusból álló koherens vibrációs jelenségkört is $700\text{--}1500\text{ cm}^{-1}$ tartományban, mely feltehetőleg részben szintén funkcionális jelentőségű későbbi protonpumpálási folyamatokban.

Az elmúlt évben az SZBK Biofizikai Intézetében Magyarországon először létrehozunk egy femtobiológiai laboratóriumot. A jelenleg is fejlesztés alatt álló labor egy 100 fs időfelbontású, Ti-zafir lézerrel pumpált közeli infravörös OPO-t és frekvenciakettőzőket tartalmazó abszorpciókinetikai pumpapróba készüléken alapul. Ajövőben az eszközt fluoreszcencia *up*- és *down-conversion* mérőrésszel is bővíteni tervezzük; országos szolgáltató laboratóriumként kívánjuk működtetni.

Mikromanipuláció és struktúraépítés fényvel

A lézerek egyre szélesebb körű biológiai alkalmazása az optikai mikromanipuláció. Mikrométer nagyságú testek esetében a fény nyomása nem elhanyagolható: vízben úszó sejt méretű testek manapság könnyen előállítható fényvel (például 10 mW intenzitású fókuszált lézerfényvel) mozgathatóak, megragadhatóak. Intézetünkben e módszert alkalmazzuk, illetve a használat tartományát terjesztjük ki a lézerfényvel előállított speciá-

lis alakú testek létrehozásával, amelyekkel újfajta manipulációs eljárások valósíthatók meg. A fotopolimerizációs eljárásban fényre keményedő anyagokból építünk struktúrákat. Lézerfényt fókuszálva az anyagba az a fókuszban megkeményedik, és a fókuszpont mozgatásával bonyolult alakzatok rajzolhatók. Ebben az eljárásban igen jól alkalmazhatók az ultrarövid impulzusok.

A Ti-zafir lézer módusszinkronizált üzemmódjában nagyon rövid, 100 fs körüli időtartamú impulzusok sorozatával sugároz. Még ha a lézer átlagos teljesítménye nem is nagy – mondjuk 1W –, az impulzusokban igen nagy a teljesítmény. Ezzel kétfotonos gerjesztés valósítható meg: ha egy anyagot gerjesztő fotonok elegendően gyorsan követik egymást, két foton energiája összeadódhat, és kétszeres energiájú átmenetet gerjeszthet. E kétfotonos gerjesztésnek, nemlineáris folyamat lévén, különleges tulajdonságai vannak, amelyek számos optikai eljárásban előnyösen kihasználhatóak, pl. mivel a gerjesztés az intenzitás négyzetével arányos, fókuszált sugár esetében a gerjesztés igen kis térrészre korlátozható. Így azután a fotopolimerizációs folyamatban a térbeli feloldás megnövelhető. Néhány száz nm térbeli feloldás is elérhető ezzel az eljárással, tehát tetszőleges bonyolultságú, elvileg tetszőleges nagyságú háromdimenziós alakzatok építhetők szubmikrométeres feloldással.

Az optikai mikromanipuláció alapjelenségében fókuszált lézerfény ragad meg a környezeténél nagyobb törésmutatójú, általában gömb alakú testet. Ha azonban a test alakja nem gömb, további szabadsági fokok is befolyásolhatók. Például ha a test lapos, és az optikai csapdát lineárisan poláros fény alkotja, a test orientálódni is fog, mégpedig a lapos oldala lesz párhuzamos a fény polarizációs síkjával. Ilyen testeket elő tudunk állítani kétfotonos fotopolimerizációval. E testtel forgatónyomatékot fejthetünk ki, ill. mérhetünk: megtudunk vele csavarni egyetlen DNS-molekulát, illetve torziós mechanikai para-

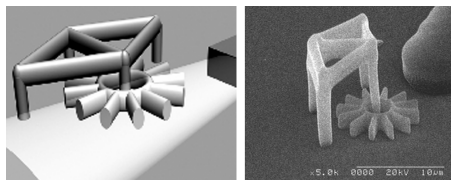
méreteit is meg tudjuk határozni – mivel a DNS helix alakú molekula, és a genetikai kód olvasása a molekula csavarodásával együtt járó folyamatokban zajlik, e tulajdonságok ismerete fontos a mechanizmusok megértéséhez.

A fotopolimerizációval előállítható mikron méretű, propeller alakú test is: ez az optikai csapdában megragadva forogni kezd. Ilyen rotorok is használhatók biológiai objektumok forgatására, csavarására. Használhatók ugyanakkor mikroszkopikus gépek hajtására is.

A fotopolimerizációs eljárással tehát mindenféle, szinte tetszőlegesen bonyolult alakú mikroszkopikus struktúra előállítható. Fontos körülmény, hogy a modern biológiai, biotechnológiai kutatásokban nagy szerepet szánunk a mikrofluidikai berendezéseknek. Ilyen mikronnyi karakterisztikus méretű biokémiai laboratóriumokban terveznek megvalósítani összetett vizsgálati, preparációs eljárásokat. E berendezések legfontosabb tulajdonsága a kicsisége, ezért ezekben nagyszámú vizsgálatot lehet gyorsan elvégezni kis mennyiségű anyagokon. E tulajdonságok a genomika információadatában kulcsfontosságúak. Ezért azután e „chiplaboratóriumok” fejlesztése igen nagy energiák befektetésével zajlik. Többféle technológia alkalmazását próbálják. A kutatás-fejlesztés még a kezdeteknél tart, nincs még domináns koncepció. Mi úgy gondoljuk, hogy a fotopolimerizációs struktúra-építés ígéretes út, szerintünk a kétfotonos fotopolimerizáció a feladatok zömét ellátja.

Láttuk, fotopolimerizációval létrehozhatunk propellereket, amelyeket aztán fényvel hajtani is tudunk. Az eljárás alkalmas a mikrofluidikai csatornák, edények létrehozására is. Síküveghordozóra fel tudunk építeni bonyolult csatormarendszereket, együtt mozgó alkatrészekkel.

A vizsgálandó testeket fényvel azonosítjuk (abszorpciójukat, fluoreszcenciájukat mérjük),



1. ábra • Kétfotonos gerjesztésű fotopolimerizációval készült integrált optikai motor. a.) sematikus rajz; b.) mikroszkópos kép

és mint látjuk, akár mozgatjuk is. A gyakorlatban jól használható berendezéseknek minél függetlenebbül kellene működniük a komplikált mikroszkópos berendezésektől. A rotoroknak, motoroknak az optikai csapdáktól is függetleneknek kellene lenniük. A berendezéseknek ezért lényeges alkotórészei a fényvezetők: ezek a mérő fényt vezetik, ill. a mechanikai komponensek hajtásához szükséges fényt is a rendszerhez integrált fényvezetővel célszerű továbbítani. A fotopolimerizációs eljárással ez is megoldható: tetszőleges keresztmetszetű, optimalizált optikai tulajdonságú fényvezetőt készíthetünk eljárásunkkal, a többi alkatrésszel együtt. Az elv illusztrálására bemutatunk egy integrált optikai motort, amely üveglapra készült. A rotort tartó állórész, a rotor és a fényt a rotorhoz juttató fényvezető mind fotopolimerizációval készült. Az ábrán a motor sematikus rajza, ill. az elkészült gép mikroszkópos képe látható. A motor működtetéséhez elegendő fényvezető szálon hozzá vezetni a fényt. Reméljük, bemutatott példáink jól illusztrálják, hogy a fotopolimerizációs eljárással bonyolult mikrofluidikai berendezések legfontosabb komponensei előállíthatóak, ráadásul integrált egységben, mind az előállítás, mind a működést tekintve.

Kulcsszavak: *femtobiológia, fotopolimerizáció, kétfotonos abszorpció, optomechanika, pumpa-próba technika*

IRODALOM:

Galajda P. – Ormos P. (2001): Applied Physics Letters. **78**, 249–251.

Galajda P. – Ormos P. (2003): Optics Express. **11**, 446–451.

HIDEG ATOMOK

Sörlei Zsuzsa

a fizikai tudomány kandidátusa
sorlei@rmki.kfki.hu

Bakos József

a fizikai tudomány doktora

Demeter Gábor

PhD

Djotyan Gagik

a fizikai tudomány doktora

Ignácz Péter

a fizikai tudomány kandidátusa

Kedves Miklós

PhD

Szigeti János

a fizikai tudomány doktora

Tóth Zoltán

doktorandusz

MTA KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet

Bevezetés

A gáz halmazállapotú anyagban az atomok, molekulák, a gázt alkotó részecskék állandó mozgásban vannak. A környezetével egyensúlyban lévő gáz hőmérséklete jól meghatározott termodinamikai paraméter; egy adott hőmérséklethez a részecskék adott sebességeloszlása tartozik. Minél gyorsabban mozognak a részecskék, annál melegebb a gáz. Egy ilyen rendszert különböző, hagyományos technikai módszerekkel mK nagyságrendű hőmérsékletig lehet lehűteni, mint azt az *1. ábrán* szemléltetjük. A lézerek segítségével azonban ennél több nagyságrenddel alacsonyabb hőmérsékletet is el lehet érni, az atomokat fény segítségével csaknem teljesen meg lehet állítani, csapdába fogni, meghatározott irányú és sebességű mozgásra kényszeríteni.

A lézeres hűtéssel előállított hőmérséklet fogalmát meg kell különböztetnünk a termodinamikában szokásostól. Ebben az esetben ugyanis nem beszélhetünk a környezetével termikus egyensúlyban lévő, zárt rendszer-ről, hiszen nincs hőcsere a környezettel. Ennek ellenére definiálhatunk egy hőmér-

sékletet, amely az atomok átlagos kinetikus energiájával arányos.

Már nagyon rég felmerült az a gondolat, hogy a fény mechanikai hatást fejthet ki az anyagra. Tudományosan 1873-ban Maxwell fogalmazta meg először, hogy az elektromágneses térhez mechanikai nyomás rendelhető. A termikus fényforrásokból vagy akár a Napból származó fénynyomás nagyon kicsi, ennek ellenére a 20. század első éveiben sikerült kísérletileg is kimutatni. A legjelentősebb lépés ahhoz, hogy a fény mechanikai hatását megértsük, a fénykvantum bevezetése volt. Einstein 1917-ben határozta meg a foton által képviselt energiát és mechanikai impulzust. A fénynyomás a lézerek felfedezésével vált a gyakorlatban is jelentőssé. A festéklézerek elterjedése a 70-es években lehetővé tette atomi átmenetekkel rezonáns, intenzív fényelőállítását. Később a félvezető lézerek és a titán-zafir lézer bizonyultak még hasznosnak az alkáli fémek hűtésére, csapdázására.

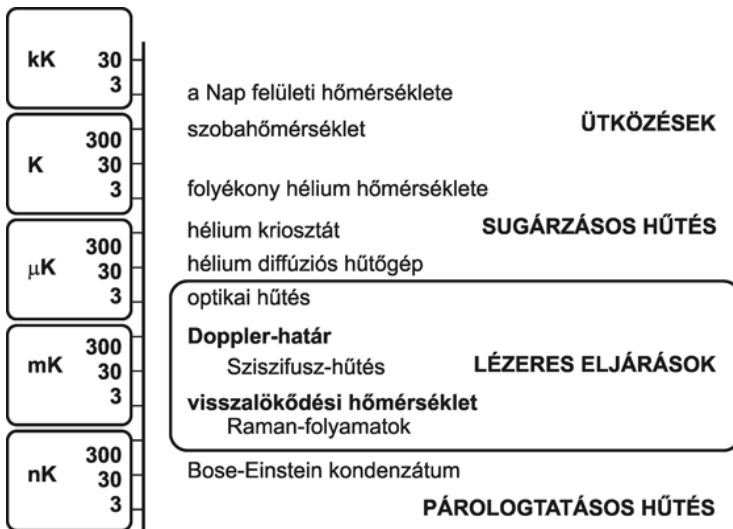
Ha egy atom abszorbeál egy fotont, gerjesztett állapotba kerül, megváltozik a belső energiája. A fotonhoz tartozó mechanikai impulzus az atom belső állapotát nem tudja be-

folyásolni, hanem a mozgásállapotát változtatja meg, gyorsítja vagy lassítja, a megvilágító fény terjedési irányába löki meg az atomot. A gerjesztett állapotból az atom spontán emisszióval vagy indukált emisszióval kerülhet vissza alapállapotba. A spontán emisszióknak nincs kitüntetett iránya, ezért a hozzárendelt impulzusváltozás térben kiátlagolódik, tehát sok abszorpció-emisszió ciklus lezajlása után az atom eredeti impulzusa az abszorpcióval járó kitüntetett irányú lökés miatt változik meg. Az egy ütközésben átadott impulzus kicsi az atom impulzusához képest, de rezonáns fény esetében nagy az abszorpció valószínűsége, a folyamat nagyon gyakran ismétlődhet. Megfelelően megválasztott kísérleti körülményekkel jelentősen csökkenthetjük az atomok sebességszórását, lelassíthatjuk, azaz „lehűthetjük” őket. Ha a gerjesztett állapotból indukált emisszióval kerülnek vissza a részecskék alapállapotba, csak különleges esetekben következik be eredő impulzusátadás, mert ilyenkor a kibocsátott fotonnak is meghatározott iránya van, tehát nem átlagolódik ki sok lebomlás együttes hatása, ám ez a folyamat sokkal gyorsabban következhet be, mint a spontán emisszió.

Atomsugár lassítása és hűtése

Az atomok lézeres hűtésével kapcsolatos legegyszerűbb eset az atomsugárban mozgó atomok lassítása és sebességszórásának csökkentése. A termikus forrásból kilépő atomok több száz métert mozdulnak el másodpercenként. A nyaláb haladási irányával szemben lézersugárral megvilágítjuk az atomokat. A lézernyalábbal szemben mozgó atom rezonanciafrekvenciája a Doppler-effektus miatt eltolódik az álló atoméhoz képest (gondoljunk a gyorsan mozgó mentőautó szirénájának a hangjára), ezért a megvilágítást olyan frekvenciájú fénnel végezzük, hogy az atom a Doppler-eltolás miatt éppen rezonanciába kerüljön a fénnel. Ilyenkor az atomra minden abszorpciókor fékezőerő hat. Egy ilyen foton-atom ütközésben az atom lassulása csak néhány cm/s, de akár százmillió ütközés is történhet másodpercenként, így az atomok nagyon gyorsan le tudnak fékeződni.

Ahhoz, hogy az atomok lassulása folyamatos legyen, a fény frekvenciájának követnie kell az atomok egyre kisebb Doppler-eltolódását. Ezt megvalósíthatjuk vagy a



1. ábra • Hőmérsékleti skála

megvilágító lézer frekvenciájának hangolásával, vagy az atom rezonanciafrekvenciájának megváltoztatásával egy külső, változó erősségű mágneses tér segítségével. Ezzel a módszerrel sikerült először nátriumatomnyalábot lassítani festéklézerrel (Prodan et al., 1982). A kísérletekben az alkáli atomokat és a metastabil héliumot használják a leggyakrabban. Ezeknek a rezonanciavonala jól egyezik például nátrium esetében a rodamin festéklézer frekvenciájával, a rubídium vagy a cézium esetében a félvezető lézerekével.

Laboratóriumunkban rubídiumnyaláb atomjait hangolható félvezető lézerrel lassítottuk. Az atomok longitudinális hűtését az atomnyalábbal szemben terjedő, változtatott frekvenciájú, néhány mW teljesítményű diódalézer sugarával valósítottuk meg.

Optikai melasz, csapda

A fenti kísérletet elvégezhetjük három dimenzióban is. Ha olyan atomfelhőt szeretnénk előállítani, amelyben az atomok csaknem állnak, három merőleges koordináta mentén, páronként szembe haladó lézersugárral kell megvilágítani a termikus atomokat tartalmazó térfogatot. Így ha egy atom bármelyik irányba mozog, sebességkomponensei párhuzamosak lesznek valamelyik lézernyalábbal. Az első javaslatot ilyen hűtésre Theodor W. Hänsch, a 2005. évi és Arthur L. Schawlow, az 1981. évi fizikai Nobel-díj kitüntetettje (1975) tette. A fény az atom rezonanciaátmeneténél kissé alacsonyabb frekvenciájú kell hogy legyen, így az atom a vele szemben haladó fénynyalábból abszorbeál, és ennek hatására veszít a sebességéből. A vele egy irányban haladó nyalábot, amelyik gyorsítaná, a Doppler-eltolódás miatt nem érzékel rezonánssnak, ezért nem lép vele kölcsönhatásba. Az atomokra ható erő a sűrűlódáshoz hasonló, fékező jellegű. A részecskék viselkedése olyan, mintha ragacsos, sűrű folyadékban mozognának, ezért nevezték el „optikai melaszknak”.

Amikor az atom impulzusa meghatározott egységekben változik egy foton elnyelésekor vagy kibocsátásakor, kicsit változik a mozgási energiája is. Ennek hatására a kisugárzott foton frekvenciája valamivel alacsonyabb lesz, mint az elnyelt fotoné, átlagban az atomfelhő melegszik. A hűtés és a melegedés következtében beáll egy egyensúlyi hőmérséklet, amit Doppler-határnak neveznek, és az anyagtól függően tipikusan mK körüli érték. Háromdimenziós optikai melaszt 1985-ben sikerült először előállítani (Chu et al., 1985) 60 cm/s átlagsebességű, 240 μ K hőmérsékletű nátriumatomokkal a Bell Laboratóriumokban. A Sziszifusz-hűtésnek nevezett, bonyolultabb folyamat hatására, az atomoknak a szembe futó lézerek által létrehozott inhomogén elektromágneses téren való áthaladása következtében ennél is alacsonyabb, 40 μ K körüli hőmérsékletet is mértek nátriumgőzben. A lézeres hűtés elméleti alsó határát az szabja meg, hogy mekkora lökést kap az atom az utolsó foton emissziójakor. Ezt nevezzük a visszalökődési hőmérsékletnek, értéke általában a μ K tört része. Vannak olyan különleges módszerek, amelyekkel még ezt a határt is túl lehet lépni.

Az optikai melaszban az atomok véletlenül mozognak. Sokszor felmerül az a kérdés, hogy az atomokat helytől függő, visszatérítő erővel fogjuk csapdába. A legegyszerűbb csapda egy rezonanciától messze elhangolt, fókuszált, intenzív, Gauss-eloszlású lézernyaláb tere a fókusz környezetében. Ennek a működése a fotonabszorpciót követő indukált emisszió alapul. Ha a fény frekvenciája messze el van hangolva az atom rezonanciájától, az abszorpció-spontán emisszió ciklus kis valószínűséggel következik be, ezért elég intenzív megvilágításnál az indukált emisszió sokkal gyakoribb, mint a spontán. Szimmetrikus tér esetében az ebből származó erő kiátlagolódik, de térben inhomogén eloszlás esetében, ami itt a fókuszálás miatt következik be, mégis keletkezik eredő erő, amely az

atomokat a legintenzívebben megvilágított térfogatba kényszeríti. Ilyen erőterén alapul az optikai csipeszek működése is.

Az eddig elért leghidegebb, nK nagyságrendű hőmérsékleteket úgy lehet előállítani, hogy a lézeres hűtés és csapdázás után mágneses térrel működő, sötét csapdába kell juttatni az atomokat, ahol a lézer fűtő hatása nem korlátozza a további hűtést. Ezután a gyorsabb atomokat mikrohullámok segítségével kiengedik a csapdából. Az atomi minta ahhoz hasonlóan hűl, mint egy meleg folyadék, ezért nevezik párologtatásos hűtésnek. Így kevesebb számú atom, de csak a nagyon lassúak maradnak a térfogatban. Ezek az atomok ilyen állapotban már hullámként viselkednek. Hullámhosszuk annyira kiterjedtté válhat, hogy megszűnnek önállóan létezni, egymáshoz csatolódnak, ezért szokták az ötödik halmazállapotnak is nevezni. Ez a folyamat a Bose-Einstein-kondenzáció, amit elméletileg 1924-ben jósolt meg Einstein. Megvalósítása csak a lézeres hűtési eljárások kidolgozása után, 1995-ben sikerült, gyakorlatilag egyidejűleg három laboratóriumban is az Egyesült Államokban (Anderson et al., 1995; Bradley et al., 1995; Davis et al., 1995). Újabbban intenzíven kutatják az integrált áramkörök felületén létrehozott csapdákból előállított kondenzátumokat is (Fortágh és Zimmermann, 2005), amelyek az integrált atom-optika alapját képezik. A lézeres hűtés megvalósításáért 1997-ben Steven Chu, Claude Cohen-Tannoudji és William D. Phillips, a Bose-Einstein-kondenzációért 2001-ben Eric A. Cornell, Wolfgang Ketterle és Carl E. Wieman érdemelték ki a fizikai Nobel-díjat.

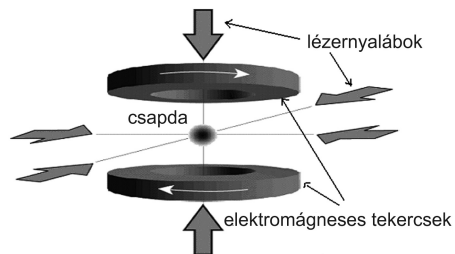
Nagyon eredményesen használható, az atomok hűtését, szabályozott mozgását célzó sok további kísérlet kiinduló eszköze az inhomogén gyenge mágneses tér alkalmazásán és a lézeres hűtés folyamatán alapuló magneto-optikai csapda (MOT). A háromdimenziós optikai melaszhoz hasonlóan a három térkoordináta irányából páronként szembevető lézermalák

találkozásánál keletkezik a csapda, ám ugyanakkor biztosítani kell, hogy ebben a természetben legyen egy minden irányban kifelé növekedő erősségű mágneses tér zérushelye. A hűtendő atomokat ebbe a természetbe kell juttatni.

Ha a megvilágító lézerfény a rezonancia alá van hangolva, és a lézermalák megfelelően polarizált állapotban vannak, a geometriai középpontból kifelé induló atomok mindig azzal a nyalábbal kerülnek először rezonanciába, amelyik visszafordítja őket, így nem, vagy legalábbis nehezen tudnak kiszökni a térfogtból. A *magneto-optikai* csapda elrendezésének vázlatla látható a 2. ábrán.

Miért jó lehűteni az atomokat?

Az a lehetőség, hogy nagyon lassan mozgó, sok, egyformának tekinthető atomból álló, kis sebességszórású mintákat lehet előállítani, új lehetőségeket nyitott számos tudományterületen. A spektroszkópiában növeli a mérések pontosságát, hogy a Doppler-kiszélesedés zavaró hatásától meg lehet szabadulni. Új frekvenciaetalonokat keresnek a segítségével, amelyek az időmérés és távolságmérés pontosságát növelik. Az „atomóra” alapfrekvenciájának nagyon kis sávszélességű atomi átmenethez kell kötődnie. Ezért már korábban próbálkoztak „atomi szökőkút” megvalósításával, de ez csak akkor sikerült, amikor lehűtött, csapdázott atomokkal végezték a kísérletet. Ez úgy működik, hogy egy atomcsomagot a gravitáció ellenében felfelé gyorsítanak lézersugárral. Amikor a részecskékre ható erők éppen egyensúlyba kerülnek, és az atomok elkezdnek lefelé



2. ábra • A magneto-optikai csapda vázlatla

esni, a fordulás körüli időintervallumban nagyon kicsi a sebességük, ebben az állapotukban kell a méréseket elvégezni rajtuk.

Egy másik fontos terület nyílt meg annak következtében, hogy a lehűtött atomok hullámként viselkednek. A múlt század elején azt a felismerést, hogy a fény kettős (hullám- és részecske) természetű, Louis de Broglie kiterjesztette tömeggel bíró részecskékre, az atomokhoz hullámhosszat rendelve. A hullámhossz a részecske sebességével fordítva arányos, tehát akkor számottevő, ha az atom nagyon lassú. Ebben a tartományban az anyaghullámokkal ugyanolyan interferencia-kísérleteket lehet végezni, mint fényvel. Többféle interferométer működését mutatták már be anyaghullámokkal. Az atom-interferométerek több alapvető fizikai állandó, például a g nehézségi gyorsulás, a kvantummechanikában fontos h/m mennyiség (h a Planck-állandó, m az atom tömege) eddiginél pontosabb mérését tették lehetővé. Az atom-interferometria szempontjából különösen azok az atomsugarak jelentősek, amelyek úgy keletkeznek, hogy Bose-Einstein-kondenzátumból engednek ki atomokat, melyek megőrzik az eredeti kötött fázisukat. Ez az atomlézermek is nevezett koherens anyaghullám sok tekintetben hasonló az optikai lézerhez, innen származik az elnevezése.

Az anyaghullámok a fényhullámokénál sokkal rövidebb hullámhosszúak, így a fény feloldási határánál finomabb struktúrák kialakítására lehetnek alkalmasak. Így az atom-litográfia, amelyben közvetlenül az atomsugár lehűtött atomjait ültetik be a hordozóanyagba a kívánt helyre, szintén perspektivikus terület.

Atomoptika

Az anyaghullámokkal való műveletekhez szükség van olyan „atomoptikai” elemekre, lencsékre, tükrökre, nyalábosztókra, amelyekkel az atomsugarat a fényhez hasonlóan lehet irányítani, kettéosztani, fókuszálni. Ezeket

az atomok mozgásállapotának megváltoztatására irányuló lézeres eljárásokkal lehet létrehozni. Fontos szempont, hogy a folyamatok közben ne romoljon el az atomok koherenciája, tehát megtartsák eredeti tulajdonságaikat. A megvilágító fény tulajdonságaitól, irányától, frekvenciájától függ az átadott impulzus iránya és nagysága. A kölcsönhatás következtében az atomok sebességszórása nem növekedhet. Ha a folyamatok közben az atomok gerjesztett állapotból spontán emisszióval sugározzák ki energiájukat, mindig fellép ez a nemkívánatos jelenség, mivel a spontán emisszió bekövetkezésének ideje és a kisugárzott foton iránya tetszőleges lehet. Ezért arra kell törekedni, hogy a gerjesztett állapotból alapállapotba való átmenet indukált folyamatokkal valósuljon meg, ezáltal az átadott impulzus iránya és nagysága az alkalmazott fény tulajdonságaitól függően szabályozott legyen.

Ilyen módszereket dolgoztunk ki, és használtuk őket csapdába gyűjtött hideg atomok mozgatására. Ha két, egymással szemben haladó lézersugárban az impulzusok periodikusan követik egymást úgy, hogy az egyik lézersugár impulzusa gerjeszti, és ezt követően az ellentétes irányú lézersugár impulzusa alapállapotba viszi az atomot, az atom egy foton abszorpciója és emissziója után kétszer akkora impulzussal lökődik meg az első, abszorpciót indukáló fényimpulzus terjedési irányába, és közben nem történik spontán emisszió. Ha egy atomcsomagot úgy szeretnénk mozgatni, hogy az atomok sebességszórása ne növekedjen a kölcsönhatás következtében, minden atomot egyszerre kell gerjeszteni, illetve alapállapotba vinni egy-egy kölcsönhatáskor, tehát egy lézerimpulzussal való megvilágítás-kor. Ez többféle módszerrel valósítható meg, például meghatározott hosszúságú, rezonáns frekvenciájú, ún. π impulzusokkal vagy *adiabatikus követéssel*. Az előbbi esetben nagyon pontosan be kell állítani az impulzus hosszát, frekvenciáját. Az adiabaticus követés sokkal robusztusabb módszer. Az adiabaticus átmenet megvalósításának két fontos kritéri-

uma van. Egyrészt olyan lézerrimpulzust kell alkalmazni, amelynek frekvenciája végig-söpör az atomi spektrumvonal frekvenciája környezetében megfelelő sebességgel, és a csúcshintenzitást a rezonanciánál éri el, másrészt a csúcshintenzitásnak elegendően nagy-nak kell lennie ahhoz, hogy minden atom biztosan gerjesztődjön a megvilágítás hatására. Ugyanakkor az impulzus hosszának és annak az időtartamnak, ami aközben telik el, hogy a szemben haladó impulzusok két irányból megvilágítják az atomokat, lényegesen rövidebbnek kell lennie az atom gerjesztett állapotának élettartamánál, hogy a spontán emisszió valószínűsége kicsi legyen. Kidolgoztunk olyan elméleteket (Djotyan et al., 2003), amelyek választ adnak arra a kérdésre, hogy reális atomban milyen tulajdonságú impulzusokkal lehet a kölcsönhatást a kívánt módon megvalósítani. Javasoltunk és vizsgáltunk olyan folyamatokat, amelyek alkalmasak a gerjesztő fény fázisának a kódolásával az atomi állapotokba való gyors információbe-írásra, -kiolvasásra, -tárolásra (Djotyan et al., 1999). Vizsgáltunk eredményeképpen találtunk egy újfajta módszert a populációátvitelre *egyetlen* frekvenciamodulált lézerrimpulzussal két alap- (metastabil) nívó között oly módon, hogy a populációátvitel közben az atom nem gerjesztődik jelentős mértékben (Djotyan et al., 2004a).

Félvezetőlézer frekvenciáját modulálva elő-állítottunk a követelményeknek megfelelő lézerrimpulzusokat, és ezekkel megvilágítva a csapdázott atomokat, mértük elmozdulá-

sukat úgy, hogy CCD-kamerával rögzítettük a csapdát előállító lézermalábok által okozott fluoreszcencia intenzitáseloszlását. Sikertült olyan eredményt kapni, ahol ugyanakkora idő alatt két szemben haladó impulzus hatására csaknem kétszer akkora elmozdulás történt, mint a csak egy irányból történt megvilágítás esetében, tehát adiabatikus volt a folyamat (Djotyan et al., 2004b).

Megmutattuk, hogy e folyamat segítségével atomnyalábot lehet kettéosztani, hűtött atomcsomagokat továbbítani különböző csapdák között. Ez hasznos például a Bose-Einstein-kondenzátum előállításakor, amikor az egyre „tisztább” térrészek között kell mozgatni atomcsomagokat.

Az eddig elért nagyjelentőségű eredmények alapján sejtethetjük, hogy a hideg atomok kutatása még sok további érdekes felfedezni-valót tartogat számunkra.

Köszönjük Serényi Miklósnak a méréseinkhez használt félvezető lézerek fejlesztése területén nyújtott segítségét, Bürger Gábor és Szulman Márton mérnökök technikai segítségét, valamint az OTKA, az NKFP és a GVOP értékes anyagi támogatását.

Kulcsszavak: *atomcsapda, atomok manipulációja, Bose-Einstein-kondenzátum, atom-lézer, lézeres hűtés*

IRODALOM

- Anderson, M. H. – Ensher, J. R. – Matthews, M. R. – Wieman, C. E. – Cornell, E. A. (1995): Science.. **269**, 198–201
- Bradley, C. C. – Sackett, C. A. – Tollett, J. J. – Hulet, R. G. (1995): Physical Review Letters. **75**, 1687–1690
- Chu, S. – Hollberg L. – Bjorkholm, J. E. – Cable, A. – Ashkin, A. (1985): Physical Review Letters. **55**, 48–51
- Davis, K. B. – Mewes, M. O. – Andrews, M. R. – van Druten, N. J. – Durfee, D. S. – Kum, D. M. – Ketterle, W. (1995): Physical Review Letters. **75**, 3969–3973
- Djotyan G. P. – Bakos J. S. – Sörlei Zs. (1999): Optics Express. **4**, 113–120

- Djotyan G. P. – Bakos J. S. – Demeter G. – Ignácz P. N. – Kedves M. – Sörlei Zs. – Szigeti J. – Tóth Z. L. (2003): Physical Review A. **68**, 053409-1-053409-8
- Djotyan G. P. – Bakos J. S. – Sörlei Zs. – Szigeti J. (2004a): Physical Review A. **70**, 063406-1–063406-7
- Djotyan G. P. – Bakos J. S. – Demeter G. – Ignácz P. N. – Kedves M. A. – Sörlei Zs. – Szigeti J. – Tóth Z. L. (2004b): Acta Physica Hungarica B Quantum Electronics. **20**, 167–176
- Fortágh J. – Zimmermann, C. (2005): Science **307**, 860–861
- Hänsch, T. W. – Schawlow, A. L. (1975): Optics Communication. **13**, 68–69
- Prodan, J. V. – Phillips, W. D. – Metcalf, H. (1982): Physical Review Letters. **49**, 1149–1153

KVANTUMOPTIKA ÉS KVANTUMINFORMATIKA

Janszky József

az MTA levelező tagja, PTE TTK Fizikai Intézet és MTA Nemlineáris Optikai Kutatócsoport, MTA SzFKI
janszky@szfki.hu

Domokos Péter

PhD, tudományos főmunkatárs
MTA SzFKI

A lézerfizikából kinőtt kvantumoptika célja a fény-anyag kölcsönhatás mikroszkopikus szinten történő tanulmányozása kisszámú atomból vagy molekulából, illetve a sugárzási tér néhány gerjesztett módusából álló rendszereken. Jellemző rá a kísérleti és elméleti kutatások szoros együttműködése: a kvantumoptika fejlődése során a vizsgálat körébe vont új jelenségekre meghatározó jelentőségű a kísérleti ellenőrizhetőség kritériuma. A környezeti hatásoktól elszigetelt, csatolt kvantumdinamikát megvalósító rendszereket legtisztább formában a kvantumoptikán belül sikerült létrehozni. A megfelelő pontosságú leíráshoz szükséges alapok (a Maxwell-egyenletek, a Schrödinger-egyenlet), illetve a kvantumelektrodinamika formalizmusa ismertek, ezért az alapkutatás célja a kölcsönhatások következtében előforduló jelenségek megfigyelése. Például más térelméleti rendszerben nem állíthatók elő az optikában az 1980-as évek végén megvalósított „összenyomott állapotok”, melyekben a fény valamelyik fizikai jellemzőjében a kvantumzaj kisebb a vákuumra jellemző szintnél. A későbbiekben több példát említünk arra, hogy lézerekkel manipulált atomokkal gyengén kölcsönható soktestrendszereket, kvantumfázisátalakulásokat valósíthatunk meg. Végül emeljük még ki azt, hogy a kvantumoptiká-

ban nyílt lehetőség kísérletekben tanulmányozni az Einstein-Podolsky-Rosen-paradoxont és következményeit, amelyből lényegében egy új tudományág, a kvantuminformatika fejlődött ki.

Kvantumbit fotonokkal, atomokkal

A mindennapjainkban érzékelt „klasszikus” világ mozgástörvényein túl a kvantummechanika olyan lehetőségeket rejt, mint például egy objektum hullámfüggvényének interferenciaképessége, vagy térben szeparált objektumokon végzett mérések statisztikájában klasszikus valószínűségekkel nem értelmezhető korrelációk megjelenése az ún. összefonódott állapotokban. Ezen jelenségek kiaknázásával forradalmian új alkalmazásokhoz juthatunk el, amelyekben a klasszikus fizika elveit követő eszközökkel nem megoldható feladatokat végeztetünk el „kvantumgépekkel”. Az illusztris példa a *kvantumszámítógép*. A gondolat már korábban felmerült (Richard Feynman), de az érdeklődés akkor fordult igazán a kvantumszámítógép felé, amikor 1994-ben Peter Shor publikált egy algoritmust, amely képes megoldani az exponenciális bonyolultságú faktorizációt (számok szorzótényezőinek megtalálása – ez a jelenleg alkalmazott kriptográfiai alkalmazások kulcskérdése nagy,

négyszáznál több jegyet tartalmazó számok esetén) és egyéb keresési problémákat polinom lépésben, tehát összehasonlíthatatlanul gyorsabban, mint a klasszikus elven működő számítógépek. A Shor-algoritmus megjelenése után matematikusok, informatikusok kvantummechanikát kezdtek tanulni.

A kvantuminformatika kiindulópontja a bit fogalmának általánosítása: a '0' és '1' értékek helyett egy kvantumbit a '0'-val és '1'-gyel címkézett bázisállapotok tetszőleges lineáris kombinációjában lehet. Ezt a lineáris kombinációt nevezzük a klasszikus bit analógiájára kvantumbitnek (*kubitnek*), elvileg 1 kubit végtelen klasszikus bittel egyenértékű. A bázisállapotok lineáris kombinációján keresztül megjelenő kvantuminterferencia lehetőségét kihasználva a kvantumalgoritmusokban a rendszer egy bonyolult összefonódott állapotban egyidejűleg, „parallel” módon végzi a szükséges számításokat. Az IBM egyik kutatócsoportja 2001-ben hét kvantumbiten alapuló kis kvantumszámítógépen sikeresen demonstrálta a Shor-algoritmus működését: faktorizálta a 15-öt, felbontva azt 3-szor 5-re.

A kvantumbit fizikai megvalósítására tetszőleges kétállapotú rendszert használhatunk, amely (i) a környezettől jól elszigetelt, hogy az interferencia-képesség megmaradjon (lassú dekoherencia), (ii) egyetlen kubit megcímezhető és tetszőleges állapotba előállítható, végül (iii) a '0' és '1' bázisállapotok detektálhatók. Ezeket a feltételeket kvantumoptikai rendszerek teljesítik: a kubit információt hordozhatja egy foton polarizációs állapota vagy egy atomban az alap- és egy gerjesztett állapot. Mindkét rendszeren a fény-anyag kölcsönhatáson keresztül kvantumozs szinten kontrollált operációkat lehet elvégezni. Például kétbites kvantumlogikai kapukat atomokkal ioncsapdáknak és mikrohullámú rezonátorokban is megvalósítottak. A kubiteket hordozó fotonokkal működő kriptográfiai eszközök

már kereskedelmi forgalomban kaphatók. Sokbites műveletek esetén a dekoherencia exponenciálisan növekszik, ezért még ezen rendszerek zártága sem elegendő technológiai alkalmazásokhoz. A dekoherencia visszaszorítására kvantum-hibajavító eljárásokat dolgoztak ki, néhány (6-10) fizikai kubitet használva 1 logikai kubit hosszú idejű életben tartására.

A jobb megértés érdekében foglalkozunk részletesebben a foton polarizációs állapotával. A polarizációt, kicsit leegyszerűsítve, elképzelhetjük úgy, hogy a foton állandóan „lengeti a karját”. Lengetheti például le-fel vagy jobbra-balra. A le-fel mozgást azonosíthatjuk a '0', a jobbra-balrát az '1' bázisállapottal. Kombinálhatjuk a két mozgást. Ha ugyanakkora amplitúdóval végez le-fel és jobbra-balra mozgást, akkor kaphatunk például lineáris ferde mozgást. Ha a két bázisnak választott mozgás között fáziskülönbség is van, akkor általános esetben elliptikus mozgással állunk szemben. Ha a fáziskülönbség éppen negyed periódus és a két mozgás amplitúdója azonos, akkor az eredő – attól függően, hogy melyik mozgás előzi meg a másikat – az óramutató járásával megegyező (negatív irányú) vagy ellentétes (pozitív irányú) körmozgás lesz. Választhatjuk a két körmozgást is a bázisállapotnak – mondjuk a pozitív irányút a '0', a negatív irányút az '1' bázisállapotnak. Ilyen bázisválasztás esetén természetesen a le-fel és a jobbra-balra mozgások lesznek a két körmozgás lineáris kombinációi. Az optikában megbízható eszközök állnak rendelkezésünkre a foton polarizációs állapotának megváltoztatására, a polarizációs állapotokkal végzett manipulálásra és korlátozott mértékben a polarizáció mérésére.

