

GYÉMÁNT IVÁN*

Fizikai kutatások Szegeden. Portrék szegedi fizikusokról

Az Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék kutatói

1989. július 1-ji hatállyal alakult meg az Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék a Kísérleti Fizikai tanszék kettéválásával. Az új tanszék vezetője Bor Zsolt (1949–) egyetemi tanár lett, oktatók és kutatók: Ketskemény István (1927–2007), Dombi József, Rácz Béla, Gáti László docensek, Szörényi Tamás, Heszler Péter tudományos munkatársak, Farkas Éva, Hebling János, Klebniczki József, Farkas Zsuzsanna, Szabó Gábor, Hilbert Margit, Hopp Béla adjunktusok, demonstrátorok: Benkő Zsolt és Osvay Károly. A két Tanszék között megosztásra kerültek a Dóm téri és a Béke-épületben lévő oktatási és kutatói helyiségek. Az MTA Lézerfizikai Tanszéki Kutatócsoportnak is Bor Zsolt lett a vezetője, mellette tudományos tanácsadóként dolgozott Ketskemény István nyugalmazott egyetemi tanár (professzor emeritus). A Kutatócsoport és a Tanszék szorosan együttműködött a lézerek fejlesztésére és alkalmazására irányuló kutatásokban.

A tanszék megalakulásakor az oktatási feladat főleg a fizikus (10–12 fő) és a fizikatanár (70–80 fő) szakos hallgatók képzésében való részvétel volt a Mechanika, Hullámtan és Optika, Rendszerelmélet, Kísérleti Spektroszkópia főtárgyak és speciális kollégiumok oktatásával, továbbá laboratóriumi gyakorlatok tartásával. Emellett a vegyész szakos hallgatóknak a tanszék oktatói Kísérleti fizika és a Kísérleti fizikai laboratóriumi gyakorlatok kurzust tartottak. A Kémiai Tanszékcsoport által a 90-es évek végén indított új szakok – környezettan tanár, vegyész-fizikus laboratóriumi operátor, klinikai kémikus és az igen népszerű környezettudományi szak – esetében egyrészt a „szokásos” alapozó kísérleti fizika kurzusok oktatása volt a feladat, de több, a környezettudományhoz kapcsolódó új kurzus oktatása is elkezdődött. Ezen hallgatóknak Szabó Gábor Spektroszkópia a környezetkutatásban, Fizika mérnököknek, és Kísérleti fizika informatikusoknak című kurzusokat indított.

Az ezredforduló tájkán felmerült az igény alkalmazott tudományokra épülő szakok indítására. Ennek megfelelően a Fizikus Tanszékcsoport 2001-ben a fizika alkalmazásaihoz kapcsolódó új szakokat indított: biofizikus,

* Szerkesztette Gyémánt Iván.

csillagász, informatikus-fizika, és alkalmazott fizikus szak. Mindegyik szakon évente átlagosan 10 hallgató kezdte meg a tanulmányait.

2006-tól bevezetésre került a bolognai rendszer, így a fent említett szakok oktatása felmenő rendszerben befejeződik. Az új, két lépcsős képzésben mind BSc szakok (fizika, kémia, környezettan, anyagmérnök, biomérnök, környezetmérnök és mérnökinformatikus), mind MSc szakok (fizikus, csillagász, fizikatanár, környezettudomány, vegyés) oktatása folyik. A fizika BSc szakon a képzés bevezetése óta eleinte emelkedett a hallgatói létszám (40 fő–60 fő), az utóbbi években viszonylag alacsony. Az MSc képzés fokozatosan indult be. Fizikus MSc szakon az első meghirdetéskor, 2009-ben 9 fő, 2010-től 20 körüli a hallgatói létszám. A fizikatanár MSc szakon alacsony a jelentkezők száma (2009: 4 fő, 2010: 3 fő). A fent említett szakok szinte mindegyike esetében a nappali tagozat mellett nagyszámú hallgatót képviselő levelező tagozaton is oktatjuk a hallgatókat.

Az új tanszék dolgozói és a kutatócsoport tagjai a Kísérleti Fizikai Tanszéken megkezdett kutatási témák folytatásán dolgoztak. A 70-es évektől a festéklézerek, majd festéklézerek gerjesztésére használható kellően gyors, kellően intenzív impulzusüzemű N₂ és excimer lézerek előállítására valósult meg (Ketskeméty István, Rác Béla, Bor Zsolt, Kozma László, Szabó Gábor, Német Béla, Hebling János, Sánta Imre, Klebniczki József). A 80-as években a vizsgálatok a lézerekből kijövő energia és teljesítmény növelésére, valamint az impulzusok hosszának csökkentésére irányultak és jártak eredménnyel. Ezekre a kutatásokra épült a Magyar Tudományos Akadémia és a Deutsche Forschungsgemeinschaft közötti együttműködés, amelynek köszönhetően 1980 és 1989 között Bor Zsolt hat és fél, Rác Béla három és fél, és Szabó Gábor négy és fél évet dolgoztak Göttingenben a Max Plank Institut für Biophysikalische Chemie Lézerfizikai Osztályán.

Az anyagtudományok terén is kiemelkedő eredmények születtek a mikroméretekre lokalizált lézeres felületmegmunkálásban. A linzi Johannes Kepler Egyetem Alkalmazott Fizikai Intézetével együttműködve jelentős eredmények születtek a lézeres kémiai gőzfázisú leválasztás kinetikájának kísérleti vizsgálatában (Szörényi Tamás, Tóth Zsolt, Kántor Zoltán).

A lézerkutatások mellett, a klasszikus lumineszcencia-vizsgálatok keretei között a Tanszék kutatói foglalkoztak az ún. lumineszcens napkollektorok tanulmányozásával is (Farkas Éva, Hilbert Margit, Farkas Zsuzsanna), 1995-től sejtbiológiai kutatások is folytak az SZTE Mikrobiológiai Intézetével közösen (Bálint Erzsébet).

A tanszék eredményes működését jelzik a kutatók, oktatók tudományos fokozatszerzései, a sikeres kutatói pályázatok, illetve a társadalmi elismerések nagy száma.

