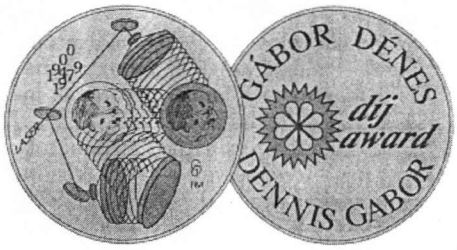
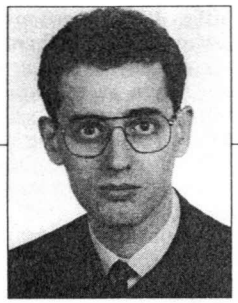
Természet Világa

TERMÉSZETTUDOMÁNYI KÖZLÖNY • 127. évf. 12. sz. • 1996. DECEMBER ÁRA: 88 Ft



A Nemzetközi
Gábor Dénes-díj

Hogyan látnak az állatok?



HORVÁTH GÁBOR
biofizikus, az ELTE atomfizikai tanszékének docense

Természet Világa

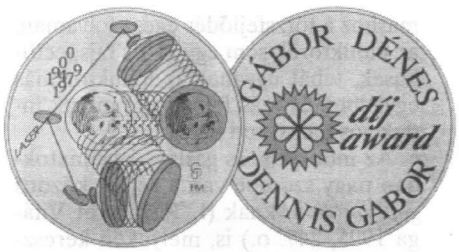
ALAPÍTVA 1869

A TUDOMÁNYOS ISMERETTERJESZTŐ TÁRSULAT ÉS A MAGYAR HIVATALOS KÖZLÖNYKIADÓ FOLYÓIRATA

Megindította 1869-ben SZILY KÁLMÁN

A TERMÉSZETTUDOMÁNYI KÖZLÖNY 127. ÉVFOLYAMA

1996. 12. sz. december



A Nemzetközi Gábor Dénes-díj

A „Novofer Alapítvány a Műszaki-Szellemi Alkotásokért" 1990 végén hozta létre a Nemzetközi Gábor Dénes-díjat azzal a céllal, hogy a korszerű optika területén kiemelkedő teljesítményt nyújtó, 35 évesnél nem idősebb fiatal szakembereket jutalmazza. Azok pályázhatnak, akik tevékenységükkel segítik az innovatív munkát, és kiemelkedő műszaki-szellemi alkotást hoznak létre. E díjnak a megalapítása egyben tisztelgés Gábor Dénes (1900–1979) emléke előtt is, aki életének fő részét a plazmajelenségek vizsgálatának és az elektronoptikai kutatásoknak, valamint az információelmélet megteremtésének szentelte. Az ő nevéhez fűződik a holográfia feltalálása is, amelyért 1971-ben Nobel-díjat kapott.

A Nemzetközi Gábor Dénes-díjat – amely pénzjutalommal nem jár – a modern optika és fotonika nemzetközi hírű szakembereiből álló, tízfős kuratórium ítéli oda háromévente egy arra érdemes magyar és egy külföldi fiatal szakembernek. Eddig két ízben, először 1993-ban, majd 1996-ban adták ki a díjat. Az első külföldi jutalmazott az amerikai Kristina M. Johnson, aki „A holografikus megfordíthatósági törvény hibáinak kihatásai orvosi számítógépes rétegfelvételezés háromdimenziós megjelenítésekor" című dolgozatáért és kutatási eredményeiért nyerte el a díjat 1993-ban. Az 1996-ban díjazott külföldi kutató, Chris J. Jacobsen a lágy röntgensugarakkal való képalkotással kapcsolatos eredményeiről írt pályázatában, melyhez felhasználta Gábor Dénes hologramkészítési módszereit is. Így alkotta meg a holografikus röntgenmikroszkópot, amelynek elsősorban a biológia területén van nagy jelentősége. Az 1993-as és '96-os magyar nyerteseket: Horváth Gábort és Szipőcs Róbertet személyesen kérdeztük meg arról:

1. Mely tudományterület az, amelyben munkálkodik, és milyen eredményeiért kapta a Nemzetközi Gábor Dénes-díjat?

2. Mennyire elégedett a hazai kutatási lehetőségekkel, és hogyan lehetne hatékonyabbá tenni a kutatást?

Hogyan látnak az állatok?