Ki kell emelni a mérés problémáját. Míg a klasszikus fény (amelyben óriási számú foton van) polarizációs állapotát tetszőleges pontossággal mérhetjük, egyetlen foton esetén csak információvesztéssel járó mérést tudunk elvé-

gezni. A fenti analógiát folytatva a polarizáció mérését úgy lehet elképzelni, hogy a mérés során a „karját lengető” fotonnak át kell hatolnia egy párhuzamos „léckerítéson”. Csak azok a fotonok képesek erre, amelyeknek a lineáris kombinációjában van olyan komponens, amely párhuzamos a „léckerítéssel”. Minél nagyobb ennek a komponensnek az aránya a foton polarizációjában, annál nagyobb a sikeres áthatolás valószínűsége. A foton átjutott vagy nem; ez egy bit információ. Amíg a kubitekkel manipulálunk, elvileg közel végtelen bitet dolgozunk fel egyidejűleg, amikor viszont a végeredményt akarjuk látni, a végtelen bitet tartalmazó kubit a mérés során 1 bitre redukálódik. A mérés egyedi és megismételhetetlen: ha a foton nem jutott át a „léckerítéson”, akkor elveszett, ha átjutott, akkor a polarizációja felveszi a mérőberendezés által megszabott polarizációt, példánkban párhuzamos lesz a „léckerítéssel”. A mérés durva beavatkozás egy kvantumrendszerbe, emiatt lehet például a kvantumkommunikációban egy külső lehallgatót észlelni.

Ha a polarizációja a mérés előtt ugyanakkora amplitúdóval tartalmazta a le-fel és jobbra-balra polarizációt (ilyen a 45°-os ferde, vagy a körmozgást leíró polarizációk), akkor lehetetlen megmondani (egyformán 50-50 % valószínűségű), hogy átmege vagy fennakad-e a foton a „léckerítéson”. Legalábbis ezt mondja a kvantummechanika fizikusok többsége által elfogadott értelmezése. Van egy másik, kisebbségi vélemény, amely a véletlen méréseredmény mögött egy még nem ismert belső szerkezetet („rejtett paraméter”) tételez fel. Olyan neves fizikus, mint Albert Einstein is ezen utóbbi értelmezés híve volt. A vita eldöntésében fontos szerepet kapott a kvantumoptika, erre majd később visszatérünk.

Biztonsággal prognosztizálható, hogy a már meglévő alkalmazások csak előfutárai egy általános áttörésnek, amelynek során a kvantummechanika megjelenik az eszközök működési

mechanizmusában. A miniatürizáció során, amint a technológia az atomi világ méreteit közelíti, az eszközök alkotóelemeinek viselkedésében elkerülhetetlenül megjelennek a kvantumeffektusok. A nagy szellemi kihívás a kvantummechanika tudatos kiaknázása újszerű feladatok elvégzésében, ezek kitalálásában szinte csak a saját fantáziánk korlátoz bennünket. A kvantumoptika eszköztára szisztematikus építkezést tesz lehetővé az egyre összetettebb kölcsönható kvantumrendszerek kialakítása felé.

Fénnyel manipulált atomok

Semleges atomokra a környezet gyengén hat, ezért alkalmas építőkövek egy kvantumjelenségeket produkáló összetett rendszerben. Atomok manipulálását a sugárzási térrel való elektromágneses dipólkölcsönhatáson keresztül végezhetjük. A fény-anyag kölcsönhatásban az atomok tömegközépponti mozgására kifejett mechanikai hatást különböző erőkkel jellemezhetjük. Zárt optikai ciklust alkotó atomi átmeneteket folytonos üzemmódú lézerekkel közel rezonánsan gerjesztve, a polarizációk és a finomelhangolások pontos beállításával ezek az erők nagymértékben szabályozhatók és variálhatók. Részletes tárgyalás helyett most csak azt emeljük ki, hogy egyrészt léteznek potenciállal jellemezhető konzervatív erők, amelyek a lézertér intenzitásával arányosak. Az intenzitás térbeli szerkezetét egyszerű optikai eszközökkel alakíthatjuk, így az atomi mozgás számára különleges potenciálfelületeket hozhatunk létre. A potenciális mozgást használjuk ki az atomok csapdázásában; egy erősen fókuszált lézertérrel a fókuszpont hullámhossznyi környezetében lokalizálhatjuk az atomokat vagy akár egyetlen atomot. A fókusz lassú mozgatásával az atomot kontrollált módon vihetjük át egy másik helyre („atomcsipesz”). Másik gyakori alkalmazás az állóhullámú térben szinuszosan modulált intenzitással létrehozott ún. „optikai rács”,

ami egy szabályozható szilárdtest-modell. Az erősen kölcsönható elektronokat gyengén kölcsönható semleges atomok helyettesítik, és számukra a periodikus potenciált (rácshiba nélküli „kristályt”, beállítható rácsvektorokkal) a lézertér hozza létre.

Másrészt léteznek sebességgel arányos sűrűlási erők, amelyek az atomok lézeres hűtését, azaz mozgásuk irreverzibilis csillapítását teszik lehetővé. Megfelelő beállítással elérhetjük, hogy fényszórás során az atomok a bejövő foton frekvenciáját átlagosan felfelé konvertálják, és a hiányzó energiát a saját tömegközépponti mozgásuk kinetikus energiájából fedezték. A kinetikus energia elvonásával a gáz hőmérsékletét, azaz a mozgásuk rendezetlenségét csökkenthetjük. A termikus zaj redukálása alapfeltétele annak, hogy az anyagi részecskék viselkedésében megjelenjenek a kvantummechanikai sajátosságok. Ezért a modern kvantumoptikának és atomfizikának a bevezetőben vázolt fejlődési útján a lézeres hűtés módszereinek kifejlesztése olyan mérföldkő, melynek jelentőségét a Nobel-díj Bizottság az 1997. évi díjjal ismerte el.

Atomhullámok

Lézerrel rutinszerűen lehet alkáli atomok hőmérsékletét a mikrokelvin hőmérséklet alá hűteni (lásd Sörlei Zsuzsa és munkatársai cikkét az 1544. oldalon). Ekkor az atomok helye elmosódik, és kb. 1 mikronos kiterjedésű koherens hullámcsomagként foghatók fel. Az anyagnak a kvantummechanikában megjósolt kettős természetéből – részecske vagy hullám – az atom az utóbbi arcát is megmutatja. Interferencia- és egyéb anyaghullám-kísérletek elvégzésére nyílik lehetőség, amit a litográfiában alkalmazhatunk.

A kvantumoptika nagyon érdekes ága, hogy a klasszikus optikában kiosztott szerepeket felcserélve, az anyagi hullámokat manipuláljuk fényvel. Lézernyalábok térbeli profiljának megfelelő kialakításával prizmát, lensét és diszperzív elemeket lehet az atomhullámok számára készíteni. Az atomhullámok spe-

ciális tulajdonsága, hogy az elektronhéj szabadsági fokai miatt az objektum bonyolult belső szerkezetű. Szemben például a fény polarizációjával (vagy az elektron- és neutronhullámok esetén rendelkezésre álló spin szabadsági fokkal), atomhullámot a belső szabadsági fokokon keresztül nagy térbeli felbontással manipulálhatunk, éppen lézerekkel. Ezt kihasználva fundamentális jelentőségű kísérletekben pontosan kimérték a Welcher Weg információ („Melyik résen haladt át az atom?”) és az interferenciacsíkok kontrasztjának összefüggését.

1999-ben kétréses kísérletben interferenciát figyeltek meg fullerén (C_{60} és C_{70}) molekulákkal, azóta pedig már a még nagyobb tömegű fluorizált fullerénnel ($C_{60}F_{48}$, 1632 atomi tömegegység), sőt, élettanilag fontos biomolekulákkal (porfirin) is. Anyaghullámok interferenciájával letapogathatjuk a kvantummechanika határait. Közvetlenül mérhetjük, amint egyre nagyobb objektumok esetében eltűnik a koherencia, ami miatt a makroszkopikus világban nem látunk (egyelőre) kvantumjelenségeket.

Soktestrendszer

Az atomoptikában, akárcsak a közönséges optikában, a nyaláb fényessége a meghatározó jellemző. Ehhez nagy fázistérbeli sűrűséget kell elérni, tehát egyidejűleg kell az atomokat kis térfogatba koncentrálni (nyaláb esetén fókuszálni) és a sebességtérben is az eloszlás szélességét csökkenteni (azaz hűteni, illetve nyaláb esetén kollimálni). Ez a feladat mágneses-optikai csapdákban végezhető el: a mágneses dipólmomentumra ható sztatikus áramokkal keltett mágneses erővel lehet térbeli csapdázást biztosítani, miközben a csapdázott atomokat lézerekkel megvilágítva hűtjük őket. A háttérgázzal való ütközések eliminálása miatt természetesen nagy vákuumban kell dolgozni.

Tipikusan mintegy 10^9 - 10^{10} atomot lehet rutinszerűen összegyűjteni a csapda kb. mm^3 -es térfogatába. Az alacsony hőmérsékleten az atomok hullámszerű kiterjedése megközelíti két atom átlagos távolságát. Ezért a csapdában a hullámcsomagok elkezdeneak átfedni, ami kvantumstatistikai jelenségek felbukkanását

eredményezi. Ilyenkor már lényeges, hogy az atomok bozon vagy fermion osztályba tartoznak-e. Ha bozonok (egész spinűek), akkor törekednek egy kollektív állapot elfoglalására, míg a fermionok a Pauli-féle kizárási elvnek megfelelően csak különböző állapotban lehetnek. A kvantumjelenségeknek lenyűgöző mélysége a Wolfgang Pauli által a „semmitől” posztulált szimmetrizálási elv, aminek következményeképpen például a ${}^6\text{Li}$ és ${}^7\text{Li}$ atomok alacsony hőmérsékleten teljesen másképp viselkednek.

1995-ben mágneses-optikai csapdában összegyűjtött bozonikus atomok párologtatásával, mint egy forró kávé hűtésekora a legenergikusabbak „kifűjésével”, sikerült kvantum-fázisátalakulást előidézni: a ritka atomos gáz a csapda alapállapotában kondenzálódott, amint azt a Bose-Einstein-statisztika megjósolta. Ezt a fázisátalakulást nem a termikus, hanem a kvantumfluktuációk idézik elő. Az alkáli atomok Bose-Einstein-kondenzációjának megfigyeléséért 2001-ben Nobel-díjat adtak.

A kondenzált fázisban az összes atom hullámfüggvénye azonos. A kondenzátum egy makroszkopikus hullámfüggvénnyel adható meg, ami az atomoptikában analóg a lézer optikai szerével, ezért atomlézerek is tekinthetők. Némrég sikerült folytonos üzemmódú atomlézert előállítani (Chikkatur et al., 2002).

Az első megvalósításuk óta, az elmúlt egy évtizedben a Bose-Einstein-kondenzátumok vizsgálata exponenciálisan növekszik. Amennyire érdekessé teszi ezt a makroszkopikus kvantumobjektumot, az éppen az ideális gáztól való eltérése, vagyis hogy a kondenzátumot alkotó atomok egymással kölcsönhatnak. A kölcsönhatás elengedően gyenge ahhoz, hogy a mérési eredményeket alapelvekből kiindulva, analitikus számolásokkal lehessen összevetni. Ugyanakkor a kölcsönhatás miatt a kondenzátumban már észlelhető nemlineáris- (atom)optikai jelenségek bukkannak fel. Ilyen például az önfenntartó hullámok, ún. szolitonok keltése, amelyek a szabad térben való terjedés közben megőrzik alakjukat és koherenciájukat. Atomos gázokban alacsony hőmérsékleten megfigyelhető kvantumjelenségre jó példa a kvantált perdület és a

szuperfolyékonyság, aminek bizonyítékeként egy Bose-kondenzátumban külső lézerral kialakított perturbációt forgatva vortexek születnek.

Az atomok ütközése ezen az ultraalacsony hőmérsékleten koherens folyamat, és szórásai képpen egyetlen paraméterrel, a szórásai hosszal jellemezhető. A szórásai hossz nagysága a kölcsönhatás erősségére jellemző, emellett előjeles mennyiség, mely negatív tartományban vonzó, pozitív tartományban taszító kölcsönhatást ír le. Más soktestrendszerrel (például elektrongáz egy szilárdtestben) ellentétben a hideg atomok ütközésében a szórásai hossz egy külső mágneses térerősséggel hangolható paraméter (a nukleáris fizikából ismert Feshbach-rezonanciával analóg jelenség). Új dimenziókat nyit fundamentális jelenségek tanulmányozásában, hogy az atomokkal megvalósított soktestrendszerekben a kölcsönhatás erősségét változtatni lehet, sőt, vonzó és taszító kölcsönhatások között kapcsolgathatjuk a rendszert.

Fermi-gázok

magas hőmérsékletű szupravezetés

Alacsony hőmérsékleten a Fermi-gáz azonos atomjai egyesével töltik be az egyre magasabban fekvő energianívókat. Nagy sűrűség esetén az alacsonyban fekvő állapotok gyorsan betöltődnek, és a többi atom magasabb energiájú állapotba kényszerül, ami az átlagos energia megnövekedését okozza ahhoz képest, amit a Pauli-féle kizárási elv nélkül várnánk. Ez az ún. Fermi-nyomás, ami – ellensúlyozva a gravitációs kollapszust – neutroncsillagokban felelős azok stabilitásáért. A kvantumok degeneráció megjelenésének tipikus hőmérsékleteskálája a Fermi-hőmérséklet, aminek 20 %-a alá sikertült lézerekkel és mágneses párologtatással ${}^{40}\text{K}$ gázt hűteni (De Marco – Jin, 1999). A Feshbach-rezonancián keresztül az ütközési hossz változtatásával egy újabb fázisátalakulás következik be. A fermionok Cooper-párokat képeznek, amik már összetett bozonoknak tekinthetők, és az adott nagyon alacsony hőmérsékleten kondenzációra képesek. Ez éppen a magas hőmérsékletű szupravezetés jelenségével

analóg. A kölcsönhatás erősségének hangozásával a gyenge pátkorreláció és a szorosan kötött kétatomos molekulaállapot között folytonosan változtathatjuk a rendszert. Szemben más rendszerekkel, a szupravezetés fázisátmenete itt a Fermi-hőmérsékletnél nem nagyságrendekkel alacsonyabb hőmérsékleten, hanem annak akár már a felénél is bekövetkezhet. Furcsa módon a szupravezetéssel analóg fázisátalakulás hőmérséklete egyidejűleg a legalacsonyabb abszolút és a legmagasabb relatív hőmérséklet. Nemrégiben mérésekkel igazolták a Cooper-párok megjelenését (Chin et al., 2004) és kondenzációját egy szuperfolyékony állapotban, ahol forgatás hatására vortexek jelennek meg (Zwierlein et al., 2005).

Egyfoton, két foton ...

Pumpalézer egy fotonjából nemlineáris kristályban két foton keletkezik, melyek polarizációjának kvantumállapota éppen az Einstein-Podolsky-Rosen-féle összefonódott állapotban van. Ilyenkor a két fotonnak csak együttesen van állapota, külön-külön nincs. A pár egyik tagját detektálva a másik foton azonnal „elnyeri” identitását, és egyfotonos állapotba kerül, amelyben az összes jellemzője (helye, polarizációja) meghatározottá válik. Megemlítjük, hogy bár az egyik foton detektálása során a másik foton állapota térben távol egyidejűleg megszületik, információt nem lehet ezen a módon a fénysebességnél gyorsabban továbbítani.

John Bell még a hatvanas évek végén, 70-es évek elején felismerte, és azt az ún. Bell-egyenlőtlenségekben számszerűen levezette, hogy az összefonódott pár két tagján korrelációs méréseket végezve kísérletileg lehet dönteni a kvantummechanika és a lokális realizmus elmélete között. Az 1990-es évek második felére jutott el a kísérleti technika és az elméleti gondolkodás arra a szintre, hogy parametrikusan keltett összefonódott fotonpárokon a Bell-egyenlőtlenség sértésének nagyon pontos kimérésével megcáfolták a

lokális realizmus elméletét (pontot téve Einstein Niels Bohnnal folytatott vitájára). Bebizonyosodott tehát, hogy az össz-szefonódott fotonpárban valóban nincs állapotuk az egyes fotonoknak, és nem csak számunkra ismeretlen, egy vagy több „rejtett paraméterrel” kódolt, egyébként létező állapot.

Az összefonódottság olyan kommunikációs csatornát nyit meg, amelyen keresztül objektumok kvantumállapota közvetíthető két távoli pont között („teleportáció”). Ha „Feladó” egyetlen kubitet, például egy foton polarizációs állapotát szeretné eljuttatni „Címzettnek”, akkor előzőleg egy kétrészecskés maximálisan összefonódott állapotot osztanak meg egymás között. A „Feladó” egy olyan közös mérést hajt végre az esetleg általa sem ismert teleportálandó állapotban és a fotonpár neki jutott felén, ami ezt a két fotont maximálisan összefonja. Ekkor a „Címzettnek” jutott, a mérésig összefonódott fotonpár egyik tagjaként határozatlan polarizációjú foton a mérés után polarizációt nyer. Ez a polarizáció (négy lehetséges értéke van – ez két klasszikus bit – a „Feladó” által végzett mérés négy lehetséges kimenetelének megfelelően) minden negyedik esetben pontosan megegyezik az eredeti teleportálandó állapottal. A másik három esetben a „Címzettnek” valamilyen egybites műveletet kell végrehajtania a hozzá került foton polarizációján ahhoz, hogy a teleportálandó állapotot létrehozza. A „Feladó” által a „Címzettnek” eljuttatott két bit (például 0, 1, 2 vagy 3) adja azt az információt, aminek alapján a szükséges műveletet a „Címzett” kiválasztja. 0 esetén nem csinál semmit, az állapot már kész, 1 esetén felcseréli a le-felt a jobbra-balra mozgással, vagyis elforgatja a foton polarizációját 90°-kal ahhoz, hogy a teleportáció sikeres legyen, 2 és 3 esetén hasonló, habár kissé bonyolultabb változtatást hajt végre a neki jutott foton polarizációján.

Ez már annyira fejlett technológia, hogy abszolút nem laboratóriumi körülmények

között, például az Alpok csúcsai között, illetve Bécsben a Duna egyik partjáról, egy vízalatti optikai kábelen átküldve a fotonpár egyik tagját, a másik partra teleportáltak kvantumállapotot (Ursin et al., 2004). Összefonódott fotonállapotok parametrikus kristályokat használó előállításában gyors fejlődés mutatkozik, több fotonpárt kelve, majd a fotonpárok között „keresztben” együttes méréseket végezve öt fotont tartalmazó összefonódott állapot előállításáról számoltak be nemrégiben.

Az elmúlt ötven évben a kvantummechanika meghatározó jelentőségű volt a mindennapi életünkben, gondoljunk az atomenergiára, lézerekre, tranzisztorra. Most úgy tűnik, hogy éppen ezeknek a vívmányoknak köszönhetően egy olyan tudományos forradalom kapujában vagyunk, amikor a makroszkopikus helyett a mikroszkopikus szinten használhatjuk az elemi kvantumjelenségeket. Amit a kvantummechanika

atyjai csak gondolatkísérletnek (Gedankenexperiment) neveztek, az mára laboratóriumi valóság, és helyette a Gedanken Technology fogalma született meg. Amennyire most meg lehet ítélni, két-három év múlva kívánság szerinti összefonódott állapotokat tudnak előállítani, biztonságos logikai kubiteket lehet néhány fizikai kubit segítségével implementálni, ezek a logikai kubitok a megismételt kvantum-hibajavító eljárások révén tartósak lesznek. Ekkorra a néhány fizikai kubiton megvalósított logikai kubitet nagy megbízhatósággal lehet egyik rendszerről egy másikra átvinni. Hét-nyolc év múlva ötven fizikai kubiton realizált többszörös logikai kubitet tudnak használni, közel jutva egy valódi kvantumszámítógép megvalósításához.

Kulcsszavak: atomhullámok, kvantumbit, kvantumstatisztika, összefonódottság, teleportáció

IRODALOM

- Chikkatur, A. P. – Shin, Y. – Leanhardt, A. E. – Kielpinski, D. – Tsikata, E. – Gustavson, T. L. – Pritchard, T. E. – Ketterle, W. (2002): Science. **296**, 2193–2195.
- Chin, C. – Bartenstein, M. – Altmeyer, A. – Riedl, S. – Jochim, S. – Hecker Denschlag, J. – Grimm, R. (2004): Science. **305**, 1128–1130.
- DeMarco, B. – Jin D. S. (1999): Science. **285**, 1703–1706.
- Ursin, R. – Jennewein, T. – Aspelmeyer, M. – Kaltenbaek, R. – Lindenthal, M. – Walther, P. – Zeilinger, A. (2004): Nature. **430**, 849.
- Zwierlein, M. W. – Abo-Shaeers, S. R. – Schirotzek, A. – Schunck, C. H. – Ketterle, W. (2005): Nature. **435**, 1047–1051.



GLOSSZÁRIUM

OPTIKAI SZAKSZAVAK

diffrakció: Elhajlás. A hullám terjedési irányát az útjába tett akadály módosítja. A hullám olyan tartományba is behatol, ahova a szabad (egyenes vonalú) terjedés esetén nem juthatna el. Az eltérés mértéke annál nagyobb, minél jobban megközelíti a hullámhossz az akadály méretét.

diszperzió: Közegekben a hullám terjedési (fázis-) sebességének a hullámhossztól való függése.

elektromágneses sugárzás, elektromágneses

hullám: A fény hullámtemésze egyértelműen kimutatható az interferencia és az elhajlási (diffrakciós) jelenségek alapján. A fény elektromágneses hullám, melyben az elektromos és mágneses térerősség periodikusan változik térben és időben. Az elektromágneses hullámot jellemezhetjük a hullámhosszával vagy frekvenciájával (ami a fényssebesség és a hullámhossz hányadosa). A különböző hullámhosszú elektromágneses sugárzások növekvő hullámhossz szerinti sorrendben: gamma-, röntgen- és ultraibolya sugárzás, látható fény, infravörös, terahertzes és mikrohullámú sugárzás, valamint a rádióhullámok.

Fabry-Perot-interferométer vagy etalon:

Két párhuzamos, részben áteresztő tükrökből álló optikai eszköz. A tükrök közötti többszörös visszaverődések következtében interferenciajelenség lép fel.

fázis: Hammonikus (szinuszos) rezgés jellemzője. A fázis szinusza egyenlő a rezgő mennyiség pillanatnyi értékének és az amplitúdójának hányadosával.

felharmonikusok, felharmonikuseltés,

frekvenciatöbbszörözés: Nemlineáris kristályokban (például: KDP – kálium-dihidrogén-foszfát, ADP – ammónium-dihidrogén-foszfát) terjedő intenzív lézersugárzás mellett megjelenik a kétszeres, illetve a több-

szörös frekvenciájú fényhullám. A felharmonikus hullám az öt keltő hullám energiájából származik.

feloldóképesség, mélységélesség: Két különböző pontszerű tárgyat az optikai eszköz felbont, ha a képeik megkülönböztethetők. A leképezési hibák és az elhajlás miatt még a pontszerű tárgyak képe sem pontszerű, így a felbontásnak határa van, vagyis a felbontott tárgyponthoz egy bizonyos távolságnál nem szabad közelebb lenniük. A mélységélesség az optikai tengely mentén, a feloldóképesség erre merőlegesen jellemzi a felbontás határát. Minél nagyobb a két érték, annál közelebb vannak a felbontás határán lévő pontok.

fotolitográfia: Optikai maszkokról leképezés során kicsinyített kép előállítás és rögzítése megfelelő fotoreziszttekkel. A fotolitográfia az integrált elektronikai eszközök előállításának egyik alapvető technológiai lépése.

hullámfelület, hullámfront: Az a felület, amelyen a rezgő mennyiség fázisa azonos.

interferencia: Hullámok találkozásánál fellépő, a hullámzó fizikai mennyiségek helyi és pillanatnyi összegződésével értelmezhető jelenség.

képfeldolgozás: Digitálisan rögzített képek számítógépes feldolgozása, kiértékelése-

koherencia: Ha fényhullámok esetén interferenciajelenség figyelhető meg, a fényforrás koherens. A koherenciához szükséges, hogy a találkozó fényhullámok fáziskülönbsége a rezgési periódushoz és a megfigyelési időhöz képest időben lassan változzon.

kvantumkontroll: Fotokémiai és -biológiai reakciók irányának megválasztása a fénygerjesztés térerősségének megfelelő időbeli változtatásával.

kvantumoptika: Az optikának a kvantumelmélet törvényei alapján kidolgozott része.

nemlineáris optikai jelenségek: Azon optikai jelenségek, ahol a közegekben a fény terjedése

során mind a közeg állapota, mind a sugárzás számottevően módosul. A nemlinearitás a 10^6 W/cm² feletti intenzitásoknál jelentkezik, és 10^8 W/cm²-nél nagyobb intenzitásoknál válik jelentőssé.

optikai kép (leképezés): A tárgy egyes pontjából kiinduló fénysugarak az optikai rendszeren való áthaladás után egy ponton (a képponton) haladnak át.

polarizáció: Transzverzális (a hullám terjedési irányára merőleges) rezgéseknél határozott irányok kitüntetése a terjedési irányhoz képest.

A KVANTUMELEKTRONIKA SZAKSZAVAI

Doppler-effektus, Doppler-kiszélesedés: A Doppler-effektus leírja, hogy mozgó hullámforrás vagy mozgó észlelő esetében hogyan változik meg a hullámhossz. A Doppler-hatás a gázlézerekben fellép az aktív közegben mozgó atomok, ionok, molekulák miatt, és a lézersugárzást biztosító átmenetekhez tartozó hullámhossz- vagy energiatartomány kiszélesedik.

elosztott visszacsatolású lézerek: A megfelelő erősítéshez a rezonátort nem két külső tükör, hanem az aktív közegben például periodikus pumpálással létrehozott tükörrendszer biztosítja.

emisszió: Emisszió (fénykibocsátás) akkor jön létre, mikor egy atom vagy molekula a magasabb energiájú (gerjesztett) állapotában az energiatöbbletet fény sugárzásával adja le, miközben egy alacsonyabb energiájú állapotba jut. Spontán emisszió külső behatás nélkül, míg kényszerített (indukált) emisszió külső elektromágneses mező hatására jön létre.

kvantumelektronika: Lézerek működését és lézerekben lejátszódó jelenségeket tanulmányozó tudományág.

lézerparaméterek: A lézereket legáltalánosabban a következő paraméterekkel szokták jellemezni: hullámhossz (frekvencia); sávszélesség (amit például az aktív közeg erősítési tartománya és a longitudinális módusok határoznak meg); folytonos vagy impulzusüzemű-e a lézer. Folytonos lézereknél a lézernyaláb teljesítményét, impulzusüzem esetén

pumpa-próba módszer: Gyors fizikai, kémiai és biológiai folyamatok vizsgálatára alkalmas optikai módszer. Egy gyors optikai jellel, tipikusan rövid, ultrarövid impulzussal (pumpa) indítva a folyamatot, az egy megfelelően beállított késésű próbaimpulzussal vizsgálható.

többfotonos gerjesztés: Nagy intenzitások esetén két vagy több foton egyidejű elnyelésével is lejátszódhat fényelnyelés, abszorpció. Az n fotonos gerjesztés valószínűsége az intenzitás n -edik hatványával arányos.

az impulzushosszat (rövidnek a piko- és nanoszekundumos, míg ultrarövidnek az atto- és femtoszekundumos impulzusokat nevezik) és az impulzus energiáját adják meg. A nyaláb keresztmetszeti eloszlása és a közvetlen, illetve a fókuszált nyalábméret határozza meg a nyaláb intenzitását (teljesítménysűrűségét) és az impulzuslézerek esetén értelmezett egy impulzusra vonatkozó energiasűrűséget. A divergencia (a lézernyaláb széttartására jellemző szög) szabja meg különböző távolságokban a nyaláb méretét és a nyaláb fókuszálhatóságát is.

lézertípusok: Az első lézer (1960) egy impulzusüzemű rubinlézer volt. A rubinlézer aktív közege a rubinkristály (krómionokkal adalékolt zafir, Al₂O₃), hullámhossza: $\lambda=694,3$ nm. A *szilárdtestlézerek* családjába tartoznak a közeli infravörös tartományban sugárzó YAG kristály- (itrium alumínium gránát) és üveglézerek is, amelyekben az aktív közeg ritkaföldfémekkel (például neodímiummal, gadolíniummal) adalékolt kristály vagy üveg. Folytonos és impulzus üzemben is működnek, a legelterjedtebb típus az 1064 nm-en sugárzó Nd-YAG lézer, melynek számos ipari és orvosi alkalmazása van. A legrövidebb néhány fs-os hosszúságú impulzusok előállítását lehetővé tévő titán-zafir lézerek aktív közege titánnal adalékolt zafirkristály, melyben ~800 nm középhullámhosszon nagy sávszélesség mellett lehet optikai erősítést elérni. A diódalezerekben a félvezető p-n homo-, illetve heteroátmenetek mint aktív közegek gerjesztése jó hatásfokkal elérhető elektromos árammal. A félvezető anyag(ok)tól függően az ultrabolya tartománytól a láthatóan keresztül a közép infravörös tartományig működnek. A

festéklézerek aktív közegei folyadékok, szerves festékanyagok vizes vagy szerves oldószeres híg oldatai. A festéklézerekkel a látható spektrum teljesen lefedhető, hullámhosszuk a rezonátor tükrreivel és a festékanyag változtatásával folytonosan módosítható. A **gázlézerek** között a legismertebb folyamatos üzemmódban működő gázkisüléssel hélium-neon lézer ($\lambda = 543,5; 594,1; 612; 632,8$ nm – ez a leggyakrabban használt hullámhossz – és 1523 nm). A nemesgázion-lézerekkel (argon, kripton és keverék gázok, $\lambda = 350-799$ nm) jó minőségű (TEM₀₀ módusú) pár W-os teljesítményű nyálábok állíthatók elő egy kiválasztott, illetve több hullámhosszon egyszerre. A nitrogén (N₂: 337 nm), fluor (F₂: 157 nm) és excimer (ArF: 193 nm, KrCl: 222 nm, XeBr: 282 nm, XeCl: 308 nm, XeF: 351 nm) aktív közegű lézerekben nagyfeszültségű impulzusüzemű gázkisülések során jön létre a populációinverzió. Egy-egy impulzus tipikusan 1-300 mJ energiát tartalmaz. A fémgőzlézerek esetében az aktív közeget porlasztással vagy termikus párologtatással előállított fémgőz (például arany, ezüst, réz) adja. A széndioxidlézer molekularézer: a széndioxid-molekula rezgési és forgási állapotaihoz tartozó átmenetek alkalmasak lézerátmenetek kialakítására. A működésük $\lambda \sim 10$ mm hullámhosszán akár kW-os teljesítményeket is el lehet érni, ami alkalmassá teszi őket hegesztésre és fémek vágására is.

longitudinális módusok: Az erősítés hullámhossztartományában az a fényhullám erősödik, melyre teljesül, hogy a félhullámhosszegészszámú többszöröse megegyezik a rezonátorhosszal. Ekkor a tükrökről visszaverődő hullámszakasz a rezonátorban lévő hullámszakasszal megegyező fázisban lesz, és konstruktív interferencia révén megtörténik az erősítés.

optikai erősítés: Az aktív közegben haladó megfelelő hullámhosszú fény erősítése.

optikai szál: A fény továbbítását akár nagy távolságokra is lehetővé tévő, üvegből, optikai anyagból készült szál. A (lézer)fény a szálban reflexiók veszteségei nélkül teljes visszaverődések során terjed. A teljes visszaverődést a szálban megfelelően kialakított törésmutató-profil biztosítja.

populációinverzió: Legtöbb esetben az alapállapotban lévő atomok (molekulák) száma sokkal nagyobb, mint a gerjesztettek száma. A lézerműködéshez az energiaszintek e betöltési állapotát meg kell fordítani. Vagyis a lézer aktív közegében el kell érni az ún. populációinverziót, amikor a gerjesztett atomok (molekulák) száma meghaladja az alapállapotban lévőkét.

Q kapcsolás: a rezonátorba beépített aktív vagy passzív veszteséget okozó elem, mely lehetővé teszi, hogy időben megfelelő populációinverzió alakuljon ki. Ekkor a veszteség hirtelen megszüntetésével a rezonátorban felhalmozott energia egyetlen rövid és nagyenergiájú lézerimpulzus alakjában távozik.

rezonátor: Egy erősítő visszacsatolásának optikai megfelelője: az aktív közeget közrefogó tükrőpár, ami lehetővé teszi, hogy a megfelelő irányba tartó sugarak többszörös visszaverődés során megfelelően felerősödjenek.

transzverzális TEM módusok: A rezonátorban a lézernyaláb terjedési irányra merőleges síkban többfajta keresztmetszeti intenzitáseloszlás jöhet létre. Ezeket nevezik transzverzális (TEM – transzverzális elektromágneses hullám) módusoknak. A transzverzális alapmódusú (TEM₀₀) nyaláb esetén az intenzitás a Gauss-eloszlást követi, azaz a nyaláb haladási tengelyében a legnagyobb az intenzitás, és attól távolodva exponenciálisan csökken.

LÉZERES TECHNIKÁKHOZ TARTOZÓ SZAKKIFEJZÉSEK

fotokusztikus spektroszkópia: Szilárd testek, folyadék és gázkomponensek jellemző abszorpciós hullámhosszainak megfelelő lézerekkel történő, periodikus megvilágításakor akusztikus hullám, hang keltethető. A hang intenzitása széles dinamikatartományban többnyire lineáris a

vizsgált anyag koncentrációjával, ami ezt a technikát rendkívül széles körben alkalmazható analitikai módszeré teszi.

fotokémiai megmunkálás, fotodegradáció: a megvilágító fény fotonjai kémiai kötések bontanak fel a besugárzott molekulában, amely ennek hatására felbomlik.

fototermikus megmunkálás: a megvilágító fény fotonjainak elnyelésekor hő szabadul fel, melynek

során hőkezelés, olvasztás, párologtatás, plazmakeltés valósítható meg. Reaktív közegben pedig a hőmérsékletfüggő kémiai reakciók indíthatók be.

holográfia: A holográfia elvét Gábor Dénes, magyar származású fizikus dolgozta ki 1948-ban. (Holos=teljes; Grafein=rajzolni). A holografikus fényképezés során egy tárgyról szóródó sugarak (tárgyhullám) amplitúdójának rögzítése mellett a fázist is rögzítik. Ez egy referenciahullám segítségével történik, amely interferál a tárgyhullámmal. A létrejövő interferenciacsík-rendszer (illetve a csíkrendszer nagyított képe) fényképező lemezen, illetve CCD-chip alkalmazásával rögzíthető. A hologram megjeleníthető az előhívott fotólemez referenciahullámmal történő megvilágításával, illetve a digitális hologram számítógépes feldolgozásával.

impulzuslézeres vékonyréteg-leválasztás (Pulsed Laser Deposition – PLD): Az ablációs anyagfelhő atomok, molekulák, ionok, mikron méretű szilárd törmelékek és olvadt cseppek egyvelege, amely nagy sebességgel terjed ki a felületre merőleges irányban. Ez az anyagfelhő felfogható egy, az útjába helyezett hordozón, ahol vékonyréteggént rakódik le.

lézeres abláció: Ha egy nagyteljesítményű impulzuslézert nyalábját ráfókuszáljuk egy céltárgyra, a lézerimpulzus hatására a felületre merőlegesen nagy sebességű anyagfelhő lép ki, s egy éles peremű gödör marad vissza. Komplex folyamat, mely függ az alkalmazott lézerteljesítményétől és a céltárgy optikai, termikus és morfológiai tulajdonságaitól. Nagy teljesítménysűrűségű megvilágítás hatására magas hőmérsékletű plazma kelthető.

lézeres hűtés: Az adott sebességű atom Dopplereltolódott átmeneteivel rezonáns, intenzív fény abszorpciójával járó kitértetett irányú lökés sebességváltozást okoz. Megfelelő irányú és frekvenciájú lézernyalábok segítségével az atomok sebessége, így hőmérséklete is lecsökkenthető.

lézerindukált előre irányuló átvitel (Laser Induced Forward Transfer – LIFT): egy ún. direktírasos eljárás. Lézerimpulzus segítségével szétbontanak és átmásolnak egy, a lézerteljesítményét elnyelő vékony filmet egy átlátszó kvarc- vagy üveglemezről egy vele szemben párhuzamosan elhelyezett hordozóra.

Összeállította:

Tóth Zsolt, Horváth Zoltán és Hopp Béla



Tanulmány

A MAGYAR POLITIKAI SKIZOFRÉNTIA FELOLDÁSI KÍSÉRLETEI – ÖTVEN ÉVE HALT MEG SZEKFŰ GYULA

Dénes Iván Zoltán

az Academia Europaea tagja, a történettudományok doktora, tanszékvezető egyetemi tanár, Debreceni Egyetem Állam- és Jogtudományi Kar Politikaelméleti és Politikatörténeti Tanszék, kutatócsoport-vezető
Bibó István Szellemi Műhely, Budapest – deniz@iti.mta.hu

Szekfű Gyula (Székesfehérvár, 1883–Budapest, 1955), a nagyhatású történétíró, ideológus és publicista fél évszázada hunyt el. Életműve máig vitatott, megítélése a különböző és változó szellemi divatáramlatokban igen eltérő. Halála után, az 1950-es évek közepétől az 1960-as évek első feléig az ellenforradalmi rendszer konzervatív, Habsburg-párti, reakciós, szellemtörténész történétírójaként bélyegezték meg. Az 1950/60-as évek fordulóján a Molnár Erik nevéhez fűződő – a függetlenségi mozgalmakat alá és a Habsburg Birodalmat felértékelő – nemzet- és abszolutizmus-értelmezés és annak vitája közvetve rehabilitálta tetteit. Az 1970/80-as évek történétírása pedig már a polgári tudományosság romantikus nacionalizmussal szembe álló, igényes, realista képviselőjeként mutatta be.

Most, az évforduló alkalmából összehasonlításra vállalkozom. Arra keresem a választ, hogy milyen jellegűek voltak és hogyan kapcsolódtak egymáshoz három történelmi elbeszélésbe ágyazott kollektív identitásprogram nemzetfogalmi. Mindhárom konstrukció a *nemzeti alkati-diskurzus*

etnokulturális beszédmódjának sajátosságait viselte magán, kettő annak paradigmatisztikus része és alakítója volt, a harmadik pedig a diskurzus lezárójának tekinthető. A szerzők: *Szekfű Gyula*, *Németh László* (Nagybánya, 1901–Budapest, 1975), a nagy életművet hátrahagyó – máig hitviták keresztútjében álló – író, és *Bibó István* (Budapest, 1911–1979), a 20. század legnagyobb magyar demokrata politikai gondolkodója. A történétíró *nagymagyar-kismagyar-út*-ja, az író *mélymagyar-hígmagyar-jöttmagyar* tipológiája és a politikai gondolkodó „*tűlfeszült lényeglátók – hamis realisták*” szembeállítás a magyar szellemi és politikai élet (és az újkori magyar történelem) háromféle értelmezését, nemzetfogalmát és identitásprogramját jelölte. Ezeket fogom rekonstruálni, értelmezni és összehasonlítani egymással.