- Bor Zsolt 1990-ben az MTA levelező, majd 1994-ben rendes tagja lett.
- Szabó Gábor 2004-től az MTA levelező, majd 2010-től rendes tagja lett.
- Fizikai tudomány doktora címet szerzett 1993-ban Rácz Béla és Szabó Gábor, melyet követően egyetemi tanári kinevezést kaptak. 2009-ben Hopp Béla, 2013-ban Bozóki Zoltán szerzett tudományok doktora tudományos címet. Többen habilitáltak fizikából.
- 1995-ben kandidátusi fokozatot szerzett Osvay Károly, Hopp Béla, Farkas Éva és Bálint Erzsébet (Biofizikai Tanszék). Farkas Éva több éven keresztül tanszékvezető-helyettesként dolgozott, az 1995-ben bekövetkezett haláláig. Munkáját Bálint Erzsébet folytatta a „Lumineszcencia alkalmazása humán sejtek vizsgálatára” c. témával a SZOTE Mikrobiológiai Intézetével való kooperációban.
- PhD-fokozatot szerzett Geretovszky Zsolt, Kovács Attila, Horváth Zoltán, Mechler Ádám, Tóth Zsolt, Kántor Zoltán, Vinkó József, Farkas Zsuzsanna, Hilbert Margit, Varjú Katalin, Mohácsi Árpád, Szakáll Miklós, Erdélyi Miklós, Smausz-Kolumbán Tamás, Balog Zoltán, Fűrész Gábor, Mészáros Szabolcs és Dombi Péter.
- Bor Zsolt több rangos kitüntetés mellett 1998-ban megkapta Szeged Pro Urbe díját, 2004-ben kiemelkedő tudományos és iskolateremtő munkásságáért Bolyai-díjat, 2012-ben Magyar Corvin Láncot, 2013-ban Prima díjat kapott.
- Rácz Béla és Szörényi Tamás 2006-ban Magyar Köztársasági Érdemrend tisztikeresztje állami kitüntetést kapott.
- Szabó Gábor 2000-ben Akadémiai díjat, 2004-ben Gábor Dénes-díjat, 2009-ben a Magyar Köztársasági Érdemrend tisztikeresztjét és Szeged város Pro Urbe díját kapta, 2010-ben megkapta a Szegedért Alapítvány Szőkefalvi-Nagy Béla-díját.
- A TTIK Tudományos díját kapták: Csete Mária (2012) és Smausz Kolumbán Tamás (2013), Erdélyi Miklós (2014). TTIK Nívódíját kapta Németh Olga (2014).

A tanszék oktatói a kari és egyetemi feladatok ellátásából is kiveszik részüket vezetőként és különböző bizottságok tagjaként. Rácz Béla 1994 és 2000 között általános, majd 2003–2013 között stratégiai rektorhelyettesként dolgozott. Szabó Gábor 2010-től a Szegedi Tudományegyetem rektora. Osvay Károly kezdetektől részt vett a nemzetközi ELI-ALPS (Extrem Light Infrastructure Attosecond Light Pulse Source) projekt kutatási programban: először a magyar résztvevői oldalról a WP4A munkacsoport vezetőjeként, majd a hazai ELI-ALPS programot 2010 óta segíti tudományos projektmenedzseri beosztásban. 2012-től az ELI-Hu Nonprofit Kft. tudományos munkacsoport vezetője, 2013 októberétől kutatási technológiai igazgatója.

2006-tól Bor Zsolt hosszú külföldi tanulmányútja miatt az Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék vezetője Rácz Béla professzor, majd 2011 szeptemberétől Osvay Károly docens. 2013. február 1-től Hopp Béla docens vezeti a tanszéket, helyettesei: Kovács Attila és Vinkó József.

A tanszék kutatási témáinak a fejlődés következtében szerteágazóvá válása tette szükségessé kutatócsoportok létrehozását, melyek, mint az alábbi beszámolókból is kiderül, jelenleg is eredményesen működnek a különböző szakterületeken.

Fizika ultrarövid lézerimpulzusokkal

Magyarországon a fotonika és azon belül a lézerek és az azokon alapuló tudományos kutatások részaránya az összes tudományterülethez képest jelenleg messze elmarad a nemzetközi trendektől. A lézerekkel és optikával, valamint felhasználásukkal kapcsolatos K+F tevékenység az egyetemeken és az akadémiai kutatóintézeteken zajlik, valamint a velük együttműködő szervezeteknél, összesen néhány száz főt foglalkoztatva. A hazai, e területen tevékenykedő vállalkozások száma néhány tucat, melyek jellemzően az egyetemekhez és kutatóintézetekhez kötődő innovatív mikro-, illetve kisvállalkozások. A lézerek ipari szintű hazai felhasználása mára a járműiparra koncentrálódik.

A hazai lézeres és lézereken alapuló alap- és alkalmazott kutatás – a viszonylag kis méret ellenére – ugyanakkor nemzetközileg elismert és sikeres, olyannyira, hogy az ELI nemzetközi előkészítő konzorciuma a magyar helyszínpályázatot támogatta, és Szegedet jelölte ki az ELI-ALPS (attoszekundumos kutatóintézet) helyszínéül.

A szegedi helyszínen felépülő, a világon a legnagyobb fényerővel rendelkező attoszekundumos lézerforrás, illetve egy 10–20 PW teljesítményű beamline rendszer amellet, hogy eddig példátlan kísérleti lehetőségeket fog biztosítani a lézeres részecskegyorsítás, a lézer generált röntgensugarak területén, extrém intenzitású, attoszekundumos pumpa-próba kísérleteket is lehetővé fog tenni.

Mivel Magyarország kulcsszereplővé lépett elő az ELI projektben, a magyar lézerfizikus társadalom két jelentős kihívás előtt áll. Elsőként a lézerfizikus társadalom tudományos potenciálját szükséges úgy felfejleszteni, hogy teljes értékű partnerként vehessen részt az ELI technológiai kihívásainak megoldásaiban. Másodsorban igen fontos, hogy a magyar lézertudósok hozzáegítsék a magyar tudományos társadalom egészét és a különféle vállalkozásokat, hogy a számukra legkedvezőbb módon tudjanak élni az ELI magyarországi megvalósításából adódó lehetőségekkel.

A Szegedi Tudományegyetem Optikai és Kvantumelektronikai Tanszéke és a hozzá tartozó TeWaTi laboratórium az ELI kutatóközpont számára képez tudósokat. Osvay Károly alapította a TeWaTi lézer laboratóriumot a célból, hogy rövid impulzusú, nagy energiájú lézereket és alkalmazásaikat lehessen tanulmányozni. A munka vázlatok készítésével kezdődött, majd megépítették a laboratóriumot és a lézerrendszereket is. A TeWaTi laboratórium elsőként adott helyet az akkori új EU tagállamokban egy multiterawatt osztályú femtoszekundumos lézernek, ami 35 mJ, 20 fs lézerimpulzusokat bocsátott ki 800 nm-en, 10 Hz ismétlési értékben.