HORVÁTH GÁBOR
biofizikus, az ELTE atomfizikai tanszékének docense

Ma már biofizikusnak vallom magam, bár 1987-ben az ELTE-n fizikus diplomát szereztem. Demonstrátorként harmadéves koromban kapcsolódtam be az alacsonyhőmérséklet-fizikai tanszék munkájába; diplomamunkámat is ott írtam „Szupravezető kompozitok perkolációs elektromos vezetése" címmel, Bánkúti József vezetésével. Sohasem állt azonban messze tőlem a biológia sem, mert szüleim biológia–földrajz szakos tanárok lévén óhatatlanul is vonzalmat alakítottak ki bennem a környezet és az élővilág iránt. Gyerekként rengeteg időt töltöttem a kiskunhalasi Szilády Áron Gimnázium biológiaszertárában, ahol szüleimre várakozva a kitömött állatokat és lepréselt növényeket csodáltam hosszasan. Biológiával azonban sokáig csak hobbiként foglalkoztam. Amikor 1989-ben az MTA KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézetének biofizikai csoportja doktori ösztöndíjat írt ki, megpályáztam azt, és szerencsémre meg is kaptam. Ekkor kezdtem el foglalkozni Érdi Péter irányításával a vizuális illúziók matematikai leírásával és számítógépes modellezésével. Lényegében KFKI-s témavezetőm keze alatt váltam biológiai fizikussá, azaz olyan szakemberré, aki biológiai jelenségeket vizsgál elméleti és kísérleti, ill. matematikai és fizikai módszerekkel. Hálás vagyok Érdi Péternek, aki megengedte, hogy elméleti neurofizikai munkám mellett fő vesszőparipámat, az állati látás kutatását is tovább űzhessem Greguss Pál vezetésével. Kutatásaim célja az igen változatos állati látórendszerek és optikai környezetek biológia–fizikai megértésén túl ezek matematikai leírása.

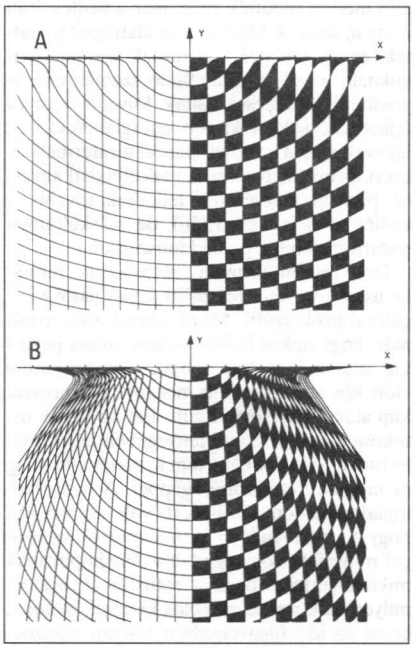
Egyetemi doktori disszertációm 1991-es megvédése után egy 12 hónapos bajor ösztöndíjjal a Regensburgi Egyetem Állattani Intézetében és egy egyéves Széchenyi-ösztöndíjjal a Tübingeni Egyetem biokibernetikai tanszékén folytattam tovább kutatásaimat. Az eredményeket 1994-ben „Computational Visual Optics" című, angol nyelvű kandidátusi értekezésemben foglaltam össze. A Nemzetközi Gábor Dénes-díjra benyújtott pályázatom e munka téziseit tartalmazta.

A dolgozat első részében többek között azzal a kérdéssel foglalkoztam, hogyan torzul az állatok látótere a vízfelszíni fénytörés miatt. A víz közelében élő állatok számára ugyanis életbevágóan fontos az a körülmény, hogy amikor pl. egy halevő madár belenéz a vízbe, a fénytörés miatt máshol látja a zsákmányát, mint ahol az valójában van. Ez a függőleges irányú eltérés a zsákmány víz alatti mélységétől függően akár 35 cm-t is elérhet. Ha a vízi élőlényekkel táplálkozó madarak a zsákmányra való lecsapáskor nem korrigálnák ösztönösen ezt az eltérést – mely korrekciós képesség az evolúció során, ill. tanulással alakult ki – éhen halnának.

A víz fénytörése miatt mi is máshol látjuk a vízben lévő tárgyakat, mint ahol azok vannak. Tanulással természetesen kiküszöbölhető a fénytörésből adódó eltérés; az indiánok is így sajátítják el a halszigonyozás mesterségét. Modellezés és analitikus számítások útján, a Tübingeni Egyetem biokibernetikai tanszékének vezetőjével, Varjú Dezső professzorral együtt meghatároztuk, hogy a levegőből nézve miként torzul a víz alatti látótér. Mindez fontos a biológusok idevonatkozó viselkedéstani kísérleti eredményeinek az értelmezésében. A Mathematical Biosciences folyóiratban a témáról írt cikkünket 1993-ban biomatematikai Richard Bellman-díjjal jutalmazták.

A víz fénytörésével kapcsolatos előző problémának van egy másik oldala is: mit látnak a vízben élő állatok akkor, ha kifelé néznek onnan a levegőbe, mint pl. a lövőhalak, amikor vízsugarakat lőnek ki, hogy rovarokat fogjanak a víz fölött. Nekik is figyelembe kell venniük a víz fénytörését, mert zsákmányukat ők is máshol látják annak tényleges helyétől. Varjú Dezsővel ezt a látótértorzulást is kiszámítottuk. Kiderült az is, ha nem vízszintesen, hanem függőlegesen tartjuk a szempárunkat, akkor a látótér teljesen megváltozik. (A természetben persze ilyen helyzet nincsen.) Ez egy klasszikus, geometriai-optikai probléma, amit eddig az általunk megközelített részletességgel még nem vizsgáltak a fizikában. Mint láttuk, e kérdés inkább egy biológiai jelenség magyarázatában vált fontossá. Ez lehet az oka annak, hogy a jelenség mind a magyar, mind a külföldi optikai tankönyvekben is hibásan van leírva.