I

Szekfű Gyula *nagymagyar úton* azt a koncepciót értette, amelynek hívei felülemelkednek a „*kuruc-labanc*”, *keleti–nyugati*, *Habsburg-ellenes – Habsburg-barát* ellentétben, hiszen szerinte ennek a felfogásnak a

lényege a magyar állam integritása, annak helyreállítása. Arról – konkrét összefüggésekben – viszont mindig az derült ki, hogy a *nagymagyar út* nemcsak a *kismagyar út* ellentéte, hanem egyúttal a magyar állam integritása és fenntartása szempontjából a kívánatos koncepció és magatartás. A *nagymagyar út* tehát nem egy ellentét egyik pólusa, hanem egyszerre jelöli a *kismagyar út* kizárását, tagadását, és az ellentétben való felülemelkedést. Az ellentétben felülemelkedés tehát – furcsa módon – az ellentét egyik pólusának a tagadásával azonos. A *kismagyar út* ugyanis a 16–17. században a magyar állam teljes integritását feladó, sérelmi, Erdélyre, a protestantizmusra és a törökre támaszkodó, Habsburg-ellenes kurucság, majd a 19. században a magyar liberalizmus sérelmi kurucsága, illetve a 20. században a balkáni államok közé süllyesztő turanizmus kurucsága. Jelentése: *a mindenkori népszerű és felelőtlen demagógia, az érzelmi politizálás, a szenvedélyek elszabadulása*, amely kizárja a *felelős politizálás* lehetőségét, lerombolja annak eredményeit. A történelmi állam integritását biztosító kívánatos *nagymagyar út* és az integritást kockáztató, azt aláásó *kismagyar út* ellentétében szinte mindig az utóbbi van erősebb pozícióban, hiszen a közvélemény éretlen, s emiatt sokkal inkább lehet hatni érzelmeire, mint ítélőképességére. Holott a *nagymagyar út* hívei által képviselt történelmi állam az, amely keretet, szerveződést és tartalmat ad a nemzetnek, biztosítja annak létét és nevelődését. A történelmi állam ugyanis nemcsak a nemzet létezésének a feltétele, hanem a fogalom lényege.

Szekfű számára a *kismagyar út* ellenségkép, a *nagymagyar út* pedig a kívánatos politikát megtestesítő önkép volt. Az ellentétpár a múltba visszavetített, a jót és a rosszat képviselő, időtlenné merevített séma, amelyben a rosszat a magyarság bűneit megtestesítő barbár és emocionális *Kelet*, a jót pedig a Habsburgokkal és a – velük való

megegyezés terhét és felelősségét vállaló – magyar arisztokratákkal azonosított civilizált, racionális *Nyugat* képviseli. A séma eredetileg Szekfű Gyula *A száműzött Rákóczi, 1715–1735* című könyve körül 1914-ben kirobbant politikai botrány kulcsélményének hátrító és megbélyegző értelmezése volt. A történetíró ezt az értelmezést később a változó viszonyokhoz adaptálta. Ez volt az a lélektani fundamentum, amelyet Szekfű Gyula historiográfiai és történelmi magyarázó sémával, a *népszerűtlen reálpolitikus – népszerű demagóg – éretlen és elcsábított közvélemény* konstrukciójával magyarázott meg önmagának, a számára fontos személyeknek és olvasóinak. Erre a kulcsélményre és konstrukcióra épültek későbbi értelmezései.

Történelmi elbeszélésének szűkebb kontextusa *A száműzött Rákóczi*-botrány, annak lélektani hatása volt. Emellett fontos vonatkoztatási rendszert jelentett egyrészt az osztrák – centralizációpárti – történetírás, másrészt a Friedrich Meinecke nevéhez köthető német állam-történelmi irodalom, valamint az, hogy a korabeli magyar történetírást provinciálisnak tartotta. A szélesebb kontextust viszont a huszadik század elején már szinte mindent elborító magyar „*közösségi skizofrénia*” alkotta. Az, amely olyan – egymással össze nem illő – szimbolikus személyek, események és értékek (elvont sémákkal elfedett) összeegyeztetésének a következménye volt, mint II. Rákóczi Ferenc és Károlyi Sándor, az aradi tizenháromak és Ferenc József, a *figgetlenség* és az idegen uralommal kötött *kiegyezés*. „A mindebben rejő reménytelen ellentmondás előbb-utóbb napvilágra kellett, hogy jöjjön: az egész ország nem helyezkedhetett Jókai Mór álláspontjára, aki ... egész életében gyászolta az aradi vértanúkat, és minden este imádkozott azok kivégzőjéért, a királyért.” (Bibó István: Németh László kelet-európai koncepciója és Szekfű Gyulával folytatott vitája. A Németh

Lászlóról tartandó – visszautasított, így el nem hangzott – rádióelőadás első, bővebb változatának gépirata. A Magyar Tudományos Akadémia Könyvtára, Kézirattár, Ms 5113/86. 3.).

Szekfű Gyula ennek a *politikai tudathasadás*nak a konzervatív „*realista*” feloldási típusát képviselte. Azt, amely a szerző későbbi politikai metamorfózisai mögötti konstans bázist és folytonosságot képezte, amelyen – nem kevésbé – önazonossága is alapult. Önképét ugyanis a *nagy realisták*, a *nagymagyarok*, ellenségképét viszont az illúziókat kergető, érzelmi politizálást képviselő *kismagyarok* alkották. Ennek a konstrukciónak számos hazai forrása volt, megalkotásának személyiségbeli és érzelmi bázisát pedig Szekfű Gyulának a provinciálisnak minősített magyar történetírással szembeni fölényérzete, *A számuízött Rákóczi*-botrány traumája és Trianon sokkja egymást erősítve képezték.

Szekfű Gyulának a nemzeti függetlenség visszavetítéseivel és a töretlen haladásba vetett hittel, a demokratikus politikai berendezkedéssel, az erre irányuló törekvésekkel és az emberi természet derűlátó, bizakodó értelmezésével kapcsolatban komoly fenntartásai voltak. A mindenkori nagyhatalmi adottságoknak meghatározó jelentőséget tulajdonított, a külpolitikai sikert igen nagyra értékelte, s az államot, intézményeit és hagyományait kiváltképpen tisztelte. A történelemről kialakított képet, a történelmi tudatot, a nemzeti hagyományt és az államrendet meghatározó, együtt igen fontos történelemalakító tényezőknek tartotta. Az „*európai mintakövetés*” diskurzusának leszűkített (az európaiságot a Habsburg Birodalommal azonosító) változata felől mozdult el a „*nemzeti öncélúság*” diskurzusa irányába úgy, hogy közben átmoralizált értelmezéssel megkettőzte, jó és rossz típusokra osztotta fel Európát (német-francia, romantika-liberalizmus, Habsburg-török, Nyugat-Balkán,

realitás-illúzió) és Magyarországot (nagymagyar-kismagyar). Ezzel egészen különböző helyzetekben biztosítani tudta magának az ítélező pozícióját és területenkívüliségét olyannyira, hogy 1945 után újból erkölcsi leckéztetésben részesíthette olvasóit, a „keresztény középosztály” reális helyzetfelmérésre törekvő tagjait. Nemzetfogalmát a nagyhatalmi erőviszonyokkal reálisan számot vető, ahhoz alkalmazkodó, a kiskorú társadalomról gondoskodó és a nemzeti műveltség feltételeit biztosító *paternalista állam* képe határozta meg, nemzetfogalmát és identitásprogramját pedig az ehhez való lojalitás. Mindezt úgy fogalmazta meg, hogy időről időre megelőlte azokat a tévutakat, amelyeket el kell kerülni, és azokat a személyeket, akik a tévutakat képviselik. A tévutak ellenségképet, a kívánatos állapot pedig önképet jelöltek. Az ellenségkép egyszerre jelölte Szekfű Gyula ellenfeleit, ellenségeit, azok múltbeli archetípusait és azt a magatartás- és helyzettípust, amely a nemzetet veszélyeztette és veszélyezteti. Az önkép a tudós történetész és politikus elődeit jelentette. Ugyanakkor kimondatlanul, de nyilvánvalóan jelölte a filozófus királyt, a hivatott politikus és annak befolyásos tanácsadóját archetípusát, a bölcs és felelős reálpolitikust. Azt, aki megmondja, hogy milyen a helyes magatartás, politika, kívül és mivel kell lojálisnak lenni és mi a realitás.

II.

Németh László „*mélymagyar*”- „*hígmagyar*” ellentétpárja az értékteremtő értelmiség kontraszelekciójára vonatkozott. Arra, hogy vajon kik adták a nyelvújítás – az ő értelmezésében: idegen minta kritikátlan és erőszakos alkalmazása a magyar kultúrára – óta a magyar irodalmi és – ezen keresztül a – szellemi élet nyelvi, kulturális és erkölcsi mintáit. Azok, akik igazi értékeket alkottak, és közülük volt az őket körülvevő világhoz (hiszen bele voltak ágyazódva egy-egy közösség hagyó-

mány- és értékvilágába, tevékenységük és teljesítményük mintegy abból nőtt ki), vagy pedig azok, akik nem értékeket, hanem szellemi árukat állítottak elő, nem kötődtek semmiféle közösséghez, és sikerük a silány, jellegtelen, felszínes szórakoztatást tette általánossá és kizárólagossá. Minthogy ők, a *hígmagyarok* váltak a mintaadókká, a *mélymagyarok* pedig sorra-rendre peremre szorultak, elszigetelődtek és kihaltak, a hígság teremtette ürbe beköltözhetek a *jöttmagyarok*. Azok, akik ha akarták volna, sem lettek volna képesek pótolni a nemzeti hagyomány értékvilágába ágyazottság hiányát. Ők csak éltek azokkal a lehetőségekkel, amelyek az ő megérkezésük előtt a szellemi elitben már lezajlott fordított kiválasztás következményei voltak. A szellemi kontraszelekció pedig általánossá vált és áttevődött a politikai életbe is. Az, hogy az értékes kiszorul, a silány győz, a betelepült pedig feléli a lehetőségeket. Az irodalmi, a szellemi és az erkölcsi élet mintaadói ugyanis rossz mintákat adtak, s azok hosszabb távon a közösségi élet egészét itatták át és rontották meg. A feladat pedig a kontraszelekció leállítására, az értékes minták általánossá tétele, a közösségi értékelés regenerálása volt és maradt.

Németh László *pánliterátori* értelmezése a *közösség-társadalom*, valamint a *kötelesség-fogyasztás* szembeállítására épült. Szekfű Gyula hanyatlástörténelmi sémáját a nemzeti közösség erkölcsi züllése irányából gondolta újra. Nem az állami integritás *labanc* és *ku-nuc* felfogásának híveit, hanem a szellemi élet értékes alkotóit és sikeres, de nem értékes mintaadóit szembesítette egymással: Nála is fellelhetjük a kimondatlan, de érzékeltetett ellentétpárt: *értékes, tehát népszerűtlen* (sikertelen) – *népszerű* (sikeres), *tehát értéktelen*. Ám ahogy a *mélymagyarok* nem azonosak a *nagymagyarokkal*, úgy a *hígmagyarok* sem azonosak a *kismagyarokkal*. Az összefüggés fordítva sem igaz: a *mélymagyarok* nem *kismagyarok*, s a *hígmagyarok* nem *nagyma-*

gyarok. A szellemi élet kontraszelekciójának leírása pedig reménytelenül összefonódott az asszimilációs vitákkal. A *mélymagyar* minta viszont éppúgy egyszerre volt Németh László önképe és a nemzeti regenerálódás programja, ahogy Szekfű Gyula számára a *nagymagyar út* jelentette ugyanazt.

Németh László alapján két forrásból merített. Az egyik – láttuk – Szekfű Gyula történelmi elbeszélése, annak alapstruktúrája volt. A másikat viszont Szabó Dezső kontraszelekció-sémája alkotta. Eszerint két világ állt és áll egymással szemben Magyarországon: az archaikus, magába zárt parasztság és a modern, külföldre tekintő felső réteg. Ez a hasadás az idegen hódításból, a Habsburg-uralomból következett. Abból, hogy az idegen dinasztia nemzeti elkötelezettség híján – az alkotmányos politizálás magyar nemesi törekvéseivel szemben – felülről és kívülről verbuvált helytartókat, új arisztokráciát és polgárságot a magyarok fölé. Mindez oda vezetett, hogy a külföldi mintákat követő és alkalmazó idegenek gyarmatosították a nekik kiszolgáltatót, az idegen állam által elnyomott magyarokat. Ez a 17-18. században következett be, s a 19. századi függetlenségi törekvések leverése után a kiegyezés véglegesítette azzal, hogy a kiépülő magyar államot hozzákapcsolta a Habsburgok – önmagát túlélő és pusztulásra érett – államalakulatának sorsához. Ekkor a kiépülő ipar és kereskedelem, s ezen keresztül a kapitalizmus a bevándorló zsidók, az állam és a hadsereg a németek, a magyar szellemi élet pedig mindkettő monopóliuma lett. A dualista magyar állam viszont nem védte meg a magyarokat sem ettől, sem a nemzetiségek elszakadást célzó törekvéseitől és szervezkedéseitől. Mindez együttesen azt eredményezte, hogy a magyarok a világháborúban idegen érdekekért áldozták véréüket, s a világháború után bekövetkezett forradalom a zsidók, az ellenforradalom pedig a németek uralmához vezetett, miközben a

magyarok tömegei idegen államok hatalma alá kerültek, a kiépülő ellenforradalmi rendszer pedig elsikkasztotta a parasztság felszabadítását és a kiegyezés rendszerének újabb kiadását hozta. A Szent István-i magyar birodalom (a soknemzetiségű történelmi Magyarország visszaállítása) viszont – Szekfű Gyula értelmezésével szemben – nem lehet a megvalósítandó magyar demokrácia eszménye, hiszen hiú ábránd és történelmietlen visz-szavetítés. Egyrészt azért, mivel a kisebbségvédelem nem alkotta és nem is alkothatta Szent István politikájának részét, mivel abban a korban, amelyben az első magyar király élt, a nemzeti érzés és öntudat még nem létezett. Másrészt azért, mivel a nemzetiségek önálló államokat alkottak, s azokról nem fognak lemondani. A Habsburg-restauráció még ennél is kevésbé kívánatos, hiszen az végzetes államalakulat volt: 1867, a *rettentes esztendő* az ezeréves magyar történelem legvégzetesebb dátuma. Ez az értelmezés és a hozzá kapcsolódó szerep a magyar politikai skizofrénia „kuruc”, függetlenségi feloldása volt. Olyan, amely *etnocentrizmust, antiszemitizmust, németellenességet, nemzeti elzárkózást, parasztmitológiát és zsenitudatot* egyaránt tartalmazott, s amely a *reálpolitika átláz prófétai* leleplezésének magatartásával társult.

A kontextust a *nemzeti alkatról folytatott*, két világháború közötti *diskurzus*, annak *etnokulturális* nyelvezete és tematikája alkotta. A történelmi elbeszélés egyszerre volt hanyatlástörténet, megújulási program és normatív önmeghatározás. Közvetlenül Farkas Gyula *Az asszimiláció kora a magyar irodalomban, 1867–1914* című művére épült. Ám ahogyan az Szekfű Gyula *Három nemzedék*-ének sémáját illusztrálta és alkalmazta, Németh László is a *Három nemzedék* hanyatlástörténelmi elbeszélését (és Horváth János *Aranytól Adyig. Irodalmunk és közönsége* normatív irodalomszemléletét) fejlesztette tovább. Nála viszont nem a *liberalizmus*

átvétele és az *érzelmi politizálás*, hanem a *külföldi minta átvétele* (a nyelvújítás) és a közösségbe ágyazott *mintaadók kisebbségbe szorulása* lett minden baj forrása. A *Három nemzedék* és a *Kisebbségben* műfaja és előfeltevése ugyanis közös volt. Az, hogy a magyarok belső okokból katasztrofális helyzetbe kerültek saját hazájukban.

Németh László Szekfű logikáját követte ugyan, de kérdésfeltevése más volt. Ő ugyanis nem arra kereste a választ, hogy mi okozta Trianont, a történelmi Magyarország felosztását, hanem arra, hogy mi eredményezte a – feltételezett – zsidó és sváb térhódítást a magyar szellemi és a politikai életben. Ez viszont Szabó Dezső kérdésfeltevése volt. Erre a kérdésre kereste a választ Németh László Szekfű logikája alapján. Forrásait Farkas Gyula könyvén kívül mindenekelőtt maga Szekfű és a Szekfű által igen szelektíven használt kútfők, Horváth János normatív irodalom- és nyelvszemlélete, valamint (nem utolsósorban) saját irodalmi tanulmányai alkották. Szekfűhöz hasonlóan építette be hanyatlástörténelmi értelmezésébe Kemény Zsigmond röpiratait és Gyulai Pál hűbrisz-értelmezését. Ő is – ahogy a *Három nemzedékszerzője* – a külföldi mintakövetés és az öntörvényű magyar fejlődés belső igéneinek szembeállításával indított, de Szekfű konstrukcióját Szabó Dezső *kuruc* értelmezésének igazolására használta fel, újratemelve Szabó Dezső *átláz próféta* szerepét.

Szekfű önképe – emlékszünk – a *nagy-magyar*, ellenségképe pedig a *kismagyar* politika volt, a belső és külső ellenségek ehhez kapcsolódtak. Szabó Dezső ellenségképét a Habsburg-hatalom, s a térfoglaló zsidók, svábok és szlávok alkották, önképét pedig az elnyomott, gyarmatosított magyar parasztság képviselőjére vállalkozó zseni képezte. Németh László ezt az *átláz próféta* örökséget kapcsolta össze Szekfű hanyatlástörténelmi sémájával, és ennek a jegyében módosította azt. Mindhárman egy

új, „nemzeti” középosztály állami beavatkozással megvalósítandó kiépítésére törekedtek – ezért sugallt a *Három nemzedék*, a *Kisebbségben* és Szabó Dezső publicisztikája egyaránt valamifajta disszimilációt. Ugyancsak, egyikük sem értékelte a magyar liberalizmus örökségét, a kossuthi hagyományt, hanem alapjában elvetette azt.

Háromuk közül egyikük történelemértelmezése sem az állampolgári jogegyenlőségben alapult. Szekfű normája az államalkotó erők politikai érteke, a magyar állam birtoklásának ténye és képessége volt. Nemzeti történelmi metafizikájának etnikai-morális bírálata, a *Kisebbségben* pedig azért bírt komoly átütő erővel, mivel annak logikája a *Három nemzedék*-ét folytatta. Azt, amelyet a történetíró sohasem tagadott meg. Mindezekelőtt ez magyarázza Szekfű Németh Lászlóval szembeni védekezésének lanyha, defenzív és lemondó jellegét. Németh László viszont olyan műfajt művelt, amelyben a középosztályi arányszámok módosításának történelmi megalapozása és a jelenbeli veszedelmekkel való szembeszállás elszánt-sága szétválaszthatatlan volt egymástól. A roszt-szul feltett kérdésekre ugyanis csak rossz válaszokat lehetett adni. Az ő tünetleírásai és helyzetértelmezései pedig mind-mind az *ádáz prófeta* szerephez kapcsolódtak.

Németh László továbbgondolta, majd átértelmezte és átalakította Szekfű Gyula konzervatív *realista* történelemértelmezését, *nagymagyar* álláspontját, hanyatlástörténelmi sémáját. Átértelmezésének legfőbb forrása, Szabó Dezső *magyar parasztság-idegen vezetőréteg* történelemértelmezési sémája volt, amelyet nagyon megterhelt a „nemzeti öncélúság” tematikája, s a magyar múlt ahhoz kapcsolódó *romantikus* narratívája, az idegen uralom, hatás és befolyás ellenségképe, a parasztrómantika, a leplező prófeta ostorozó és kinyilatkoztató szerepe. Az, amely kizárja a tárgyilagosságot és a józan érvelést.

Szekfű Gyula és Németh László értelmezésének különbsége viszont sokkal fontosabb, mint a köztük lévő hasonlóság. Míg ugyanis Szekfű nem látott belső fejlődést Magyarországon, sőt annak lehetőségét sem érzékelte, addig Németh László a magyar polgárosodás gazdasági, társadalmi és szellemi tényeire egész jövőképet alapozott, amelyet később bontott ki. Ennek elemeit láthatóan Hendrik de Man, a Tat-kör, José Ortega y Gasset és Oswald Spengler műveiből vette, azok ötvözése és átértelmezése pedig a *minőségiszocializmus*, a *Kert-Magyarország* és az *értelmiségi társadalom* szinonimáival körülírt *osztály nélküli társadalom* kispolgári szocializmusának vízióját rajzolta ki. Múltértelmezésében viszont Szekfű Gyula konzervatív konstrukciójának a foglya maradt.

Németh László a nemzet összetartó erejét, kohézióját a *szekularizált nemzeti vallásként* felfogott *nemzeti kultúrában* látta. Nemcsak abban, amit értékként fedezett és mutatott fel, hanem abban is, amit – némileg programszerűen – maga alkotott meg azért, hogy példát adjon mindazoknak, akik vezetőivel és elhivatottságával hajlandóak szolidaritást vállalni. Ez egyszerre jelentett önmeghatározást és közösségi programot. Ebben az önmeghatározásban meghatározó volt a közösség lényegének esszencialista meghatározása és az író prófeta szerepe. Az az *ádáz prófeta* örökség, amely a magyar *nemzeti öncélúság* tematikájának egyik legsúlyosabb tehertétele volt, hiszen magában foglalta a kizárólagosságot és a kinyilatkoztatást. Azt, amellyel nem lehetett sem akkor, sem később vitatkozni, csak fenntartás nélkül elfogadni vagy teljes mértékben elutasítani. Az, amely miatt korábban Németh László igen keményen bírálta Szabó Dezsőt.

Az író identitását több tényező határozta meg: függetlenségigénye, önmagáról kialakított képe, szekularizált vallási funkciójú kultúraértelmezése, esszencialista, egységes kultúrát feltételező nemzetfelfogása és ér-

telmiség-utópiája. Ezek együtt és egymásra vonatkoztatva rajzolják ki önazonosságát, amely szerepét is befolyásolta. Olvasóközönségét a normatív magyar értelmiség tagjai alkották, identitásprogramját pedig a normatív kultúra megalkotása és szolgálata. Az, amely heroikus feladat és egyúttal példa az értékválságban lévő Európának.

III.

Bibó István *hamis realisták – túlfeszült lényeglátók* ellentétpárja különbözik a *reálpolitikus* és a *prófeta* értelmezéseitől és – bár az utóbbival nagyobb empátiát mutat, mint az előbbivel – mindkettővel szemben távolságtartást és kritikát képviselt. Nem azonos szinten: Szekfű történelmi elbeszélését alapvetően hamisnak és kártékonynak minősítette, Németh Lászlót pedig olyanak, amely őszinte, termékeny és hiteles, de reménytelenül és kibogozhatatlanul belevesztett az asszimiláció körüli viták hínárjába. Bibó István – Szekfű Gyulával és Németh Lászlóval szemben – nem azonosította magát sem a *hamis realistákkal*, sem a *túlfeszült lényeglátókkal*, és egyiket sem diabolizálta. A *túlfeszült lényeglátók* ugyan nyilvánvalóan jóval szimpatikusabbak voltak a számára, mint a *hamis realisták*, ám egyikük sem testesített meg ön-, illetve ellenségképet. A *magyar közélet százezszendős fordított kiválasztását* azal lehet megszakítani, ha a magyar politikai és szellemi elit *realista lényeglátó* szemlélettel és magatartással, önigazolás és önmitizálás nélkül hozzáfog a társadalmi és politikai felszabadulás kiteljesítése feladatainak a megoldásához, és végig is viszi azokat. Minthogy az azok útjában álló legnagyobb akadályok, a történelmi Magyarország illúziója és az úri Magyarország valósága összeomlott, el lehet és el is kell vetni a nagy hatalmi helyzethez való kritikátlan alkalmazkodás reálpolitikus illúzióját. A társadalmi és politikai felszabadulás feladata ugyanakkor azt is feltételezi, hogy a magyar politikai közösség, azon belül pedig

a parasztság társadalmi felszabadulásának ügyét elhatároljuk az egymással azonosított paraszti kultúra és a nemzeti jelleg (s a megtestesítőjének tartott parasztság) ügyétől és azok mitizálásától, s így megszabaduljunk az *ádáz prófeta* örökségtől.

Attól, amely nemcsak a parasztság mitizálásával, hanem a zsidók és a svábok arányszámának méricskélésével is tévútra vezetett. Az asszimiláció döntő tényezője ugyanis nem az asszimilálódók valamifajta rejtélyes közösségi lényege volt. Azt az asszimiláló közeg társadalmi zavarai határozták meg. Az, hogy a magyar társadalom urakra és szolgákra oszlott, s a kettő rendi jellegű volt, és mereven elkülönült egymástól. Ez volt az a mozdulatlan világ, amelyben a polgárosult zsidó és német társadalom tagjai könnyebben boldogultak, mint a rendi világba tagolt magyarok, hiszen belülről nem fékezte őket a rendies társadalmi szerkezet. A magyar társadalom számára ugyanakkor ők voltak a nemzeti asszimiláció „bezzeg gyerekei” a románokkal, a horvátokkal, a szerbekkel és a szlovákokkal szemben. Ők ugyanis asszimilálódtak, míg a többiek nem, s az ő asszimilálódásukkal próbálták a történelmi Magyarország megőrizhetőségének ámitottjai önmaguk elől elfedni a nem asszimilálódók tömegét. Ez viszont nem az asszimilánsok bűne volt, hanem az úri Magyarország öncsalása. Az, amelynek a legnagyobb szerepe volt abban, hogy a magyar politikai elit tagjai az 1860-as évektől 1944-ig rosszul mérték fel a helyzeteket, és rosszul döntöttek. A magyar politikai élet hamis konstrukciói ugyanis oda vezettek, hogy szétvált a valóságérzék és a lényeglátás, és mindkettő eltorzult: a realisták megalkuvókká züllöttek, a lényeglátók pedig ádáz, monomániás prófétákká.

Az értelmezésnek nemcsak alapstruktúrája és állapotrajza különbözött a másik kettőtől, hanem kontextusa és műfaja is. Bibó István ugyanis nem a történelmi Magyarország állami integritásának megőrzése

szempontjából mérlegelt, de nem is a kívánatos irodalmi és szellemi élet követelményeit kérte számon a múlton, hanem a közösségi értékelés zavarait és negatív mintáit, a magyar politikai skizofrénia okait kereste, és azt az 1860-as évek és 1944 közötti magyar politikai élet konstrukcióiban és előfeltevéseiben, ma úgy mondanánk, diskurzusaik alapszerkezetében, témáiban és érveiben találta meg. Az ő pozitív mintája, a realista lényeglátó nem ádáz próféta, de nem is opportunist, hanem olyan politikus, aki józan, felelős, ép a valóságérzéke és a lényeglátása, aki ezért jól tud dönteni. S éppen erre vált képtelenné diagnózisa szerint a két világháború között és a negyvenes években a magyar politikai elit.

Az esszében Szabó Dezső, Németh László és Szekfű sémái egyaránt visszaköszönnek. Tegyük hozzá, új sémát is találunk benne, Erdei Ferenc *kettős* (vagy inkább *hármás*) *társadalom* tételét. A gondolatmenet iránya viszont másfelé mutatott, mint Szekfűé vagy Németh Lászlóé. Szerinte ugyanis nem a liberalizmus a felelős a történelmi magyar állam sorsáért, hiszen annak integritása semmiképpen sem volt fenntartható. Ám nem is az a kérdés, hogy kivesszett-e vagy sem a régi és népi magyar jelleg a magyarságból, hiszen „egy közösség nem bolondul meg nyelvi hatásoktól”. (Bibó István 1948. február 15-i debreceni előadásának kéziratosa vázlat. A Magyar Tudományos Akadémia Könyvtára, Kézirattár, Ms 5116/81.). Bibó István a hanyatlástörténelmi műfaj fogalmainak és sémáinak nyelvezetét használta ugyan, csak éppen úgy értelmezte át magát a műfajt, a fogalmakat és a sémákat, hogy azok immár a *liberalizmuskritika* és a *kultúrkritika* használhatatlanságát, az etnokulturális nyelvezet félrevezető voltát, a *reálpolitikai* és a *prófétai* szerepek használhatatlanságát és félrevezető voltát mutatták ki, és – mindenekelőtt – a *Trianon-diskurzus* és az *alkat-diskurzus* felbontását jelentették.

Maga a cím is az *alkat-diskurzus* belülről való lezárását jelöli. Ugyanis az *Eltorzult*

magyar alkat annak a beszédmódnak a kifejezése volt és azt az asszociációt keltette, hogy *az ép, egészséges magyar alkat idegen hatások következményeként eltorzult*. Bibó esz-széje viszont nem erről szólt, s éppen azt a gondolkodásmódot, amelynek része az *idegen hatás – ép, érintetlen alkat* magyarázó sémája, vetette el, s így a kifejezés értelmét veszítette. A diskurzusok felbontása és a műfaj önmaga ellen fordítása eredményeként ugyanis Bibó István túljutott Szekfű Gyula és Németh László történelmi elbeszélésén, nemzetfogalmán és identitásprogramján.

Az esszé kontextusát egyrészt a két világháború közötti *nemzeti jelleg-vita*, másrészt a második világháború alatt kezdődött – az 1849 utáni és az 1919 utáni *Forradalom után-röpiratirodalmak*-kal folytonos vonásokat mutató – *Valahol utat vesztettünk-irodalom* alkotta. Nemzetfogalma alapvetően különbözött Szekfű Gyuláétól. Ő ugyanis nemzetet nem az integer történelmi Magyarországot, annak államát és politizáló osztályait értette, és nem is annak paternalista továbbfejlesztését. De nem is valami egyszer volt, vagy megteremtendő normatív nemzeti kultúrát, szekularizált valláspótlékot, közösségi lényegét, mint Németh László. Bibó István szerint a nemzet a politikai intenciójú közösség közös vállalkozása, amely konkrét feladatmegoldásokra irányul, és az egyes egyének és az egész közösség méltóságteljeségét alapozza meg. Az ő közönségét a „keresztény középosztály”, a népi értelmiség és a *Soá* túlélői együtt, egy megteremtendő új demokratikus értelmiségi közvélemény tagjaiként alkották.

Mindháromuk Európa-kepe ambivalens volt, és mindhárman az európai értékrendszer regenerálásának a lehetőségét keresték, s (ha különböző mértékben és értelemben is, de) valamennyiük felfogásában volt valami látens Amerika-ellenesség. Az, amely az

európai kisebbségi érzet és megalománia beszűrődése volt. Kánonjukat pedig az *európai mintakövetés* és a *nemzeti öncéliség* megkettőzése, szembeállítása, összekapcsolása, illetve átértelmezése alkották. Azok, amelyek Szekfű Gyula és Németh László esetében az etnokulturális liberalizmus- és kultúrkritika jegyében szemben álltak és különböztek a korábbi – a jogkiterjesztő asszimiláción alapuló – liberális nacionalista politikai nemzetfogalomtól. Bibó István kísérlete pedig – három, 1948-as esszéjében – az *etnokulturális beszédmód* elvetését, az *alkat-diskurzus* lezárását, a *haza és haladás*, *hagyomány* és *modernitás* egymásra vonatkoztatásának és szintéziskísérletének újabb változatát foglalta magában. Ott és akkor, amikor a totális rendszer uniszónója minden más hangot elnyomott.

IRODALOM:

- Dénes Iván Zoltán (1976): *A „realitás” illúziója. A historikus Szekfű Gyula pályafordulója*. Akadémiai, Budapest
- Dénes Iván Zoltán (1999): *Eltorzult magyar alkat: Bibó István vitája Németh Lászlóval és Szekfű Gyulával*. Osiris, Budapest

A magyar politikai skizofrénia – reálpolitikus, próféta és szelíd lényeglátó feloldási kísérletei után – ma is feloldásra vár, hisz az nem fátum, hanem rossz minták újratermelése. Feltehetően nem egyszeri, nagy nekiveselkedéssel lehet feloldani, hanem sok-sok célirányos erőfeszítéssel. Mindenekelőtt az egyéni és kollektív traumák módszeres feldolgozásával, pozitív magatartásminták és közösségi értékelési módok meghonosításával, a nagyétvágyú hatalmasok oligarchikus világának és a populizmus csábításának visszaszorításával, az egyéni boldogulás és a közjó közötti kölcsönhatás napi megtapasztalásával.

Kulcsszavak: *Szekfű Gyula, Németh László, Bibó István, magyar politikai skizofrénia, a nemzeti jellegről folytatott diskurzus, identitás, reálpolitika*

- Dénes Iván Zoltán (szerk.) (2001): *Szekfű Gyula*. (Magyar Pantheon) Új Mandátum, Budapest
- Trencsényi Balázs (2001): Az „alkat-diskurzus” és Bibó István politikai publicisztikája. In: Dénes Iván Zoltán (szerk.): *Megtalálni a szabadság rendjét. Tanulmányok Bibó István életművéről*. Új Mandátum, Budapest. 175–207.



HIDVÉGI GRÓF MIKÓ IMRE – ERDÉLY SZÉCHENYIJE, AZ ERDÉLYI MÚZEUM-EGYESÜLET MEGALAPÍTÓJA (1805–1876)

Egyed Ákos

az MTA külső tagja, az EME elnöke

A történelem egy-egy korszakának mindig voltak meghatározó személyiségei, akik mélyen rányomták egyéniségük s működésük bélyegét az események alakulására. A 19. századi magyar történelemben a reformkort biztosan lehet Széchenyi koraként emlegetni, 1848–1849-et Kossuthénak, a kiegyezés idejét Deák Ferencének. Mikó Imre gróf – akire a következőkben emlékezünk születésének 200. évfordulóján – jelentőstagja volt a 19. század közepén élő és tevékenykedő nagy magyar vezető rétegnek, s pályája annyiban tért el a kortársakétól, hogy íve a neoabszolutizmus korában emelkedett a legmagasabbra, s vált meghatározójává Erdély 1850–1867-közötti korszakának. Róla írta Horváth Boldizsár az őt és munkásságát jól ismerő kortárs: „Gróf Mikó Imre élete, szereplése oly lényeges alkatrészeit képezi a kor történetének, hogy a történetíró, aki e kor átalakulási mozgalmairól hű képet akar nyújtani, csak csonka művet adna, ha e férfiú alakját előtérbe nem állítaná” (Horváth, 1877). Horváth Boldizsár nem az egyedüli volt, aki ilyen véleményt alkotott Mikó Imréről és szerepéről.

Mikó Imre gróftot kortársai már akkor gyakran mondták Erdély Széchenyijének, mielőtt Tompa Mihálynak nevezetes verse 1860-ban megjelent. Igaz viszont, hogy a szélesebb közvélemény mégiscsak utána

kezdte Mikó Imrét máig tartóan ekként emlegetni. A költő tehát csak a közvélemény tolmácsolója volt – amint Erdélyi Pál, az Erdélyi Múzeum-Egyesület egyik kiváló munkatársa megállapította. (Erdélyi, 1905)

A kortársak az összehasonlítással értékelésüknek adtak kifejezést, s ma is nehéz lenne rövidebben és lényegesebben meghatározni Mikó Imre szerepét. Ő ugyanazt jelentette Erdélynek, mint Széchenyi Magyarországnak. Az összehasonlítás azért is megállja a helyét, mert Mikó Imre gondolkodásában, közintézmény-pártoló és -alapító munkásságában, civilizátori szerepében közel állt Széchenyihez, bár a különbözőségek sem hanyagolhatók el. Széchenyi eredetibb gondolkodó, Mikótól sokat tanult, de maga sem nélkülözte az eredetiséget, s olyan küzdőképességről tett bizonyosságot, amint ő mondotta „az alkotmányon kívüli lét” viszonyai között, amelyre a nagy példakép aligha vállalkozott volna. Jól írta Erdélyi Pál (1905): „A két vezető és agitáló nagy hazafi szerepe és jelentősége vérmérsékletük különbözőségén kívül főként aszerint alakul ki, amint kinek kinek működését a maga hazája és kora irányították.” Ezért a specifikumok miatt sem lehetett volna Mikó Imre Széchenyinek csak utánzója; ő éppen a helyzetfelismerése s alkotó tevékenysége által lehetett valóban Erdély Széchenyije.

Mikó Imre 1805. szeptember 4-én született a háromszéki Zabolán, anyai nagyapja gróf Mikes Zsigmond és nagyanyja Ugron Julianna házában. Édesanyja, Mikes Borbála grófné nem szülni, hanem látogatóba ment szüleihez, de ez a véletlenszerűséget is hordozó családi esemény sorsformálójává vált az újszülött fiúnak; édesanyja gyermekágyi lázban meghalt, s emiatt az unoka felnevelése a nagyszülők gondja lett.

Mikó Imre két ősi székely nemzetség: a Mikó, valamint a Mikes nemzetség leszármazottja volt. A Mikó család őseinek első írásos említésével a 13. század közepén találkozunk. Egy 1252. augusztus 20-án keltezett okirat szerint IV. Béla király különböző követségekben tett szolgálataiért Akadas (Akadás?) fia Vince comesnek, sebusi (sepsi) székelynek adományozta a Brassó és Háromszék között elterülő Szék földjét, amelynek lakosságát a tatárok kipusztították. A Mikó név később keresztnevből vált családnévvé. Az egyik ős a 18. században Mária Teréziától grófi címet szerzett. A család lakhelyét Hidvégen (Alsó-Fehér, majd 1876 után Háromszék megye) és Bodokon (Háromszék) alakította ki, mindkét helyen udvarházat tartott fenn.

Mikó Imrere őseitől gazdag örökség tétőlódott. Jelentős földbirtok, földesúri jogok, széleskörű összeköttetések, tekintély, grófi cím. A szabadságharc leverése után, a Habsburg-abszolútizmus idején igyekezett a nagy örökség jelentős részét a társadalom, főleg az erdélyi magyarságnak visszajuttatni. Fiához, Mikó Ádámmal írt Intelmeiben¹ azt vallotta: aki őseitől nagyobb vagyont örökölt, „attól a hon kétszerre jobban megvárhatja, mint sok mástól” a hazának tett áldozatot.²

Mikó Imre a nagyenyedi Bethlen Kollégiumban tanult, amely az ő idejében élte

¹ Nyomtatásban megjelent Erdélyi Pál szerkesztésében (1909–1942).

² Mikó Imre általam idézett levelei és kéziratai jelenleg a Kolozsvári Egyetemi Könyvtár kéziratosztályán találhatóak. Ezek helyét a továbbiakban külön nem jelöljük meg.

fénykorát. Rá Köteles Sámuel, a híres kantiánus filozófus volt életre szóló hatással. Tanulmányaiiban a római és görög klasszikusok valamint a magyar szépirodalom különös hangsúlyt kapott. A kor szokása szerint Marosvásárhelyt fejezte be tanulmányait, ahol jog- és törvénytudományból szerzett diplomát 1825-ben. Korán hivatali pályára lépett. 1826-ban az Erdélyi Főkormányzóknél (Gubernium) Kolozsvárt tiszteletbeli írnok, majd fogalmazó titkár (1834). A munkában s fejelemben egyaránt kitűnő fiatalember pályája Kolozsvárról Bécsbe vezetett, ahol az Erdélyi Kancellária titkára volt. Innen 1837-ben tanácsosként tért vissza a Guberniumhoz, s ettől kezdve 1848-ig országgyűlési követként is részt vett Erdély politikai életében.

Az 1841-1843-i erdélyi országgyűlés már nagy közügyi feladatokat bízott rá: az Országos Színházi Bizottság elnökévé s az erdélyi múzeum-ügy egyik albizottságának vezetőjévé választották. 1838-ban a nagyenyedi Bethlen Kollégium főgondnoka, 1840-től az Erdélyi Református Egyházkerület egyik főkurátora. 1840-ben nőül vette gróf Rhédey Mária, akitől négy gyereke született. 1847-ben Erdély főkincstárnoka.