TeWaTi és hELIos femtoszekundumos lézerlaboratórium és kutatócsoport

Vezető: Dr. Osvay Károly

A bennünket körülvevő világ fizikai, biológiai és kémiai elemi folyamatainak nagy része femto-, illetve attoszekundumos (10^{-15} s – 10^{-18} s) időskálán játszódik le. A mai lézertechnikában azonban már előállíthatóak olyan ultrarövid lézerimpulzusok, amelyek segítségével ezen elemi folyamatok kísérleti vizsgálata is lehetséges. Lézerlaboratóriumunkban femtoszekundumos impulzusokat állítunk elő, erősítjük őket, s az így felerősített ultrarövid impulzusokkal végzünk kísérleteket, valamint ezek tulajdonságait vizsgáljuk. Megfelelő paraméterű femtoszekundumos impulzusokat nemesgázba fókuszálva pedig már attoszekundumos impulzusok keltésére is lehetőségünk van. További információk: www.tewati.eu

Kutatási módszerek, főbb kutatási területek

Femtoszekundumos impulzusok előállítása, erősítése: fázismodulált-impulzus erősítésen alapuló rendszer

Attoszekundumos fizika: magasharmonikusok generálása, attoszekundumos impulzusok keltése

Impulzusdiagnosztikai rendszerek fejlesztése: spektrálisan bontott interferometriai módszerek; vivő-burkoló fázis vizsgálata és stabilizálása

Biológiai, biokémiai minták időbontott spektroszkópiai vizsgálata pumpa-próba kísérletekkel

Oldatok, gázok, bevonatos tükrök, prizmák, fotonikus szálak és egyéb optikai elemek diszperziójának mérése

Optikai elemek sérülésküszöbének lézeres vizsgálata különböző tulajdonságú lézerimpulzusokkal

hELIos hallgatói labor: oktatás és felkészítés a lézerekkel kapcsolatos kutatómunkára pl. az ELI-ALPS-ban



Femtosekundumos
lézeroszcillátor



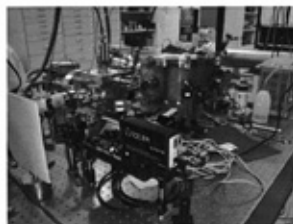
Nagy intenzitású lézererősítő rendszer



Kriogenikus kamra, nagy teljesítményű lézerek



Optikai spektrométerek és interferométerek



Magasharmonikus keltő rendszer és diagnosztika

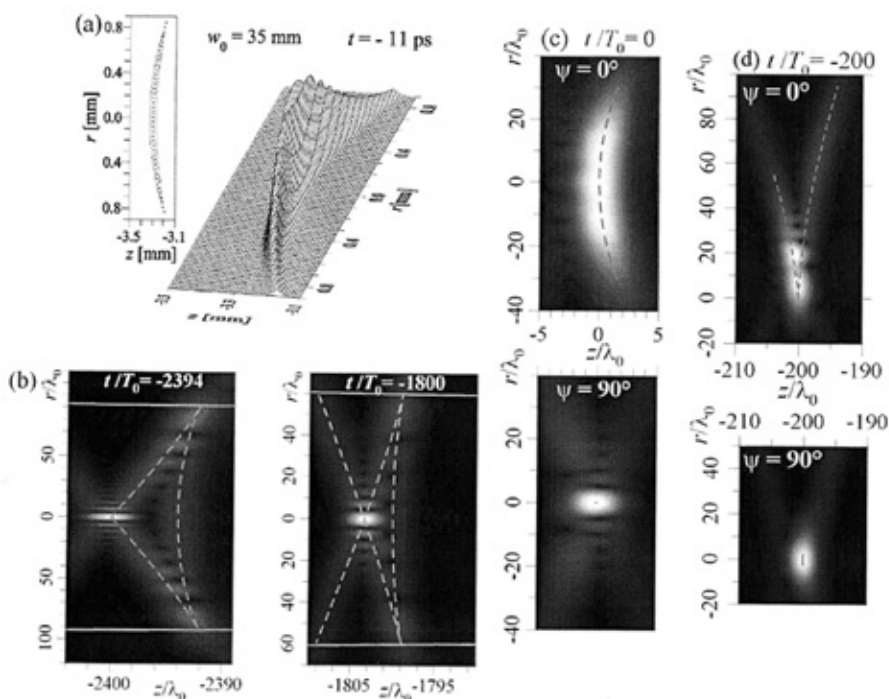


Repülési Idő Elektron-spektrométer

1. ábra. Eszközpark

Elméleti optikai kutatások:

Az Optikai és Kvantumelektronikai Tanszéken már évtizedek óta folynak az ultrarövid lézerimpulzusok kísérleti alkalmazásaihoz szorosan kapcsolódó elméleti kutatások is. Az elsősorban dr. Bor Zsolt és dr. Horváth Zoltán nevéhez fűződő vizsgálatok arra kívánnak válaszokat keresni, hogy a lézernyalábok fókuszálása, amely a kísérletekben szükséges fényintenzitások eléréséhez elengedhetetlen, milyen hatással van a lézerimpulzusok jellemzőire. Fontos kérdést jelent például a fényképészet világából is ismeretes leképezési hibák ultrarövid fényimpulzusok alakjára gyakorolt torzító hatásainak precíz elméleti úton történő vizsgálata. A kutatások rámutattak, hogy a leképezési hibák, amelyek egy fókuszáló lencse vagy tükör tökéletlenségeiből vagy egyszerűen csak normál jellemzőiből adódnak, a kísérletek és alkalmazásaik szempontjából jelentős befolyással bírnak a fókuszált lézerimpulzusok alakjára. A korábban vizsgált színi hiba mellett a legújabb eredmények megmutatták a hibamentes esettől (2. a) ábra) való eltéréseket a gömbi hiba (2. b) ábra), az asztigmatizmus (2. c) ábra) és a kóma (2. d) ábra) esetén is, amelyek kiküszöbölése a fotótechnológiai mérnökök számára is sokszor fejtörés okoznak, és amelyek eredmények óvatosságra intik az ilyen technológiával dolgozó kutatókat.

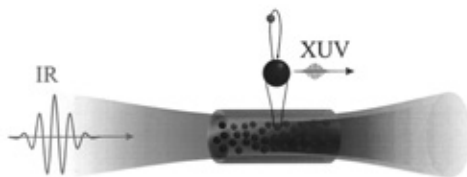


2. ábra

Attoszekundumos fizika kutatócsoport

Vezető: Dr. Geretovszkyné Varjú Katalin

A lézertechnológia rohamos fejlődése, az egyre növekvő intenzitások elérése új tudományterületek felé nyit utat. Ma már egyetemi laboratóriumokban rutinszerűen előállíthatóak olyan intenzív lézerterek, melyek esetében az elektromos térerősség eléri, sőt meghaladja az atomok, molekulák elektronjait kötő (Coulomb-) tér nagyságát. A nagy intenzitású (10^{14} W/cm²) lézertér képes atomok vagy molekulák elektronjainak kiszakítására (optikai ionizáció), és a szabaddá vált elektronok gyorsítására.