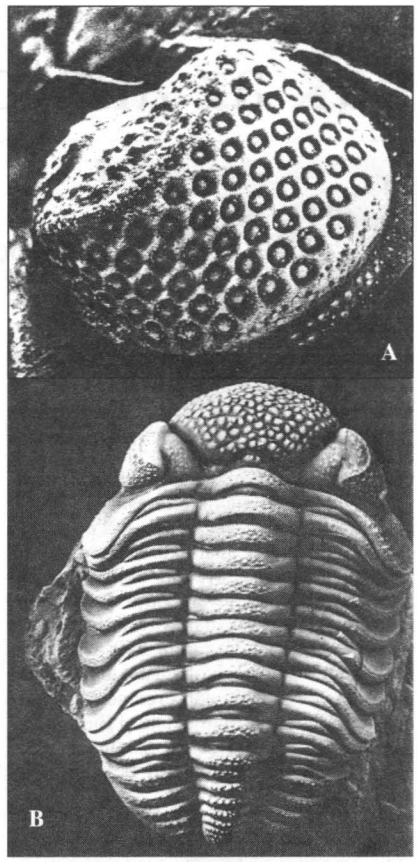
1. ábra. Ilyen torzultnak látja a levegőből nézve egy halevő madár a víz alatti világot, ha szempárját vízszintesen (A), ill. függőlegesen (B) tartja. (Az x tengely a vízfelszín, a madár feje az y tengelyen helyezkedik el.) Az ábra egy víz alatt lévő, vízszintes és függőleges egyenesekből álló rácsnak a levegőből észlelt képét mutatja



További sajátsága a vízfelületnek, hogy a róla visszavert fény erősen horizontálisan poláros, azaz a tükrözött fényhullám túlnyomórészt vízszintesen rezeg. A Regensburgi Egyetem Állattani Intézetében Rudolf Schwind professzor fedezte fel a 90-es évek elején, hogy ez fontos szerepet játszik a vízirovarok látásában. Ők ugyanis nem a visszavert fény erőssége alapján detektálják a vizet, mint pl. mi, emberek, hanem a vízszintes fénypolarizáció segítségével. Egy évig együtt dolgozhattam Schwind professzorral Regensburgban. Ő azt a feladatot adta nekem, hogy számoljam ki a sima vízfelszín tükröződési polarizációs mintázatát, ha róla a tiszta égboltról jövő, részlegesen poláros fény verődik vissza. Habár ez egy tipikusan légköri optikai, ill. fizikai probléma, előttem sem a légkörfizikusok, sem pedig az optikusok nem foglalkoztak vele, mert hiányzott az indíttatás. Itt ismét a biológia oldaláról vetődött tehát fel egy olyan feladat, amit fizikai, ill. matematikai módszerekkel lehetett megoldani. Legújabban e kérdéskör egyik vizuális ökológiai vonatkozásával kapcsolatos eredményünket – amely arra a rejtélyre adott választ, hogy a kuvaiti kőolajtavak miért tévesztenek meg és pusztítanak el olyan sok, vizet kereső rovart – a Nature folyóiratban publikáltuk egyik tübingeni kollégámmal.

Pályázatom második része néhány speciális állati szem optikájával foglalkozott. Itt most csak a fésűskagylók (Pecten) és a háromkaréjos ősrákok (trilobiták) szeméről szólok. Kiderült, hogy a Pecten-szem már évmilliók óta olyan optikai konstrukcióval rendelkezik, amit csak az 1930-as években talált fel egy német csillagász. A Schmidt-teleszkópról van szó, amely egy gömbtükörből és egy negyedrendű korrekciós üvegfelületből áll. Az utóbbinak az a szerepe, hogy a tükör szférikus abberrációnak nevezett leképezési hibáját