Eddigi életét, sikereit méltatva írta egyik kortársa, Kemény Gábor akadémikus: „Köznapi nyelven szólva ez igen szép pálya. Negyvenkét éves korában excellentiás úr Erdélyben, hol az excellentiás urak száma viszonylag mindig kevés volt”, és emellett közbizalmat élvez fenn és lenn, az udvarnál és az erdélyi társadalomban. Ez a kettősség jellemezte eddigi munkásságát, és ezt szerette volna folytatni az 1848-as forradalom idején is, azonban ez a kísérlete feloldhatatlan ellentmondáshoz vezetett; az uralkodó feltétlen hűséget követelve tőle, kinevezte az Erdélyi Kancellária elnökévé a lemondásra kényszerült Jósika Samu helyére, akkor, mikor a magyarság már elhatározta Erdély és Magyarország unióját. Mikó nem fogadhatta és nem is fogadta el a magas tisztséget, mert jól tudta, hogy

ezzel az unió ügyét veszélyeztetné, pedig ő őszinte híve volt a nemzet egységének, a két haza egyesülésének. Ettől várta Erdély polgárosodásának felgyorsulását, az erdélyi magyarság megerősödését. Ennek jegyében vállalta el az 1848. október 16-ra összehívott agyagfalvi Székely Nemzeti Gyűlés elnöki tisztét, miután a mintegy hatvanezer székelyt számláló nagygyűlés egyöntetűen rá szavazott. Az agyagfalvi gyűlésen a székelység hitet tett az unió mellett, s mert veszélyben látta a forradalom eredményeit, fegyveresen felkelt azok védelmére.

Mikó mindenképpen szerette volna elejét venni az erdélyi népek fegyveres konfliktusának, a már készülő polgárháborúnak, de béketerve kudarcot vallott; 1848 novemberében Erdélyben véres polgárháború dúlt. Emiatt 1848. december 2-án Olmützbe utazott, hogy az uralkodótól kérjen segítséget a béke helyreállítására. Nem járt sikerrel; segítséget nem kapott, hanem házifogságra vetették, ahonnan csak 1849 októberében térhetett haza.

A hosszas háborúskodás alatt feldúlt Erdély látása mély fájdalommal töltötte el, amit fokozott a családi tragédiával való szembesülése, felesége ugyanis közben gyermekágyi lázban meghalt. És Kolozsvár sem fogadta tárt karokkal, mert sokan nehezteltek rá a város 1848. novemberi feladásáért az ellenséges csapatoknak, holott a város vezetése kérte fel őt az okmány aláírására, s talán „gyanús volt” sokak szemében a tartós távolmaradás miatt is. Bár mindig a legtisztább szándék vezette a forradalom idején kifejtett politikájában, el kellett gondolkodnia azon, ami vele s Erdéllyel történt – s ő valóban ezt tette. A katarzis évei következtek (1850-1851) majd lelki békéjének visszanyerése után a cselekvés útjára lépett. Nem tette magáévá a Deák Ferenc-féle passzív rezisztencia politikáját, amit Magyarország követett, holott Deákkal jó baráti viszonyban volt. Úgy vélte, hogy „Mit erőszakkal nem, csöndben és halkán munkálva véghez vihetni”. Ezt az eredetileg

Claudianustól származó gondolatot³ Mikó „valóságos Széchenyi-elv”-ként fogta fel, s amint a szemtanú Jakab Elek előtt kijelentette, megfelelően fog cselekedni.

Először azonban tisztázta önmagának a teendőket a később, 1860-ban a *Budapesti Szemlé*-ben publikált *Irányszemlé*-nek nevezett írásaiban.⁴ Ebben az őt és korát foglalkoztató kérdéseket hat fejezetben foglalta össze, és pedig: I. *Nyelv és irodalom*, II. *Egyetértés, társadalmi egybeolvadás*, III. *Magyar ifjúság*, IV. *Nőink hivatása*, V. *A történeti alapok megőrzése*, VI. *A hazán kívüli lakás*.

Abból az általánosan elfogadott nemzet-koncepcióból indult ki, amely a nyelvet a nemzet legfőbb ismérvének tartotta. „Az anyai nyelv” csere vagy alku tárgya nem lehet, mert a nemzet nyelvében él vagy hal. Nem kevesebbről van szó – írta Mikó Imre –, mint arról, hogy a magyar nemzet létezzék-e továbbra is az európai népek családjában, vagy ne. A nyelv éltetője az irodalom, amelyet ápolni kell. A második fejezetben a magyarság önismeretét vizsgálta: a magyar pártoskodó, civakodó, uralkodni vágyó nemzet, amely a jármot nem tűri, de a szabadsággal, miután megszerezte, nem tud mit kezdeni – utal bizonyos külföldi vélekedésekre. Ő nem hisz az ilyen nemzetkaraktológiában, különösen abban nem, hogy a magyarban ezek a tulajdonságok túltengenek, és az ellenségeskedés hajlama erősebb lenne közöttük, mint más népek között. De mégis: ha van valami igazság a fentiekben, meg kell gondolni azokat, mert a magyar kis nemzet, s nála a kisebb hibák is nagyobb bajok forrásai lehetnek, mint a nagy nemzeteknél. A magyar ifjúságnak szerinte nem jut elég munkatér, nincs közélet, de az ifjúság sem keresi eléggé azokat a lehetőségeket, ahol érvényesíthetné felkészültségét és hajlamait. Azt ajánlja: karolják fel az egyesületi életet.

Mikó szerint a nők helyzete is megváltozott a forradalom után, erős a nyugati divat

³ „Peragit tranquilla potestas / quod violentia nequit...”

⁴ Ezek különlenyomatként is megjelentek 1861-ben.

csábítása, amellyel behatol az álpolgáriásodás. Ezeket el kellene kerülni, a nő hivatása a család, a háziasság fenntartása, az anyanyelv és irodalom ápolása és azok szeretetének átadása gyermekeinek. Nagy jelentőséget tulajdonít a történeti alapok megőrzésének, ilyenek: az anyanyelv, „a hazai föld”, közintézmények, a nemzeti szokások, zene, tánc, öltözet, nemzeti öntudat és a történeti múlt. Amely nemzet ezekről megfélekedzik, annak sorsa a „másokba olvadás”, az asszimiláció. Végül a „hazán kívüli lakás” szerinte csak azok számára megengedhető, akiket valamilyen kényszer űz el a szülőföldről.

Az *Irányszemek* jól mutatja Széchenyi hatását. Mikó ezt nyíltan ki is fejezte, ám mégis – és ezt nagyon hangsúlyozzuk – Erdély helyzetét elemzi, Erdélyre szabottan fogalmazza meg mondanivalóját és programját. Mondanivalójának történeti és politikai háttéréként meg kell jegyeznünk, hogy Erdélyben akkor még nem történtek meg azok a társadalmi változások, amelyek Magyarországon a reformkorban végbementek, tehát kettőzötten kellett a változások következményeivel számolni, mégpedig az elnyomás, az abszolutizmus körülményei között, amikor az anyanyelv helyett a német nyelv használatát tették kötelezővé, hivatalossá, amikor a saját hagyományok háttérbe szorulásával kellett számolni. Mikó nem volt konzervatív, sőt a mérsékelt haladás, a nemzeti liberalizmus híve olyanformán, mint Széchenyi, de tisztában volt azzal, hogy az erdélyi magyarság a társnépek között identitását csak úgy tudja megőrizni, ha a változások között is képes saját történetét, hagyományait ápolni és éltetni. A Habsburg-abszolutizmus a központosító politika által mindent a maga képére próbált átformálni, s a politikai üldöztetések miatt tömegessé vált „a hazán kívüli lakás”.

Következésképpen nem véletlen, hogy Mikó Imre először is a mentő munkára gondolt, az iskolák támogatását és beindítását tartotta azonnali feladatnak. Ezzel egy időben a Kolozsvári Nemzeti Színházat vette védel-

mébe, ama hivatkozva, hogy már az 1841-43-as erdélyi országgyűlésen az Országos Színházi Bizottság elnökévé választották, tehát jogában áll és kötelessége a kultúra terjesztésében és az anyanyelv fejlesztésében oly nagy szerepet játszó színházi intézmény megmentése az elidegenítéstől, amire a hatalom törekedett. Ilyen jellegű, nagy energiátkövetelő tevékenységet nem végezhet sikeresen egymaga még olyan talentumos és karizmatikus személyiség sem, amilyen Mikó Imre volt. Őt egy olyan értelmiségi csoport támogatta, amelynek tagjai magas képzettséggel rendelkeztek, s a közügyek iránti elkötelezettség jellemezte őket; köztük Berde Áron lapszerkesztő, kollégiumi, később egyetemi tanár, Kriza János néprajzkutató, unitárius lelkész, majd püspök, Gyulai Pál író, Brassai Sámuel tudós professzor, Kőváry László publicista és történetíró, Nagyajtai Kovács István jogtudor és történész, Jakab Elek közíró és történetkutató. Talán elegendő a felsorolatról annyit elmondanunk, hogy mindnyájan tagjai voltak (vagy lettek) a Magyar Tudós Társaságnak, a Magyar Tudományos Akadémiának, mint egyébként Mikó Imre is.

Mikó az említett szakemberekre támaszkodva nagy történeti forráskiadó munkába kezdett. Elindította az *Erdélyi Történelmi Adatok* című sorozatot, amelynek első kötete 1855-ben hagyta el a nyomdát, és később további három kötete jelent meg.⁵ Tudományos munkássága, tudományszervező igyekezete érdeklődést és elismerést váltott ki a magyarországi tudósok körében, és érdemeiért 1858. augusztus 15-én a MTA tiszteletis 1865. január 26-án igazgatósi taggá választották. 1867-től élete végéig a Magyar Történeti Társulat elnöki tisztét is betöltötte.

Számbára a történelem – amint gyakran hangoztatta – nemcsak „testis temporum, hanem magistra vitae”, a történelem az élet könyve. Kutatásaival használni akart, s a szabadságharc elbukása miatt reményt vesztett magyarság önbizalmát is szerette volna a

⁵ A negyedik kötetet Szabó Károly szerkesztette.

történelmi múlt forrásainak közzétételével szolgálni. Olyan kiváló elődökről írt könyvet illetve tanulmányt, mint Bod Péter, Benkő József, Kemény József gróf, akiket az erdélyi magyar tudományos történetírás elindítóinak tartott. Akadémiai székfoglalójának címe: *Erdély különválása Magyarországtól*. A magyar nemzetet és kultúrát egységesnek tartotta, de gondolkodását áthatotta egyfajta erdélyiségtudat, „transylvanizmus”. Ez az erdélyi hagyományok tisztelétén túl abban is megnyilatkozott, hogy ő mindig, még a legzordabb időben is kereste a kapcsolatot az erdélyi társnépekkel: a szászokkal és románokkal. Meggyőződéssel vallotta: „a velünk egy hazában élő népekkel elválaszthatatlanul egybe vagyunk kapcsolva, jelenünk és jövőnek azokkal nagymértékben egy. Ezen már létező és fel nem könnyen bontható, és felbontani nem is kívánatos állapot mindnyájunknak kötelezővé teszi, hogy egymás iránt türelmesek, kímélők legyünk, minden nemzet jogait tiszteljük, a közérdekeket közérővel, saját érdekeinket másokéinak sérelme nélkül, sőt az ő segítségükkel előmozdítani; más szóval legyünk okosak és méltányosak” (Kolozsvári Közöny. 1856. október 1.). Ezeket az elveket a gyakorlati munkásságában is igyekezett érvényesíteni, együttműködött a szászok kulturális és tudományos intézményével, a Verein für Siebenbürgische Landeskunde szervezettel, tagja lesz majd a románok hasonló intézetének, az Asociația pentru cultura română și cultura poporului român din Transilvania (ASTRA) egyesületnek. Ugyanakkor szilárd álláspontja volt, hogy minden népnek fenn kell tartania saját egyediségét, egyéniségét, joga van kiépíteni saját intézményeit.

Nem feledkezett meg a gazdaság fontosságáról, a gazdasági jellegű intézményekről. 1855-ben írta a következőket: „Meg vagyok győződve, hogy mostanság a magyar nemzetnek két legfőképpen hasznos, munkás osztálya van: az egyik mely irodalmát, másik

mely földét műveli. Amazok által szellemileg, ezek által anyagilag erősödik és áll lábra ismét a megtántorodott nemzet.”

Erdély mezőgazdasági ország volt, a lakosságnak döntő többsége őstermeléssel foglalkozott. Az ún. okszerű gazdálkodás elterjesztésére már 1844-ben egyesületet alapítottak Erdélyi Gazdasági Egylet néven, amely 1848-ig fennállt, igaz, nem dicsekedhetett számottevő eredménnyel. Nem csoda, hogy a forradalom idején szétesett, s így újraalapítása a szabadságharc után a legidősebb feladatok egyike volt. Ennek elvégzése is Mikó Imre gróf nevéhez fűződik.

Mikó nem akart mindenáron, minden téren vezető szerepet játszani, őt a társadalom kérte fel erre. Az Erdélyi Gazdasági Egylet újjászervezésére is azért vállalkozott, mert őt tartották mint mintagazdát és a korábbi egyesület tevékeny tagját a legalkalmasabbnak erre. Az Erdélyi Gazdasági Egyletet (később Erdélyi Gazdasági Egyesületre módosították a nevét) azért kellett sűrűn újraelakítani, hogy segítsen a forradalom alatt tönkrement mezőgazdaság s főleg a gazdák, az agrártársadalom talpra állításában. Ezt felismerve kérte fel Mikót a régi egyesület néhány kiváló tagja, hogy eszközölje ki a bécsi kormánynál az egyesületi munka újakezdésének engedélyezését. Ezt Mikó Imre gyorsan elintézte. Az alakuló ülés 1854-ben őt elnökké választotta, és ezt a funkciót nagy odaadással és szakértelemmel látta el. Azonban gondja volt arra is, hogy az egyesület gyakorlati munkáját jó szakértők vezessék. Ilyenek voltak: Kelemen Béni gazdatiszt, Bodor Pál pomológus, Berde Áron tanár, Újfalvi Sándor kiváló gazda és sokan mások. Az újraelakítás sikeres volt, az Erdélyi Gazdasági Egyesület a korszerű gazdálkodás előmozdítójává vált, s az erdélyi magyar társadalomnak is rendkívüli hasznára volt. Mikó Imre, visszaemlékezve az újjászervezésre, ezeket írta: „Látnivaló, hogy ez az 1851-1853-ig aléltságban lévő nemzeti szellem új életre ébredésének le-

görvendetesebb nyilatkozata,⁶ s az egyesület újrafölelevenítése annak leggyakorlatibb műve volt. A nemzet erkölcsi és szellemi életmezeje korántsem volt úgy letarolva az idők és viszonyok mostohasága által, mint az anyagi. Itt volt szükség mindennek előtt a regeneráció elemeiről gondoskodni.⁷

Észelve, hogy az erdélyi magyarság körében növekvőben van a cselekvési kedv és a nemzeti ügyek iránti érdeklődés, s ebből erőt merítve, Mikó Imre hozzálátott fő életműve: az Erdélyi Múzeum-Egyesület megalapításához. Ez a mintegy négyéves kitartó munkát igénylő vállalkozás mutatta meg igazán Mikó Imre tudományszervezői zsenialitását. Állami támogatás nélkül, sőt az állam ellenkezése ellenére kellett polgári összefogással olyan egyesületet létrehozni, amely az erdélyi nemzeti múzeumot működtetni fogja. Amely muzeális és akadémiai feladatok elvégzésére alkalmasnak bizonyul.

Mikó Imre alapos, körültekintő előkészítő munkába kezdett. Felmérte az előzményeket és tanulmányozta az európai, magyarországi gyakorlatot, s természetesen az erdélyi viszonyokat, és csak ezek után indította el a szervezőmunkát.

Az előzményeket Bod Péterig nyomozta ki, s hosszabban foglalkozott az 1841–1843-ban megtartott erdélyi országgyűléssel, amely törvényt alkotott egy nemzeti múzeum létrehozásáról, s amelynek tervezetét kidolgozó egyik bizottságban ő is részt vett. De a megvalósítás Bécs ellenállása miatt akkor nem sikerült, a gondolat azonban élt, s Mikó Imre és a köréje tömörülő értelmiségiek 1855–1856-ban elérkezettnek látták az időt megvalósítására. Stürgető körülményként jelentkezett gróf Kemény József nagy forrásgyűjteménye elhelyezésének kérdése. Kemény József forrás- és kéziratgyűjteményét 1841-ben a

létesítendő erdélyi nemzeti múzeumnak ajándékozta, de később végrendeletében a múzeum létesítéséig a Magyar Akadémiára bízta. Mikó Imre viszont szerette volna Erdélyben tartani a nagy értékű hagyatékot, s ezt Toldy Ferencnek, a Magyar Akadémia titkárának levélben hozta tudomására.

A Kemény-gyűjtemény sorsára utalva megemlítette a következőket: *„Nem titkolhatom ugyan el miként lelkem hőbb óhajtsáinak egyike az, hogy egykor mi Erdélyiekül is egy szerényke kis Múzeumot bírjunk, hova mindazon becses ereklyéket és gyűjteményeket, miknek specificus rendeltetése: Erdély fiai által használtatni, egy csoportba összegyűjthessük, sőt valóban alig várom az időt, midőn evégre valamicske siker reményével lépéseket tehetek.”* (Mikó levele Toldy Ferencnek, 1855. február 27.) Mikó szándéka tehát világos volt: Erdélyben nemzeti múzeum létesítése. E szándék megvalósítását Kemény József gróf 1855. szeptember 12-én bekövetkezett halála sürgetőssé tette, és ő nem is késlekedett a kezdeményezéssel. Döntő fontosságú volt az 1856 márciusában közzétett felhívás, amelyben a nyilvánosság elé tárta tervét. *„Egy tudományos tűzponttal kell nekünk bírní, melynek körébe vonulnak a hazai értelmesebbjei, hova összegyűjtjük nemzeti kincseinket – lefolyt nemzeti életünk régi történeteink örökbecsű maradványát –, összeszerezzük a jobb-jobb könyveket, a tudomány emez égő szövétnégeit, hol a hazai múzáknak fogunk megszűnés nélkül áldozni, hol nyelvünk tökéletesítésén, a tudomány, s főként a hazai történetek és természettudományok művelésén, népszerű alakban terjesztésén és gyarapításán fognak a hivatottak munkálkodni.”*

Vagyis Mikó Imre szerint a létrehozandó múzeumnak egyszerre kell ellátnia majd a múzeumi gyűjtőmunkát és a tudományművelés feladatait. Egyébként pontosan megnevezte, hogy számára a Magyar Akadémia és a Magyar Nemzeti Múzeum volt a modell. A

⁶ Ti. a megalakulás kinyilvánítása

⁷ Mikó Imre beszéde az Erdélyi Gazdasági Egylet 1864. január 25-én tartott közgyűlésén.

múzeumot a konkrét gyűjtő és őrző feladatok elvégzésére hozzák létre, de ugyanakkor az intézmény „a magyarság fennmaradásának további nemzeti irányú fejlődésének hazai és állami jelentőségének *conditio sine qua nonja*...” Eszerint az Erdélyi Múzeum átfogó intézmény lesz, amely pótolja azt az űrt, amit a politikai élet hiánya okozott, az abszolutizmus körülményei között. Az már a Habsburg Monarchia Erdély-politikájának következménye volt, hogy a magyarságnak magának kellett gondoskodnia a múzeumalapítás anyagi alapjairól. Ezért Mikó az említett felhívásában pontosan megfogalmazta, hogy a múzeum számára „*alakítsunk egy Erdélyi Múzeum-Egyesületet*” (!), amelynek székhelye Kolozsvár legyen. Az egyesület tagjai fogják az anyagiakat előteremteni.

Tervével egyszerre jelentette be Mikó Imre, hogy a múzeumnak engedi át Kolozsvárt, a Külső-Szén utcában fekvő több mint tízholdaskertjét a rajta lévő épületekkel együtt. A bejelentésnek hatalmas visszhangja keletkezett. Egymást érték a következő hónapokban, sőt években a felajánlások, mind a múzeumi gyűjtemények számára, mind az alapítás költségeinek fedezésére. Ekkor kezdik mind sűrűbben emlegetni az ő nevét Széchenyi neve mellett. Többek között a Magyar Nemzeti Múzeum igazgatója, Kubinyi Ágoston is az 1856. december 2-án keltezett neki szóló levelében.

Az erdélyi múzeumalapítási mozgalmat a Magyar Tudományos Akadémia nyomban felkarolta. 1856. november 25-i ülésében tárgyalta Mikó felhívását, s akkor hozott határozatot a kolozsvári kezdeményezés támogatására. Erről báró Eötvös József alelnök és Toldy Ferenc titkár aláírásával ellátott levélben értesítette Mikó Imrét: „*Intézetünk valódi hazafiúi örömmel üdvözlí excellenciádat e téren, melyen egyedül van nemzetünknek jövője, t.i. a tudományos emelkedés által tartalmazott és nemesített nemzeté.*” Az Akadémia úgy látta, hogy az er-

délyi múzeum létesítése lehetőséget nyújt az erdélyi elszórt értelmiségi erők egyesítésére, s támogatása jeléül máris bejelentette, hogy átengedi az Aranka György-féle gyűjteményt az erdélyi testvérintézménynek, s minden ezután megjelenő kiadványát meg fogja küldeni annak. Nagy erkölcsi támaszt jelentett az is, hogy huszonnégy magyar akadémikus nyomban bejelentette: tagja kíván lenni az Erdélyi Múzeum-Egyesületnek. Köztük volt báró Eötvös József, Toldy Ferenc, Csengery Antal, Pauler Tivadar, Kubinyi Ágoston, Balagi Mór és mások.

Ezek után Mikó Imre okkal remélhette, hogy hamarosan sor kerül az Egyesület megalapítására, annál inkább, mivel Bécs az engedélyezést már kilátásba helyezte. Mégis majd három évet kellett erre az eseményre várni. Végre 1859. november 23-26-án ünnepléses keretek között az Erdélyi Múzeum-Egyesület megtarthatta alakító közgyűlését. Neve Erdélyi Múzeum-Egylet lett, de ezután hol Egyletnek, hol Egyesületnek nevezik, míg végre állandósult az Erdélyi Múzeum-Egyesület (EME) megnevezés. Az alakuló közgyűlésen 383 beiratkozott tag jelent meg, s a munkálatok lefolyását a magyar közvélemény élénk érdeklődéssel kísérte. A MTA küldöttségét Eötvös József vezette, és tagja volt Csengery Antal, Danielik János és Kovács Gyula. Utóbbi a magyar Nemzeti Múzeum részéről.

Mikó Imre beszéde és az üdvözlések után a közgyűlés elfogadta az Egyesület alapszabályát, egyhangú szavazattal eldöntötte, hogy hivatalos nyelve magyar lesz, majd megválasztotta a vezetőséget. A Múzeum-Egylet elnöke gróf Mikó Imre, titkára gr. Lázár Miklós, a múzeumőr Brassai Sámuel, a könyvtárnok Szabó Károly lett.

Mikó Imre 1876-ig állt az Erdélyi Múzeum-Egyesület élén, amelynek feladatait pontosan meghatározta: 1. múzeum felállítására és fenntartására; 2. a múzeumi anyag tudományos feldolgozása; 3. a tudomány és kultúra terjeszté-

se. Az egyesületi munka gyorsan beindult, és kialakult belső struktúrája is. A gyűjteményei – könyvtár és kéziratár, levéltár, érem- és régiségtár, természettudományi gyűjtemény – létrehozásával a múzeumi feladatait, s beindult a tudományos munka, amelynek a szakosztályok biztosították a keretét. Mikó Imre bármennyire szeretne volna teljes erejét és idejét az intézményeknek, elsősorban az általa alapított Erdélyi Múzeum-Egyesületnek szentelni, mégis meg kellett osztania azokat, mert 1861-ben rövid ideig Erdély gubernátorává nevezte ki az uralkodó, majd lemondása után bekapcsolódott a kiegyezést előkészítő akciókba. Ennek során együttműködött Deák Ferencsel és Eötvös Józseffel. 1867-ben az Andrássy-kormány közmunka- és közlekedésügyi minisztere, s Kolozsvár országgyűlési képviselője lett. Nem kis része volt abban, hogy Magyarország második tu-

dományegyeteme Kolozsvárt jött létre, mivel az Erdélyi Múzeum-Egyesület hajlandó volt az egyetemnek átengedni gyűjteményeit bizonyos bérletdíjért, és tulajdonjogának fenntartása mellett.

Bár életében sok megpróbáltatás érte, s különösen megviselte fiának, Mikó Ádámnak a halála 1862-ben, akaratereje és a jövőbe vetett hite mégsem tört meg élete végéig, az 1876. szeptember 16-án bekövetkezett haláláig hű maradt egyik jelmondatához: „Nem dicsőségre vágyom, hatni akarok.” Valóban: hatott és alkotott. Hatását ma is élő alkotásai őrzik. Életműve a magyar történeti örökség része.

Kulcsszavak: *erdélyi múzeum, Múzeum-Egyesület, reform, forradalom, belesodródás, abszolutizmus, újjászervezések, alapítások, kiegyezés, erdélyi tudomány, magyar örökség*

IRODALOM

- Erdélyi Pál (1905): *Gróf Mikó Imre emlékezete*. Stieff Jenő könyvnyomtató intézete, Kolozsvár
- Erdélyi Pál (szerk.) (1909-1942): *Emlékkönyv az Erdélyi Múzeum-Egyesület félévszázados jubileumára. 1859-1909*. Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár
- Horváth Boldizsár (1877): *Emlékbeszéd Gróf Mikó Imre igazgató és tiszteleti tag fölött*. MTA Évkönyvei, XVI, Budapest
- Jancsó Elemér (1940): *Gróf Mikó Imre, a művelődéspolitikus*. Hittel, Kolozsvár

- Mikó Imre (1861): *Irányszemlék*. Klny. Budapesti Szemle, Budapest
- Szabó T. Attila (1942): *Az Erdélyi Múzeum-Egyesület története és feladatai*. Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár
- Toldy Ferenc (1857): *Gróf Mikó Imre és az erdélyi múzeum*. Új Magyar Múzeum, VII. I.
- Ürmösy Lajos (1898): *Tizenkét év Erdély történetéből. 1849. július 19-1866. április 17.*, Temesvár



Tudós fórum

A TUDOMÁNY VILÁGFÓRUMA BUDAPEST 2005

Az MTA – az UNESCO-val és az ICSU-val együttműködve – 2005. november 10. és 12. között másodszor is megrendezte a Tudomány Világfórumát. A tanácskozás idei fő célkitűzése az volt, hogy a résztvevők folytassák a tudomány és társadalom kapcsolatának közös végiggondolását a felelősség és az etika jegyében. A konferencián kiemelt figyelmet kapott a tudás társadalmi és gazdasági hasznosítása, az oktatás és az új generáció ügye, valamint a fenntartható fejlődés, fenntartható környezet kérdése. Munkájuk végeztével a tanácskozás résztvevői az alábbi konklúziókat és javaslatokat tették.

1. szekció TUDOMÁNY ÉS POLITIKA

Konklúziók

- Legalább négy olyan érdekcsoport van – a tudósok, a politikusok, a média és a nagyközönség –, akik nem tudnak zökkenőmentesen együttműködni, mert eltérő célok vezetik őket.
- A jelentős, tudományt érintő kérdésekre a döntéshozók a múltban olyan egyszeri eseményekben összpontosulók, nagyszabású projektekkel reagáltak, mint az USA Manhattan projektje vagy a holdraszállás. Ez a modell már valószínűleg idejétmúltá vált.
- Ma számos területen van szükség gazdasági ösztönzőkre, ha biztosítani akarjuk mindazoknak a részvételét, akik a tudomá-

nyos alapú tevékenységekbe bevonhatók. Jó példa lehet az Human Genom Project (az emberi géntérkép), mely kormányzati kezdeményezésként indult, de a potenciális gazdasági előnyök láttán a magán-szektor azonnal csatlakozott.

- Az internet korábban mindenkinek jut egy szelet információ és megoldás, de az összkép emiatt sokkal töredezettebbé is vált, és ez kihívás elé állítja az irányítást és a döntéshozókat.
- A tudósok gyakran vonakodnak kinyilvánítani a véleményüket a saját vagy mások eredményei által felvetett kérdésekben.
- A tudomány népszerűtlen az iskolákban és az egyetemeken, és félreértik a politikusok és a közönség.

Javaslatok

- A tudományos alapú kezdeményezésekbe olyan új modelleket kell beépíteni, melyek többek között a széleskörű részvétel ösztönzését célozzák.
- A tudósoknak az átlagpolgároknál többet kell tenniük a politika befolyásolásáért.
- Feltül kell vizsgálni a tudomány oktatását az iskolarendszer minden szintjén, az általános iskolától az egyetemig, törekedni kell a tudományról való átfogó tudás szélesítésére valamennyi területen (például a bölcsészettudományok és a társadalomtudomány területén), és több diák számára kell a tudományos területet vonzóvá tenni.

- Mindannyiunknak – ideértve a tudósokat, a politikusokat és a nagyközönséget – közösen kell törekednünk arra, hogy a jó tudomány támogassa a társadalom egésze érdekében hozott döntéseket.

2. szekció A KAPACITÁSFEJLESZTÉS („CAPACITY BUILDING”) CÉLJAI ÉS MEGVALÓSÍTÁSUK

- A tudományos oktatás a „Capacity Building” szerves része. Ezért kiemelten kell kezelni azokat az újszerű eszközöket, melyek vonzóvá teszik a tudományt a fiatalok számára.
- Az egyetemek és a kutatóintézetek kulcsfontosságú szerepet játszanak a tudomány fejlesztésének biztosításában. A kutatás feladatainak fontos eleme a problémamegoldó tudósok új generációjának képzése, és a tudomány olyan, igények által vezérelt feladattá alakítása, ahol a kutatási kérdéseket gyakran a kritikus társadalmi és gazdasági szükségletek határozzák meg.
- A tudás fejlesztésében, a tudomány megértésében és alkalmazásában kiemelt szerepet kell szánni a regionális központoknak és a kiválóság hálózatainak.
- A kapacitás fejlesztésében és az ehhez szükséges eszközök alkalmazásában a feladat hosszú távú jellege miatt nagyon nehéz egyetlen országnak tartós hatást kifejtenie. A tudomány és technológia területén szükséges a kapacitás globális bővítése, valamint a nemzetközi tudományos közösség aktív részvétele, karöltve a társadalom minden szektorával.
- A fejlődő országok hosszú évekig panasztáltak azoknak a tudósoknak az elvesztését, akiket hazájukban képeztek, és akik későbbi karrierjüket a fejlett országokban építették. A kínai, indiai és dél-koreai tapasztalatok azt mutatják, hogy a *brain-drain* haszonná fordítható és körforgássá

alakítható, olyan hatásos stratégiák kidolgozásával, melyek képesek a nemzetek külföldön tevékenykedő tudományos diaszpóráját saját országuk javára fordítani. A tudományos csereprogramok, a vendég-professzorság intézménye és a közös kutatási projektek szolgáltatnak példát az Észak és Dél közötti hasznos tudományos együttműködésre.

- A tapasztalatok és bevált gyakorlat („good practices”) cseréje és megosztása kiváló eszköze lehet a kapacitás fejlesztésének;
- A kapacitás fejlesztése nemzeti és globális felelősség, és a tudománypolitika egyik legnagyobb kihívása. Az emberi és intézményi kapacitás fejlesztését megfelelő nemzeti politikával kell irányítani, melyhez az országos fejlesztési célokba épített releváns és hatékony stratégiák, valamint akciótervek kapcsolódnak.

3. szekció AZ ÜZLETI VILÁG SZEREPE

Az üzleti világ szerepét taglaló szekcióban a tudás XXI. századi „felértékelését” tárgyalták. A hangsúly itt a tudás termelői, vagyis a tudományos/akadémikus világ és a tudás „ipari fogyasztói”, vagyis az üzleti világ közötti interakció „új” modelljén van. Ez a modell két egyenlő partner nem kizsákmányoló, befogadó, humanisztikus interakciójára törekszik.

Üzleti élet:

- A domináns üzleti modell átértékelése, a globális szabályozás irányába terelése.
- A részvényes érdekeiktől az érintettek érdekei felé, a megfeleléstől a morál felé (milyen világot akarunk közösen építeni?), valamint a rövid távú maximalizálástól a társadalmi és politikai vita irányába történő haladás ösztönzése.
- A szabadalmak kibocsátása szempontjainak határozottabb érvényesítése, és a valódi újítások kidolgozásának nagyobb mértékű ösztönzése.

Üzleti és akadémiai világ:

- Egymás megértésére való törekvés a tudomány és a kultúra közötti kulturális szakadék áthidalása érdekében, a szoros kapcsolatokra és egymásra utaltságra, az etikára és a tudomány és technika bevált gyakorlatainak megosztására szolgáló befogadó módszerekre összpontosítva.
- Az üzleti élet és az akadémiai világ egymást kiegészítő szerepeinek optimalizálása a tudományos tudás létrehozása, átadása és kiaknázása terén.
- A Szellemi Tulajdonok Jogának használata az újítások ösztönzésére, de oly módon, hogy ez ne gátolja az alapvető kutatások eredményeihez való hozzáférést, és ne álljon a szellemi sokféleség útjába.
- A tudományos lelkiismeret, valamint a helyes értékrend és normák kialakítása, és működőképes gyakorlati szabályok kidolgozása, mint az egyetemek és tudós társaságok legfontosabb küldetése.

Üzleti élet, tudományos világ és társadalom:

- Az üzleti élet és a tudományos világ közötti partnerség ösztönzése, mely újabb lehetőséget teremt a tudósoknak arra, hogy bekapcsolódjanak a társadalmi diskurzusba.
- A tudomány és technika szerepének széles körű tudatosítása a tudományos információ korrekt és nyílt terjesztésén, a nagyközön-séggel és a médiával folytatott nyílt és őszinte párbeszédén keresztül, valamint azzal, hogy a „felelős tudománynak” kiemelt helyet biztosítunk a politikai napirenden.
- Az egyetemek ösztönzése arra, hogy a tudás átadását formálisan és stratégiailag a tanítás és a kutatás mellett harmadik küldetésükké tegyék, mindezt pedig az állami források támogassák.

4. szekció

A FEJLŐDŐ ORSZÁGOK PERSPEKTÍVÁI

A tudomány természeténél fogva nemzetközi, ami azt jelenti, hogy minden nemzet kiveheti belőle a részét. A világ népességének nagy része ennek ellenére kimarad ebből a folyamatból, ami megosztottságot eredményez a tudás szempontjából. A tudomány nemcsak a tudás fejlesztéséhez nélkülözhetetlen, hanem a gazdasági növekedést szolgáló technológiák és országos újítási rendszerek fejlesztésének is előfeltétele. Mindezekon felül a döntéshozatalnak is a tudományos kutatások alapján hozzáférhető legjobb tudás alapján kell történnie. Ez éppolyan létfontosságú a legszegényebb afrikai gazdálkodó számára, mint a multinacionális cégek vagy a világ politikai vezetői esetében.

Valamennyi ország tudományos közösségeinek biztosítani kell a tudáshoz való hozzáférést a tudás tekintetében való megosztottság áthidalásával. Mivel az információ önmagában még nem tudás, lépéseket kell tenni a digitális megosztottság áthidalására, ez azonban önmagában nem elég. A tudományos oktatásnak gondoskodnia kell a népesség tudományos műveltségéről, melynek révén az információt tudássá tudja alakítani. A tudományos karriereket vonzóvá kell tenni a fiatalok számára, és minden országnak törekednie kell legalább egy kutatóegyetem létrehozására, ahol az oktatás szilárd tudományos kutatásokra épülhet.

A következő tudósgeneráció képzésében központi helyet kell kapniuk az alaptudományoknak is – nem lenne alkalmazott tudomány, ha nem lenne tudomány, amit alkalmazni lehet. A képzésnek ugyanakkor fel kell ölelnie a tudományok széles körű értelmezését, beleértve a természet- és társadalomtudományokat és a műszaki és orvostudományokat is. A bölcsészettudománnyal kiegészítve olyan valódi gazdasági

tudást építhetünk, ahol a tudományos tudás alapul szolgál a műszaki újításokhoz és az országos vállalkozói szféra fejlesztéséhez. Ezek a törekvések komoly kötelezettségeket rónak a támogató közösségre. Örömmel fogadjuk az afrikai egyetemeknek nyújtandó jelentős támogatások érdekében tett erőfeszítéseket, de minden fejletlen országnak szüksége van segítségre, a nemzeti kormányoknak pedig mindeközben ki kell alakítaniuk azt a felsőoktatási és tudománypolitikát, mely hosszú távú fejlődésüket a tudás társadalma felé tereli. A „Millennium Development Goals” elérésében szerepet kap a Dél és Dél, illetve a Dél és Észak közötti aktív együttműködés.

A fejlődő országoknak és a fejlesztési segélyszervezeteknek tisztában kell lenniük azzal, milyen értéket képvisel a felsőoktatásba és a tudományos kutatásba való befektetés a fenntartható környezeti, társadalmi és gazdasági fejlődésben. A tudás mentén való megosztottság áthidalásához való hozzájárulás a világ tudományos közösségének morális kötelessége.

5. szekció KÖRNYEZETÜNK JÖVŐJE

- Az ember egyre nagyobb mértékben avatkozik bele a Föld környezetébe. Az emberi tevékenységek már a környezet minden összetevőjét befolyásolták. Egyre több tudományos bizonyíték van arra, hogy az emberi tevékenységek globális változásokat idézhetnek elő, sőt már előidéztek ilyen változásokat a környezeti feltételek állapotában.
- Félrevezető lenne külön kezelni a természeti környezetet (a saját és a jövő generációk környezetét) saját életünkötől és egészségünkötől. Az élethez való jog és ennek kiterjesztéseképp a biológiai és fizikai integritáshoz való jog teljes egészében a környezet függvénye.
- A környezeti szabályozás megsértése így

az emberi jogok megsértését jelenti, tehát bűncselekménynek kell tekinteni, és ekként kell kezelni társadalmi és jogi értelemben is.

- Földünk környezete hatalmas, összetett rendszer, és mindent meg kell tennünk ennek a globális rendszernek az alaposabb megértéséért – beleértve a folyamatait, visszacsatolási mechanizmusait és belső viszonyait.
- Ahhoz, hogy az emberi társadalmak fenntarthatók legyenek, reagálniuk kell a környezeti változásra és változékonyságra, legyen az természetes vagy az ember által indukált, gyors vagy lassú. Ennek érdekében rugalmas emberi települések és mezőgazdasági rendszerek kialakítására van szükség.
- A tudomány számára kulcsfontosságú kérdés, hogy megállapítható-e az ökológiai alsó határ globális, illetve regionális léptékben – például a levegő CO₂ tartalmának biztonságos szintje, vagy hogy mennyi növényzet kell a szükséges ökoszisztéma fenntartásához.
- A globális környezeti problémák többoldalú megközelítést igényelnek.
- Fontos fejlemények utalnak már most arra, hogy a politikai vezetők és a civil társadalom képviselői felismerik a fenyegető nagyléptékű környezeti kockázatokat, valamint az aktív beavatkozás és erősebb nemzetközi együttműködés, illetve a problémák megközelítése során használható alapelvek szükségességét.
- A tudósoknak kötelességük határozottan felszólalni a kutatási és szakterületüket érintő közérdekű politikai kérdésekben. A semlegesség is állásfoglalás, mely azonban gyakran sérti az emberi jogokat.
- Erősíteni kell a holisztikus szabályozási mechanizmusokat, köztük a széles nyilvánosság részvételét a döntéshozatalban; az állampolgárokat a demokráciában való részvételben segítő oktatási terveket; és

a politika és a tudományos közösségek közötti körültekintő párbeszédet. A környezeti problémák összetettsége okán szükséges a környezeti adatokhoz való hozzáférés forrásainak és eszközeinek terjesztése és biztosítása, és a tudományos információ és eredmények szabad cseréje.