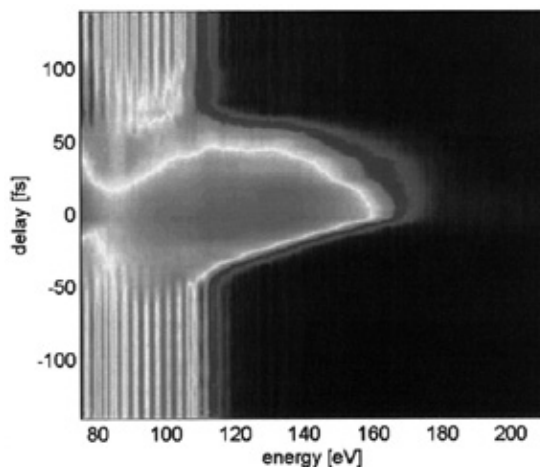
3. ábra

Ha az elektron visszajut az iontörzs közelébe, ott befogódhat, és energiája egy nagy energiájú (magas harmonikus, XUV) foton formájában kibocsátódik. Ez a sugárzás attoszekundumos (10^{-18} s) impulzusokat tartalmaz. Az attoszekundumos impulzusok a jelenleg előállítható legrövidebb fényimpulzusok, melyek segítségével fizikai folyamatok az elektronok dinamikája szintjén vizsgálhatók.

A kutatócsoport fő érdeklődési területe az attoszekundumos impulzusok keltésének vizsgálata, optimalizációja. A vizsgálatokat elméleti modellekkel és kísérleti módszerekkel végzik.

Legfrisebb kutatási eredményeik:

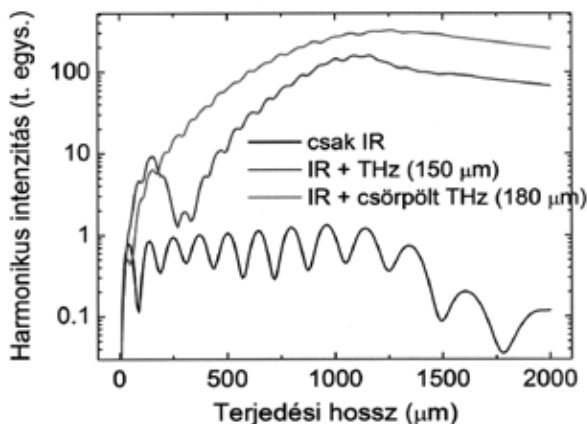
Kiterjedt vizsgálatokat folytattak annak meghatározására, hogy ha a lézermimpulzussal (800 nm , $6 \times 10^{14}\text{ W/cm}^2$, 672 MV/cm) együtt – vele azonos irányban terjedő – hosszabb hullámhosszú, kisebb intenzitású ($1,3 - 10\text{ }\mu\text{m}$, $100 - 300\text{ MV/cm}$) MIR vagy THz-es impulzus hogyan befolyásolja a keltett magas harmonikus sugárzás intenzitását, sávszélességét, illetve az attoszekundumos impulzusok számát.



4. ábra

Elméleti és kísérleti eredményekkel igazolták, hogy a szinkronizált hosszú hullámhosszú segédter lényegesen megnöveli az elérhető spektrális sávszélességet, és lehetővé teszi egyetlen attoszekundumos impulzus izolálását.

Az attoszekundumos impulzusok keltésének hatásfoka meglehetősen alacsony ($10^{-5} - 10^{-6}$), ezért a tématerületen komoly erőfeszítéseket tesznek a keltendő sugárzás intenzitásának növelésére. A szegedi kutatócsoport vizsgálatokat végzett hosszú hullámhosszú fényimpulzus alkalmazására ezen területen is.



5. ábra

A gáz targetben a keltő lézertér terjedési irányára merőlegesen haladó (néhány száz mikrométer hullámhosszúságú) THz-es impulzus lokálisan modulálva a lézertér impulzus térfogatát, lehetővé teszi a gázcella különböző pontjaiban keltett elemi harmonikus komponensek erősítő interferenciáját (kvázi-fázisillesztés), így a keltett sugárzás intenzitásában több nagyságrendnyi növekedés érhető el.

Extrém széles sávú keltő lézertér precíz hangolásának hatását genetikai algoritmus alkalmazásával vizsgálták a kelhető attoszekundumos impulzusok időbeli struktúrájának optimalizálása céljából. Sikeresült a rendszert optimalizálni minimális impulzushossz, illetve kettős impulzusok elérésére. További vizsgálataik között szerepel XUV tartományban kis veszteséggel működő impulzus alakformáló elrendezés kompresszálo hatása, illetve a gáz target makroszkopikus paramétereinek (nyomás, hossz) hatása a keltett attoszekundumos impulzusok alakjára.

A kutatást hazai és az FP7 Marie Curie Initial Training Network (ITN) ATTOFEL elnevezésű konzorcium partnereivel végeztük. További információk, hivatkozások a <http://titan.physx.u-szeged.hu/~atto> oldalon találhatóak.

Irodalom:

- Borzsonyi, A. P. Kovacs, K. Osvay: What We Can Learn about Ultrashort Pulses by Linear Optical Methods, *Appl. Sci.* 3, (2013) 515.
- M. Mero, F. Frassetto, P. Villoresi, L. Poletto, K. Varjú: Compression Methods for XUV Attosecond Pulses, *Optics Express* 19, (2011) 23420.

- L. Fábán, Z. Heiner, M. Mero, M. Kiss, E.K. Wolff, P. Ormos, K. Osvay, A. Dér: Protein-based ultrafast photonic switching, *Opt.Express* 19, (2011) 18861–18870.
- Z. Horvath, B. Major, A. Kovacs, Zs. Bor: Pulse front distortions caused by primary aberrations, *J. Opt. Soc. Am. B*, 30 (2013) 1853–1863.

Lézeres anyagmegmunkálás

Nano- és mikromegmunkálási csoport

Vezető: Dr. Geretovszky Zsolt

Az MTA Lézerfizikai Tanszéki Kutatócsoportjában az 1980-as években dr. Szőrényi Tamás szakmai irányításával kezdődtek a lézeres anyagtudományi kutatások. A munkát, amelynek az alábbiakban csak egy szűk metszetét van lehetőségünk bemutatni, az alapvető folyamatok megértésének szándéka és az alkalmazási területek feltárása egyaránt motiválta.