korrigálja. Varjú Dezsővel számítógéppel meghatároztuk a Pecten-szem optikai leképezésének minőségét, valamint azt, hogy kvantitatíve milyen mértékben is hasonlít a Schmidt-távcsőhöz. Számomra még ennél is érdekesebb feladat és nagyobb kihívás volt annak rekonstruálása, hogy a 400 millió évvel ezelőtt kihalt, recens rokonok nélküli trilobiták miként is láttak. Ez egy igazi, őslénytani nyomozómunka volt, amit az Edinburghi Egyetem geológiai és geofizikai tanszékének egyik paleontológusával, Euan Clarksonnal együtt végeztem. Ő paleontológiai módszerekkel rekonstruálta a trilobiták szemének és szemlencséinek az anatómiáját, az eredményeket pedig elküldte nekem. Az én feladatom volt a szem optikai sajátságainak számítógépes rekonstrukciója. Érdekes módon a trilobiták látásáról többet tudunk, mint pl. a dinoszauruszokéról, holott az utóbbiak jóval később uralták a Földet. A trilobiták szemét ugyanis kalcit építette föl (nem kocsonyás anyag, mint a hüllőkét), ami a fosszilizáció során jól megmaradt, s ezért könnyen vizsgálható. Összetett szemük volt, olyan, mint a mostani rovaroké, de sok szempontból el is tért azokétól. Számítógép segítségével sikerült kiszámolnom, hogy pl. milyen volt a trilobiták szemében a szemlencse alsó tagjának törésmutatója, a lencse fókusztávolsága, vagy hogy milyen messze láttak el élesen ezek az állatok. A rekonstruálás során kiderült, hogy a trilobiták szeme jóval bonyolultabb volt, s ezzel jobban láttak, mint sok, ma élő, összetett szemű állat. Amíg a recens facetta szemű állatoknál egy ommatídiumhoz, azaz egy elemi optikai egységhez egyetlen fotoreceptor tartozik (így egy ommatídium egy fénypontot jelent, s ebből alakul ki a mozaikkép), addig az ősrákoknál egy lencséhez egy egész kis retina, azaz több száz fotoreceptor tartozott, tehát több száz kis, egyszerű szemmel rendelkeztek. Ez a szem is mozaikképet alkotott, de nem elkent foltokat láttak vele a trilobiták, hanem részletdús képet. A számítógépes rekonstrukció során tisztázódott, hogy lencséjük optikai leképezése csaknem gömbihiba-mentes volt. Az embernek sok kísérletezés után csak napjainkban sikerült ehhez hasonló, tökéletes lencséjű fényképezőgépet előállítania. A háromkaréjos ősrákok látórendszerének rekonstrukciója során kapott eredményeink is megdönteni látszanak azt a felfogást, hogy minél idősebb egy kihalt állat, annál fejletlenebbek lehettek az érzékszervei. Mint az elmondottakból is kitűnik, az ősrákok szeme igen jó volt, tehát biztosan nem a gyenge látásuk miatt pusztultak ki, sokkal valószínűbb, hogy pazarló anyagcseréjük is ludas lehetett ebben. Amíg ugyanis pl. a ma élő rákok a vedlésük után néhány nap alatt fejlesztik ki új páncéljukat és szemüket, addig a trilobitáknál ez több hetet vehetett igénybe, mert a régi páncél vedlésével sok hasznos anyagot dobtak el maguktól. A recens állatok viszont a vedlés előtt minden hasznos vegyületet visszaszívnak a páncéljukból, testfolyadékaikban tárolják azokat, hogy aztán felhasználhassák őket az új páncél felépítéséhez. Így minimalizálják a vedléskori anyag- és metabolikus energiaveszteségeiket. A vedlést követően rosszul látnak és védtelenek, ezért az új páncél kialakulásáig búvóhelyet keresnek maguknak. Ezzel szemben a trilobitáknak hetekig kellett új



2. ábra. A képen egy schizochroális trilobitaszem látható, amely több tíz elemi optikai egységből áll (A). A Phacops rana milleri trilobita kövülete. Jól láthatók rajta az állat összetett szemei (B).

páncél nélkül élniük, s ha közben gyengén láttak volna, akkor éhen haltak volna. Euan Clarksonnal azt is kimutattuk, hogy a trilobiták ezt a problémát az állatvilágban egyedülálló módon oldották meg: már a vedlés után is, az új szemek kifejlesztése alatt igen jól láttak, és így táplálékot is tudtak szerezni maguknak, mivel az újrafejlődő szemlencsék is gömbihiba-mentesek voltak. Mivel a szem kifejlesztése sokkal kisebb energiabefektetést igényel, mint a levedlett páncél újratermelése, ezért az evolúció során a páncéljukkal kevésbé pazarló szervezetek fejlődtek tovább, a vedlés után is élesen látó, de másküllönben pazarló trilobiták pedig kipusztultak.

Dolgozatom harmadik része az ún. retinális üstökösösóva-effektussal kapcsolatos vizsgálataimról szólt. Mindenkivel előfordult már, hogy mikor Napba nézett, utána percekig látta még a Nap foltját, vagy ha szeme előtt kör alakú fényfolt mozgott, egy hosszú, kúp alakú fénycsóvát látott. Ezt nevezzük üstökösjelenségnek, ami lényegében egy vizuális utókép-illúzió. Ezt írtam le matematikailag és modelleztem számítógéppel. A neurobiológiai irodalomból ismert volt számomra, hogy a retinában lévő fotoreceptorok sajátságai milyenek, hogy egy adott fényimpulzusra miként gerjesztődnek a retinális neuronok, milyen elektromos aktivitás keltődik bennük, és ez az idő függvényében hogyan változik. Létezett több matematikai modell is, amely többé-kevésbé jól leírt néhány vizuális illúziót, de nem a szóban forgó üstökösillúziót. Ezért egy hatékonynak ígérkező modell továbbfejlesztésével számítógép segítségével „kísérletet" végeztem „szoftveres műretinán", amelyet úgy hoztam létre, hogy egy számítógépes programban sok fotoreceptort kapcsoltam össze hálózattá. Mivel beprogramoztam a fotoreceptorok és az alattuk lévő neuronok irodalomból ismert dinamikáját, ki lehetett számolni, ha erre a műretinára valamilyen, pl. kör alakú fényfoltot bocsátunk, mit fog látni az ember. E modellezés jelentősége abban rejlik, hogy egy korábban már jól ismert pszichofizikai jelenséget, amellyel az ember nap mint nap szembesül, matematikailag is meg tudtam fogalmazni, le tudtam írni, és a tapasztalatokat hűen visszatükröző számítógépes modellt tudtam létrehozni. Habár e vizsgálatokat ma már nem folytatom, meggyőződésem, hogy a jövő beültethető műretinái, a kifejlesztés alatt álló ún. vizuális protézisek csipjeinek a dinamikája az általam is használt matematikai módszerekkel írható le és tervezhető meg.