6. szekció

A JÖVŐ GENERÁCIÓK OKTATÁSA

- Készüljenek olyan új oktatási modellek, melyek fejlesztik a globális polgári tudatot és identitást a Földünkért, az emberiségért való közös felelősségvállalás érdekében. Ezek az új oktatási rendszerek várhatóan orvosolni fogják a tudományhoz és az oktatáshoz való hozzáférésben ma tapasztalható megosztottságot és alapvető egyenlőtlenségeket.
- Vezessünk be új, inter- és transzdiszciplináris, problémavezérelt oktatási megközelítéseket és módszereket, és támogassuk a részvételen alapuló gyakorlatot és módszereket, hogy felkészítsük a fiatal generációkat az életre egy folyamatosan változó világban.
- Növeljük a jövő generációk tudományos kapacitását minden szinten. Ennek elérésére hatásos módszer a rangidős tudósok és a fiatalok közötti interakciók, kommunikáció és eszmecsere lehetőségének biztosítása.
- Támogassuk a fenntarthatóság új tudományágának fejlődését oly módon, hogy egyidejűleg ösztönözzük a fenntartható fejlődést szolgáló tudomány és technika „keresleti” és a „kínálati” oldalának változásait.
- Alakítsunk partnerségeket a jövő generációk oktatásában érintett valamennyi jelentősebb szereplő bevonásával, beleértve a tudományos közösséget, a magánszektort, az állami szektort és a civil társadalmat.
- A tudományos akadémiák együttműködése és a tudományos oktatás előmozdítása érdekében tett erőfeszítéseik révén támogassuk a tehetséges és motivált középis-

kolás diákok számára kínált tudományos mentori programokat, egyesítve a tantermi és tantermen kívüli tapasztalatokat.

- Támogassuk a gyerekek érdeklődésen alapuló tudományos oktatását (Inquiry-Based Science Education), Tudományos Akadémiák (Science Academies) hálózata által világszerte kidolgozott Inter-Akadémikus Panelt (InterAcademy Panel – IAP).
- A tudás- és tapasztalat alapú társadalmak fejlesztésének elősegítése érdekében ösztönözzük a fiatal tudósok részvételét az olyan globális vezetői hálózatokban, mint a WAYS vagy a LEAD.
- Legyünk tisztában a fiatal generációk elérése érdekében tett erőfeszítések hatásával, és biztosítsuk, hogy a hatásvizsgálatok alanyai (például a fiatal tudósok) részt vegyenek azok kidolgozásában és az eredmények értelmezésében.
- Új „tudományos társadalmi szerződésre” van szükség a jövő generációk folyamatos bevonása érdekében – hogy ne csak a tudomány iránti lelkesedést ébresszük fel bennük, hanem mi többiek is profitálhassunk különleges hozzájárulásukból.

Speciális szekció

A TUDOMÁNY EGY DEMOKRATIKUS VILÁGBAN: A PARLAMENT SZEREPE

- Korunk törvényhozó folyamatait egyre erősebben meghatározza a sokféle közreműködő bevonása a formális felelősséggel felruházott szereplőkön kívül is. A politika alakításában ma részt vesznek a megfelelő kormányzati hatóságok vagy képviselők, az üzleti élet szereplői, a tanácsadó testületek, az újságírók és a többi érdekelt, valamint a civil szervezetek.
- A tudomány és az országgyűlési képviselők közötti hatékony kapcsolat lényege a tudósok és a politika alakítói közötti kommunikáció javítása. A tudósok feladata, hogy kutatásaikról

hűen és érthetően adjanak számot a politikuskusoknak, megfogalmazva a saját tudásuk hiányosságait is, és körvonalazva a bizonytalanságokat, így ebben kulcsfontosságú szerepet kap a média, elsősorban pedig a tudományos újságírás.

- Szükséges a parlamenti képviselők képzése a jövő tudományos fejlesztéseinek terén. Ez és az általuk generált potenciális előnyök vagy hatások rámutatnak arra az igényre, hogy jobban megismerjük a technika különböző eszközeit és módszereit, valamint értékeljük és előre tervezzük a technológiát. A résztvevők az UNESCO-t kérték fel, hogy közvetítsen ezekben a törekvésekben.
- Miután rögzítettük, hogy a döntéshozatal elsősorban még mindig országos szinten zajlik, szükséges a kooperációs hálózat erősítése, a tapasztalatok és a szakértelem cseréje.

- A tudományos kérdések és a politikai világ időbeli léptéke közötti eltérés tükrében hangsúlyozzuk a hosszú távú politika szükségességét – különös tekintettel a több generációra és nem választástól választásig tervezett tudományos infrastruktúrára.
- Egy országos tudománypolitikai fórumon képviseltetni kell a parlamenti képviselőket, a tudományos és technológiai politika alakítóit, az újságírókat, az üzleti élet szereplőit, a politikai pártokat és a civil társadalmi szervezeteket.
- Az UNESCO-t és az ISESCO-t arra kérjük fel, hogy egy olyan nemzetközi platformot biztosítsanak, mely a parlamenti és a tudományos bizottságok, tudósok és más érdekeltek közötti együttműködést, a tapasztalatok és gyakorlatok cseréjét, az országos törvényhozó folyamatok javítását szolgálja.



AZ MTA FŐTTKÁRA, MESKÓ ATTILA BESZÉDE A WSF ZÁRÓ ÜLÉSÉN

Az UNESCO és az ICSU a Magyar Tudományos Akadémia részvételével 1999-ben Budapesten rendezte meg az első tudományos foglalkozó Világkonferenciát (WCS). A konferencia résztvevői további konferenciák szervezését javasolták. A WCS hatására és a dialógus folytatása érdekében a Magyar Tudományos Akadémia, ismét az UNESCO és az ICSU együttműködésével, megalapította a Tudományos Világforum – Budapest konferencia-sorozatot, a tudás, tudomány és társadalom aktuális kérdéseinek széleskörű megvitatására a globalizálódó világban.

Az első Tudományos Világforumot két évvel ezelőtt tartottuk meg, november 8. és 10. között, *Tudás és Társadalom* témakörben.

Ebben az évben a Magyar Tudományos Akadémia, az UNESCO és ICSU a második Világforumot *Tudás, etika és felelősség* címmel rendezte meg.

A plenáris ülések mellett hat tematikus ülést és két speciális ülést tartottak, a következő témákkal:

- A tudósok szempontjai – a döntéshozók szempontjai,
- Kapacitásépítés és megvalósítás,
- Az üzleti világ szerepe,
- A fejlődő világ,
- A környezet jövője,
- A jövő generációk oktatása, illetve
- A tudomány a demokratikus világban: a parlamentek szerepe, és
- A tudomány a békéért.

Mind a tematikus, mind a speciális ülések összefoglalását ismertették.

Mielőtt rátérek az általános következtetésekre, engedjék meg, hogy felidézzem az elmúlt két nap néhány kiemelkedő eseményét.

Sólyom László köztársasági elnök vállalta a Fórum megnyitását. Hangsúlyozta a tudományos vizsgálatok etikai követelményeit és a tudás megosztásának fontosságát. Egyértelművé tette felelősségünket a jövő generációkért – beleértve a megfelelő oktatást – és felelősségünket a környezetért.

Vizi E. Szilveszter, a Magyar Tudományos Akadémia elnöke üdvözlő beszédében rámutatott arra, hogy a tudomány képes jobbá tenni világunkat, képes értékesebbé és boldogabbá tenni életünket. A tudósoknak morális kötelességük figyelni a tudás alkalmazására is, mert a kutatás eredményeinek nem megfelelő célokra való használata károkat okozhat, sőt tragédiákhoz vezethet. A 21. században a kutatóknak kell választ adniuk a társadalmat érintő új, szociális, környezeti, egészségügyi és gazdasági kérdésekre. Az első lépés ezen az úton az, hogy tanuljunk egymástól, és párbeszédet folytassunk a társadalom többi szereplőivel. Éppen ez a második Tudományos Világforum fő célja.

Macuura Koicsiro (Koichiro Matsuura), az UNESCO vezérigazgatója elmondotta, hogy a tudományos haladás és a technológiai innováció számos etikai dilemmát vet fel. Ezek sokszor globális skálájúak és gyakran precedens nélküliek. Ezért irányul a figyelem, joggal, a tudomány etikai kérdéseire. A vezérigazgató azt is hangsúlyozta, hogy a kutatók következő generációjának képzésében a tudomány etikai kérdéseinek kiemelt szerepet kell kapniuk.

Lu Jong-hsziang (Yongxiang), a Kínai Tudományos Akadémia elnöke szintén azokra az etikai kérdésekre koncentrált, amelyek a tudomány és technológia gyors változásá-

nak, a megnövekedett lehetőségeknek a következményei, példákat adva a lehetőségekre illetve a visszaélésekre és veszélyekre a biotechnológia, a nanotechnológia és az informatikai területéről. Rámutatott a növekvő „tudásszakadéokra” a különböző kutatási lehetőséggel rendelkező országok között. Megoldást a tudás közzé tétele és az információk megosztása jelenthet.

Josikava Hirojuki (Hiroyuki Yoshikawa), a Japán Nemzeti Mémőki Tudományos Intézet elnöke is hangsúlyozta a tudományos eredmények megfelelő használatát és az együttműködés fontosságát a politikusok, tanárok, újságírók és kutatók között.

A hat tematikus és a két speciális szekcióban mintegy nyolcvan előadó szerepelt, és legalább kétszer ennyi kérdés, hozzászólás és javaslat hangzott el. Természetes, hogy ebben a rövid összegzésben nem eshet szó még fontos előadásokról sem. Szeretném azonban mindenkinek megköszönni – legalább így közösen – azt, hogy előadást tartottak, hozzászóltak, és ezzel gazdagabbá és hatékonyabbá tették tanácskozásunkat.

Mielőtt az összegző javaslatokra rátérek, engedjenek meg két további megjegyzést. Az első a tudomány szerepével kapcsolatos.

A tudomány lényege, hogy kérdéseket tesz fel, és módot keres arra, hogy ezekre válaszokat is adhasson. A kérdések gyakran az élet legfontosabb kérdései. Csak egy példa: a modern genetika és genomika, beleértve az emberi genom feltérképezését, amely a biológia megértésének új korszakát nyitotta meg és az egészségügy jelentős fejlődését ígéri.

A kutatók időnként természetesen tévedhetnek is. A tudományos bizonyítékok értelmezésébe hibák is csúszhatnak. Egyenként a kutatók nem jobbak és nem rosszabbak, mint más foglalkozást űzők. Egy-egy esetben az elfogultság és előítélet is tévedésekre vihet. Az idő múlásával azonban a tudomány az érdekek fölé tud emelkedni, és tökéletesíti, javítja önmagát, mert lényege

a tudás megosztása, az eredmények és módszerek nyilvánosságra hozatala és megvitatása. A tudományos közösség által elfogadott következtetések emiatt mindig az adott időben rendelkezésre álló legmegbízhatóbb nézetek. A döntéshozók akkor cselekszenek helyesen, ha döntéseiket a tudomány tanácsaira alapozzák.

A második megjegyzés az üzleti világ, a gazdaság szereplőire vonatkozik.

Örömmel tapasztaltuk, hogy az üzleti szféra vezetői átérzik globális felelősségüket és annak tudatában cselekedve, fenntartható gazdasági és társadalmi haladásra törekcsenek. A Millenniumi Fejlesztési Célok szellemében, a még ugyan csak kialakítandó, de körvonalai-ban már kibontakozó globális üzleti etika zsinómértékét követve, rendelkeznek azzal a kapacitással, hogy a gazdaság további szereplőivel közösen a világot a fenntartható fejlődés felé vezessék. Jó hír az is, hogy az üzleti világ a fenntarthatóság elérését reálisnak tartja.

Az összefoglaló következtetések, az egyes szekciók rapportóijeinek és vezetőinek megfogalmazásában a következők:

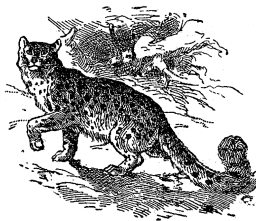
- A tudomány mai összetettsége miatt át kell alakítani az akadémiai világ, a kormányzat, az üzleti világ és a társadalom többi szereplője közötti viszonyt. Ennek megvalósításához a tudomány támogatás, az oktatás és a kommunikáció új modelljei szükségesek.
- A kapacitás bővítésének lehetőségeiből adódó előnyök teljes kiaknázása érdekében meg kell osztani és ki kell cserélni egymás között a tapasztalatokat és a bevált módszereket.
- Nélkülözhetetlen a kölcsönös megértés fejlesztése a tudomány és az üzleti világ közötti kulturális szakadék áthidalása érdekében, különös tekintettel ezek szoros összefonódására, egymásrautaltságára, az etikai és emberi megfontolásokra.
- A világ országai és régiói közötti kapacitás, a tudományos tudás, a tudomány

és technika területén elért vívmányok tekintetében tapasztalható, egyre szélesebb szakadékot a Dél és Dél illetve a Dél és Észak közötti együttműködés erősítésével kell megszüntetni.

- Felismerve pótolhatatlan szerepét és fontosságát, meg kell tartanunk a saját életünket is óvó ökológiai értékeket és az élet fejlődési potenciálját.
- A tudományos tevékenységet minél ifjabb életkorban vonzóvá kell tenni a gyerekek számára, ennek révén a tudományos tudás iránt fogékonyabb új generáció nőhet fel.

Úgy érzem, a Fórum elérte azt a célt, amelyet a szervezők megvalósítani szándékoztak: párbeszéd jött létre, segítve a jobb megértést, és esetenként egyetértést is eredményezve a legfontosabb teendőket illetően. Meggyőződhetünk arról, hogy együttműködve a világot jobbra és biztonságosabbá tehetjük. Folytassuk a munkát ebben a szellemben.

Végül szeretném megköszönni Önöknek, hogy eljötték Budapestre, hozzájárultak a Fórum munkájához – köszönöm a figyelmet!



KITÜNTETÉSEK ÉS KITÜNTETETTEK A MAGYAR TUDOMÁNY ÜNNEPÉN 2005-BEN

EÖTVÖS JÓZSEF-KOSZORÚ

Csákány Béla, a matematikatudomány doktora, a Szegedi Tudományegyetem Bolyai Intézete Algebra és Számelmélet Tanszékének professor emeritusa

Kárpáti János, a zenetudomány doktora, a Liszt Ferenc Zeneművészeti Egyetem könyvtárának igazgatója, címzetes egyetemi tanár

Kubovics Imre, a földtudomány doktora, az ELTE Kőzetan-Geokémiai Tanszék professor emeritusa

Pócsik György, a fizikai tudomány doktora, az ELTE Elméleti Fizikai Tanszék ny. egyetemi tanára

Zoltai Dénes, a filozófiai tudomány doktora, az ELTE Esztétika Tanszékének professor emeritusa

Wojnarovich Elek, a mezőgazdasági tudomány doktora, ny. egyetemi tanár, intézet-igazgató

MUNKÁCSI BERNÁT-DÍJ

Keresztes László, a nyelvtudomány doktora, a Debreceni Egyetem tanszékvezető egyetemi tanára

STEINDL IMRE-DÍJ

Bachman Zoltán (DLA) Ybl Miklós díjas építész

KVASSAY JENŐ-DÍJ

(megosztva)

Honti Márk okleveles építőmérnök és

Krámer Tamás okleveles építőmérnök

OLÁH GYÖRGY-DÍJ

Skodáné Földes Rita, a kémiai tudomány kandidátusa

SZENTÁGOTHAJ JÁNOS-DÍJ

Molnár Dénes, az MTA doktora

WIGNER JENŐ-DÍJ

Csikai Gyula, az MTA rendes tagja és

Maróti László, a fizikai tudomány kandidátusa

BRUCKNER GYŐZŐ-DÍJ

Keglevich György, a kémiai tudomány doktora, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Szerves Kémiai Technológiai Tanszék egyetemi tanára

A 40 éven aluli kutatóknak kiadható

BRUCKNER GYŐZŐ-DÍJ

Dr. Bősze Szilvia (PhD), az ELTE–MTA Peptidkémiai Kutatócsoport főmunkatársa

MIKÓ IMRE-DÍJ

Életmű-díj megosztva

Lánczos Péter nyugalmazott vasút igazgató

Pap János nyugalmazott mérnök főtanácsos

Aktív dolgozónak

Mátéczné Németh Ágnes, mérnök főtanácsos, a MÁV RT személyszállítási üzletág Üzemeltetési Főosztály vezetője

MOL TUDOMÁNYOS DÍJ

(megosztva)

Koncz István, a földtudomány kandidátusa

Megyery Mihály, a műszaki tudomány kandidátusa

Szittár Antal olajmérnök

Tiszai György bányamérnök

VITÁLIS ISTVÁN

TUDOMÁNYOS DÍJ

Majoros György főgeológus

JUHÁSZ-NAGY PÁL-DÍJ

Podani János, a biológiai tudomány doktora

GRASTYÁN-DÍJ

Szabó Imre elektrofiziológus-agykutató, a Pécsi Egyetem emeritus professzora

Vizi E. Szilveszter agykutató, az MTA és a TIT elnöke

GRASTYÁN-ÖSZTÖNDÍJ

Kömyei József endokrinológus kutatóorvos, a Pécsi Tudományegyetem Élettani Intézete habilitált docense

Pilkhoffner Mónika történész

GRASTYÁN MÉDIA DÍJ

Mokos Tibor újságíró-szerkesztő, a Pécs TV felelős szerkesztője

AKADÉMIAI – SZABADALMI NÍVÓ-DÍJ

Dr. Fischer János, a Richter Gedeon Vegyészeti Gyár Rt. kutatólaboratórium-vezetője

Dr. Fülöp Ferenc, a Szegedi Tudományegyetem Gyógyszerkémiai Intézete tan-székvezető egyetemi tanára

Dr. Oros Gyula, az MTA növényvédelmi kutatóintézete tudományos főmunkatársa

A DÍJAZOTTAKNAK SZÍVBŐL GRATULÁLUNK!



KLEIN GYÖRGY ÉS ÉVA 80 ÉVESEK

Gergely János

az MTA rendes tagja

A biológiai kutatások két meghatározó személyisége, a Stockholmban élő Klein György és Klein Éva 2005-ben töltötték be 80. életévüket. Tiszteletükre a Magyar Tudományos Akadémia (melynek mindketten tagjai) május 18-án tudományos ülést rendezett, a Karolinska Intitutet Nobel Forumra pedig júniusban kétnapos Nobel Symposiumon emlékezett meg a két nagy tudós munkásságáról a jeles évforduló kapcsán. A rendezvények jellege ugyan eltért egymástól, bizonyos vonatkozásokban azonban mégis nagyon is hasonlóak voltak: a rendezők nem vállalkoztak a két kiválóság munkásságának tételes ismertetésére. Ennek oka egyszerű: ilyen súlyú, sokrétű és volumenű munkásság bemutatására még a kétnapos ülészek keretében sem lehetett vállalkozni. A szervezők és előadók Budapesten és Stockholmban egyaránt (de egymástól függetlenül és más-más módon) igyekeztek bemutatni korunk e két nagy biológusának hihetetlen kisugárzását és vonzerejét, a tudományos életben szokatlan önzetlenségét, ötletáradatát, mellyel fiatal és tapasztalt kutatók munkásságát közvetlenül vagy közvetve irányították, befolyásolták. Nyitottságukat, befogadó-készségüket, amelyek eredményeként a világ minden részéből odasereglt fiatal tehetségeknek adtak a szó legnemesebb értelmében otthont, tanították, irányították, nevelték őket. Megszámolni sem könnyű, hogy hány magyar kutató neve szerepel a tőlük kikérült közleményekben, és hány hazai tudós mond Klein Györgynek (G.), Évának (É.), vagy mindkettőjüknek köszönetet azért,

mert lehetővé tette, segítette, irányította, kritizálta munkájukat. Eközben nemcsak egy világviszonylatban kiemelkedő tudományos központot teremtettek meg, hanem új kutatási irányokat indítottak el. Sokan kérdezték már tőlem, hogy mi G. szakterülete. Ilyenkor mindig az a hexameter jutott az eszembe, amit még gimnazista koromban sulykoltak belém: „Hét város verseng, hogy az ő fia volna Homérosz”, hiszen csaknem ennyi terület verseng azért, hogy magáénak mondhassa G.-t. Orvos, patológus, genetikus, tumorbiológus, virológus, molekuláris biológus vagy esszéista, író? Leginkább valamennyi együtt. Nem véletlen tehát, hogy Budapesten az MTA elnöke, a biológiai és orvosi osztályok elnökei mellett genetikus, immunológus, orvostörténész, filmrendező, költő, író is volt a tudós házaspárt méltatók között. Ugyanezt a „polimorfizmust” tükrözte az annak a világ minden részéről meghívott harminchárom tudósnak az előadása, akik nem annyira a *Molecular Oncology from Bench to Bedside* tárgy körében (ez volt a Nobel-szimpozium címe) tartották meg előadásukat, hanem leginkább a „Kleinék hatása a biológiai tudományokra” tematikával foglalkoztak. Ami ezeken túlmenően közös volt a két találkozásban, az Klein Györgynek és Évának, az embernek a bemutatása volt. Tudományos tevékenységük elismerése mellett tudós emberek is csak ritkán élvezhetik szeretet és megbecsülés formájában való visszatükröződését mindannak, amit másoknak tudósként adtak. Akik részt vehettünk mindkét ülésen, *ennek* a G. és É. felé áradó

tiszteletnek, szeretetnek és megbecsülésnek lehettünk tanúi.

A kezdetek

G. Budapesten született, és másfél éves volt, amikor édesapja meghalt. Nem teljesen felhőlen gyermekkorát, vívódásait megismerhetjük megkapóan szép, sokrétű és mélyen elgondolkodtató *Anya* című írásából (Klein, 2001). Megértjük hihetetlenül tartalmas életének már akkoriban kialakuló mozgatórugóit, életre szóló kapcsolatát a könyvekkel és a zenével, ami „a gondolatok, érzések és élmények kiapadhatatlan forrását” tárta fel előtte (és ezt éppúgy, mint szerzteágzó és mély tudományos ismereteit nagy örömmel szívesen megosztja azokkal, akik élvezhetik társaságát). Sorsa összefonódott a hazai zsidóság sorsával, így kemény próbát kellett 1944-ben neki is kiállnia, amit különösen megnehezített az is, hogy azon viszonylag kevesek közé tartozott, akik elolvashatták az Auschwitzból megszökött két szlovákiai deportált, utóbb *Auschwitzi jelentés*-ként megismert írását. Így a rá váró sorsot tekintve G.-nek nem lehettek illúziói! Vállalva tehát a közvetlen életveszélyt megszökött a transzportból, amely őt is a haláltáborba vitte volna, majd hamis papírokkal bujkált Budapesten egészen felszabadulásáig.

É. Budapesten született, a Pál utcában, de amíg Nemescek, a Pál utcai fiú, barátai kegyetlenkedése miatt meghalt, addig ő – mint ezt 1996-ban Budapesten, a Fulbright Commission felkérésére a World Fulbright Alumni Conference-n életútjáról, pályafutásáról tartott nagyszerű előadásában felidézte – barátoknak köszönhetően maradt életben, egy oly korban, „mikor az ember úgy elaljasult, hogy önként, kéjjel ölt, nemcsak parancsra”. Ki-egyensúlyozott, boldog gyermekéveit, nehéz esztendőket, a biztonságos, meleg budapesti polgári otthont, pedig bizonytalanság, kiszolgáltatottság, életveszély váltotta fel. Bár érdeklődése tinédzserként is sokrétű volt,

már akkor (Marie Curie élettörténetének hatására) arra gondolt, hogy tudományos pályára lép. Természetesen sok más lehetőség is felvetődött benne, de a történelem közbeszólt: bezárultak előtte a továbbtanulás útjai. Az ország német megszállása azonban megszabadította a pályaválasztás gondjától, hiszen sajnálatos módon az életben maradásra kellett koncentrálnia, ami pedig sok energiát, személyes bátorságot, ügyességet, szerencsét és – nem utolsósorban – segítőkész barátokat igényelt. *Bátorsága*: vállalkozott arra a szinte lehetetlen feladatra, hogy a Budapestet már csaknem teljesen körülvevő frontvonalon átvergődve eljusson az osztrák határig, ahol megtalálta munkaszolgálatosbátyját, majd ugyanazon a kalandos úton visszatérve hazasegítette őt. *Segítőkész barátok* nyolc családtagjával, saját, mondhatni hősiességű magatartása és egy minden veszélyt vállaló jó barát önfeláldozó segítségével folytán túlélte a vészorszakot. A segítő kezét egy fiatal tanársegéd, Szirmai Sándor nyújtotta (a háború után professzor Leydenben), aki a legendás hírű Huzella Tivadar tudtával a Pázmány Péter Orvostudományi Egyetem Szövettani Intézetében bujtatta őket. Egy volt osztálytársa pedig saját igazoló papírjait adta át neki.

Az első lépések a tudomány felé

G. 1945-ben már nem volt akadálya annak, hogy elkezdje orvosi tanulmányait (először Szegeden, majd Budapesten). Az igyekvő fiatal medikus Budapesten egyetemi tanulmányai mellett kutatómunkát is szeretett volna végezni, így került Huzella Tivadar professzor mellé a Szövettani Intézetbe. Ez a „kirándulás” Huzella sajnálatos kényszerű távozása miatt a tanszék éléről nagyon rövidnek bizonyult, az itt elsajátított szövettani és szövettani technikáknak azonban később nagy hasznát vette. A folytatásra – ugyancsak rövid ideig – a Kórbonctani Intézetben került sor, ahol sokat boncolt, de kutatási ambícióit realizálni nem tudta. Két szerencsés véletlen

azonban hamarosan kárpótolta: 1947-ben egyik medikus kollégája feltette neki a kérdést: van-e kedve Svédországba utazni; egy svéd diákszervezet ugyanis meghívott tizenhét magyarországi hallgatót, és ez a kollégája szervezte az utat. A másik egy váratlan balatoni nyaralás volt, amelynek során megismerte Évát. Nem tartott sokáig, hogy eldöntse: feleségül veszi ezt a „lélegzetelállítóan szép” és kiváló kvalitásokkal megáldott medikát. Az ezt követő események hihetetlenül gyors pergésének líraian szép leírását, beleértve „titkos” házasságukat és a svéd utazás megszervezésének a kora jellemző valószínűtlen bonyodalmaikat, szokatlan helyen olvashatjuk el (Klein – Klein, 1989).

G. Svédországba érkezésekor fejeződött be az első nemzetközi sejtbiológiai kongresszus, amelynek legjelentősebb alakja (amint erről G. hamar értesült) Torbjörn Caspersson volt: őt kereste meg. Első beszélgetésük után – melynek során nagy hasznát vette a Huzella-intézetben tanultaknak, különösen szövetyenyésztéssel kapcsolatos ismereteinek – Caspersson (aki jó emberismerő lehetett) állást ajánlott neki. A nem könnyű elhatározásban, hogy életét Svédországban folytassa, fontos szerepet játszott Szent-Györgyi Albert tanácsa, melyet unokaöccsének (aki G. jó barátja volt) adott, miszerint hagyja el mielőbb az országot, ha tudományos kutatással kíván hivatásszerűen foglalkozni. Elhatározását követően tért vissza Budapestre, hogy É. kiutazását megszervezze.

É. Nem volt könnyű túlélnie a háborút, és a kegyetlen időszak alatt szerzett tapasztalatai után eldönteni: hol és hogyan folytassa. G.-hoz hasonlóan É. is a szegedi egyetem orvosi karára iratkozott be. Utóbb derült ki, hogy véletlenül összefutott G.-val, de ott és akkor nem figyeltek fel egymásra. Átmenetileg ki is került G. látóköréből, mert a színészi pálya kedvéért otthagya az egyetemet, de hamar rájött, hogy az nem neki való, és Budapestre ment ő is, hogy folytassa az orvosi tanulmá-

nyokat. További sorsát azonban nemcsak tanulmányai, hanem a G.-val való viharos házasság határozták meg, ami olyan gyorsasággal zajlott le, hogy mielőtt felesmélt volna, már a Stockholmba tartó vonaton találta magát, szinte az utolsók között, akik legálisan hagyták el Magyarországot. Nehéz volt új hazára lelni az őket barátságosan fogadó Svédországban, ahol „nincsenek halottai a temetőben, ahol nincsenek gyerekkori emlékei, ahol az a kulturális közösség, amelybe tartozott, nem helyettesíthető könnyen egy másikkal”. Utóbb realizálta csak, hogy a két kultúra intellektuálisan gazdagabbá tette, úgy érezte, hogy az elvesztett haza helyett a hívását kapta, és a magyar kulturális köteléket a tudomány köteléke váltotta fel.

Tudományos pályafutása 1948-ban vette kezdetét, amikor ugyancsak Caspersson mellett kapott asszisztensi állást. Főnöke ügyelt arra, hogy önálló tevékenységet is folytasson, természetesen azonban, hogy munkája számos ponton szorosan kapcsolódott G. munkásságához.

Mivel gazdagították a biológiai tudományokat?

Utaltam arra, hogy G. és É. tudományos eredményeinek bemutatására ebben a rövid írásban vállalkozni nem lehet, mégis elkerülhetetlen, hogy ki ne emeljünk néhányat az eredmények gazdag tárházából.

Még nem fejezték be az egyetemet, amikor első közös *Nature*-cikkük megjelent (Klein – Klein, 1950). A közlemény tumorsejtek nukleinsav-tartalmának mérésével foglalkozott egy olyan időszakban, amikor még nem volt általánosan elfogadott, hogy az örökítőanyag DNS.

G. korai munkáiban elsőként hívta fel a figyelmet arra, hogy a daganatsejt-populációk kialakulásában a darwini variációs és szelekciós mechanizmusok érvényesülnek. A neki tulajdonított tumorimmunológiai kutatási irány azokkal a vizsgálataival indult meg még

a hatvanas években, amelyek igazolták, hogy a kémiai anyagokkal és vírusokkal indukált tumork T-sejt függő immunválaszt váltanak ki. É.-val közös munkásságuk tekintélyes része az Epstein–Barr-vírus (EBV) sokrétű tanulmányozásával foglalkozik. Egyebek között Burkitt-limfómában és nasopharingeális karcinómában azonosították az EBV által kódolt nukleáris antigéneket. A nyolcvanas évek szenzációja volt az intézetükben Burkitt-limfómában, a B-, majd később a T-limfocitákon is észlelt kromoszomális transzlokáció felismerése, amely a c-myc celluláris onkogén helyváltoztatásával jár. Erre vonatkozó elméletük helyessége megerősítést nyert, és általánosan elfogadott lett. Új tumorspecifikus géneket fedeztek fel és jellemeztek a humán 3p kromoszómán. Legújabb vizsgálatainak előterében a tumork elleni epigenetikus és intercelluláris nem-immun ellenőrző funkciók állnak.

Korai munkáiban emberi eredetű B-sejtek és B-sejt vonalakon elsőként É. mutatta ki a membránhoz kötött ellenanyag-molekula (immunglobulin) jelenlétét, amiből arra következtetett, hogy ez antigén-kötő funkciót tölt be. Nevéhez fűződik a daganatok elleni védekezésben nagyon fontos szerepet játszó természetes öltő (NK) sejtek felfedezése, ami azóta a modern immunológia egyik mérföldköve, a daganatok elleni immunvédekezés egyik sarokpontja lett. Merész újdonságnak számított az is, amikor humán rendszerben kezdték el tanulmányozni a daganatsejtek elleni *in vivo* választ, és leírták, hogy az NK-sejtek mellett más immunsejtek is részt vesznek ebben a folyamatban.

Kutatói tevékenységüket a szuverenitás, a gondolatok szabad szárnyalása, a kritikus látásmód, a teljes kutatói szabadság jellemzi. Egy közelmúltban adott interjúban G. kifejtette, hogy a kutatómunka „kihívása, izgalma, csalódása, hogy soha nem tudod, hogy jövőre mit fogsz csinálni. Mindig érhetnek meglepetések. De ez nem olyan nagy baj.”

Az irányításuk mellett, a G. által vezetett intézetben született eredmények jelentős hányada ma tankönyvi tétel.

A „real” és „humán” műveltség egysége

A tudós házaspárnak a biológiai tudományokban elért eredményeit világszerte ismerik és elismerik. Mutatja ezt közleményeik és hivatkozások szinte mérhetetlen volumene éppúgy, mint a tudományos munkásságot honoráló díjak, valamint jelentős egyetemek, tudományos testületek tiszteleti tagságai, amelyekben részesültek. Azokon a magukat igazán szerencsésnek mondható magyarokon kívül, akik közeli kapcsolatba kerülhettek a Klein házaspárral, kevesen tudták, hogy érdeklődésük nem szorítkozik a biológiára, hogy nem csak tudományos közleményeket publikálnak.

G. esszéíró, akinek számos kötete jelent meg svédül, majd a svédből fordítva angolul, és (szerencsére) már három kötet magyar fordítása is elkészült (ez utóbbiakat kapni már nem lehet). Miről ír (pontosabban: diktál) esszéket G.? Kizárólag az élet fontos kérdéseiről, szenvedésről, halálról, az öröklésről, a tudományról. Lenyűgözően izgalmas, tartalmas írásai jelentek meg olyan fontos emberekről, mint József Attila, MacLach, a rákban szenvedő és az orvosi kezelést elutasító Peter Noll svájci jogászprofesszorról, aki könyvet írt, miközben várta a halált, leírva, hogy az idő korlátozottságának tudata tartalmasabbá teszi az életet.¹ G.-re nagy hatással volt Noll, mélyen elgondolkodtató tanulmányaiban vissza-visszatér rá.² Esszéi alapján nem lehetne jobban jellemezni G.-t, mint azt egy róla szóló (éppen az egyik magyarul megjelent tanulmánykötetének apropójára készült) írásban olvastam: „Klein György a ráció, az európai reneszánsz, a felvilágosodás, a klasszikus német filozófiai és a polgári, humanista magyar és világirodalom gyermeke. Üdítő, tiszta forrás.”

¹ Peter Noll haláltudata és életbölcssége. (Klein, 1994)

É., aki megőrizte a magyar költészet iránti vonzódását és szeretetét, hidat létesített Magyarország és Svédország között azzal is, hogy bemutatta a svédeknek a magyar költészetet. Kevesen tudtuk róla, hogy a magyar költészet jelentős gyöngyszemeit fordította le svédre, továbbá azt, hogy ezek a fordítások különböző svéd lapokban megjelentek. A svédbe ültetett versek között József Attila, Radnóti, Kosztolányi és Kányádi Sándor is szerepelnek. (Jólesett látni és hallgatni Kányádit a Klein házaspárt méltatók között az Akadémián.)

G. és É. megtestesítői annak, hogy hogyan lehet egyfomán benne élni a humán és természettudományos kultúrában. Vallják (és jó lenne, ha minél többen vallanánk velük együtt), hogy „a két kultúra alapjában véve egy és ugyanaz a kultúra. A közöttük húzódnó törésvonal, mely tagadhatatlanul létezik, rossz beidegződés, idejétmúlt hagyomány. Még sokáig élni fog, de alapjuk, valahol mélyen, ugyanabban a folyómederben nyugszik”.³

³ A két kultúra. (In: Klein, 2001)

KLEIN GYÖRGY

1950 Orvosi diploma, Karolinska Intitutet (KI) Stockholm,
1951 D. Med. Sci. KI
1957–1993 Professzor, Tumorbiológia, KI
1993– Professzor Emeritus és kutatócsoport vezető, MTC (Mikrobiológiai és Tumorbiológiai Központ)
Hat egyetem díszdoktora
1983 az MTA tiszteleti tagja
Tud. közlemények: 1300 cikk, 9 könyv
Húsznál több nemzetközi és svéd tud. díj

KLEIN ÉVA

1953 Orvosi diploma, Karolinska Intitutet (KI) Stockholm
1979–1993 Professzor, Tumorbiológia, KI
1993– Professzor Emerita és kutatócsoport vezető, MTC
1993 az MTA külső tagja
Díszdoktor: Nebraskai Egyetem, OMHA, USA
1990, Ohiói Egyetem, 2003
Tud. közlemények: 500 cikk
Hat nemzetközi tudományos díj

IRODALOM

Klein, Eva – Klein, Georg (1950): Nucleic Acid Content of Tumour Cells. *Nature*. 11 Nov 1950. 166, 4228, 832–833.
Klein, Georg (1994): *A tudomány körül*. Gondolat, Budapest

Klein, Georg (2001): *Vak akarat és önző DNS*. Magvető, Budapest
Klein, Georg–Klein, Eva (1989): How One Thing Has Led to Another. *Annual Review of Immunology*. 7, 1–33.



Vélemény, vita

Ritka dolog, hogy egy tudományos folyóiratban a főszerkesztőnek valamit kommentálnia kell. Most mégis szükségét látom. Lapunk ez évi kilencedik számában kritika jelent meg Szabó István Mihály akadémikus könyvéről. Kemény, elmarasztaló kritika, de olyan, amely szigorúan betartotta azt a tudományetikai szabályt, hogy mindig a tudományos eredménynek tekintett dolgot: kísérletet, elméletet, könyvet, cikket kell bírálni és nem az eredményt létrehozó személyt. Szabó István

Mihály élt a válaszadás jogával, ragaszkodott a betű szerinti közléshez, és hogy mennyire tartotta magát ehhez a szabályhoz, azt döntse el az olvasó maga. Mindenesetre fontosnak tartottam, hogy az érintett tudományterület két elismert képviselőjét is megkérjem álláspontjuk kifejtésére. Ezt meg is tették, szakszerűen, etikusan. A kritika szerzője is lehetőséget kapott rövid válaszra. Ezzel a vitát a magunk részéről lezártuk.

Csányi Vilmos, főszerkesztő

MAGYAR ÓSTÖRTÉNETTUDOMÁNY: KRITIKAI AMBÍCIÓK SZAKTUDOMÁNYI ALAPISMERETEK NÉLKÜL VÁLASZ SIMON ZSOLTNAK IS¹

Szabó István Mihály

r. tag

Az őstörténettudomány (és tőle elválaszthatatlanul a régészet) sokrétű feladatkörének és céljainak megfelelően már a huszadik század derekán kialakította jellemző profilját, mely lényegében a társadalomtudományok szemléletének és a természettudományok vizsgáló módszereinek alkalmazásának elválaszthatatlan ötvöződéseiből formálódott.

¹Simon, Zs.: *Iam proximus ardet Ucalegon*. Szabó István Mihály: *A magyar nép eredete. Az uráli népek eurázsiai-amerikai őstörténete*. Magyar Tudomány, 2005/9. 1152-1157.

Ez a tény e komplex tudományterület képviselőitől igencsak sokoldalú és sokrétű felkészülést igényel. Vannak azonban, akik úgy érzik, hogy e szigorú feltételeknek nem mindenben felelnek meg. Azok számára, akik csak szűk szakmai profilú munkaközösségekben, vagy még ilyenekben sem dolgoznak, e követelmény – az együttműködési lehetőségek híján – esetenként csaknem teljesíthetetlen lehet, ezért elvitatása egyszerűbb megoldásnak tűnik. Mások a mindentudást szimulálják. Végül

a merészek, kemény kritikával csapnak le mindenre, amit nem értenek. Így szándékosnak maguk körül biztonságosan ellenvélemény-mentes mintegy átjárhatatlanul lepusztított és szellemében megmérgezett „gyepű”-t teremteni.