A céltárgyra eső nagy energiájú lézerimpulzusok a céltárgy anyagának eltávozását eredményezik, amit a szakirodalom ablációnak nevez. Ez a folyamat a felület mintázására, illetve az eltávolított anyag felfogásával vékonyréteg építésre egyaránt lehetőséget nyújt. Vékonyréteg céltárgy esetében a lézerparamétereket lehetséges úgy megválasztani, hogy a megmunkált terület egészben, döntően mechanikai folyamatok révén távolítsuk el. Ezen folyamat mechanizmusát kutatva a mikroelektronikai maszkok lézeres másolással (LIFT) kivitelezett javítása és a lézerekkel történő vékonyréteg napelemstruktúrálás területén értünk el nemzetközileg is elismert eredményeket (Buzás A. és Geretovszky Zs., 2012).

Ha az intenzitás olyan nagy, hogy az anyag plazma formájában távozik, a komponenseket a céltárggyal szemközt elhelyezett hordozón felfogva különleges tulajdonságú vékonyrétegeket építhetünk. Magyarországi meghonosítása után ezen klasszikus PLD-technika alkalmazásában nemzetközi visszhangot keltő eredményeket értünk el. Észrevéve, hogy a lézerrel keltett plazmából nem csak a hordozó, hanem a céltárgy irányában is áramlik anyag, kidolgoztunk és szabadalmaztattunk egy új, inverz PLD-nek nevezett technikát, mellyel a klasszikus elrendezésben épülő vékonyrétegeknél jobb (homogénebb) tulajdonságú filmek hozhatók létre (Égerházi L. és mtsai., 2005).

A 2000-es évek közepétől a csoport érdeklődése – már Geretovszky Zsolt vezetése alatt – a nanovilág felé fordult. Kihhasználva azt, hogy az ultragyors lézerek szub-pikoszekundumos impulzusai a fény-anyag kölcsönhatás koráb-

ban nem ismert mechanizmusait nyitják meg, jelentős eredményeket értünk el nanorészecskék közvetlen lézeres előállítása területén is. Ezzel együtt, ma már a lézerek nem kizárólagos eszközeink a nanostruktúrált anyagi rendszerek előállítása és kutatása során.

Irodalom:

- Buzás and Zs. Geretovszky: Nanosecond laser-induced selective removal of the active layer of CIGS solar cells by stress assisted ablation, *Physical Review B*, 85, 245304 [14 pages], 2012
- L. Égerházi, Zs. Geretovszky, and T. Szörényi: Thickness distribution of carbon nitride films grown by inverse pulsed laser deposition, *Applied Surface Science* 247, 182–187, 2005

Fény-anyag kölcsönhatási csoport

Vezető: Dr. Hopp Béla

A tanszék 1989-es megalakulása után a csoport munkatársai, kezdetben Ablációs kutatócsoport néven, elsősorban polimerek és biológiai szövetek excimer lézeres ablációját vizsgálták. Bor Zsolt, Szabó Gábor és Rác B. Béla professzorok vezetésével tanulmányozták a főbb maratási paramétereket, az anyageltávozási folyamatokat, illetve azok időbeli lefutását. Az excimer lézeres besugárzás segítségével különböző felületi struktúrákat, felületkémi változásokat hoztak létre a mintákon. Szemészeti törőerő korrekciós beavatkozások biztonságos és hatékony elvégzése szempontjából az SZTE Szemészeti Klinikájának munkatársaival együttműködve vizsgálták szaruhártya lézeres alakíthatóságát, magát a maratási mechanizmust, illetve az azt kísérő egyéb érdekes jelenségeket. Fogászati kutatásaik során bebizonyították, hogy az excimer lézeres besugárzás alkalmas fogkő és szuvas rész eltávolítására egyaránt. Az abláció jelenségét kihasználva vékonyrétegeket választottak le elsősorban polimerekből, bioanyagokból, orvosi, diagnosztikai alkalmazási lehetőségek felderítése céljából. Ennek a projektsorozatnak a keretében fogvékonyréteggel vontak be titán felületet, melynek célja az volt, hogy elősegítsék az ebből a fémből készült fogimplantátumok szervezetbe való beépülését, megtapadását. Az eljárással Teflon vékonyrétegeket választottak le allergén fém tárgyak felületére. Bebizonyították, hogy ezek alkalmasak lehetnek az emberi szövet és az allergén fémek egymástól való

elszigetelésére és ezáltal a fémallergiás reakciók elkerülésére. Egy új lézeres eljárás segítségével dr. Nógrádi Antal egyetemi docens segítségével élő humán sejtek kontrollált átvitelét valósították meg, amelynek a szövetépítés, sérült szövetek javítása területén lehet nagy jelentősége a jövőben (Hopp B. és mtsai., 2005).

Az utóbbi években az egyik fő kutatási területük átlátszó anyagok indirekt lézeres finommegmunkálása. Az általuk kidolgozott hátoldali száraz maratási eljárás lehetővé teszi nanotechnológiai struktúrák kialakítását, mikrooptikai elemek, mikrocatornák előállítását. Jelenleg az Institute of Electronic Structure and Laser (I.E.S.L.), Foundation for Research and Technology – Hellas (F.O.R.T.H.) (Heraklion, Crete, Greece) és a Leibniz-Institut für Oberflächen-modifizierung e.V. (Leipzig, Germany) intézetek kutatóival együttműködve azt vizsgálják, hogyan lehet különböző fém felületeken lézeres besugárással olyan nanostruktúrát kialakítani, melynek eredményeképpen az amúgy jól reflektáló minta reflexióképessége 5% alá csökken. Eddigi kísérleteik kimutatták, hogy a femtoszekundumos titán-zafír lézér alkalmas nem-reflektáló felületek létrehozására réz, ezüst és arany céltárgyon. A kialakuló struktúrák jellege nagymértékben függött az alkalmazott céltárgy anyagától (Hopp B. és mtsai., 2013).

A lézerek orvosi alkalmazásainak területén a csoport munkatársai többek között a lézeres véráramlásméréssel kapcsolatban végeznek fontos vizsgálatokat az Orvosi Fizikai, Orvosi Informatikai és Élettani Intézetek munkatársaival, Bari Ferenc professzor és Domoki Ferenc egyetemi docens csoportjával együttműködve. Erre a feladatra ígéretes megoldást jelent a lézeres szórás interferencia kontrasztelemezésen (Laser Speckle Contrast Analysis, LASCA) alapuló eljárás. A csoportban egy olyan, közel valós idejű méréseket végrehajtó LASCA mérőrendszer fejlesztésén dolgoznak, amely alkalmas nagyobb szövetterületek vérellátásának gyors, hatékony és megbízható vizsgálatára (Zölei D. és mtsai., 2012).