Célom tehát – akár az állatok vizuális környezetét, látóterét, szemét, akár az emberi látás neurális hátterét vizsgáltam – biológiai problémák fizikus módjára való megközelítése, matematikai leírása, számítógépes vizsgálata, hogy kiderítsem és tisztázzam az optikai környezet sajátságait, a szemek optikai működését és a beérkező vizuális információk neurális földolgozásának mikéntjét.

Most, hogy az utóbbi években két fiatal és egy tematikus OTKA-pályázatot sikerült kollégáimmal, valamint diákjaimmal megnyernünk, nem panaszkodhatom a hazai kutatási lehetőségekre. Tudom ugyanakkor, hogy a rendelkezésre álló kutatási pénzek a tizedétszázadát teszik ki a nyugat-európai vagy amerikai hasonló pénzforrásoknak és sajnos ugyanez mondható el a kutatók fizetéséről is, ráadásul a számítógépeket és mérőműszereket mi, magyarok, drágábban tudjuk csak beszerezni, mint pl. a nyugat-európaiak. Ha nem vigyáznék, az összes kutatási pénzemet könnyen elköltheném a számítástechnika szoftveres és hardveres követésére, s akkor nem maradna semmi műszerekre, szakmai utazásokra, konferenciákon való részvételre, kutatói megbízásokra. Például egy németországi egyhavi kutatói ösztöndíj felér egy magyar docens tízhavi fizetésével, ugyanakkor az effektív megélhetés Németországban csak kb. a két-háromszorosába kerül a magyarénak. A német kutató így legalább háromszor-ötször jobban él, ennyivel többet költhet kutatásra is. Ezzel persze nem lehet versenyezni Magyarországról. A nemzetközi porondon itthonról történő „túlélés" egyetlen lehetőségének azt látom, hogy tudományos berkekben jól eladható ötleteket szoros külföldi együttműködésekkel kell megvalósítani. Enélkül csak a tudomány szegényes hazai imitációjára van esély, amely előbb-utóbb frusztrációhoz vezet.

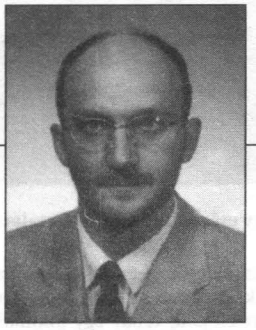
Jelenleg biofizikát oktatok az ELTE-n, speciális előadásokat tartok és szemináriumot vezetek a látás biofizikájából. Igyekszem magam körül kialakítani egy diákokból álló lelkes kutatógárdát, van két biofizikus diplomamunkásom és több biológus tudományos diákkörös hallgatóm is. Velük és kollégáimmal együtt

kutatjuk a vízimadarak és vízirovarok vizuális vízdetektálásának mechanizmusát laboratóriumi és terepkísérletekkel, továbbá a budapesti pakuratavaknak a vizet kereső állatokra kifejtett optikai vonzó hatását. Varjú Dezsővel vállvetve kifejlesztettünk egy új módszert, a videopolarimetriát, amellyel az állatok optikai környezetének fénypolarizációs mintázatát lehet kimérni. Számos állat látórendszere ugyanis érzékeny a fény polarizációjára, s a környezet polarizációs mintázatai alapján is képes tájékozódni. Eddig nem létezett olyan műszer, amivel nagy látószögben, fényképszerűen dokumentálni lehetett volna e mintázatokat. Mi megalkottunk egy ilyet, amelyet számos biofizikai célra fel lehet használni.

A magyar kutatás hatékonyabbá tételére egyelőre csak az a kézenfekvő ötletem van, hogy sokkal több pénzt kellene rá áldoznia a kormánynak és a társadalomnak. A hazai kutatásoknak az OTKA általi támogatása, a témák egymással való versenyeztetése és az elszámolás, beszámoltatás jelenlegi módja – kisebb hiányosságoktól eltekintve – jónak mondható.