Napjainkra azonban minden megváltozott. Az őstörténettudomány egyik segédtudományának, a humán genetikának egy kivételesen nagy nemzetközi munkaközössége, megkülönböztetetten mértékadó publikációs fórumon, forradalmian új eredményekkel állt elő és ezeket korrektt módszerekkel bizonyítani is tudja: Így pl. a magyarok ősei negyvenezer esztendővel ezelőtt települtek Európába. Utódaik – kontinensünk népei között és populáció szinten – még ma is határozott genetikai önazonossággal rendelkeznek. Egybehangzó ez az észak-európai nyelvészek megállapításaival, miszerint Európa keleti térségében már a jégkorszakban is hatalmas uráli nyelvterület létezett. Az európai népek kollektív őstörténetének kutatása, rokonságuk felderítése ma a nyugati tudományos műhelyekben új, jórészt genetikai alapokon bontakozik ki. Mindezzel ellentétes magyar eredetelméletek kitervelői, különösen a mindenfajta ősi magyar eredeztetéssel *ab ovo* ellenszenvezők, csakúgy, mint a „magyar keveréknép” elmélet kiagyalói most nagy bajban vannak (ezeknek meg Simonnak ég a háza – Ucalegon! – nem a szomszédé!). A genetikusokata a pokolba kívánják. Az északi nyelvészekre és a velük közös platformon dolgozó magyar kollegáikra kígyót-békát kiáltanak. Mindent bírálják, minden irányba csapkodnak. Nézeteik túléléséért és egzisztenciájukért még a magyar nemzeti értékeket és érdekeket is hajlandók feladni. Válogatott módszerekkel (még a gyenge szakismerettel rendelkező tanítványaik agresszívítását és arroganciáját is segítségül hívva) támadják mindazokat, akik az új ismeretekre memek alapozni. De lássuk mindezt közelebbről.

1.) *A magyar őstörténetkutatás alapvető feladata:*

Eleink régmúlt történetének, biológiai leszármazásának és kultúrája fejlődésének felderítése. Az eredményeknek a tudomány mindennemű illetékes szakterülete mai állása szerinti valóságghú bemutatása, bármilyen szándékos, a szubjektív megítélésből származó szépítés, rontás ill. torzítás kizárásával.

2.) *Mikrobiológia és őstörténetkutatás*

Simon,¹ feltehetően mestere sugallatára ösz-szerovott, archaikus felfogású „vita-irat”-át a *Magyar Tudomány* probléma nélkül méltatta közlésre, amire viszont a benne ugyancsak célbavett Mundus Kiadó, igényessége folytán, bizonyosan nem lett volna hajlandó. Iratában elsőnek hozzám, mint mikrobiológushoz (mint szerinte illetéktelenhez) provokatívan intézett, primitív megállapítását találhatjuk: *a mikrobiológia nem tartozik az őstörténetkutatáshoz szükséges diszciplínák közé!* E nagyfokú dilettantizmus tükröző tévedés cáfolata valójában szükségtelen. Mégis, lássunk egyetlen példát: a Pleisztocén/Holocén átmeneti korszakból származó fosszilis csont- és szerves maradványokból jelenleg számos, az emberiség történetének kutatásában érdekelt mikrobiológiai laboratóriumban kísérlik meg azoknak a virális vagy bakteriális kórokozónak a kitenyésztesét, melyek felelősek lehettek a korabeli európai nagyemlőspopulációknak a földtörténeti időskálán is nagyon gyorsnak ítéltető és esetenként fajok végleges kihalását is eredményező, járványszerű pusztulásáért. A kórokozók sikeres visszaizolálásával, identifikálásával és az anyagcsere-típusaikra jellemző patogenitás il. patogeográfia ismeretében ugyanis jobban megérthetnénk e korszak természeti-társadalmi eseményeinek sajátos dinamikáját. Ma a

zsákmányállatoknak a jégkorszak végén lezajlott tömeges pusztulására vezetjük vissza kontinensünk vadásztársadalmainak felbomlását, az ezt követő hatalmas mérvű intra- és interkontinentális népmozgások megindulását, továbbá a lakosságnak radikális életmódváltoztatáshoz vezető kényszerét (átterés növénytermesztésre és haszonállattartásra).

Simon önelégült stílusának élesen ellentmondó, feltűnő szakismereti hiányosságait ebben az esetben megérthetjük, ha tekintetbe vesszük a hazai régészképzésnek az utóbbi években – Szabó Miklós akadémikus úttörő kezdeményezésére – a természettudományok felé is nagy lépést tett tanulmányi programját, mely azért minden modernizációja ellenére, a mikrobiológiát és módszereit még nem minősítette tananyaggá. Így az ifjú régészgeneráció tagjai aligha tudják majd az ásatási leletek fém-, textil, bőr stb. állagában idővel mikrobiológiai korróziós hatásokra végbement változásokat a követelményeknek megfelelő módon értékelni. Hasonlóan nem lesz fogalmuk arról, hogy létezik a *paleopatológia* tudománya és ennek már kidolgozott módszertanát is arra, hogy az egykori humán-, állat- és növénypopulációknak az emberi társadalom történetére is döntően kiható egészségi állapotát feltárhassák. Másrészt ismeretes, hogy a talajok mindenkor termékenysége mindig is elsődleges meghatározó tényezője volt az emberi társadalmak gazdasági-kulturális állapotának és fejlődésének. A *paleopedológia* a fosszilis talajok jelen fizikokémiai állapotából, ásványtani-szerveskémiai analízisek alapján, részleteiben deríti fel azt az egykori biokémiai-mikrobiológiai talajdinamikát, amely e talajok valamikori termékenységi szintjét határozhatta meg. Ezzel a történészek számára döntő fontosságú információkkal szolgálhat.

A történészek és – a modernizált képzés ellenére – a régészek között is mindig lesznek,

akiknek a kizárólagosan társadalomtudományokhoz sulykolt agyához, Simonéhoz hasonlóan, az őstörténetkutatás számos nélkülözhetetlen természettudományos aspektusa sohasem jut el. Inkább a hiányos alapismeretekkel is jól fejleszthető kritikai érzékük (de nem a kritikára alkalmasságuk!) tökéletesítésére törekednek. Mindazonáltal többségük mégiscsak tud majd – bizonyosan sokkal többet is – a mikrobiológia tárgyköre felől és nem reked meg a *Simon-i általános iskolai szinten*.

3.) A történeti nyelvészet mint társadalomtudomány

Egy, a közelmúltban az Akadémián lezajlott őstörténeti-régészeti vitaülésen e tudományterületek jelen helyzetével foglalkozó egyik reprezentatív előadó kategórikusan szögezte le: „*az őstörténetkutatás társadalomtudomány*”. Kénytelen voltam ezt a helyszínen korrigálni. Azt a komplex, sokoldalúan természettudományos módszerekre alapuló leletanyag-feldolgozást, amikor (vonatkozó mindennemű írott információ teljes, vagy közel teljes hiányban) az előtárt évezredes maradványokon fizikai antropológiai, genetikai, szerves-, szervesetlen és geokémiai, korróziós mikrobiológiai, paleopatológiai, biokémiai fossziliákat azonosító szerves analitikai, fizikai kormeghatározó, őskörnyezettani stb. eljárásokat kell szinkron alkalmazni, nehéz lenne társadalomtudománynak minősíteni. Még akkor sem, ha a nyert adatok döntően természettudományos kiértékeléséhez esetenként a társadalomtudományi szemlélet párhuzamos szükségességét is el kell ismerünk. Valójában mit is lehetne bármely leletanyagon csupán társadalomtudományi megközelítéssel és módszerekkel megvizsgálni? Még e kérdés felvetése is abszurdnak tűnhet. Ennek ellenére a fenti gondolatmenetet az e területen dolgozó és Simonhoz hasonlóan elmélyült természettudományos alap- vagy

speciálképzéssel nem rendelkezők között többen is személyük ellen irányuló támadásnak vélik. Márpedig, az őstörténetkutatás legtöbb segédtudománya felől érkező megközelítésnek szükségszerűen kettős, egymást feltételező természet- és több-kevesebb társadalomtudományi vetülete van. E megállapítás alól még a történeti nyelvtudomány sem kivétel. Egyoldalú nézeteinek elszánt védelmében Simon azt állítja, hogy a „történeti nyelvészetet nehéz lenne kiiktatni a társadalomtudományok köréből”. A valóságban azonban mindennél nehezebb lenne azt kizárólagosan, de még akárcsak „főleg” is társadalomtudománynak minősíteni. A történeti nyelvtudomány a nyelvek hosszúlejárátú, évezredekken át elhúzódó evolúcióját tanulmányozza. Ez a fejlődési út, már első megközelítésben is, elválaszthatatlannak minősíthető a magát verbális úton mindjobban megértetni szándékozó emberben, a nyelvkészség alapjául szolgáló és utódgenerációkon át megszakítatlan folyamatossággal kiépülő új, sajátos biokémiai anyagcsereutaktól, ezek lokalizációját biztosító biológiai struktúrák szerveződésétől és tartós genetikai stabilizálódásától.

Vitathatatlan, hogy a nyelvek evolúciójában az agy beszédközpontja fejlettségének, más agyi funkcionális területekkel kialakított koordináltságának, továbbá a hangképző szervek anatómiájának, élettanának és biofizikájának, csakúgy mint az utóbbiaknak a környezet fizikokémiai változásaival szembeni adaptációs potenciáljának is meghatározó szerepe van. Éppen e specializált anyagcsereélettani szakismereteket igénylő, sokoldalú kutatási terület fejlesztéséhez alapították a Semmelweis Egyetemen már színvonalasan működő „Medicina et Linguistica” folyóiratot. A hazai szakirodalmat sem ismerő Simon, úgyis, mint az ELTE BTK Elméleti Nyelvészeti Szakcsoportjának még érettnék aligha nevezhető régészből hasonló szintű nyelvészé

formálódás útjára sodródott tagja, végső soron a nyelvtudománnyal kapcsolatban is a fentebb idézett akadémiai ülés előadójának az őstörténetkutatás egészéről kifejtett véleményével analóg álláspontra helyezkedett: A történeti nyelvészet társadalomtudomány (még elméleti vonatkozásában is)!

4.) *A hosszúlejárátú magyar őstörténet*

általam előterjesztett és döntően az autentikus angolszász és orosz szakirodalom adataival megindokolt rekonstrukcióját Simon túlbuzgó kritikai igyekezete csak lényegtelen mértékben érintette. Az azzal szembehelyezhető alternatívákkal azonban még részletkérdések vonatkozásában sem próbálkozott. Ezzel szemben, kritikai palettája sokszínűsége látszatának felkeltésére, a maga szaktudásának szintjén tücsköt-bogarat összehordott.

Simon, de főleg más, kizárólag társadalomtudományi alapra helyezkedett történészek nehezen értik, hogy a ma élő humán populációk genetikai anyagának vizsgálata alapján miként lehet évezredekkel korábban végbement leszármazási vonalakra és ezek elágazásaira következtetni. Nem ismerik a genetikai anyag rendkívül nagyfokú konzervatívizmusát. Ez teszi ugyanis lehetővé pl., hogy récens állatok kromoszomális DNS-szekvencia analízisével nyert információk alapján következtetni lehessen több százmillió, esetleg milliárd évvel ezelőtt őseikben végbement anyagcsereváltásokra. Továbbmenően, e változások megközelítő idejét a genetikai analízisek eredményeinek és a párhuzamos biogeokémiai milióvizsgálatoknak az egybevetésével a földtörténeti korok időskáláján ugyancsak becsülni tudjuk — Rédei Károly – Simon szerint – alapos cáfolatát adta Sadovszky kaliforniai professzor kutatási eredményeinek, aki szerint a penut-indiánok és a magyarok között nyelvi rokonság ismerhető fel. Rédei cáfolata nem volt éppen alapos,

de sokkal inkább ellentmondó. Szerinte Sadovszky „felfedezése” valószínűtlen hipotézis, „de semmiképpen sem sorolható a dilettáns nézetek közé”. Rédei úgy gondolja, hogy az ugor-penuti nyelvrokonság nincs eléggé megalapozva. Így akkor nyilatkoznak a szakemberek, ha valami nem tetszik nekik, de határozottan cáfolni sem mernek. — Az ugorok nem juthattak el Amerikába? Hunn amerikai kutató (2000), az indián nyelvek szaktekintélye az európai anatómiájú Kennewick-i embert (csontleletei mintegy 9000 évesek) a mai Brit-Kolumbia területére Ázsián át bevándoroltnak és történeti etnikai, biológiai-környezeti vizsgálati alapján penut nyelvűnek valószínűsítette. — Nehéz azonban az európaiak egykori bevándorlását Amerikába kizárólag nyelvi alapon megítélni. Ide fizikai antropológiai, genetikai, őskörnyezeti stb. vizsgálatok eredményei és ésszerű egyeztetésük szükséges. Kár, hogy Simon egyáltalán nem ismeri e szakterületeket és a vonatkozó amerikai szakirodalom adatairól sincs fogalma, bár könyvemben olvashatta volna. Úgy látszik, kritikusi hevülete közepette csak minden másodikk bekezdést olvasott el. — Könyvemben elzárkóztam a magyarok mezopotámiai származtatásának még a lehetőségétől is. A „Szakkifejezések magyarázata” rovatban azonban néhány sorban megemlékeztem Bobula Idáról, aki a sumirok kulturális hagyatékában a magyarral közös vonásokat ismert fel. E tény valószínűen a Nyugat-Ázsiában egykoron a Kaukázus felé és azon túlra is szóródott, a magyarokkal rokon ugorok közvetítésére vezethető visz-sza. Ezzel a témával hazánkban ma is, jó munkát végezve, többen foglalkoznak. Egyesek túlzott következtéseire alapítva azonban velük („sumirológusokkal”) szemben, a legalább ugyanannyi hibát elkövető ellenfeleik teljes diszkriminációra törekednek, ami megengedhetetlen. Simon ebbe a vitába igyekezett engem, mint

mereven kívülállót, előnytelen beállításban belekeverni. — Simon nehezményezi a nyelvek fejlődésével kapcsolatban használt kifejezéseimet. Ezt részéről teljesen megértem. A beszélt nyelv biológiai termék, a folyamatosan kibontakozó biológiai nyelvi evolúció eredménye. Aki a nyelvekkel kizárólag szociológiai alapon foglalkozik és mitsem ért a magasabbrendű idegrendszer vagy a hangképző szervek működéséhez, azzal aligha lehet biológiai nyelven szót váltani. — Simon álláspontja megegyezik azokéval, akik Semino és társai eredményeit azzal próbálják egyszerűen semmibe venni, hogy azt állítják: a magyar az európai népek jellegtelen keverékpoplációja. Erre utal az az elképzelése is, hogy Árpád népe genetikailag elenyészett a Kárpátmedence nagyszámú őslakosa között. Ezen a vonalon tehát a magyarság eredete kinyomozhatatlan. Ez Simonnak, mint botcsinálta genetikusnak a nem igazán magyarbarát állásfoglalása. — A magyar nyelv ősiségével kapcsolatban osztja azok nézetét, akik anyanyelvünket nem tekintik Európa olyan ősi nyelvei közé tartozónak, mint amilyen pl. a baszk nyelv is. Szerinte nyelvünk eredete ill. önállóvá válása i.e. 1000 vagy 500 körülre vezethető vissza. Vagyis – Simon szerint – igencsak új nyelv. Bizonyára vannak (bár kisebbségben), akik ezt a megállapítását egyetértéssel nyugtázzák. — Kifogásolja, hogy még olyan folyóiratból is információkat szereztem be, mint a Demokrata. A magyar Tudományban akar velem politizálni? Sajátos módon a Demokratában értékes magyar őstörténeti kritikai cikkeket találtam, mégpedig komoly szakemberektől. Különböztetve egyetlen pillanatig sem tételeztem fel, hogy Simon a Demokrata nemzeti irányvonalát képviselné. — A „Wiik-Künnap-Pusztay-féle elmélet”, ami vörös posztó a magyarok modern genetikai alapokon történő leszármaztatásával szembenállónak, Simon szerint, megsemmisítő kritikát

kapott az uralisztika részéről. A csapást Honti (2004) és Rédei (2003) a Nyevtudományi Közleményekben ill. a Balassi Kiadónál, magyar nyelven mérték ki. E csapás körülbelül a Rédeinek Sadovszkyra mértével azonos vagy még annál is kisebb súlyú. Talán érdemes megkérdezni, hogy vajon e magyarul kimért csapásokat az érintett északkeurópai és orosz szerzők egyáltalán észrevették-e? Künnap pl. nemrég éppen az angol nyelvű, de magyar kiadású Praehistoria folyóiratban tette közzé az uráli nyelvek eredetével kapcsolatos igen alapos tanulmányát. — Érdekes, hogy Simon nemegyszer szerepelteti Rédeit a derék csapástmérők között. Tudomásom szerint Rédeinek gyakran kell honfitársaitól tudománya ellen irányuló kemény kritikákat elszenvednie. — Simon nézeteimet egyfajta pánugorista elmélettel tartja azonosíthatónak. Úgy gondolja, teheti, mert ő aztán ilyen váddal igazán nem marasztalható el. Ehhez a pánugorista kritikájához azzal szolgáltatott bizonyítékot, hogy én az ugorok ázsiai ill. közelkeleti szóródásával foglalkozva felsoroltam mindazokat a geográfiai régiókat, ahol a megbízható irodalmi utalások szerint a magyar etnikummal rokonítható népek élnek vagy legalábbis éltek egykoron. — A fentiek alapján egészen természetesnek tartom, hogy Simon a magyar nyelv sajátosságairól, különlegességéről vagy legalábbis pregnáns másságáról szóló, sokak által vallott nézeteket egyszerűen elutasítja. A magyar nyelvnek, szerinte, olyan tulajdonságai vannak, „*amelyek pusztán néhány száz másik nyelvre jellemzőek*” (ez így áll a Magyar Tudományban, nyilván a Szerkesztőség egyetértésével; ezzel érzelmeit Simon félreérthetetlenül fedte fel). Ő nyelvünket hétköznapi, közönséges, nem nagy múlttal és semmiféle sajátossággal sem rendelkező, az utolsó 1-2 évezredben összekalapált, de azért a mindennapi érintkezéshez mégiscsak elfogadható átlagnyelv-

nek tartja, melynél különb még bizonyosan sok akad. — Azt, a nem tőlem, hanem a műszaki tudományok egyik legkiválóbb hazai képviselőjétől származó megállapítást, hogy a magyar nyelvnek és az angolnak egymástól eltérő, de egymást rendkívül eredményesen (kétdimenziós szemlélettel) kiegészíteni képes, a kreativitáshoz vezető nyelvi logikája van, Simon, megjegyzései alapján, egyfajta rögeszmének minősítheti. — Egyrészt azt állítja, hogy „az ugor alapnyelv datálása szigorúan nyelvészeti alapon felállítható kronológiai keret kizárja” (stílus!), „hogy valaha ugorok kelhettek volna át a Bering-földhídon”. Másrészt kioktatóan közli, hogy „a nyelv átadása – mint társadalmi jelenség – ugyanis a gének átadásától teljesen független folyamat, ebből fakadóan a nyelvet átadók láncolata nem kizárólagosan azonos a genetikai ősökkel”. Ennek megfelelően az ugorok mégiscsak átkeltek a Bering-földhídon. A modern genetika és a fizikai antropológia is ez utóbbi igazolja Ezekről viszont mélyen hallgat. — Azt állítja, hogy „a történeti nyelvészet nem rendelkezik olyan adatokkal, amelyekből tesztelhető hipotézis tudna megalkotni a paleolitikum nyelvi viszonyairól”. Ez az állítás nyilván a modern nézetekkel szembenálló őstörténezeinket védi. Én a magam részéről azonban e tekintetben sokkal inkább támaszkodok egy sor északkeurópai tapasztalt és elismert nyelvész megállapítására, mint egy nyelvészkedő kezdő régész kötözködő elgondolásaira. — „Semmit nem tud a nyelvek szerkezetéről és a nyelvi változásról” az, aki „úgy gondolja, hogy a környezeti körülmények befolyásolják a kiejtést”. Nyilván ennek a bölcsességnek a papírra rováskor nem volt tudomása arról, hogy az Atlanti-régió övezetében uralkodó csapadékos, hűvös időjárás miként változtatta meg évszázadok és évezredek alatt az orr- és garatüreg, a hangrés, a hangszalag izmainak stb. funkcionális és strukturális

alkalmazkodásán át ill. az időnkénti kóros elváltozások élettani korrekciója révén is a germán és a latin nyelveket beszélők hangképzését. — Sokallja az általam számbavett nyelvcsereket az uráli nyelvcsaládon belül. A finnek magukról azt tartják, hogy mai hazájukba az Atlanti-régió felől jöttek, míg nyelvük keleti eredetű, az északi Volga vidékéről származik. A szamojédek nyelv-váltásával ma már tetemes irodalom foglalkozik. A vogulok és osztyákok eredeti paleoszibériai nyelvüket ugyancsak urálira cserélték (Erdélyi). A keleteurópai régióban az évezredek során végbement sokirányú nyelvváltásokba Décsi nyújtott jó betekintést. — Simon szerint a pictk nép már kihalt (A nép vagy a nyelv? Nem mindegy.) és a pictk nem szigetnyelv, hanem kelta dialektus (szigetszerűen előforduló dialektus, és ezt azok beszélik, akik már kihaltak?). Ezzel szemben a pictk nép maradványai a kihalás útjára jutva, biológiailag még mindig léteznek. A pictk nyelv rokonsága különben ismeretlen („The language of the pictk of the undetermined relationships”: New Ill. Webster’s Dict., Thesaurus, Pamco, NY, 1992). A Simon-i okoskodás értelmében az ír nép biológiai léte is már hanyatlak, mivel az ír-gael nyelvű régióktól eltekintve, jelentős hányaduk ma már angolul beszél (ez esetben sem az irek haltak ki!). — A Renfrew-i anatóliai eredet és a gimbutasi kurgán elmélet nem zárja ki egymást. Ellenkezőleg, egymást kiegészítheti, ami megmagyarázhatja az „Új-Európa” indogermán nyelveinek sokrétűségét is. — Simon határozottan állítja, hogy a szkíták nyelve nem ismeretlen, hanem óiráni. A hatalmas területen szétszórta élt szkíták népe nem volt még nyelvileg sem egységes. Közöttük uráli nyelvű szkíták is éltek. — Ami a horvátok Balkánra vándorlásának és a lengyel nyelv kialakulásának idejét illeti, nem vagyok hajlandó vitába bocsátkozni, nyilván Simon más forrásra támaszkodik,

mint jómagam. Még az önállóvá vált magyar nyelv korának kérdésében is egyéni nézeteket vall. — „Módfelett naív és téves elképzelés a nyelvi szubsztrátum okozta változásokat ’hibaként’ jellemezni”. Vádolja meg ezzel azokat a nemzetközi nyelvi szakértőket, akiktől a „hiba” megjelölés származik. — A keltákat Belső-Ázsiából származtatják Egyesek szerint valahonnan a mai Mongólia területéről. Ez a megállapítás egyáltalán nem tölem ered. — Az irányomban adresszált „kritikátlan” megállapítás elsősorban is arra vonatkozatható, aki természettudományos alapismeretek hiányában genetikai, származástani stb. kérdésekben is magabiztosan nyilatkozik. — A „Dunai kultúra”, bár neki nem tetszik, de mégis elfogadott. Pontos kultúrtörténeti időtartama még vitatott. — Sajnálom, hogy a baszkokról írt soraimmal nem ért egyet. — Még jobban sajnálom, hogy a magyar őstörténet nemzeti vonatkozású kérdéseiről általam írottakkal (csakúgy, mint mindennel, ami nemzeti) el-lenszenvez. Ha megengedi, nem írom le véleményemet. — Végül a leginkább sajnálatos számomra, hogy a magyar őstörténettel lelkesen foglalkozó vagy azíránt érdeklődő, sokszor új szempontok meglátására is képes amatőr történészeink felé Simon gúnyos és lebecsülő megjegyzéseket tesz. Dehát állásfoglalásaiban az egyik logikusan következik a másikból.

5.) *Simon mint szaktudományi kritikus*

A kritika kezdő fenegyerekének önértékelésre képtelen szerepére széles szakterületi skálán próbálkozik. „Nyelvészként” nemrég nagyképű „csapást mért” (BUKSZ, 2004, tavasz) Fodor István: A világ nyelvei és nyelvcsaládjai (319 old., Tinta Kiadó, Bp., 2003) c. könyvére. Most, „mint Pilatus a Credoban” megjelent őstörténetünk terén is. „Régészként” a természettudományokban (evolúció-biológia, fizikai antropológia, anyagcsere-életlen, mikrobiológia, őskörnyeztetan,

stb.) még arra a szintre sem jutott el, hogy felfogná, mit is kellene megtanulnia. Mint „történész”, valós stílusa: *szemben a magyar nemzeti értékekkel*, ami eleve meghatározza mindenfajta viszonyulását. Dilettáns kritikái közzétételéhez viszont egyetértően simul a szerkesztőségi irányvonalakhoz.

5.) *Fáradhatatlan kritikai és ellenkritikai tevékenység a magyar turkológia és őstörténetkutatás jobb színvonaláért?*

Amikor a magyar őstörténet időben egymást követő főbb eseményeinek, a nemzetközi szakirodalom autentikusnak minősíthető adataival szorosan egyeztetett kronológiáját – az Akadémia budai Történettudományi Intézetében – első alkalommal ismertettem, Róna-Tas turkológus-őstörténészakadémikus a hozzászólók között egyedül fejtette ki ellentéteit. Ez természetesen hozzátartozik valamely vitailés kívánatos szelleméhez. Válaszom alapján úgy tűnt azonban, hogy önmagával sem igen lehetett megelégedve, mivel a vitát a Magyar Rádió nyilvános fóruma előtt újra kezdeményezte. Nyilvánvalóvá vált, egyébként minden alapot nélkülöző, de mégis mélységes aggodalma, miszerint én – a következményekkel nem törődve – őstörténetünk átírásával a szélsőséges magyar nacionalisták malmára hajtom a vizet. E rádióvita eredménye újfent nem győzhette meg önmaga fölényéről, mivel ezek után a História folyóiratban tette közzé² nézeteim ellen irányuló, kemény bírálatát. Ezúttal, naív érvekkel közvetve már Glatz korábbi elnökünket is támadta,

²Róna-Tas, A.: Az őstörténet-kutatás vitás kérdéseiről. Észrevételek Szabó István Mihály elméletéhez. - História, 2003/10: 30.

³Szabó, I.M.: Őskőkori eredetű-e a magyar nép? – História, 2004/8: 34.

⁴Semino, O., Passarino, G., Oefner, P.J., Lin, A.A., Arbuzova, S., Beckman, L.E., De Benedictis, G., Francalacci, P., Kouvatsi, A., Limborska, S., Marcikiae, M., Mika, A., Mika, B., Primorac, D., Santachiara-Benerecetti, A.S., Cavalli-Sforza, L.L., Underhill, P.A.: The genetic legacy of Paleolithic *Homo sapiens sapiens* in extant Europeans:

aki a humán- és a természettörténet koevolúciója párhuzamos nyomonkövetésének szükségességét hangsúlyozva, új, egységes, modern történelmi szemléletet javasolt. Ezenközben Róna-Tas egyre inkább szem elől tévesztette, hogy aki folyamatosan *szelet vet*, az mind fergetegesebb *vihart arat*. A Históriaban közölt válaszomban³ kénytelen voltam már rámutatni, hogy hadakozása eredménytelenségének elsősorban is a természettudományok terén megnyilvánuló tájékozatlansága az igazi oka és hogy magabiztosan beleszól olyan kérdésekbe (mint pl. a genetikai biokémiai módszerek alkalmazása), melyek felől nem sok fogalma lehet. Nem véletlen, hogy annak a Science-ben megjelentetett⁴ alapvető genetikai tanulmányának a bírálatát, mely elsőnek foglalkozik a magyarok őseinek őskőkori európai betelepülésével és ami Róna-Tason kívül Czeizel⁵ is felháborította (miért?), sőt az utóbbi Semint és társait (alaptalanul⁶) a genetikai markerek összekeverésével is megvádolta, kizárólag magyar nyelven közzölték. Bár a Science-nek kritikái rovata is van, azért annyira nem bíztak véleményük igazában, hogy e nivós folyóiratnál bírálatukkal megpróbálkoztak volna (vagy ha mégis, arról mélyen hallgatnak). E két tudós tudománya tehát sohasem jut el a bíráltak tudatához, ami rájuk nézve bizonyosan csak előnyös lehet.

A Históriaban közzétett válaszomra egyébként Róna-Tas már nem reagált. Amikor azonban Simon írása megjelent és

A Y chromosome perspective. – Science (U.S.A.), 2000, 290:1155-1159.

⁵Czeizel, E.: A magyarság genetikája. Bp., Galenus, 2003.

⁶Szabó, I.M.: Vezérfonal a magyar és az uráli népek őstörténetének áttekintéséhez. A szakirodalom kritikai összefoglalása. In: Csihák, Gy. (szerk.): A Tizenhetedik Magyar Őstörténeti Találkozó Iratai. Budapest-Zürich, Zürichi Magyar Történelmi Egyesület Kiadv., 2004, 69-104.

⁷lásd még: Varga, G.: Web site: http://ikint.uw.hu/a/frankfurti_botrany.htm

ebben olvashattam, miszerint én Róna-Tas „tömör” bírálatára nem adtam kielégítő választ, arra gondoltam, hogy a történelemben adott ellenvéleményemre Simon írása akár talán Róna-Tas soronkövetkező „rekontra” válasza is lehetne. Róna-Tas ugyanis a mások segédletével közzétett és sokkal biztonságosabb önvédelmet ill. kisebb kockázatot jelentő kritikák és ellenkritikák tapasztalt bajnívója. Ílymódon kísérte meg egy fiatal tanítványa útján csapást mémi pl. a székely-magyar rovásírás kutatóira.⁷ A legtipikusabb eset az volt, amikor a nem igazán akadémiai nívón sikeredett Turkológia szak- és kézikönyvét, mely a maga kategóriájában egyszerűen „rossz” és a „magyar turkológiát is lejárta” (lásd Hazai Gy.: Keletkutatás, 1994 tavaszán) e tudományterület elsőszámú hazai szaktekintélye, Hazai György akadémikus tette komoly bírálat tárgyává. Róna-Tas tartózkodott a viszontválasztól. Ezzel szemben, Hazai felháborodására („...megütközéssel olvastam Berta bíráló írását. Furcsának tartottam, hogy nem a szerző, hanem annak egy tanítványa fog tollat”) megbízta egyik tanítványát, Berta Árpádot, hogy méltóképpen vágjon ő vissza. Berta szerint Hazai kritikája „egy leplezetlen kísérlet a kézikönyv szerzőjének szakmai lejáratására”. Hazai, aki bírálatában, nemzetközi viszonylatban elismert szaktudásának megfelelően, kizárólag a szakszerűség álláspontját képviselte, kénytelen volt Berta próbálkozását a kritika elnémitására irányuló törekvésnek minősíteni. Tökéletesen igaza volt. Berta természetesen Róna-Tas személyét képviselte és a kritika visszazorítására irányuló kísérlete sem volt független mestertől. Gyakorlatilag hasonló helyzet alakult ki a turkológiához széles fronton kapcsolódó magyar őstörténetkutatás terén is, ahol nem kevés azoknak a száma, akik Róna-Tas közvetlen vagy közvetett kemény intelmeit voltak kénytelenek elviselni. A kritika valójában előfeltétele egy tudományterület fejlődésének.

Mindazonáltal nem úgy, hogy a kritizált jobban tenné, ha szedné a sátorfáját és eltűnne.

A jövőben a magyar őstörténetkutatás továbbfejlesztéséhez és a kutatásban résztvevők közötti jobb közösségi szellem kialakításához az egymásra mért csapás-sorozatok helyett, tisztességes építő kritikára, továbbá a természet- és társadalomtudományok képviselőinek a mainál sokkal jobb együttműködésére lenne szükség. Sem a turkológia, sem a magyar őstörténettudomány nem privatizálható és ilyen törekvéseknek a megsemmisítőnek szánt kritikák sem lehetnek segítő eszközei.

7.) A nemzeti tudat ápolása és fejlesztése a Magyar Tudományos Akadémiának is kötelessége

A magyarsággal együtt élő népek, nemzeti kisebbségek emberi jogainak elismerése, nyelvük és nemzeti kultúrájuk fennmaradásáért folytatott küzdelmük támogatása minden fórumon Akadémiánknak is kötelessége. Különös nyomatékkal hárul ugyanez a feladat Akadémiánkra magánra a magyar népnek a vonatkozásában. Alig valószínű, hogy e megállapítást az Akadémia tagjai közül valaki is nyíltan kétségbe vonná. Mindamellet gondjaink vannak. Az utóbbi években az írott és az elektronikus média olyan véleményeket is terjeszt, melyek nem kifejezetten nemzeti tudatunkat látszanak megerősíteni. Ilyenek: A magyar nép ma már annyira kevert populációt alkot, hogy nemzet helyett inkább kulturális kategóriának (egyfajta civil szervezetnek) fogható fel. A genetikusok kutatási eredményei, miszerint a magyarság ősei már az őskőkorszakban Európában voltak vagy vizsgálati hiba, vagy egyszerűen tévedés. Genetikailag a túlkevert magyar nép múltja megítélhetetlen. Következésképpen az a pregnáns, magas szintű genetikai önazonosság, amit a Semino vezetett pártatlan nemzetközi genetikai munkacsoport a magyarságnak tulajdonít, még populáció-szinten sem létezhet. A székely-magyar rovásírással kapcsolatos né-

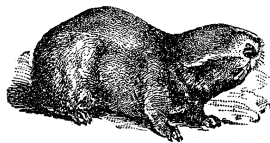
zetek tévesek, tudománytalanok, sőt rasszisták. Az az állítás, hogy az európai jégkorszakban hatalmas uráli nyelvterület létezett, közönséges kitalálás. A magyar nép ősei mindig is műveletlen, írást nem ismerő, kulturálatlan vándor nomádok voltak. A magyar nyelv különleges nyelvi logikája, amit Michelberger műszaki akadémikus fejtett ki, és amely e nyelvet kiválóan alkalmassá teszi a tudomány problémáinak eredményes megközelítéséhez csak úgy, mint a modern számítógépes programozáshoz, nem más, mint misztifikáció. Nyelvünk nem hordoz semmiféle különleges logikát, hanem csak egy átlagnyelv a sok más között. A magyar nyelv tudatos, tudományos alapokra fektetett tervszerű fejlesztése teljesen felesleges erőlködés, fejlődik az úgyahogy, magától is. A nyelvünk ősiségéről vallott nézetek hamisak és félrevezetőek. A magyar nyelv és kultúra bármilyen szintű és célzattal végzett összehasonlítása Mezőpotánia egykori népeivel csak dilettáns és tudománytalan próbálkozás lehet stb. Ezekhez hasonló megállapításokat olvashatunk ma – polgártársaink tollából (de mi célból írják, mit akarnak ezzel elérni?) – a magyar nyelvű médiában.

Minthogy e nézetek ill. gyakran felelőtlen és nemzetietlen megnyilvánulások esetenként az Akadémia vagy társult intézeteinek egyes szakembereitől is származnak, sokan – a média felhasználásával – mélyen igazságtalanul magát az Akadémia testületét marasztalják el és nem személy szerint azokat (nemzeti létünk ellendrukkereit) bírálják, akiktől e nézetek – melyekhez tudományos testületünk

kollektívájának semmi köze (!) – kiindultak. Az Akadémia tagjainak morális kötelessége: nem szembehelyezkedni nemzeti értéinkkel és érdekeinkkel.

Utószó

Az egyetlen, amit Simon állításai közül ténylegesen mérlegelhetőnek tartok, az viszont már közhelynek számít, hogy a nyomtatásban közlésre szánt értekezéseket, legalábbis az igényes szerkesztőségeknek, előzetesen szigorúan lektoráltatniuk kell. Paradox módon, amennyiben ez a követelmény Simon cikke esetében teljesült volna, úgy vele szemben most nem lenne lehetőségem még erre az egyetlen egyeztetésre sem. Még a *Magyar Tudomány* sem adhat lovat (sőt ez a folyóirat kötelességszerűen a legkevesbé) leendő szakterülete minősítési kritériumai szerint meg sem mérhető tollnokok alá. Az ellenvéleményeztetés tisztességesen előkészített szerkesztői feladatkörének érvényesülnie kellene akkor is, ha a szerző mögött munkájának „ötletadója” vagy saját véleményének közvetítését megkövetelő vezető minőségében a szakma – egyesek szerint – elfogadható tekintélye áll. A kéziratok felelősséggel kivitelezett, ha kell, több bíráló bevonásával végrehajtott ellenőrzötése kizárhatná annak lehetőségét, hogy olyan tanulmányokat is közöljenek, melyek szülésekor (esetleg a tudományos ranglétra magas fokára hágott, de egyoldalú műveltsége folytán legalább félszemére) *vak vezette* (a véleményközvetítésre médiumként kihasznált, alulképzett) *világtalant*.



LEKTORI JELENTÉS

SZABÓ ISTVÁN MIHÁLY „MAGYAR ŐSTÖRTÉNET- TUDOMÁNY: KRITIKAI AMBÍCIÓK SZAKTUDOMÁNYI ISMERETEK NÉLKÜL. VÁLASZ SIMON ZSOLTNAK IS” CÍMŰ KÉZIRATÁRÓL

Bálint Csanád

régész, az MTA levelező tagja
az MTA Régészeti Intézet igazgatója

A *Magyar Tudomány* szerkesztőségébe beküldöttek sorában a mind műfaját, mind tudományos elmélyültségét nyilvánvalóan rendkívülinek számító kéziratról csak olyan lektori jelentést tudok írni, ami – a *Magyar Tudomány* szerkesztőségében megszokottakkal összehasonlítva nyilvánvalóan – szintén rendkívülinek számít. A jelen kézirattal a most következő részletességgel kizárólag a Szerzőnek az életművével elért tudományos teljesítménye iránti elismerésem jeleként foglalkozom.

Szabó István Mihály kézírata válasz kíván lenni a Simon Zsolt által a *Mundus* Kiadónál megjelentetett könyvéről írt és a *Magyar Tudományban* megjelent kritikára. A Szerzőnek a magyar őstörténettel foglalkozó, sok tudományban való elmélyültségében a könyvéhez képest nem állt, mert az eltelt egy hónap alatt természetesen nem állhatott be változás.

Szabó István Mihály az MTA rendes tagja az MTA Történettudományi Intézetében (nem „a budaiban”, mint Válaszában írja, ti. nincsen *másik* MTA Történettudományi Intézet) – 2003. január 14-én tartott előadásával minden előzmény nélkül berobbant a magyar őstörténet kutatásába. A Jakobinus Terem zsúfolásig megtelt történészekkel, régé-

szekkel, finnugristákkal, turkológusokkal, néprajzosokkal, antropológusokkal, és jelen voltak a tömegtájékoztatók emberei is. (A genetikusokon kívül hiányoztak viszont a Szabó István Mihály általa magyar őstörténetkutatásban olyannyira hangsúlyozott fontosságú természettudományos diszciplínák képviselői!) A várakozást az indokolta, hogy köztudott: a különféle természettudományok egyre nagyobb számban és intenzitással kapcsolódnak bele a történeti múlt felderítésébe. Elvileg elképzelhető volt, hogy a talajökológia és mikrobiológia specialistája révén most egy újabb diszciplína vonul be a magyar őstörténet kutatásába. Amikor azonban a bevezető mondatok után bejelentette, hogy a magyar és a finnugor őstörténetre vonatkozó irodalmat a felesége gyűjtötte össze egy fél év alatt az internetről, a hallgatóság felhőrdült – ez ui. minden, a kérdéskörben érintett szakember számára elképzelhetetlen. Negyed óra elteltével a hallgatóság kezdett elszállingózni, a Magyar Rádió mellett ülő munkatársra döbbenetesen kérdezgett, hogy erre egyáltalán hogyan kerülhetett sor. Amint azt Róna-Tas András, a MTA rendes tagja a hozzászólásában tanáros szigorúsággal felsorolta: az előadó a tematikában legalapvetőbbnek számító szakirodalmat sem ismerte.