Irodalomjegyzék:

- B. Hopp, T. Smausz, N. Kresz, N. Barna, Zs. Bor, L. Kolozsvári, D.B. Chrisey, A. Szabó and A. Nógrádi: „Survival and proliferation ability of various living cell types after laser-induced forward transfer”, *Tissue Engineering* vol. 11, November 11/12 1817–1823 (2005)
- B. Hopp, T. Smausz, T. Csizmadia, Cs. Vass, Cs. Tápai, B. Kiss, M. Ehrhardt, P. Lorenz, K. Zimmer: „Production of nanostructures on bulk

- metal samples by laser ablation for fabrication of low-reflective surfaces”, Appl. Phys. A DOI 10.1007/s00339-013-7913-y, 113, 291–296 (2013)
- D. Zölei, T. Smausz, B. Hopp, F. Bari: „Multiple Exposure Time Based Laser Speckle Contrast Analysis: Demonstration of Applicability in Skin Perfusion Measurements” Photonics and Optoelectronics 1(2) 28–32 (2012)

Lézeres strukturálási csoport

Vezető: Dr. Vass Csaba

Napjainkban számos területen alkalmaznak átlátszó, optikailag kiváló minőségű, kémiaiailag stabil, semleges és ellenálló anyagokat, melyek a hagyományos felhasználási területek mellett (pl. nagy teljesítményű lézeroptikák) számos új területen is hódítanak. Alapanyagai lehetnek például a mikrofluidikában alkalmazott eszközöknek, valamint a megmunkálási technikák fejlődésével egyre inkább előtérbe kerülő mikrooptikai elemeknek is (magas roncsolási küszöbvel rendelkező transzmissziós ultraibolya rácsok, szenzorikai elemek, polarizátorok, nyalábhomogenizátorként működő Fresnel- és mikrolencsesorok, mikroprizmák stb.).

Kutatócsoportunk célja, hogy optikai és szenzorikai alkalmazásokhoz mikro- és szubmikrométeres felbontású periodikus mintázatokat (rácsokat) készítsen különféle anyagokba, lézereken alapuló eljárásokkal. A csoport legjelentősebb eredményei:

Különböző periódusú (104 nm–4 μ m) transzmissziós rácsokat készítettek ömlesztett kvarc felszínébe, mely rácsok diffrakciós hatásfokainak mérésével bizonyították, hogy a mikrométeresnél nagyobb periódusúak kiválóan alkalmazhatók transzmissziós rácsként látható fényre. Az általuk immerziós technikával előállított 104 nm-es periódusú rács jelenleg is a legkisebb rácsállandóval rendelkező lézeres technikával készített ömlesztett kvarc rács, mely ma is világrekordnak számít (Cs. Vass és mtsai., 2007). Átlátszó vékonyrétegek strukturálásával becsatoló rácsokat készítettek optikai hullámvezető spektroszkópiában és a szenzorikában való felhasználásra (B. Kiss és mtsai., 2013). Méréseik szerint az elkészített rácsok kiválóan használhatók optikai hullámvezető szenzorokban a fény becsatolására. Az ömlesztett kvarcrácsokat ’öntőformaként’ használva, azokat speciális technikával ’lemásolva’ reflexiós ónrácsokat készítettek, melyeket szintén eredményesen teszteltek. Optikai szálvégek indirekt lézeres megmunkálásával 50-150 nm-es struktúrát alakítottak ki, mely alkalmas felületerősített Raman spektroszkópiai felhasználásra (Cs. Vass és mtsai., 2013).

Jelenleg a megmunkálási folyamat időbeli követésével foglalkozik a csoport, melyhez méréseket és numerikus szimulációkat végeznek. Céljaik között szerepel a látható és közeli infravörös hullámhossztartományban működő polarizátor készítése. Az eddig leggyakrabban használt nanoszekundumos megmunkáló lézert igénylő, közvetett eljárások mellett vizsgálják az ultrarövid impulzusok interferenciájával létrehozható közvetlen struktúrákésztést is.

Irodalomjegyzék:

- Cs. Vass, K. Osvay, B. Hopp, Zs. Bor, Appl. Phys. A 87 (2007), 611–613.
- B. Kiss, F. Ujhelyi, Á. Sipos, B. Farkas, P. Dombi, K. Osvay, Cs. Vass, JLMN – Journal of Laser Micro/Nanoengineering Vol. 8, No. 3 (2013) 271–275.
- Cs. Vass, B. Kiss, J. Kopniczky, B. Hopp, Applied Surface Science (2013) 278 241–244.

Mikro- és nanooptikai fejlesztések és alkalmazások

Optikai mikroszkópia csoport

Vezető: Dr. Erdélyi Miklós

Az optikai leképezés klasszikus elmélete szerint a térbeli feloldás nem növelhető minden határon túl. A fény diffrakciója miatt, egy pontszerűnek tekinthető fényforrás (pl. távoli csillag, fluoreszcens molekula stb.) képe egy, az optikai rendszer paramétereitől függő kiterjedt folt. Akkor mondjuk, hogy két objektum megkülönböztethető, ha a diffrakciós foltjaik egymástól szétválaszthatóak. A feloldás a leképezésben szerepet játszó fény hullámhosszának csökkentésével, vagy a lencse numerikus apertúrájának növelésével javítható. Ez az oka annak, hogy az optikai mikrolitográfiában egyre rövidebb hullámhosszúságú lézereket, az optikai mikroszkópiában pedig egyre nagyobb numerikus apertúrájú objektíveket alkalmaznak. Ezen „hagyományos” módszerekkel a feloldást a hullámhossz feléig tudják növelni. A szuperfeloldás eléréséhez, azaz a diffrakciós határ átlépéséhez további trükkökre van szükség.