Az interjút készítette:
KAPITÁNY KATALIN

A legrövidebb fényimpulzus



SZIPŐCS RÓBERT, a KFKI munkatársa

1987-ben villamosmérnöki szakon végeztem a Budapesti Műszaki Egyetemen és rögtön a KFKI-ba kerültem mint akadémiai ösztöndíjas. Az első kutatási témám az optikai számítógépekhez kapcsolódott, nemlineáris interferenciaszűrőket vizsgáltam, azt néztem, hogy ezekből hogyan lehet optikai memóriákat, optikai kapcsolókat készíteni. Ez volt az egyetemi doktori dolgozatom témája is, amit 1990-ben adtam be. Ezután továbbra is a KFKI-ban maradtam és egy új témával kezdtem foglalkozni a lézeralkalmazási osztályon, ezen belül is az optikai vékonyréteg-laboratóriumban, ahol lézerekhez való lézertükröket fejlesztettünk. Azóta is ez a munkám.

A lézerek túlnyomó többsége tartalmaz optikai bevonatos elemeket, melyek úgy készülnek, hogy van egy vákuumpárologtató, melybe beteszünk pl. üveghordozókat és nagyon vékony, néhány tizedmikronnyi rétegeket párologtatunk egymásra. Ezeknek az interferenciája révén jönnek létre olyan szerkezetek, amelyek pl. csökkentik a reflexiót. Említhetem a fényképezőgép-objektíven vagy a szemüveglencséken levő reflexiómentesítő bevonatokat. Vannak analitikai interferenciaszűrők, amelyeket orvosi műszerekhez használnak, és van ezeknek az optikai bevonatoknak egy speciális osztálya – a lézertükrök –, melyeknek az a tulajdonságuk, hogy bizonyos hullámhossztartományokban nagy visszaverőképességgel rendelkeznek, tehát a rájuk eső fény több mint 99%-át visszaverik. Összehasonlításul egy egyszerű fürdőszobai tükör csak 90–95%-ot ver vissza.

Szükség van tehát olyan tükrökre, melyek nem fémtükrök, hanem dielektrikumréteggel vannak ellátva, magyarul fényre átlátszó anyagok. Hasonló tulajdonságokkal rendelkeznek, mint az üveg, ilyen a szilícium-dioxid, tantál-pentoxid, titán-dioxid, melyekből jó lézertükröket lehet készíteni. Időközben lézeres kollégákkal beszélgetve rájöttem, hogy komoly gondok vannak a rövid impulzusú lézerek fejlesztésében, és ezek a problémák leginkább az optikai vékonyrétegek oldaláról jelentkeznek. Korábban a kutatók nem nagyon foglalkoztak azzal, hogy milyen optikai bevonatokat lehet jól használni ezekhez a rövid impulzusú lézerekhez, és föl se nagyon vetődött az a gondolat, hogyan lehetne ezekkel az optikai bevonatokkal úgy manipulálni, olyan új szerkezeteket kitalálni, melyek segítenék a rövid impulzusú lézerek kifejlesztését.

Közismert, hogy a lézereket nagyon sok területen használják. Én a nagyon rövid impulzusú lézerek fejlesztésén dolgozom. Ilyen kutatásokat csak a nagyon magas technikai színvonalon álló országokban, Nyugat-Európában, az Egyesült Államokban, Japánban végeznek. Ezeket a lézereket, illetve a velük meghajtott ún. parametrikus oszcillátorokat használják pl. a félvezetőiparban a nagyon gyors spektroszkópiai vizsgálatokhoz, alkalmazzák a vegyészek is molekulák felépülésének és felbomlásának vizsgálatára, mert ezek nagyon rövid időtartamú folyamatok, a másodpercnek a 10^{-15}-ös tartományában zajlanak le. Ez olyan rövid idő, hogy a fény 10^{-15} másodperc alatt 0,3 mikronnyi távolságot halad, míg ugyanez másodpercenként 300 000 kilométert tesz meg. Ha például lenne olyan optikai szálas rendszerünk, melyben ilyen időközönként tudnánk információt továbbítani, akkor egy másodperc se kellene ahhoz, hogy az egész Encyclopaedia Britannicát átküldjük egyik helyről a másikra.

A lézerek fontos alkotóeleme egyrészt a lézeraktív anyag, ezek lehetnek gázok, hogy csak a legismertebbet említsem, hélium és neon keveréke, mely például piros fényt ad ki. Ahhoz, hogy nagyon rövid impulzusokat állíthassunk elő, olyan lézeraktív anyagra van szükségünk, mely nagyon széles tartományban fluoreszkál, vagy képes erősíteni. A rövid impulzusú lézereknél optimális esetben az impulzushosszak attól függnek, hogy milyen széles fluoreszcencia-tartománnyal rendelkezik a lézeraktív közeg. Régebben erre festékeket használtak, a 80-as években nálunk is végeztek ilyen irányú kutatásokat. Bor Zsolt nevét említeném, aki a szegedi egyetem optikai és kvantumelektronikai tanszékének vezetője. Ő és kollégái tehát már elég régóta foglalkoznak ilyen rövid impulzusú lézerekkel. A festékekkel rengeteg probléma volt, nagyon nehezen lehetett a folyamatos működésüket fenntartani. A 80-as évek végén fölfedeztek több más lézeraktív anyagot, melyek szilárd testek, hosszabb az élettartamuk. Egyik ilyen anyag, melyről Moulton publikált, a titánadalékolt zafírkristály. Ennek az a tulajdonsága, hogy nagyon széles hullámhossztartományban – 650–1100 nanométer – fluoreszkál.