Szabó István Mihálynak az előadás után e témakörben megjelentetett könyvében a Róna-Tas András által említettek egy része – bibliográfiai szinten – már jelen van, de a forráskritika mint olyan és a sokféle magyar őstörténeti diszciplína módszertana változatlanul ismeretlen maradt előtte. Járatlan maradt a többi tudományban is, miközben például végzetesen összekeveri a paleontológiát az emberiség és a magyarság őstörténetével (ez valójában három, egymástól nagyon különböző diszciplína), továbbra sincs tisztában azzal a rendkívül nagy irodalommal, például amelyik régészeti kultúrák és nyelv kapcsolatát elemzi (kétkem, hogy a Szerző *szakfolyóiratban* képes lenne azt a kijelentését szakszerűen kifejteni, miként egyeztethető össze Colin Renfrew és Marija Gimbutas elmélete [mit tud vajon a gödörsíros kultúra kronológiájáról, ami a kérdéskör egyik sarokpontja?!]), nem beszélve ezeknek embertani típusokkal való összekapcsolhatóságáról.

Kijelentő módon hivatkozik „Hunn amerikai kutatóra”, aki „az europid anatómiájú Kennewick-i embert (csontleletei mintegy 9000 évesek) a mai Brit-Kolumbia területére Ázsián át bevándoroltnak és *történeti etnikai, biológiai-környezettani vizsgálatai alapján penut nyelvűnek* valószínűsítette” (én szedtem dőlten, B. Cs.) – meglehet, „Hunnamerikai kutató” az amerikai őstörténetkutatásban ugyanolyan elismertségnek örvend, mint a Szerző a magyarban. (Ugyanez állhat mindazokra, akik a szkíták között uráli nyelvűeket [??] is feltételeznek.)

A brit szigetek történetében való elmélyültségét mutatja, hogy a piktekkel (és nem „pickt”! [a témában járatosak tudják, hogy e népnév a latin ‘pictus’-ból származik, föl sem merülne tehát bennük, gépelési hibaként sem, hogy egy *k*betűt toldjanak bele]) kapcsolatos kutatási helyzet illusztrálására a népszerű *Webster Dictionary*-hez fordult, s nem az elmúlt évtizedekben megjelent tudományos

monográfiák valamelyikéhez.¹

Határozott fogalmazása ellenére ez a helyzet a Kárpát-medence ősrégészetével kapcsolatban is, ti. amikor a „Dunai kultúráról” ír.

A horvátok Balkánra történt vándorlása, a lengyel nyelv kialakulása idejét illetően nem egyszerűen „Simon támaszkodik más forrásra”, mint ő, hanem Simon a nemzetközi kutatás általános álláspontját írta itt le.

Ki az az „Erdélyi”, aki szerint „a vogulok és osztyákok eredeti paleoszibériai nyelvüket ... urálira cserélték”? Remélem, hogy a Szerző itt nem Erdélyi Istvánra hivatkozik, aki ui. régész és a kora középkorral – tehát nem az uráli nyelvészettel – foglalkozik!

Nem hiszem, hogy léteznék a világon nyelvész, antropológus, nyelvpszichológus, aki osztaná a Szerzőnek azon nézetét, hogy „a beszélt nyelv biológiai tennék”.

Wiik, Künnap és Pustay elmélete bizony nem egyedül Simon Zsolt szerint kapott megsemmisítő kritikát, mint ezt a Szerző írja, hanem azt egyszerűen az uralisztika *nemzetközi* kutatása egészében nem fogadja el. Szó sincs arról, hogy az „a magyarok modern genetikai alapokon történő leszármaztatásával szembenállóknak” volna „vörös posztó”, hanem a tudományos világnak van róla negatív véleménye. Ezek a megfogalmazásai arról is árulkodnak, hogy e kérdésekről a Szerzőnek tulajdonképpen csak Simon Zsolt írása és nem a szakirodalom ismerete révén van tudomása – ha nem a tudományosság igényével lépne föl, senki sem vetné ezt

¹ A Webster használatával szemben álljon itt egy ízelítő a tudományos irodalomból: Ball, Martin J. and James Fife, eds. *The Celtic Languages*. London, 2001; Forsyth, K.; “Language in Pictland - The Case Against ‘Non-Indo-European Pictish’” in: *Studia Hameliana* #2. Utrecht 1997; Bruford, A.; “Trolls, Hillfolk, Finns, and Picts: The Identity of the Good Neighbors in Orkney and Shetland.” In: *The Good People: New Fairylore Essays*. Peter Narváez, ed. New York and London 1991, 116–141.; Laing, L., Laing, J.; “The Picts and the Scots” London 1993; Cummins, W. A.; “The Age of the Picts” Stroud: Alan Sutton (1995) Rev. David Rollason in *Early Medieval Europe* #6 (1997), pg. 126; Foster, S. M.; “Picts, Gaels, and Scots” London 1996.

a szemére, hiszen nem is lehetne bárkitől is elvárni, hogy egy teljes életet egy másik tudomány művelésében eltöltve, *egy sor nagyon másik mindegyikében egy szempillantás alatt teljes ismerettel rendelkezék!* Ezt mutatja az is, amikor a Szerző fölveti, hogy „Talán érdemes megkérdezni, hogy vajon e magyarul kimért csapásokat az érintett északeurópai [sic!] és orosz szerzők egyáltalán észrevették-e?” – nos, a magyarul megjelenteket bizonyára nem, de a nemzetközi folyóiratokban, idegen nyelveken megjelentetteket feltétlenül; ez utóbbiakról sincs a Szerzőnek tudomása.

A Szerző többször hivatkozik a történeti genetikában folyt kutatásokra. Legyen szabad ehhez egy olyan intézet igazgatójaként hozzászólnom, amelyik Közép-Európában elsőként létesített genetikai laboratóriumot, mégpedig kizárólag régészeti korokból származó mintákat feldolgozót. A Magyar Tudományos Akadémia épületében 2005. június 6-án első alkalommal tartuk a tudományos nyilvánosság elé az MTA Genetikai Intézete és Régészeti Intézete közösen végzett vizsgálatainak eredményeit; ezek közel félszáz, olyan szekvenciára támaszkodnak, amelyek 9-11. századi minták – nem recens populációból származók! – alapján készültek. Ez utóbbi tény rendkívüli jelentőségéről a Szerzőnek lehet némi ismerete: hogy ilyen honfoglalás kori csontanyagon még egyáltalán nem készült, hogy ez a szám a történeti genetikában milyen hatalmasnak számít (hány mintavétel kellett ahhoz, hogy ennyi sikeres legyen, és hogy a szekvenciákat egyáltalán el lehessen végezni!). Az eredményeinket írásban még nem tettük közzé, de a Szerző tudhatja, hogy azok mekkora horderejűek lehetnek. Azt viszont már nyilvánvaló módon nem tudja, hogy az általa perdöntőnek tekintett L. L. Cavalli-Sforza és O. Semino és társainak munkái micsoda történeti tájékoztatásokkal vannak tele. Az utóbbiakkal kapcsolatban itt csak egyetlen kérdés: mik azok a minták,

amelyekre e tudóscsoportok a magyarokkal kapcsolatban támaszkodtak? Hol, mikor készültek? Ti. azok közöletlenek! Amennyiben azonban olyanok, amilyenekre Czeizel E. támaszkodott (részben budapesti lakosság körében gyűjtöttek), akkor azok történeti értéke bizony roppant szerény. Az első *történeti* genetikai kutatások közzétételéig tehát igen nagyfokú óvatosság ajánlatos a genetikai eredményeire történő hivatkozások során! A Szerző szemmel láthatólag nem tudja továbbá azt sem, hogy micsoda módszertani problémákkal terhelt a genetikai kutatások etnikai értelmezése – bizony, e természet-tudományos kutatás történeti értékeléséhez sokféle bölcsész-tudományi képzettség szükségeseltetik! (Ezért folytatja a kutatásait *közösen* az MTA Genetikai és Régészeti Intézete.) Arról sincsen továbbá tájékozottsága a Szerzőnek, hogy az etnosz világszerte folyó kutatása miként vélekedik arról, hogy mi „jellemzi” egy népet, és melyek annak kutatásában az egyes diszciplínák előtt álló lehetőségek és korlátok.

A szerző nem tartja be a tudományos etika egyik alaptörvényét: a vitacikk terjedelme nem lehet hosszabb a vitatotténál. Kéziratában utcai pongyolaságok („nem igazán”, „nem kifejezetten”), nyelvtani hibák („hadakozása... tájékoztatlansága az igazi oka”, „melyek születekor... vak vezette... világtalant”), helyesírási hibák („Ílymódon”, „a históriában adott ellenvéleményemre”, „északeurópai”, „keleteurópai”, „Kárpátmedence”, „kulturális”), ismétlődés („átlagnyelv” [mi az???]) fordulnak elő. Az pedig a Magyar Tudományos Akadémia rendes tagjától igazán elvárható volna, hogy egy tagtársát mindenképpen másként nevezze meg, mint pusztán „Michelberger műszaki akadémikus”. Vitastílusa mind Simon Zsolt, mind Róna-Tas András személyével kapcsolatban személyeskedő, a Róna-Tas Andrással való vitája nem is ide való. Hogyan tarthatok ide továbbá a Hazai György – Róna-Tas And-

rás, Berta Árpád között lezajlott vita? Végül: mit takar „az Akadémia vagy társult intézetei” (én szedtettem dőlten, B. Cs.) kifejezés?

Bár van az írásában egyetlen pont, amelyben Szabó István Mihállyal messzemenően egyetértek („Az Akadémia tagjainak morális kötelessége: nem szembehelyezkedni nemzeti értékeinkkel és érdekeinkkel”), leszögezendőnek tartom, hogy a politizálást a *Magyar Tudomány* hasábjain megengedhetetlennek tartom. (Személyes véleményem szerint az MTA tagjainak magától a nyilvános politizálástól is távol kell[ene] tartaniuk magukat, mindenesetre nemcsak az MTA vezetése, de maga a tudomány is pártsemleges. Tudom azonban, hogy ezzel – különösen a mindennapi gyakorlatot illetően – kisebbségi nézetet képviselek.)

A kézirat a magyar őstörténet kutatásában tudományos szempontból elfogadhatatlan színvonalú, és a hangneme, valamint a politikai töltete miatt szintén nem méltó a *Magyar Tudomány* hasábjaihoz. Amennyiben a tisztelt Szerkesztőség úgy dönt, hogy nem javasolja a megjelentetését, akkor – sajnos – várható, hogy a Szerző olyan publikációs és tömegtájékoztató fórumhoz fog fordulni, amely a tudománytól távol esik, ugyanakkor az szencziációt keresve vagy politikai érdektől hajtvá kapva-kap majd rajta. Ez a tudománynak lenne hatalmas vesztesége, s végtelenül nagy kár lenne, ha a Szerző ezt a lépést megtenné.

A mai nap évfordulója egy visszaemlékezésre készítet. 1956 októberében Apám egy ismerőse mondta a szegedi pártbizottság titkárának, akinek az eredeti foglalkozása suszter volt: „maga azelőtt nagyon jó cipőket csinált”. (Sok verést és börtönt kapott érte.)

Exkurzus. F fiatal korom óta találkozom gimnáziumi tornatanárok, főkönyvelők, gépészmérnökök stb. sorával, akik mind *megfejteti* akarják a magyar őstörténet *alapkérdéseit*, miközben az azokkal foglalkozó tudományok egyikének alapjait

sem ismerik. Azóta foglalkoztat, hogy mi indíthatta, indíthatja őket (a felsorolt foglalkozásuk alatt egy-egy családtagomat [is] értem) erre, hogyan képzelhették, képzelhetik, hogy egy tudományos problémához mindennemű képzettség nélkül egyáltalán hozzászólhatnának? A szertetlen kémia, a kombinatorika, az épületstatika, a nefrológia stb. tudományához miért nem merészelnek ugyanilyen szakértelemmel hozzászólni?! Attól tartok, hogy azért, mert azoknál már a legelső másodpercben: talán már a cikk címének vagy legelső mondata olvasásánál nyilvánvaló volna a hozzáértésük teljes hiánya, míg ezekben a bölcsész tudományokban olyan szép magyar mondatok sorjáznak egymás után, amelyek minden szava specializáció nélkül is érthető és még *tartalmlag* is tökéletesen felfogható – csak éppen a mindazok mögött rejlő adattömeg, az azok felhasználásának és egymáshoz kapcsolásának a *módszertana* ismeretlen előttük.

Szabó István Mihály ezen magatartása előtt viszont a legteljesebb értetlenséggel állok, mert ő maga is, egyetemista korától kezdve, lépésről lépésre, fegyelmezetten ismerte meg azt, hogy miként lehet elmélyülni egy tudományágban. Kezdként lehettek abban világmegváltó gondolatai – olyankor mindnyájunknak voltak a saját diszciplínánkkal kapcsolatban –, de mind az önkritikája, mind a tudományos környezete nem engedte meg azok nyilvánosságra hozatalát, majd a megismerésben fokozatosan előrehaladva jutott el egyre nagyobb tudományos mélységekig és pozicionális magaslatokra. Ugyanezért mindig tudta, tudhatta azt, hogy mikor, milyen tudományos kérdések tehetők fel (és milyenek nem), hogyan lehet és szabad azokra válaszolni, és erre hallgatók százait tanította. Hogyan gondolhatta hát egy pillanatig is komolyan azt, hogy – nem fiatalon és rendkívül rövid idő leforgása alatt! – egy sor másik tudomány *legfőbb* kérdéseivel

kapcsolatban egyszerűen megalapozott véleményt alkothat? Az indoeurópai és az összehasonlító nyelvészetet, a turkológiát, a finnugrisztikát, az iranisztikát, az eurázsiai ősrégészetet, a történeti antropológiát stb. másfél évszázada művelik, mégpedig világszerte; maga a szakirodalom teljes elolvasása, feldolgozása is már csak egyikük esetében is legalább egy-két évtizedbe telik. Az pedig az egész világon általános gyakorlat, mégpedig a legkevésbé sem egyedül a magyar őstörténet kutatásában, hanem valamennyi tudományban, hogy mindig a részletproblémák tárgyalása felől haladunk mind tovább és tovább az átfogó kérdések megvitatásához, s annak során az eredményeinket, megállapításainkat konferenciákon, referált folyóiratok hasábjain *folyamatosan* tárjuk a nemzetközi kutatás kritikája elé. Nem lehet Pallas Athénéhoz hasonlóan, egyetlen szempillantás alatt, teljes fegyver-

zetben, azonnal a végső kérdések megoldása szándékával a tudományos színre lépni! Ezt a tisztelt Szerző egészen természetesen tökéletesen tudta, maga is gyakorolta és biztosan be is tartatta az eddigi munkássága során, de hogyan, miért gondolhatta most azt, hogy ez más tudományok esetében nem így van?! Ez a magatartás vagy irreális önbi-zalomnak, vagy az indoeurópai és magyar őstörténet kutatásában részt vevő sok tudomány lenézésének a megnyilvánulása; mindenesetre ezek egyike sem illik bele a tudományosság rendszerébe.

A helyzet végtelenül lehangoló, mert ha a Szerző olyan tudományterületekre merészkedik, amelyekhez nincsen képzettsége, akkor a Magyar Tudományos Akadémia egyik rendes tagja az akadémikusi rangjával (visszaélve) a tudománytalanság terjedéséhez járul hozzá. Szabó István Mihály felelősége hatalmas.



LEKTORI VÉLEMÉNY

SZABÓ ISTVÁN MIHÁLY R. TAG „MAGYAR ŐSTÖRTÉ- NETTUDOMÁNY: KRITIKAI AMBÍCIÓK SZAKTUDOMÁNYI ALAPISMERETEK NÉLKÜL; VÁLASZ SIMON ZSOLTNAK IS” CÍMŰ ÍRÁSÁRÓL

Honti László

az MTA levelező tagja, a nyelvtudomány doktora
professzor, Udinei Egyetem (Olaszország)
tudományos tanácsadó, MTA Nyelvtudományi Intézet

Az írásmű a szerzőnek a *Magyar Tudomány* 2005/9. számában megjelent *A magyar nép eredete. Az uráli népek eurázsiai-amerikai őstörténete* című könyvéről Simon Zsolt által írott recenzióra kíván reagálni. Simon Zsolt kritikai megjegyzései közül én csak azokra voltam tekintettel a recenzió olvasásakor, amelyeket saját szakmai ismereteim alapján meg tudok ítélni, tehát kizárólag a nyelvészetiekre. Szabó István Mihály azonban az általa valóban művelt tudományterületől teljesen idegen diszciplínában, esetünkben a történeti-összehasonlító nyelvtudományban, közelebbről az uralisztikában is kompetensnek véli magát. Hogy mennyire távol van ettől, azt dióhéjban ugyan, de hitelesen érzékelteti Simon Zsolt bírálata. E tények ismeretében igazán kíváncsi lennék arra, miként vélekedne Szabó István Mihály, ha egy nyelvész, egy jogász vagy éppen egy gépészmérnök tartana igényt arra, hogy a mikrobiológiával kapcsolatos téveszméit a tényleges szakemberek hódolatteljes elismeréssel fogadják...

A bírált könyv címe sajnos alapjaiban el van hibázva, mert a magyar nyelv eredetéről is nyilatkozik, márpedig a történeti tudományokban valamennyire is járatos személy tudni szokta, hogy a nép és a nyelv története

nem azonos, bár a kettő természetesen szorosán összekapcsolódik, ám nem mindig szétválaszthatatlanul. Példaként megemlíthetem, hogy van néhány nem angolszász hátterű ország, amelyek hivatalos nyelve az angol (is), lakosainak egy része anyanyelveként beszél az angol valamelyik változatát, de aligha lehetne pl. az angol anyanyelvű indiaiak vagy afrikaiak kedvéért azok népének történelmét az angol nép történelmének részeként kezelni.

Idézek Szabó István Mihály válaszából, hogy megpróbáljam szemléltetni a nyelvtörténetről kialakított, igencsak eredeti felfogását: „A történeti nyelvtudomány a nyelvek hosszúlejárátú [helyesen: hosszú lejárátú], évezredekken át elhúzódó evolúcióját tanulmányozza. Ez a fejlődési út, már első megközelítésben is, elválaszthatatlannak minősíthető a magát verbális úton mindjobban megértetni szándékozó emberben, a nyelvkészség alapjául szolgáló és utódgenerációkon át megszakítatlan folyamatos-sággal kiépülő új, sajátos biokémiai anyagcsereutaktól, ezek lokalizációját biztosító biológiai struktúrák szerveződésétől és tartós genetikai stabilizálódásától.” Amennyire én tájékozott vagyok a saját területemen, tanult nyelvészek még nem kísérleteztek olyan

féle magyarázatokkal, hogy nyelvtörténeti események, pl. a hangváltozások, a morfológiai fejlődések, a mondattani struktúrák „sajátos biokémiai anyagcsereutaktól”, „biológiai struktúrák szerveződésétől és tartós genetikai stabilizálódásától” indítva jöttek volna létre; ez a legnagyobb jóindulattal is legfeljebb a science fiction világába lenne sorolható.

Simon okkal hivatkozott a délibábos nyelvészkedők tevékenységét bíráló tengernyi szakirodalomból pl. Rédei Károly könyvére, amely egyebek közt Sadovszky zöldsegeit is elutasítja. Mivel Rédei udvarias, elnéző hangnemben írta le, amit okkal meglehetett volna kíméletlen őszinteséggel is, Szabó István Mihály (szándékosan?) félreértette, mondván: „Rédei cáfolata nem volt éppen alapos, de sokkal inkább ellentmondó” – ezzel szerzőnk sokadik alkalommal saját nyelvtudományi kompetenciáját kívánta kinyilvánítani.

Szabó István Mihály a hozzá hasonló ka-liberű nyelvészkedők hagyományaihoz hűen igen nagyvonalú a tények kezelésekor, ami egyebek közt abban is megnyilvánul, hogy „északi”, „északeurópai” (helyesen: észak-európai) nyelvészek szerinte megrengették a hagyományos uralisztika alapjait és eredményeit; egészen véletlenül kellőképpen tájékozott vagyok abban a tekintetben, kikről is lehet szó: nos, ezen északi csodabogár-tenyésztők csak Finnországban és Észtországban fejtik ki mániákus közszerelés közepette a szakmai körökben általános derültséget kiváltó ténykedésüket, tehát nem az északi vagy az észak-európai kutatókról van szó.

Alig valamivel értheték egyet a szerző megnyilvánulásai közül. Ilyen ritkaság a válasz gyanánt papíra vetett írás 7. pontjának címe: „A nemzeti tudat ápolása és fejlesztése a Magyar Tudományos Akadémiának is kötelessége”. Igen, de ennek természetesen az is része, hogy ne hamis nemzeti tudatot ápoljon és fejlesszen az MTA, hanem hiteles, tudományos eredményekre alapozva tegye

meg azt, s ennek az is része, hogy a szellemi hagyizást folytatók „felfedezéseinek” olykor-olykor szenteljen egy-egy röpke kritikái észrevétel. Csak olykor-olykor és megvágatva, hiszen pl. a Badiny-Jós- és Bobula Ida-féle nevetséges éretlenkedések számára túlzottan nagy megtiszteltetés lenne (ill. lett volna), ha valaki pl. a *Magyar Tudomány* hasábjain foglalkozna (ill. foglalkozott volna) velük. Szabó István Mihály nézetei csak azért szolgálhattak rá erre igen rövid formában, mert egy általa ténylegesen ismert és művelt tudományágnak nyilván elismert szakembere, s így alkalmas arra, hogy a nyelvtudományban vagy bármiféle más tudományágban járatlan, érdeklődő nagyközönséget megtevéssze. Úgy látom, Szabó István Mihály szerint is csak rossz magyar lehet az, aki a magyar nyelvvel nyelvtudományi módszerekkel és alapossággal foglalkozik. Ez a fajta mentalitás régóta ismert, semmi meglepő sincs tehát benne, de nyilvánvalóan nem a tudomány tartozéka.

Éppen abból kiindulva, hogy Szabó István Mihály egy bizonyos tudományág aktív művelője, felajánlom, hogy szakirodalmat bocsátok a rendelkezésére a szerkesztőségen keresztül a Kalevi Wiik, Ago Künnap és Pusztay János által előadottak kritikájából; feltéve persze, hogy becsüli saját nézeteit annyira, hogy az azoknak alapjául szolgáló „elméletek” szaktudományi értékelésére is figyelmet fordítson.

Szabó István Mihály recenezense, Simon Zsolt „önelégült stílusáról” ír: Nos, én ezt csak a „válaszról” mondhatom el. Egyébként is stílusa folytán a szöveg nem a *Magyar Tudományba* való, hanem a *Magyar Narancsba*, a *Magyar Fórumba* vagy a *Turánba* illik. Ha már a stílus kérdését is előhoztam, szóvá teszem, hogy Simon Zsolt okkal kifogásolta Szabó István Mihály könyvbéli fogalmazásmódját, tudálekoskodó terminológiáját. Továbbá: ha lektora és munkájához értő szerkesztője lett volna a könyvnek, akkor nem maradhattak volna a bibliográfiában

írás hibák, következetlenségek és szövegében helyesírási hibák (a „válasz” sem szűkülködik ez utóbbiakban). Úgy vélem, ha valaki becsüli anyanyelvét, főleg pedig ha tudományos kutató, arra is ügyel (vagy legalábbis ügyelnie kellene), hogy világosan és szakszerűen fogalmazza, a helyesírási szabályok ismeretében bocsássa a nyilvánosság elé írásait.

A „válasz” tehát szerintem tudományos folyóiratban nem közölhető, de mivel a szerző nyilván időt és fáradságot nem kímélve, jobb ügyhöz méltó buzgalommal, „ambícióval” alkotta meg ezt is, a fentebb említett kiadványok valamelyikének kellene átadni, ott nyilván kitörő lelkesedéssel fogadnák és tennék közkinccsé.



VÁLASZ SZABÓ ISTVÁN MIHÁLYNAK

Simon Zsolt

pgr. öd.

Szabó István Mihály írása a *Magyar Tudomány* hasábjain közölt kritikámra se stílusában, se tartalmában nem tekinthető érdemi válasznak. Stílusát elsősorban a személyem (és mások) elleni durva támadás határozza meg, melynek központi gondolata, hogy kritikám nem az én munkám. Ezt a lehető leghatározottabban visszautasítom. A recenzió kizárólagosan az én munkám, senki azt nem irányította, különösen nem a Szabó által vélelmezett Róna-Tas András, akinek – sajnálatomra – soha tanítványa se voltam. Másfelől bármelyik magát magyarnak valló emberről – így e sorok szerzőjéről is – azt állítani, hogy tudatosan nemzetének érdekeivel szemben cselekszik, abszurd és sértő, így ezt is visszautasítom.

Szabó István Mihálynak vagy nem jutott ideje komoly választ adni nekem a folyamatos személyeskedés mellett, vagy képtelen erre. Válaszában ugyanis állításai mellett újabb bizonyítékokat nem hozott fel, csak az ismert, képtelen és általam már cáfolt állításait ismételte; valamint további bizonyítékait adta a régészetben és a történeti nyelvészetben való járatlanságának. Szabó István Mihály szakmai tévedéseit Bálint Csanád és Honti László akadémikus urak a fentiekben, én pedig a kritikámban részletesen tárgyaltam; ezeket megismételni nem kívánom.

Mínhogy kritikámra érdemi választ nem kaptam, könyvéről és elméletéről alkotott lecsújtó véleményemet, miszerint vitatott munkája áltudomány, továbbra is fenntartom.



VÁLASZ DARVAS BÉLA
HOZZÁSZÓLÁS BALÁZS ERVIN
ÉS TÁRSAINAK ÁLLÁSFOGLALÁSÁHOZ
CÍMŰ ÍRÁSÁRA

(Magyar Tudomány, 2005/10)

Balázs Ervin
az MTA rendes tagja

- Az MTA elnökének felkérésére alakult *ad hoc* bizottság a molekuláris biológia, a biotechnológia és a növénynevelés nemzetközi folyóirataiban megjelent és ott megméretett közlemények szintézise alapján fogalmazta meg állásfoglalását, de nem vette figyelembe a magas és kevésbé magas hivatalok íróasztalfiókjai számára készített, senki által el nem olvasott kutatási jelentések anyagát.
- A Bizottság a feltett kérdést tudományos megközelítésben válaszolta meg, napi gazdasági és politikai szempontok nem befolyásolták véleményét, mert a Magyar Tudományos Akadémia nem avatkozik ilyen kérdésekbe.
- A Darvas Béla által hivatkozott közleményekben és az általa idézett kutatási jelentésekben felsorakoztatott eredményeket egyébként az Európai Élelmiszerbiztonsági Ügynökség (European Food Safety Agency – EFSA) sem tartotta megalapozottnak, amikor elutasította azt az érvrendszert, amelynek alapján Magyarország (pontosabban néhány önjelölt szakértő) moratóriumot kívánt hirdetni a genetikailag módosított kukorica termesztésére.
- Darvas Béla azt javasolja a Környezetvédelmi Minisztériumnak, hogy ne vegye figyelembe a Bizottság állásfoglalását. Ez az óhaja azonban nem egyéb, mint az általa képviselt, s Brüsszelben elbukott álláspont utóvédharca.

Balázs Ervin
az MTA rendes tagja

Kitekintés

Év végi vigasságul ismét az IgNobel-díjak bemutatását kínáljuk. A név szellemes angol szójáték, a Nobel és az *ignoble* – alantas, nem nemesi származású szavak felhasználásával született. Röviden emlékeztetünk a díj jellemzőire. Olyan támogatókra számítanak, akik nyilvánosan is bevallják, hogy kedvelik a tudományt és van humorérzékük. Az IgNobel díjazottai olyan eredményeket értek el, amelyeken először nevetünk, de később gondolkodóba esünk. A díjjal a szokatlanra irányítják a figyelmet, a képzelőerőt ismerik el, egyúttal érdeklődést akarnak kelteni a tudomány iránt.

A díjra bárki jelölhető, a jelöléseket a marca@chem2.harvard.edu címre várják. Ez Marc Abrahamsnak, az *Annals of Improbable Research* szerkesztőjének, az IgNobel mozgalom motorjának a címe. A győzteseket kiválasztó testületben több Nobel-díjas van, továbbá tudományos szakírók, sportolók, köztisztviselők, és a hagyományoknak megfelelően egy véletlenszerűen kiválasztott utcai járókelőt is felkérnek a döntésben való részvételre. Idén már a 15. alkalommal ítélték oda a díjakat, átadásukra a Harvard Egyetemen került sor.

A közgazdasági IgNobelt a Massachusetts Institute of Technology munkatársa nyerte el új, a korábbiaknál hatékonyabb ébresztőóra megalkotásáért. Az óra a csöngetés megkezdésével egy időben leugrik az éjjelszékenyről, útnak indul, és ide-oda mozog a szobában, igyekszik elrejtőzni, elhallgattatásához tehát fel kell kelni az ágyból. Ránézésre fel sem lehet ismerni óra voltát, ugyanis puha, szivacszerű anyagba burkolt henger, a két végén nagy kerekkel. A hatékony ébresztés megoldásának fontosságát mi sem

mutatja jobban, hogy azóta újabb könyörtelen szerkezetet mutattak be. Ennek az órának a tetején *puzzle* (képkirakó) van, megszólalásával egy időben szétlövi a képelemeket a szobában. Az óra akkor hallgat el, ha az ágyból felkelve összegyűjtik a puzzle darabokat, és az óra tetején helyreállítják a képet. Talán a jövő évi díjazottak sorában ez a találmány is feltűnik majd.

A fizikai IgNobel-díjat a világ leghosszabb ideje folyó fizikai kísérlete elindítójának és mai gondozójának ítélték oda. Ausztráliában, a Queensland Egyetemen 1927-ben, tehát közel nyolcvan éve állították össze a rendszert, és azóta figyelik a történéseket. Nagyon sűrű szurkot olvastottak meg, majd egy alul lezárt üvegtölcsérbe töltötték. Három évet szántak az anyag elrendeződésére, majd 1930-ban kinyitották a tölcser alját, ettől kezdve a szurok szabadon csepeghetett. A következő 75 évben mindössze 8 (nyolc!) csepp hullott alá, az első 1938 decemberében, a legutóbbi pedig 2000 novemberében. A mérési adatokból számított viszkozitás 11 nagyságrenddel nagyobb a vízénél. A folyamat egzakt leírását alaposan megnehezíti a csepegés hőmérsékletfüggése. A hőmérséklet az épületen belül is tág határok között változott, ezekre különböző becsléseket tettek. A legutóbbi lecseppenésénél, 2000-ben már webkamera is figyelte a rendszert, az adatok azonban elvesztek memóriájából. Időközben a kísérletnek helyet adó előcsarnokban is megvalósult a légkondicionálás, a feltételek tehát jelentősen megváltoztak. A kutatók ennek ellenére úgy döntöttek, legalább száz évig folytatni szeretnék a kísérletet, szurok még bőven van a tölcserben.

Kémiai díjra érdemesítették a kutatókat, akik kísérletekkel adtak választ a régóta vitatott kérdésre: szirupban vagy vízben lehet-e gyorsabban úszni? A kérdésről már Sir Isaac Newton és Christiaan Huygens is vitatkoztak, Newton szerint lassabban, vitapartnere szerint gyorsabban úszna az ember sűrűbb közegben. Hasonlóan eldöntetlen maradt a vita akkor is, amikor az amerikai Minnesota Egyetem munkatársai egy úszóversenyre készülve ezen elmélkedtek, mindkét álláspont mellett szólaltak érvek. Kísérletezni kezdtek, a részletek leírása az *American Institute of Chemical Engineers Journal* hasábjain olvasható. A viszkozitás függvényében vizsgálták az úszást. Egy növényi eredetű ragasztóanyagot kevertek a vízhez, a viszkozitás a tiszta vízének kétszerese volt. Az oldat sűrűsége csak tizedezreléknyi mértékben tért el a víztől, így a felhajtóerő változásával nem kellett számolniuk. A kísérletekben tíz versenyző és hat amatőr vett részt. Minden részletre odafigyeltek a kísérletek megtervezésénél. Az eredmény egyértelmű volt, a viszkózusabb közegben ugyanolyan sebességgel mozogtak az úszók, mint a vízben. A szerzők szerint azért, mert az úszó embert körülvevő áramlás turbulens, eredményük ezért nem is igaz mikroorganizmusokra és halakra. Úszóedzők már korábban

tapasztalati úton felismerték, hogy az úszó mozgásával szembeni ellenállás a sebesség négyzetével változik. Ez is a turbulens jelleg igazolja, mert a négyzetes függés erősen turbulens áramlásoknál igaz. Számításaik szerint kb. ezerszeresére kellene növelni a viszkozitást ahhoz, hogy érzékelhető hatása legyen.

Új-zélandi kutató kapta az agrártörténeti díjat, a két világháború között a tehenészetben végbement technológiai változások egyik elemét, egy új tehenésznadrág, Mr. Richard Buckley „robbanó nadrágja” jelentőségét vizsgálta.

Az irodalmi díjat nigériai vállalkozók nyerték el, megérdemelten. Nincs olyan internetező, aki ne kapott volna nigériai feladótól szívhez szóló történeteket. A csatánál mindig ugyanaz: a címzett küldjön kis összeget, rendszerint tízezer dollárt a levél írójának, aki így hozzájut jogos örökségéhez, a hatalmas vagyont természetesen megosztja majd jószívű segítőjével. Gyakran találmányra hivatkoznak, kértek például pénzt a „hideg fűző” leírásának zálogból való kiváltásáért is. A nigériai leveleknek jelentős irodalmuk van, az egyik webhelyen 540 típusát gyűjtötték össze, több könyvet is írtak róluk. A figyelmeztetések ellenére a műfaj sikeresen tovább él, mindig találunk lépve csalható áldozatokat.

Buck, a véreb hét hónapos volt, amikor kiherélték, és gazdája, az idei orvosi IgNobel-díjas Gregg A. Miller úgy érezte: ilyen „külsővel” Buck nem Buck többé. A Missouriban élő férfi felkereste az állatorvost, és megkérdezte, nincs-e valami implantátum, hogy kutyája úgy nézzen ki, mint korábban. Mikor kiderült, hogy kutyák számára hereprotézis nem létezik, Miller egy állatorvosokból álló csoporttal céget alapított a fejlesztéshez. Két évvel később, 1995-ben ültették be az első hereprotézist Independence város egyik rendőrének kutyájába, Maxbe. A cég (Neuticle) azóta virágzik: a

világ 32 országának több mint 9000 állatgyógyászati intézményében több, mint 100 ezer hereprotézist ültettek be macskákba, kutyákba, lovakba, bikákba. Szövegművekről állítólag egyetlenegy esetben sem számoltak be. Az implantátum egyébként többféle keménységben és méretben kapható. A kisebb ebek tulajdonosai jobban járnak: a kicsi golyó 84, a legnagyobb 129 dollárba kerül.

A nem teljesen komoly békedíjat – az általánosabb gyakorlatnak megfelelően – egy igazi tudományos közlemény, a szintén amerikai Claire Rind and Peter Simmons cikke kapta (*Journal of Neurophysiology*,

05.11.1992, 68, 5, 1654–66.). Ebben a szerzők azt vizsgálták, hogy a sáskák agyában bizonyos idegsejtcsoportok hogyan viselkednek, milyen elektromos változásokkal reagálnak, miközben az állatok *A csillagok háborúja* című filmet nézik. Megállapították például, hogy az ún. DCMD neuronok reagálnak a gyors mozgásokra, vagy hogy egyenletes sebességgel, egyenes vonalú pályán mozgó fekete tárgyak esetén akkor legerősebb a válaszuk, ha a tárgy a szem felé halad, és akkor a leggyengébb, ha távolodik.

Ami a folyadékdinamikával kapcsolatos IgNobel-díjat illeti, magyar sikerrel is beszámolhatunk. Az ELTE munkatársa, Gál József, és a Brémai Egyetemen dolgozó, új-zélandi állampolgárságú Victor Benno Meyer-Rochow a pingvinek üritési sajátságainak tanulmányozása során ért el kimagasló eredményeket. (*Polar Biology*. 2003, 27, 56–58.)

A kutatások alapjául az Antarktiszon Meyer-Rochow által készített fotók szolgáltak, melyeken a pingvinfészkek és az azokat körülvevő ürülékcsíkok is láthatóak voltak. (Nem véletlenül, mert állítólag amikor Me-

yer-Rochow 1993-ban az Antarktiszon járt, elbűvölte őt, hogy a pingvinek milyen dinamikusan ürítenek.) A fotók segítségével a széklet röppályájából és állagából magyar kollégája segítségével megállapították, hogy a pingvinek négyszer akkora nyomással ürítenek, mint az ember – kb. 60 kilopascallal.

A biológiai díj kitüntetettjei a békák által kiválasztott szaganyagokat tanulmányozták. 131 faj és 36 nemzetség egyedeit szagolgatták profi és amatőr herpetológusok, és az emberi érzékelés szempontjából osztályokba sorolták a „békaillatokat”. Az önkéntesek ideges békákat is szagolgattak. (*Applied Herpetology*. 1 February 2004, 2, 1, 47–82.)

Táplálkozástudományi kategóriában a japán Nakamacu Josiro (Yoshiro Nakamatsu) lett a nyertő, aki nem kevesebbet tett, mint, hogy az elmúlt 35 évben elfogyasztás előtt valamennyi ételét lefotózta és csoportosította. Szerinte így elemezni lehet, hogy a táplálkozás milyen hatással van az agyműködésre, az általános egészségi állapotra, az élettartamra.

Jéki László – Gimes Júlia



Könyvszemle

Kőrösfői-Kriesch Aladár: Naplók

A hamincnyolc éves korában, 1901-ben Gödöllőn letelepedett Kőrösfői-Kriesch Aladár, Székely Bertalan és Lotz Károly egykori tanítványa a 20. század legelején a magyar szecesszió meghatározó személyisége volt. A művészkolóniát szervező festő kulturális orientációját két törekvés jellemezte. Egyrészt – Bartók, Kodály és Kós Károly kortársaként – a sajátosan magyar formákat és motívumokat kívánta felhasználni a művészet különböző ágaiban. Másrészt, William Morrishez, John Ruskinhoz, Dante Gabriel Rossettihez és az angol preraffaelita festőkhöz hasonlóan az „igazinak” elgondolt görög művészetet, a „Praxiteles Hermese” előtti kort tanulmányozta, kereste azokat a szimbólumokat, melyek az egyén és a közösség között valamikor kapcsolatot tudtak létesíteni.

Öt naplót vezetett. Ezek közül (az Argumentum Kiadó látványosan szép könyvében) most megjelent kettő tekinthető teljesnek: az 1911-es nyolchetes mediterrán körút impresszióit rögzítő leírás és az 1918-as harctéri beszámoló.