A kilencvenes évek elejétől a houstoni Rice Egyetemmel együttműködve Bor Zsolt, Szabó Gábor és Frank Tittel professzorok irányításával és Erdélyi

Miklós közreműködésével folytak litográfiai kutatások. Célunk olyan szuperrezolúciós eljárások kifejlesztése és kísérleti tesztelése volt, amelyek a kép mélységelességét az egy mikronos határ felett tartották. Az interferometrikus fázistoláson alapuló eljárásban a maszkot két oldalról világítjuk ki, és egy időben hozzuk létre annak transzmissziós és reflexiós képét. Ekkor nincs szükségünk a fázistolásos eljárások során használt drága, komplikált technológiával előállítható, sérülékeny fázistoló maszkokra. Később a módszert továbbfejlesztettük, és a maszkot oldalról (off-axis) világítottuk ki, hogy a módszer könnyebben integrálható legyen a létező litográfiai leképező rendszerekbe. Ezen, a két kép koherens összeadásán alapuló eljárás továbbgondolásával született meg a koherens többszörös leképezés technikája, ami egy Fabry–Perot-szűrőt használ a maszk és a leképező lencserendszer között. A szűrő a többszörös tükröződés miatt számos virtuális tárgyat hoz létre az optikai tengelyen egymástól egyenlő távolságra. A leképező lencse ezen virtuális tárgyak együttes, koherens képét hozza létre, jelentősen megnövelve a mélységelességet és a térbeli feloldást. A módszert a Texas Instruments támogatásával izolált kontaktusok és vonalak leképezésén eredményesen teszteltük. A kutatások eredményeit számos cikkben (Erdélyi és mtsai., 1997), szabadalomban és doktori disszertációban publikáltuk.

A fluoreszcens mikroszkópiában a gerjesztő fény hullámhosszának csökkentése nem lehetséges. A biológiai folyamatok molekuláris szintű megértéséhez és követéséhez <10 nm térbeli feloldásra van szükség. 2006-ban egymástól függetlenül, három kutatócsoport egy új módszert javasolt, amely során a fluoreszcens molekulák időben kapcsolhatók. A képtérben csak kevés számú aktív molekulát képezünk le, amelyek diffrakciós képe így időben és térben szétválasztódnak. Az egyes diffrakciós foltok középpontjait illesztéssel meghatározva lokalizálhatjuk a fluoreszcens molekulák helyét. A folyamatot sokszor megismételve, és az egyes lokalizációkat egymáshoz regisztrálva kapjuk a végső, szuperfeloldású képet. A lokalizációs mikroszkópia jelenleg még gyerekcipőben jár. Széleskörű elterjedéséhez számos optikai, festékdinamikai és számítástechnikai problémát kell megoldani. A Cambridge egyetemmel együttműködve lokalizációs mikroszkóppal elsőként nekünk sikerült sejten belül az Alzheimer-kór kialakulásában döntő szerepet játszó amyloid-beta fehérje leképezése. Az AdOptIm (Advanced Optical Imaging) kutatócsoport a Nemzeti Agykutatási és egy Marie Curie pályázat támogatásával jelenleg egy lokalizációs mikroszkóp megépítésén dolgozik (Erdélyi és mtsai., 2013). Célunk egy olyan mikroszkóp kifejlesztése és alkalmazása, amely sűrűn festett minták esetén is képes a lokalizációs elvet alkalmazva polarizáció érzékenyen detektálásra.

Irodalom:

- M. Erdelyi, Z. L. Horvath, G. Szabo, Zs. Bor, F. K. Tittel, Joseph R. Cavallo, Michael C. Smayling: Generation of Diffraction-Free Beams for Applications in Optical Microlithography, *J. Vac. Sci. Technol. B* 15(2), 287–292, 1997.
- M. Erdelyi, E. Rees, D. Metcalf, G. S. Kaminski, L. Dudas, J. Sinko, A. Knight, and C. F. Kaminski: Correcting Chromatic Offset in Multi-color Super-resolution Localization Microscopy, *Optics Express* 21(9), 10978–10988, 2013.

Nanoplazmonika csoport

Vezető: Dr. Csete Mária

Az Optikai és Kvantumelektronikai Tanszéken nagy hagyománya van a különböző spektroszkópai kutatásoknak. Ezen irányvonal szerves folytatásaként kezdődtek el 2000-től a felületi plazmon rezonancia spektroszkópia vizsgálatok, elsődlegesen a lézerrel strukturált vékonyrétegek tanulmányozása céljából. A kutatások a hullámhossznál lényegesen kisebb objektumok hatásának tanulmányozásával folytatódtak, 2008-tól a nanoplazmonikai és nanofotonikai jelenségek vizsgálatára alkalmas elméleti és numerikus modellezési eljárások meghonosításával, majd 2010-től a Nanoplazmonika Kutatócsoport megalapításával (<http://titan.physx.u-szeged.hu/~nanoplasmonics/>).

A felületi plazmon polaritonok (továbbiakban plazmonok) a fém-szigetelő határfelületen fényvel gerjeszthető, a határfelület mentén terjedő elektromágneses hullámok. A plazmonok keltése során az energia- és impulzus megmaradás egyidejű teljesüléséhez a gerjesztő fény hullámvektorának megnövelése szükséges. Ennek egyik módja a hullámhosszal összemérhető periódusú rácsok alkalmazása a felületen. A felépülő plazmon-mező a határfelület mentén a legerősebb, attól távolodva exponenciálisan lecseng. A keletkező plazmonok jellemzői érzékenyen függenek a felületet határoló közegek törésmutatójától, a felületen jelenlevő struktúrák alakjától, méretétől és elrendezésétől. Ennek köszönhetően a felületre kerülő molekulák érzékelhetőek, továbbá mennyiségük is meghatározható a gerjeszthető plazmonok jellemzőinek monitorozásával. A különböző biomolekulák detektálásánál a cél a lehető legnagyobb érzékenység elérése, amely a felületi struktúra, valamint a kivilágítási irány együttes optimalizálásával megvalósítható. Első kísérleti plazmon rezonancia spektroszkópai projektjeink keretén belül különböző (modulációs mélység-

gel, kitöltési faktorról, törésmutatóval jellemezhető) szinuszos és négyszöges vonalprofilú rácsokat tartalmazó multirétegek biszenzorizációra való alkalmazhatóságát vizsgáltuk. Jelenleg az optimális paraméterek meghatározásán dolgozunk, célunk olyan újszerű biodetektlási módszer kifejlesztése, amely a felületi plazmon rezonancia spektroszkópia és a nagyfeloldású atomi erő és lokalizációs mikroszkópia kombinálásán alapul. Ezen eljárással lehetővé válik a biomolekulák jelenlétének kimutatása és a vizsgált felületről történő egyidejű képalkotás.