A lézerek másik fontos alkotórésze legalább két tükör. Az én feladatom az, hogy ezekhez a rendszerekhez a lehető legjobb lézertükröket kifejlesszem. Az biztos volt, hogy nagy visszaverőképességű bevonatok kellenek. A legnagyobb gond az volt, hogy nagyon széles ez a fluoreszcencia-tartomány, és ahhoz, hogy ilyen rövid impulzusokat létre tudjunk hozni, olyan tükröket kell készíteni, melyek lefedik ezt a teljes hullámhossztartományt. A klasszikus lézertükrök vagy nem voltak megfelelőek a sávszélességet tekintve, vagy ha lefedték, nagy problémák voltak a diszperziós tulajdonságaikkal, s nem tették lehetővé rövid impulzusok előállítását.

Mik az alapvető feltételek ezeknek a rövid impulzusú lézereknek a működéséhez? Fontos ez a széles fluoreszcencia-tartományú lézerközeg, aztán az önfázis-moduláció, ami azt jelenti, hogy a nagy térerősségek következtében a lézeraktív kristályban áthaladó fény fázisa változik, és ez egy ún. chirp-et, magyarosan csörpöt hoz létre ebben az impulzusban. A csörp időben változó frekvenciát jelent. Ahhoz, hogy egy ilyen rövid impulzus létrejöjjön, nem mindegy, hogy mi-

Egy csörpölt tükröket tartalmazó módusszinkronizált titán–zafír lézer

lyen az előjele ennek az önfázis-modulációnak. Arra van szükség, hogy éppen egy fordított előjelű, tehát egy anomáliás diszperzió legyen a rendszerben, ami természetes körülmények között nem létezik. Mielőtt elkezdtem ezen a témán dolgozni, két klasszikus megoldás létezett. Az egyiknél ún. Brewster-szögben beállított prizmapárokat helyeztek a lézerbe. A másik megoldás a rácspárok alkalmazása, de ezeknek a reflexiója viszonylag kicsi. Mindegyiknek volt valami hátránya. Ezeknek a prizmapároknak a diszperziós tulajdonságai távolról sem ideálisak. A másik korlátozó tényező a tükrök sávszélessége volt. Gyakorlatilag tíz femtoszekundumnál véget ért a tudomány; sehol a világon nem tudtak olyan impulzusokat előállítani, melyeknek az impulzushossza ez alá került volna.

Az én ötletem az volt, hogy olyan tükröket kellene tervezni, melyek lefedik ezt az egész fluoreszcencia-tartományt, és egyúttal, amikor a fényimpulzusok visszaverődnek, létrehozzák ezt az anomáliás diszperziót. Úgy képzeltem el, mint egy falat, aminek nekidobunk egy labdát, és az valamennyi idő alatt visszapattan. Nekem olyan falakat kellett csinálnom, hogy ha eldobok egy kék labdát, az visszajön valamennyi idő alatt, egy zöld labda egy hátrébb lévő falról hosszabb idő alatt jön vissza, egy harmadik, piros labda a legtávolabbi falról pedig a leghosszabb idő alatt. Hogyan lehet ilyen falakat készíteni? Képzeljünk el olyan tükröket, melyek csak bizonyos keskeny hullámhosszú tartományokban reflektálnak. Készítsünk olyan tükröt, mely először a kék, aztán a zöld, végül a piros fényre reflektál, s ezeket helyezzük egymás mögé. Ilyen dielektrikumtükröket lehet készíteni – elvben. Gyakorlatban viszont nagyon nehéz volt ezeket a rendszereket megvalósítani. Képzeljünk el egy üveghordozót, melyen rajta vannak ezek a különböző törésmutatójú rétegek. A törésmutató változhat egy folytonos függvény szerint, de ezeket a gyakorlatban a technológiai korlátok miatt nehéz megvalósítani. Ezért nekem olyan bevonatokat kellett tervezni, amelyek csak diszkrét törésmutatójú értékekből álltak, de ezeket már nagyon nehéz analitikusan kezelni. Megkonstruáltam egy ilyen diszkrét rétegekből álló szerkezetet, készítettem egy számítógépprogramot, mely megtervezte ezeket a rendszereket. A megtervezett rendszerek pedig mutatták ezt a bizonyos anomális tulajdonságot. Most már csak az volt a kérdés, meg lehet-e csinálni a gyakorlatban. Szerencsémre pont egy ilyen vékonyréteg-párologtató laboratóriumban dolgozom, ahol Ferenc Kárpát kollégám – merem állítani – világviszonylatban is az egyik legjobb szakember, aki ilyen lézertükröket tud készíteni. Meg is csinálta őket. Még mindig kérdéses volt, hogy ezek a diszperziós tulajdonságok valóban olyanok-e, mint amilyeneknek megterveztem és persze az, hogy a segítségükkel lehet-e ilyen lézereket építeni.