Az 1911-es utazás, melyre elkísérte a gödöllői művésztelep másik mestere, Nagy Sándor is, május 5-étől június 28-áig tartott. A naplóból nyomon követhető a bulgáriai Ruszén, Konstantinápolyon át a görög városokba, falvakba és Krétára vezető útvonal, meg a Rómán át való hazatérés. A leírás rögzíti a közös élményeket: az igazi görög színeket, a tenger kékjét, a fűgefák hajlongó ágait, a citrusfákat, a „gazdag és szép rytmus vona-

lak”-at, a „meredek sziklák között” zuhogó patakokat, „a magányos fekete hegyek”-et. A színek és formák mellett a művészeti emlékek is megjelennek a lapokon. Nem „a görög-római márvány limonádé” érdekelte az utazókat. Megnézték Athént, a dombtetőn álló Akropoliszt, megtalálták „a régi, megálmódott” várost, medítálhattak a „nagy vallásos görög stylus” felett, keresték az épületekben, oszlopfőkben az „egyiptomi s az ázsiai” előzményeket. Megcsodálták Elensist, a valamikori ókori vallási központ maradványait, „Clytaimnestra kincsesházát”, „a híres oroszlánykapun [] át” felmentek a várba, megtekintették „Delphi és Olympia” építményeit, a Knidosiak kincsesházáról „maradt friese”-ket, „az egészséges, ép korok művészeté”-nek maradványait, melyek még a töredékekben és torzókban is az „élet sugárzó” emléket őrizték. De kitetszik a naplóból Kőrösfői-Kriesch Aladár személyes érdeklődése is. Megjárta a „festői kovácsműhelyek”-et, ahol vagy csak ekét, vagy csak patkót, vagy csak más szerszámot készítettek. Betét a bazárokbba és a kiskocsmákba. A múzeumokban terrakotta szobrocskákat rajzolgatva igyekezett „közelebb férközni” a „görög élet intim vonásai”-hoz. A hazafelé tartó tengeri úton azt érezte, a mélységből „ismét felszállt” hozzá „az őselet géniusza”. Újraélte a görög világot.

A 19. század utolsó harmadában, a 20. század első évtizedeiben a klasszikus múlt újraértelmezése egyetemes törekvés volt. A 19. század második felében szerveződő preraffaeliták a Raffaello előtti művészet részeként fordultak a görög kultúrához. Nietzsche *A tragédia születése* című könyvében értelmezte az általa kétfélének elgondolt végletet: a gáttalan

dionüszoszi és a lét harmóniáját képviselő apollói princípiumot. A szecesszió hívei a görög gondolkodás természetközelségét értékelték. A preraffaelita, a nietzscheánus és a szecessziós törekvésekben megjelenő görögségélmény nem egy irányba tartott és nem egyformán hatott, ugyanakkor megjelent a magyar irodalmi megújulásban is. Fellelhető ez Reviczky Gyula, Komjáthy Jenő és Ady költészetében. Leglátványosabban azonban Babits Mihály művészetében érhető tetten a felhasználó-átértelmező szándék. Babits, akinek könyvtárában ott volt Rosetti *Balladák és szonettek* című könyve, Ruskin műve, a *Firenzei reggelek*, s aki előfizetője volt 1909-ben és 1910-ben a preraffaelita *The Studio*-nak, nem kis mértékben éppen a görög kultúrát használta föl műveiben rész-emblemarendszerként. Erre lehet következtetni sok alkotásából, köztük *A Danaidák*, a *Laodameia* és a *Mythológia* című szövegeiből (ez utóbbi novella zárójelelőnének szcenírozása és a *The Studio* egyik számában volt Ménard-kép vizuális élményrómánsága különösen szembetűnő).

A korszak görögség-interpretációjához ad új szempontokat a Kőrösfői-Kriesch Aladár naplót bevezető tanulmány és a rendkívül gazdag, nagy apparátust mozgósító, interdisziplináris jegyzetanyag, Csokonai-Ilés Sándor munkája. A jegyzetekben történelmi, földrajzi geológiai, botanikai, mitológiai, művészettörténeti, viselettörténeti, ipartörténeti és irodalmi magyarázatok olvashatók. A mai ember számára jelentéssel nem vagy alig rendelkező utalások kapnak így összefüggő értelmet. A „Traján emléktábláját” idéző szövegkezet kapcsán olvasható a Dácia provincia meghódításának a története, a „román király” hajójának megjelenése ürügyén a jegyzetek összefoglalják a román állam megalapítását, a „Jedi-Kule” magyarázata tartalmazza a Héttorony történetét, a „Kahrrije Dsami” nevéhez társít a jegyzetek írója az 5. századtól a második világháború utánig

tartó építészettörténeti leírást, a „Kréta védő” nagyhatalmak hajói kapcsán elmondja, miként vált a sziget 1898-ban autonóm területté, hogyan csatlakozott 1908-ban Görögországhoz, mi lett a következménye annak, hogy 1910-ben a mohamedánokat kizárták a nemzetgyűlésből, s hogyan próbálták mindezek ellenére fenntartani a török felségjogokat is. A jegyzetek másban is eligazítanak. A szövegben feltűnik „Supka múzeumőr”, akivel Fiumében találkoztak, a kitűnő régész, művészettörténész, író, a későbbi szerkesztő Supka Géza. Ruzsében a helyi „osztrák-magyar consul”, Szentimay Béla várta az utazókat, aki még az 1920-as években is külügyi szolgálatban volt. Fontos adalék, hogy Kőrösfői-Kriesch Aladár és Nagy Sándor Rómában találkozott Elek Artúrral, a kitűnő íróval, művészettörténésszel és kritikussal, abban az évben, amikor közreadta az *Újabb magyar költők 1890–1910* című antológiáját, beválogatva a kötetbe Babitstól *A Danaidák* és még három vers mellé az éppen csak elkészült *Esti kérdést* is, mint az elmúlt húsz év reprezentatív alkotását. Kőrösfői-Kriesch Aladár, Elek Artúr, Babits Mihály, a mindhármukat ismerő (Nagy Sándortól könyvborítót rendelő) Szabó Ervin, a gödöllői művészkolóniát látogató, Babitscsal a *Huszádik század* című folyóirat révén is kapcsolatban lévő Jászi Oszkár, a valamennyiükkel kollegiális barátságot kezdeményező és őrző Lukács György és Madzsar József 1911-es személyes kapcsolata (melynek művészetelméleti vonatkozásait Gellér Katalin Nagy Sándorról írott monográfiája foglalja össze) új megvilágításba helyezi a század második évtizedében alakult Vasárnapi Kör kisugárzását, és azt az értelmiségi összefogást, amely 1918 kora őszen Európa lovagai néven próbált szót emelni a békéért és az igazságos új társadalomért. Ez utóbbiban Ady, Lukács, Kemstok, Kunfi Zsigmond, Szekfű Gyula és mások mellett aláíróként szerepel Babits Mihály és Kőrösfői-Kriesch Aladár is.

A közölt jegyzetanyag növeli az 1918 márciusából-áprilisából való másik napló értékét is.

Ebben a két hónapban Kőrösfői-Kriesch Aladár hadi festőként járt az olasz fronton, akárcsak a Galíciát, Szerbiát és Dél-Tirolt megjárt Mednyánszky László. Neki is meg kellett örökítenie a katonákat, a gyakorlatokat, a front eseményeit, vagy úgy, hogy vázlatokat készített, vagy úgy, hogy a helyszínen „készre” festette-rajzolta az alkotást. A feljegyzésekben feltűnik Salzburg, a Brenner-hágó, Bolzano, Merán (Meran), a dél-tiroli Trafoi, Selva, Primolano, Belluno, Vittorio és Monte San Michele. Szó van a tisztí étkezéskor volt eszmecserekről, a hadseregcsoportfőnökségnél tett látogatásról, Conrad von Hötzendorf tábornaggal való beszélgetésről, „sympathikus” osztrákokról, akiknek „nincsenek céljaik”, meg egy „nagy német tiszttel” volt találkozásról, akinek „nézetei kegyetlenek, önzőek voltak, de őszinték”.

A jegyzetekből kikerekedik az I. világháború befejező időszaka. Összefüggésekben jelennek meg a hadi események, a Salzburgban látott olasz és orosz hadifoglyoktól a Monte San Michelén akkor még csak tervezett, a háború után felállított emlékoszlopig, melyre ez a felirat került: „Ezen a hegycsúcson a halálban testvériesültek olaszok és magyarok, akik életükben hű kötelességtudással harcoltak egymással.”

A jegyzetek korrigálják is a naplóíró tevédségeit. Kőrösfői-Kriesch Aladár például véletlen találkozásként idézi fel az „Elekékkal” eltöltött szép napokat; Csokonai-III. Sándor a Magyar Nemzeti Galéria adattárában megtalálta K. Lippich Elek költő, művészeti író és kultuszminiszteri tanácsos Edvi Illés Aladárnak írott későbbi levelét, melyben a folyamatosan Meránban élő Lippich beszámol „jó Kriesch-Aladár” akkori látogatásáról, a régi városrészben volt sétájukról. A napló, a „többi hadi festő között megemlíti Bardócz Elemért; Csokonai-III. Sándor valószínűsíti,

Bardócz Árpádról lehet szó, „aki a harctéren szolgálva számos háborús tárgyú naturalista képet festett és rajzolt”.

A könyvben, melyben láthatók lövészárokról és „gázokat lövelő árokról” készített vázlatrajzok, az Elek Artúrnak küldött levél hasonmása, a *Földet művelő foglyok* című 1918-as olajfestmény fotója és a művész által 1919-ben készített (és 1930-ban Vácszentlászlón felállított) *Gránátvető* című szobor fényképe is. A hétköznapok is jelen vannak: a „deszkából” hevenyészett legénységi barakkok és tisztí szállások, a sátrak, az „összeölt házak”, a városok előtt legerősítő katonalovak, az út szélén pihenő trén, a „piszkos zúrzavar”, a „vonuló katonák, fáradt gebék”, a Doberdo előtti „szinte teljesen romba lőtt nagy úri kastély”, a gránátszaggatta templomkupola, s egy másik templom, hol „az üszkös gerendák az oltár előtt fekszenek”. A festő természetesen itt is figyeli a „vegetatio”-t, a hegyek kontúrjait, a régi házakat, a színeket és a formákat is.

Ezeket a feljegyzéseket akár párhuzamosan lehet olvasni Tamási Áron és a jánosalmi kerékpárműszerész, Lovas József visz-szaemlékezéseivel.

Tamási, aki a frissen letett hadiértséggel érkezik 1918. június elején a frontra, rajparancsnokként vesz részt a piavei offenzívában. A folyó partján, Montanello lábánál egy csőszházban egy olasz szakasz rejtőzött. Az olaszok a gránáttal hadonászó rajparancsnok és a tíz katona láttán megadták magukat. Tamási, *Virrasztás* című kőtetének előszavában, nemcsak a haditettet írta le. Hozzátette, örült, „hogyan az olasz osztagban végzetes kárt nem tett [. . .], mivel egy sebesülés történt csupán, s az sem akarattal”.

Lovas József, akinek feljegyzései a *Tekintet* című folyóirat 1988-as második számában olvashatók, csak a vele történt eseményeket írja le: a hazavagyakozást, az álmaiban megjelenő saját üzenetet, meg a Piave di Soligno nevű falucskába telepített ezredtörzs kocsi-

táborát, a dinamittal töltött ládákat, a felettük köröző repülőt, az ezredest, aki az ő javaslatára máshová telepítette a lőszeres karavánt, aki azonban a támadás után egyetlen szóval sem említette, hogy az ő javaslatára történt.

Az írónak készül Tamási Áronnak az a fontos, nehogy embervért ontson. Lovas József végig a maga tapasztalati világán belül marad. Kőrösfői-Kriesch Aladár 1918. április 28-án, a hazatérés előtti napon az utazás „összefoglalásaként” és tanulságaként ezt írja naplójába: „Két egymást kísérő és néha egymást ki is egészítő, de többnyire egymással ellentétben álló momentum: a nagy nyugalmas, hatalmas természet – és az emberi, hadi, háborús benyomások.

Előbbinél különösen a hegyek, általam eddig nem látott, annyira változatos, formailag gazdag és meglepő – és származá-

sukra nézve szokatlanul világosan beszélő benyomásai voltak a döntőek [...].

A másik az emberi rész:

A háború megfoghatatlan örülete [...].”

Az a Babits Mihály, akivel Kőrösfői-Kriesch Aladár 1918 kora őszen aláírja a háborúellenes és jövőépítő kiáltványt, 1918 januárjában a *Veszedelemes világnézet* című tanulmányában rögzíti: a „világháború a történelem legmonstruózusabb véletlensége”, a „antiintellektualizmus diadala”. 1918 júliusában a *Kant és az örök béke* című írásában mindehhez hozzáteszi: „a háború jogi képtelenség”. (*Kőrösfői-Kriesch Aladár: Naplók. Budapest, Argumentum Kiadó–Országos Széchényi Könyvtár, 2005*)

Sipos Lajos

egyetemi tanár

ELTE BTK Magyar Irodalomtörténeti Intézet

T. Litovkina Anna: Magyar közmondástár

Tizedik kötetéhez érkezett a *Magyar nyelv kézikönyvei*, a Tinta Könyvkiadó sorozata. Ezúttal a közmondások értelmező szótárát vehetjük kézbe, amelyben helyet kaptak más mondatjellegű proverbszerű szólások, szentenciák, maximák, klisék, „aranyköpések”, aforizmák, időjárási és gazdaregulák). A kötet 2000 frazeológiai egységet értelmez, összesen 5500 illusztratív példával.

Magyarországon Forgács Tamás volt az első, aki szólásszótára¹ anyagát példákkal szemléltette, elsősorban az utóbbi tíz év sajtójából; esetenként saját maga is írt példákat. Litovkina viszont a 16-21. századból, több mint háromszáz szerzőtől, nyolcvan folyóiratból és újságból válogatta illusztratív példáit a közmondások használatára – amelyekhez

még így sem talált példát, azt inkább kihagyta a szótárból. A példák túlnyomó többségének forrása a 18-20. század magyar szépirodalma (Szabó Páltól 208, Móricz Zsigmond, Dugonics András, Bod Péter, Esterházy Péter, Vámos Miklós, Jókai Mór és Tömörkény István műveiből több mint száz idézet) és az utóbbi negyedszázadi sajtó.

Sokféle eredetű és korú közmondás szerepel a kötetben, elsősorban az országszerte legjobban ismert proverbszerű mondatok. A magyar mellett számos idegen eredetű (elsősorban bibliai, latin, görög, angol, francia és német) közmondással találkozhatunk, amelyek a magyar nyelvbe már beépültek. Egyes ma is közismert példák már az első ismert magyar közmondásgyűjteményben (1598) megjelentek, és Európa több nyelvében megtalálhatóak, például *Ajándék lónak ne nézd a fogát*. Mások az utóbbi évtizedekben keletkeztek és terjedtek el, például *Az élet nem habos torta* (eredete Bacsó Péter: *A tanú*, 1980); *Ami elromolhat, az el is romlik* (angol eredetű, forrása Arthur Bloch: *Murphy's Law* [Murphy törvénye], 1977).

¹ Forgács Tamás (2003): *Magyar szólások és közmondások szótára. Mai nyelvünk állandósult szókapcsolatai példákkal szemléltetve*. Tinta, Budapest

A szótár felépítése számos korábbi magyar és nemzetközi közmondásgyűjtemény hagyományát követi: a közmondásokat az ábécérendbe sorolt vezérszavakhoz rendezve találjuk. Ez rendszerint az első főnév, kivéve, ha tulajdonnév is szerepel a közmondásban, ilyenkor ez a vezérszó. Abban az esetben, ha nincs egy közmondásban ige, úgy a vezérszó az első főnév, ha ez sincs, akkor a legjellemzőbbnek tekinthető elemnél (melléknév, névmás, határozó) található meg a proverbium.

Az egyes szótári cikkekben a közmondás kiemelt, leggyakoribb formája után olvashatjuk annak változatait, a közmondás rövid értelmezését, esetenként az eredetére vonatkozó magyarázatot. Ezt követik az illusztratív példák, általában három-öt darab. Ezek jelentősége óriási, hiszen a közmondás jelentése és használata mindig csak az adott kontextusban értelmezhető. Helyenként több, akár kilenc példa is szerepelhet, így a *Hamarabb utolérik [könnyebb utolérni] a hazug embert, mint a szánta kutyát* közmondásnál, ahol többek között Pázmány Péter, Arany János, Móricz Zsigmond, Kosztolányi Dezső, Vámos Miklós műveiből olvashatunk idézeteket. Itt szerepelhetnek olyan példák is, amelyekben az idézett szerző elferdítve használja a közmondást – az előbbi példánál maradva: „(...) minden hasonlat sántít, szokta mondani az én Lacikám, melyből az következik, hogy *a hazug embert könnyebb utolérni mint a szánta hasonlatot (...)*”. Ezután a szépirodalmon kívüli paródiák következnek (a sajtóból, internetről, szóbeli gyűjtésből stb.), például *A hazug embert könnyebb utolérni, ha autóval mennek utána*.

Majd a kiemelt közmondással rokon (szinonim), ellentétes értelmű (antonim), hozzá más módon köthető proverbiumokat találjuk. Például *(A) türelem rózsát terem* szinonimái: *Lassú víz partot mos, Várt lány várat nyer, Idővel érke a gyümölcs*, antonimája: *Akkor kell a lányt adni, amikor kéri*, más módon hozzá köthető proverbiumok:

(A) türelem a birkák erénye, Keserű a tírés, de édes a gyümölcse. A szótári cikk végén a közmondás egy részét képező szólásokat, szóláshasonlatokat, más állandósult szókapcsolatokat találunk. A proverbiumok ilyen rendszerszerű feldolgozása újdonság a magyar szótárirodalomban. A kiterjedt utalásrendszer segíti, hogy lássuk a közmondások közötti összefüggéseket, és jobban megértjük a jelentésüket.

A szótár használatát nagymértékben megkönnyíti, hogy minden oldalján megtaláljuk a szócikkekben állandóan használt rövidítések feldolgozását (E: eredet; ? példa; P: közmondás-paródia; R: rokon értelmű közmondás; L: lásd még; A: antoníma <ellentétes értelmű közmondás>; D: derivátum <állandósult szókapcsolat>). Kérdés, hogy miért mellőzi a szerző a közismert szinonima szót a rokon értelmű közmondások megnevezésére, miközben a kevésbé ismert antoníma és derivátum terminusokat alkalmazza. A rövidítések használatába helyenként hiba csúszik: néhány szócikkben a paródiák jelölésére P: helyett H: található; ezenkívül hol az antonímákat (A:) követik a közmondáshoz más módon köthető proverbiumok (L:), hol pont fordítva.

A szótár rész után találjuk a szómutatót, amely a közmondások – félkövéren kiemelt – legnépszerűbb alakjának minden szavát tartalmazza (kivéve a névelőket, a legtöbb kötőszót, a személyes és vonatkozó névmásokat stb.). A szómutató segíti, hogy egy adott közmondást megtaláljunk a szótárban, ugyanakkor együtt is láthatjuk azokat a proverbiumokat, amelyeket összeköt egy közös szó (pl. anya). Itt is találunk utalásokat, abban az esetben, amikor egy címszó alatt vonták össze egy szó alakváltozatait: például *leány* l. *lány*, *míg* l. *amíg* – ugyanez azonban elmarad pl. a *fiú* és *fiúj* esetében. Hasznos lenne az is, ha kereszthivatkozásokat is találnánk, a szinonimáknál és összetartozó szavaknál: például *kutya*-*eb*, *öregség*-*vénség*, *csúnya*-*rút*, *ökör*-*tehen*-*tinó*, *liba*-*lúd*, *malac*-*dísznő*.

Mindemellett Litovkina szótára jól, sokoldalúan használható, tudományos igényű munka, amely széleskörű olvasóközönség igényeit szolgálja. Az orosz anyanyelvű szerző a Lomonoszov Egyetemen tanult magyarul és diplomázott, ezután költözött hazánkba. Jelenleg a Pécsi Tudományegyetem Illyés Gyula Főiskolai Karának professzora (Szekszárd),

három angol nyelvű könyv után ez immár a negyedik magyar nyelvű könyve a közmondások témakörében. (*T. Litovkina Anna: Magyar közmondástár. Közmondások értelmező szótára példákkal szemléltetve. Tinta Könyvkiadó, Budapest, 2005, 818 p.*)

Vargha Katalin

doktorandusz ELTE BTK Folklor Tanszék

Antus Sándor – Mátyus Péter: Szerves kémia

Szerzők különleges elvárásnak tettek eleget a könyvsorozat megírásával: a szerves kémia rohamosan bővülő és más rokon tudományágakhoz egyre inkább kapcsolódó területeinek modem összefoglalására törekedtek, tömör formában. A természettudományoknak szinte minden területe korunkban eddig soha nem látott mértékben tágul, fejlődik, és ez különösen igaz a szerves kémiára, ahol korábban nem ismert vegyületek ezrei kerülnek évente publikálásra, és emellett e nagyszámú új szerkezet előállítására egyre több módszer kerül kidolgozásra. Nem csoda, hogy adathalmazokat tartalmazó enciklopédikus művek sora jelenik meg napjainkban, melyekben a szakember vagy tanuló diák megkísérli az őt érdeklő részletet fellelni.

Nyilvánvaló, hogy a szerves kémiai ismeretek átadására egy teljességgel más jellegű szakkönyvre is szükség van: olyanra, mely a rendkívül szerteágazó tudományág leglényegesebb ismeretanyagát, törvényszerűségeit összefoglalja, méghozzá – a rohamos fejlődésre való tekintettel – oly módon, hogy az olvasó a legkorszerűbb szemléletet ismerhesse meg, ezáltal átfogó képet kapjon e tudományterület jelenlegi állásáról.

Szerzők ezt a feladatot teljesítették, kitűnően. Összesen 566 oldal terjedelemben a szerves kémiai egyetemi oktatás teljes anyagát sikerült összefoglalniuk. Biztosan állíthatom, hogy aki e háromkötetes művet

alaposan áttanulmányozza, tartalmát elsajátítja, a szerves kémiának minden főbb területén alapvető képzettségre tesz szert, és mindezt a ma elfogadott szemlélet alapján teheti meg. A kötetek a szerves kémia három vonatkozását jól elkülönítve tárgyalják: az első kötet a legfontosabb alapfogalmakat, törvényszerűségeket írja le, a második kötet a szerves kémia anyagát általános vegyülettípusok szerint foglalja össze, a harmadik kötet pedig a természetes vegyületeket tárgyalja.

A könyvsorozat néhány kiemelkedően sikeres vonása kívánczok kiemelésre:

– A tömör és összefoglaló jelleg mellett a szövegezés rendkívül oldott, olvasható.

– A tárgyalás kitűnően kombinálja a tézisszerű összefoglalásokat a helyenként megadott – és a megértést sok esetben megnyugtatóan alátámasztó – adatsorokkal (például vegyületek fizikai állandóinak megadásával), így helyenként már-már az enciklopédikus elvárásnak is eleget tesz.

– Világosan kifejtésre kerülnek a szerves kémia alapfogalmai, e vonatkozásban kiváló segítséget jelent a legfontosabb szakkifejezések magyarázata az 560. oldalon.

– Az I. és III. kötet jól tükrözi a kémia és más tudományágak: a fizika, biológia és gyógyszerészet kapcsolatát. E helyeken komoly mélységben kerülnek tárgyalásra fizikai-kémiai (például termodinamikai) fogalmak, biokémiai jelenségek (például az öröklődésben nélkülözhetetlen szerepet játszó nukleinsavak) vagy gyógyászati jelentőségű anyagok (például antibiotikumok, szteroidok stb.).

– Nagyon esztétikusak az ábrák, szervesen egészítik ki a tárgyalást. A kémiai reakciók magyarázatát a legtöbb helyen nyilak szemléltetik, melyek segítségével könnyen megérthető az egyes átalakulások elemi lépései.

– Egyik legkiemelkedőbb vonása a műnek, hogy szinte hiánytalanul összefoglalja azt a szerves kémiai tudásanyagot, mellyel a megjelenés idején, 2005-ben rendelkezünk.

A könyv e kettős vonása: a tézisszerű, tömör tárgyalásmód, s a néhol részletekbe is menő magyarázó jelleg lehetővé teszi, hogy mind már végzett szakembereknek, mind pedig most tanuló egyetemi hallgatóknak olvasmányul szolgáljon. Teljes áttanulmányozása egy egyetemi záróvizsgára való felkészülést is lehetővé tesz, egyes részeknek átolva-

sása pedig kitűnően alkalmas arra, hogy a diplomás vegyészek számára egy-egy már feledésbe menő tézist, reakciót vagy esetleg fizikai-kémiai összefüggést ismét emlékezetbe idézzon és megmagyarázzon.

A szakterületen dolgozó kutatók, tanárok, ipari vegyészek, valamint a tanuló egyetemi hallgatók régóta várták, hogy ilyen jellegű mű magyar nyelven megszülessen. Aki a könyvsorozatot kezébe veszi és áttanulmányozza, azonnal láthatja, hogy sikeres mű született, mely mindezen várakozásoknak kitűnően megfelel. (*Antus Sándor–Mátyus Péter: Szerves kémia. I., II., III. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005*)

Hajós György

az MTA doktora, egyetemi magántanár

Hargittai István– Hargittai Magdolna: Képes szimmetria

A szerzők a magyar tudomány és az MTA jeles személyiségei. Sajátos látásmódon keresztül mutatják be a világot; megpróbálják felfedni a természetben és az emberi alkotásokban jelen lévő szimmetriát és szépséget. A biológia, a fizika, a kémia jelenségeiben, funkcióiban megtalálják a közös vonásokat, felhívják a figyelmet az összefüggésekre, bemutatják a Világegyetemet betöltő és azt egészzé egyesítő harmóniát és szimmetriát.

A *Képes szimmetria* fejezetei megragadó fényképekkel és grafikákkal illusztrálják a tükörszimmetriát, a kiralitást (tükörszimmetrikus, de egymással fedésbe nem hozható alakzatokat), a forgási szimmetriát, a mértani testeket, az ismétléses szimmetriát (amely azonos alakzatok sora, síkminták, díszítőelemek, építészeti elemek), a csavarszimmetriát, végül az antiszimmetria jelenségeit.

A példákat a természetből és építészeti alkotásokból merítik. Láthatunk gyönyörű virágokat, leveleket, állatokat, emberi arcot,

szobrokat és festményeket mint a tükörszimmetria illusztrációit, de bemutatják az építészeti alkotások sokaságát is hazai példáktól kezdve (Hősök tere, Országház) a Buckingham palota, Schönbrunn-palota, Notre Dame, Szent Péter tér vagy Antoni Gaudí máig is épülő székesegyházáig. Illusztrálják a tükörszimmetriát címerekkel és zeneművekkel, például Bach: *Contrapunctus XVIII.* művével is.

A kiralitásra legjobb példa jobb és bal kezünk, melyek tükörszimmetrikusak, de fedésbe nem hozhatók. Ilyenek az ellentétes irányba csavarodó csigalépcsők és sok molekula is. Sokszor a „jobbkezes” molekula gyógyszer, míg tükörképe akár mérgező is lehet. Példa: a penicillamin „jobbkezes” változata ízületi bántalmak gyógyszere; „balkezes” párja rendkívül mérgező. Az etambutol „jobbkezes” változata tuberkulózis elleni gyógyszer, a „balkezes” vakságot okozhat stb. Meglepő, hogy a természetben előforduló fehérjék mind „balkezes” aminosavakból épülnek fel; a természet az élet kialakulásakor a kiralitás szempontjából a „balkezes” aminosavakat választotta.

Virágok, növények illusztrálják a háromszoros, négyszeres stb. tükörszimmetriát. A szerzők megkeresték azokat a szobrokat,

csillárokat, építészeti alkotásokat, amelyek ugyanilyen tulajdonságúak. Például: Buddha-szobor Bangkokban, vagy az oroszlános kút Granadában. A Pentagon (neve is mutatja) ötös szimmetriájú, de vannak többszörös szimmetriájú tornyok, épületek. Megkapó szépségűek a templomok rozettaablakai vagy a bazilikák kupolái.

Külön fejezetet szentelnek a szerzők a hópelyhek hatos szimmetriájának, amelyekről sokan készítettek rajzokat. Wilson A. Bentley természetbúvár pedig hatezer fényképen örökítette meg különös, egyedi szépségüket.

További változat a forgási szimmetria. Nemcsak a virágokon, de számos emberi alkotáson is megtalálható: turbinák, vízikerekek, légcsavarok, szélerőművek rotorjai.

Az állatok tükörszimmetriája kapcsolatos a mozgással, de szimmetrikusak az autók és repülőgépeink is. Nagyjából hengersizimmetrikusak a fák, jégcsapok, a vulkáni kúrtók medermedt lávája vagy a cseppkövek.

Különösen tetszett a szabályos testek leírása; a szerzők az öt szabályos testet nemcsak bemutatják, hanem érthetően bizonyítják, hogy ezek és csak ezek a szabályos testek létezhetnek. A háromszög alakú lapokból három különböző szabályos test: tetraéder, oktaéder és ikozaéder állítható össze, a négyszöglapokból már csak hexaéder, azaz csak kocka építhető fel, ötszöglapokból pedig dodekaéder szerkeszthető. A szerzők számos példát mutatnak be mindegyikre, és az ezekből levezethető félszabályos testekre és csillagpoliéderekre. A félszabályos testekre a legszebb példa a szabályos hatszögekből és tizenkét szabályos ötszögből kialakított csaknem tökéletes gömbalak. Ilyen volt az Egyesült Államok kiállítási csarnokának kupolája a Montreali Világkiállításon. A tervező Buckminster Fuller, akiről később a C_{60} molekulát is elnevezték.

Az ismétléses szimmetria szép példáit mutatják be a szerzők oszlopsorokon, faszorokon, kerítéseken vagy épületek ablakain.

A csavarszimmetria illusztrációi között szerepel a DNS, az élet kettős spirálja, de bemutatnak a szerzők csigákat, páfrányokat, galaxisokat és humikánokról készített fényképeket is. A színpompás síkminták sokasága és a változatos homlokzatok is szemet gyönyörködtetőek. Nem kevésbé érdekesek a kristályok, melyek térbeli szimmetriát követnek. A képek jól mutatják, hogy a természet mikrovilága éppen olyan gyönyörű, mint amit a makrovilágban látunk.

Vizi E. Szilveszter a szerzők egyik előző művének (*Szimmetriák a felfedezésben*) ismertetésekor mondotta a következőket:

„Ők az általánosban nem az egyest, hanem az egysesből összeálló általánost keresik. [...] A szerzők a vírusok szerkezetében, Watson és Crick kettős spiráljában is hasonlóságot észlelnek, a szépséget fedezik fel, ugyanúgy csodálkoznak rá az egészséges emberi test tökéletes szimmetriájára.

Utolsó gondolatként pedig bár sokan idézik Kr. után 2. században élt Terentianus Maurus híres mondását: „habent sua fata libelli”, tehát a könyveknek sorsuk van, azonban helyesen ez úgy hangzik, „Pro captu lectoris habent sua fata libelli”, azaz az olvasói befogadásnak megfelelően van a könyveknek sorsa.

Meggyőződésem, hogy a könyv sorsa már akkor eldőlt, amikor megíratott, ... az olvasók a könyvet azonnal befogadják fogadni. Tehát a könyv sikerre van ítélve”.

A *Képes szimmetria* érdekes és érthetően megfogalmazott ismereteket tartalmaz. Meggyőző arról, hogy a természet, a művészet és építészet nagy alkotásai egyszerre szépek és hasznosak. Kivételes értékei miatt ez a könyv is „sikerre van ítélve”. Gratulálunk a szerzőknek, és köszönjük, hogy újból megajándékoztak egy maradandó értékeket bemutató művel. (*Hargittai István – Hargittai Magdolna: Képes szimmetria. Bp., Galenus, 2005*)

Meskó Attila
geofizikus

CONTENTS

Face to Front with Lasers

Guest Editor: Zsolt Bor

Zsolt Bor: Introduction	1474
István Földes B. – Sándor Szatmári – Sergei Kuhlewsky: Generation and Applications of Ultrashort and Coherent UV and X-Ray Pulses	1477
János Hebling – Gábor Almási: Terahertz Imaging and Spectroscopy: from Astronomy to Medical Applications	1483
Gábor Szabó – Zoltán Bozóki – Árpád Mohácsi – Miklós Szakáll – Anikó Hegedűs Veres – Zoltán Filus – Tibor Ajtai – Helga Huszár – Attila Varga : Application Oriented Development of Photo-Acoustic Gas Detecting Systems	1489
Miklós Erdélyi – Zoltán Horváth – Gábor Szabó – Zsolt Bor: Multiple Imaging Techniques in Optical Microlithography	1495
Aladár Czitrovsky – Gergely Bánó – Attila Nagy – Győző Farkas – Dániel Oszetzky – Péter Jani – Péter Gál – Zoltán Donkó – Árpád Kiss – Károly Rózsa – Margit Koós – Péter Varga – László Csillag: Developments of Lasers and their Applications in the KFKI and SZFKI	1499
Károly Osvay – Attila Kovács – Gábor Kurdi – Zsolt Bor: TEWATI Laser System and Its First Applications	1511
Ferenc Gyimesi: Display Holography, Holographic Metrology and Digital Holography	1517
Emőke Lőrincz – Pál Koppa – Gábor Erdei – Ferenc Ujhelyi – Péter Richter: Holographic Memory Cards	1521
Tamás Szörényi – Zsolt Geretovszky: Materials Engineering by Lasers: from Macrostructures to Nanoparticles	1525
Béla Hopp – Tamás Kolumbán Smausz – Mária Csete – Zsolt Tóth – Norbert Kresz – Gabriella Kecskeméti – Zsolt Bor: Special Medical and Biological Application Possibilities of Lasers	1530
Róbert Szípócs: Femtosecond Laser and Parametric Oscillators for Femtobiological Applications	1535
Géza Groma – Pál Ormos: Femtosecond Laser Impulses in Biophysics	1541
Zsuzsa Sörlei – József Bakos – Gábor Demeter – Gagik Djotyan – Péter Ignácz – Miklós Kedves – János Szigeti – Zoltán Tóth: Cold Atoms	1544
József Janszky – Péter Domokos: Quantum Optics and Quantum Informatics	1550
Glossary	1557

Study

Iván Zoltán Dénes: Facing to the Hungarian Political Schizophrenia: In Case of 50th Anniversary of Gyula Szekfű's Death	1561
Ákos Egyed: Count Imre Mikó of Hidvég – Transylvania's Széchenyi – The Founder of the Transylvanian Museum Society (1805-1876)	1570

Academy Affairs

World Science Forum, Budapest 2005	1578
HAS Secretary General Attila Meskő's remarks on the WSF closing session	1584
Awards Presented at the Hungarian Science Festival in 2005	1587
János Gergely: György Klein and Éva at 80	1589

Discussion

István Mihály Szabó: Hungarian Prehistory: Critical Ambitions without Academic Knowledge. An Answer to Zsolt Simon, Too	1594
Csanád Bálint: A Lector's Report on István Mihály Szabó's Script	1604
László Honti: A Lector's Observations on István Mihály Szabó's Script	1609
Zsolt Simon: Answer to István Mihály Szabó	1612
Ervin Balázs: Answer to Béla Darvas	1613

<i>Outlook (László Jéki – Júlia Gimes)</i>	1614
--	------

<i>Book Review</i>	1617
--------------------------	------

Ajánlás a szerzőknek

1. A Magyar Tudomány elsősorban a tudományterületek közötti kommunikációt szeretné elősegíteni, ezért elsősorban olyan kéziratokat fogad el közlésre, amelyek a tudomány egészét érintő, vagy az egyes tudományterületek sajátos problémáit érthetően bemutató témákkal foglalkoznak. Közlünk téma-összefoglaló, magas szintű ismeretterjesztő, illetve egy-egy tudományterület újabb eredményeit bemutató tanulmányokat; a társadalmi élet tudományokkal kapcsolatos eseményeiről szóló beszámolókat, tudománypolitikai elemzéseket és szakmai szempontú könyvismertetések.

2. A kézirat terjedelme szöveges tanulmányok esetében általában nem haladhatja meg a 30 000 leütést (a szóközökkel együtt, ez kb. 8 oldalnak felel meg a MT füzeteiben), ha a tanulmány ábrákat, táblázatokat, képeket is tartalmaz, a terjedelem 20-30 százalékkal nagyobb lehet. Beszámolók, recenziók esetében a terjedelem ne haladja meg a 7-8 000 leütést. *A teljes kéziratot .rtf formátumban, mágneslemezen és 2 kinyomtatott példányban kell a szerkesztőségbe beküldeni.*

3. A közlemények címének angol nyelvű fordítását külön oldalon kell csatolni a közleményhez. Itt kérjük a magyar nyelvű kulcsszavakat (maximum 10) is. A tanulmány címe után a szerző(k) nevét és tudományos fokozatát, a munkahely(ek) pontos megnevezését és – ha közölni kívánja – e-mail-címét kell írni. A külön lapon kérjük azt a levelezési és e-mail címet, telefonszámot is, ahol a szerkesztők a szerzőt általában elérhetik.

4. Szöveg közbeni kiemelésként *dőlt*, (esetleg *félkövér* – bold) betű alkalmazható; ritkítás, VERZÁL betű és aláhúzás nem. A jegyzeteket lábjegyzetként kell megadni.

5. A rajzok érkezhetnek papíron, lemezen vagy email útján. Kérjük azonban a szerzőket: tartsák szem előtt, hogy a folyóirat fekete-fehér; a vonalas, oszlopos, stb. grafikonoknál tehát ne használjanak színeket. Általában: a grafikonok, ábrák lehetőség szerint minél egyszerűbbek le-

gyenek, és vegyék figyelembe a megjelenő oldalak méreteit. A lemezen vagy emailben érkező ábrákat és illusztrációkat lehetőleg .tif vagy .bmp formátumban kérjük; értelemszerűen fekete-fehérben, minimálisan 150 dpi felbontással, és a továbbítás megkönnyítése érdekében a kép nagysága ne haladja meg a végleges (vagy annak szánt) méreteket. A közlemény szövegében tünetszerűen fel az ábrák kívánatos helyét.

6. Az irodalmi hivatkozásokat mindig a közlemény végén, abc sorrendben adjuk meg, a lábjegyzetekben legfeljebb utalások lehetnek az irodalomjegyzékre. Irodalmi hivatkozások a szövegben: (szerző, megjelenés éve). Ha azonos szerző(k)től ugyanabban az évben több tanulmányra hivatkozik valaki, akkor a közleményeket az évszám után írt a, b, c jelekkel kérjük megkülönböztetni mind a szövegben, mind az irodalomjegyzékben. Kérjük, *fordítsanak különös figyelmet a bibliográfiai adatoknak a szövegben, illetőleg az irodalomjegyzékben való egyeztetésére!* Miután a Magyar Tudomány nem szakfolyóirat, a közlemények csak a legfontosabb hivatkozásokat (max. 10-15) tartalmazzák.

7. Az irodalomjegyzéket abc sorrendben kérjük. A tételek formája a következő legyen:

- Folyóiratcikkek esetében:

Alexander, E. O. and Borgia, G. (1976). Group Selection, Altruism and the Levels of Organization of Life. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* **9**, 499-474

- Könyvek esetében:

Benedict, R. (1935). *Patterns of Culture*. Houghton Mifflin, Boston

- Tanulmánygyűjtemények esetén:

vonBertalanffy, L. (1952). Theoretical Models in Biology and Psychology. In: Krech, D., Klein, G. S. (eds) *Theoretical Models and Personality Theory*. 155-170. Duke University Press, Durham

8. Havi folyóirat lévén a *Magyar Tudomány* kefelevonatot nem küld, de az elfogadás előtt minden szerzőnek elküldi egyeztetésre közleménye szerkesztett példányát. A tördelés során szükséges apró változtatásokat a szerző egy adott napon a szerkesztőségben ellenőrizheti.