Abban az időben már elég jó munkakapcsolatban álltunk a bécsi műszaki egyetemen dolgozó kollégákkal, köztük a magyar származású Krausz Ferenccel. Megkérdeztem, érdekli-e őket ez a téma. Nagyon jól álltak hozzá. 1993-ban Bécsben lemértük a tükrök diszperziós tulajdonságait és rögtön utána megépítettük az első olyan lézert a világon, amely nem tartalmazott prizmapárokat. Nagy örömünkre az első lézer olyan rövid impulzusokat produkált, mint a korábbi legjobb rendszerek. Rögtön publikáltuk is az eredményeket a legkülönbözőbb külföldi szakfolyóiratokban, itthon pedig az Országos Találmányi Hivatalban szabadalmaztattam. Konferenciákon is bemutattuk ezeket az eredményeket. Anyagi lehetőségek híján jómagam akkor még egyikre sem tudtam kiutazni. Komoly nemzetközi visszhangja lett az eljárásnak. Megépítettünk tehát egy olyan lézert, mely az összes korábbinak a hátrányos tulajdonságait kiküszöböli. Egy másik fontos lépés volt egy diszperziómérő rendszer kifejlesztése, melyet a szegedi József Attila Tudományegyetemen dolgozó kollégákkal, Bor Zsolttal, Kovács Attilával és Osvay Károllyal végeztünk. Ahogyan az első tükrök elkészültek, több helyről is jelezték, hogy szeretnének ilyen lézereket építeni. Most már van ilyen a Max Planck Intézetben, Münchenben, az Egyesült Államokban, Japában, összesen vagy 10–12 helyen.

Amikor ezen a témán dolgoztam, az elég nehéz periódusa volt az életemnek. Nem emlékszem már, mennyi volt a fizetésem, de a rezsi meg a törlesztések a nagy részét elvitték. Szoktam is mondani, hogy a kutatásaimat a szüleim finanszírozták. Nagyon nem zavart az anyagi állapotom, mert láttam, hogy a korombeli kutatótársaimmal ugyanabban a lyukas cipőben járunk. Mára sem gazdagodtam meg belőle, egy rozsdás Škodám van. Nem tudom, ha mindezt külföldön csinálom meg, hogyan alakul az életem, ott biztosan jobbak a kutatási feltételek és a fizetések. Nemrég jártam San Diegóban, ott a százszorosát, ha nem az ezerszeresét fordíthatják ugyanilyen célú kutatásokra. Egy időben gondoltam rá, hogy elmegyek a bécsi műszaki egyetemre dolgozni, s hogy mégis maradtam?... Család, ragaszkodás? ... Az egyik nagymamám az Egyesült Államokban született, aztán a dédszüleim úgy döntöttek, hogy hazajönnek... valahogy ragaszkodunk ehhez az országhoz, az emberekhez, a kultúrához. Ha egy hónapig külföldön vagyok, már honvágyam van.

Úgy érzem, most már van valami nevem a szakmában. Nemrégiben meghívtak Hamburgba az Európai Kvantumelektronikai Konferenciára két előadás megtartására. Nagyon örültem, mert az előadóterem kicsinek bizonyult, amikor az én előadásom került sorra.

A Gábor Dénes-díj odaítélésébe egy másik eredményem is közrejátszott. Ahogy megépítettük ezt a bizonyos első lézert, volt egy nagyon aktuális probléma a kvantumoptika témakörében. Wigner Jenő még az ötvenes években végzett egy számítást, melynek lényege, hogy ha van egy potenciálgát, és ezen áthalad egy elektron, akkor az áthaladási sebessége nagyobb lesz a fénysebességnél. Ezt nagyon nehéz volt kísérletileg bizonyítani. Annak bizonyítását, hogy ez az áthaladási idő független a potenciálgátnak a szélességétől, nekünk sikerült először elvégezni 1994-ben. Néhány alapvető fizikai folyamatnak a megértéséhez fontos volt ennek a lézernek a megépítése. Ezeket lézererősítő rendszerek meghajtására is alkalmazzák, tervezik a használatukat részecskegyorsítókban, telekommunikációs rendszerekben, és terveznek vele lézerfúziós kísérleteket. Ezek még mindig kutatási stádiumban vannak, egyszóval lehetséges alkalmazási területek.

A jövő? Azt szeretném, ha itthon, normális körülmények között, jó felszereléssel, nem éhezve lehetne dolgozni, jól felkészült fiatal kollégák társaságában. Ha ennek a cikknek semmi más haszna nem lesz, csak az, hogy egy-két egyetemistának felkelti az érdeklődését, hogy ezzel a témával kíván foglalkozni és nálam akarja írni a doktoriját, már megérte.

Egyébként a Guinness Rekordok könyvében szerepelt vagy tán még mindig szerepel egy bejegyzés, hogy a világon a legrövidebb fényimpulzus 6 femtoszekundum. Azok a lézerrendszerek, amelyek az én közreműködésemmel készültek idén nyáron Hollandiában és Ausztriában, ennél többet, vagyis rövidebb időket tudnak. Mindemellett nem különösebben vágyom rá, hogy bekerüljek a Rekordok könyvébe.

Lejegyezte:
NÉMETH GÉZA