A plazmonokon alapuló bioszenzorizáció másik fontos területe a lokalizált felületi plazmonok rezonanciájának tanulmányozása. Hullámhossz nagyságrendű, és annál lényegesen kisebb fém nanoobjektumok körül lokalizált, azaz az objektumhoz kötött plazmonmező alakul ki, amely függ az objektum alakjától, méretétől, törésmutatójától. Az egymás közelében elhelyezett objektumokon (dimereken, trimereken, tetramereken...) gerjesztett plazmonok csatolódni képesek egymással, a kivilágítással kontrollálható módon erősítve vagy gyengítve a teret az egyes objektumokon. A fém nanorészecske aggregátumokon, valamint a periodikus architektúrákban elhelyezett objektumokon kialakuló csatolt plazmonmező ideális bioszenzorizációra.

A lokalizált felületi plazmon rezonancián alapuló szenzorizáció előnye, hogy a nagy intenzitású elektromágneses térben megkötött molekulák nagy érzékenységgel kimutathatóak. Csoportunk ciszteinnel funkcionizált ezüst és arany nanorészecskékből álló, lineáris és hullámos aggregátumokon mutatta ki a plazmoncsatolás jelenségét, a saját és terjedő módusok kontrollálhatóságát.

Nanostruktúrák periodikus mintázatainak előállítására fontos a plazmonika számos felhasználási területe szempontjából. A direkt lézeres eljárások egy lépéses technikák, amelyek során nagy felület munkálható meg egy lépésben, azonban összetett mintázatok kialakítása nehézkes. A lézeres kolloidgömb litográfiával létrehozható hullámhossznál lényegesen kisebb struktúra, azonban a homogén megvilágítás a gömbök szorosan illeszkedő hatszöges elrendezését örökíti tovább a kivilágítás. Az általunk kidolgozott ún. KGMIK (kolloidgömb monorétegek interferometriás kivilágítása) kombinált litográfias eljárás, amely az előbbi két módszer előnyeit egyesíti. A kolloidgömb monoréteget laterálisan modulált intenzitás-eloszlású nyalábbal világítjuk ki, amelyet precíziós eljárással hozzáillesztünk a kolloidgömbök kiválasztott mintázataihoz. A mintafelületen csak az intenzíven megvilágított felületrészek alá eső kolloidgömbök fókuszáló hatására történik anyagmegmunkálás. A kétnyalábos KGMIK módszerrel létrehozható lineáris összetett mintázat négy karakterisztikus tulajdonsága (objektumok mérete, alakja, periódusa, egymástól mért távolsága) kontrollálható a kivilágító lézernyaláb hullámhosszának,

polarizációjának, a beesési szöggel kontrollálható laterális intenzitás-eloszlásának, valamint a kolloidgömbök anyagának és méretének megfelelő megválasztásával. A struktúrák felsorolt paramétereiktől való függését végelesemes modellezéssel (FEM) és kísérleti úton vizsgáljuk. Kimutattuk, hogy a létrehozható felületek alkalmasak kis mennyiségű biológiai anyag kimutatására (Sipos és mtsai., 2014).

A csillagászat és a telekommunikáció területén is nélkülözhetetlenek az egyfoton detektorok, ezek között az egyik legfontosabb az infravörös tartományban működő, szupravezetésen alapuló ún. SNSPD (superconducting nanowire single photon detector). Az SNSPD-ben az egyik leggyakrabban használt abszorbeáló anyag a szupravezető nióbbium-nitrid (NbN). Az MIT-val kooperáció keretén belül 2008-ban elkezdett kutatásaink célja különböző plazmonikus struktúrákkal integrált SNSPD-k hatásfokának és polarizáció kontrasztjának növelése. Ehhez végelesemes módszeren alapuló szimulációs program segítségével vizsgáljuk a távol-térbeli optikai jelet és közel-térbeli intenzitás-eloszlást. Meghatározzuk a hullámhossznál lényegesen kisebb és azzal összemérhető periódusú abszorbeáló szupravezető mintázatok lineárisan polarizált fénnel való kivilágítása esetében az optimális orientációt.

Irodalom:

- M. Csete, Á. Sipos, A. Szalai, F. Najafi, G. Szabó, K.K. Berggren: Improvement of infrared single-photon detectors absorptance by integrated plasmonic structures, *Scientific Reports* 3, art. no. 2406, 2013.
- Á. Sipos, A. Somogyi, G. Szabó, M. Csete: Plasmonic Spectral Engineering via Interferometric Illumination of Colloid Sphere Monolayers, *Plasmonics*, DOI 10.1007/s11468-012-9420-y, 1–13, 2014.

Fotoakusztikai kutatások Szegeden

Fotoakusztikus kutatócsoport

Vezető: Szabó Gábor akadémikus

A fotoakusztikus jelkeltés alapja, hogy ha egy gáz halmazállapotú közeget olyan fénnel világítunk meg, amely egyrészt időben modulált, másrészt a megvilágított közeg ezt a fényt részben vagy egészben elnyeli, akkor a megvilágított mintában akusztikus jel (hanghullám) keletkezik, melyet megfelelő

érzékelőkkel (pl. mikrofonnal) detektálni lehet. A fotoakusztikus jelenséget Abraham Graham Bell fedezte fel 1880-ban. A fotoakusztikus módszer legfontosabb előnye a mérendő gáz koncentrációja és a keletkező akusztikus jel közötti lineáris kapcsolat, amely összefüggés rendkívül széles koncentráció-tartományban érvényes. A fotoakusztikus rendszer főbb részegységei egy modulált fényű fényforrás, amelynek hullámhosszát a mérendő komponens elnyelési vonalára kell hangolni; egy fotoakusztikus mérőkamra, amelyben a fotoakusztikus jel keletkezik oly módon, hogy a kamrát a fényforrás fényével átvilágítjuk, miközben a vizsgálandó gázt keresztüláramoltatjuk a kamrán; és egy mérőelektronika, amely a lézer vezérlésére, a fotoakusztikus kamrába beépített mikrofon jelének mérésére és feldolgozására, illetve a mért fotoakusztikus jelből a vizsgált komponens koncentrációjának kiszámolására szolgál.

Az Optikai és Kvantumelektronikai tanszék vezetése az 1990-es évek elején felismerte, hogy a Tanszék kutatási profiljában a lézerek kutatása és fejlesztése mellett egyre hangsúlyosabban kell, hogy megjelenjen a lézerek gyakorlati alkalmazási lehetőségeinek kutatása is. Miután Szabó Gábor szakmai kapcsolatba került Miklós Andrással, az MTA Izotópkutató Intézet munkatársával, felmerült, hogy egy ilyen kutatási terület lehetne a gázok összetételének, a szennyező komponensek koncentrációjának lézeres (ezen belül az ún. fotoakusztikus elvű) mérése. Részben az új tanszéki stratégiát, részben a fotoakusztikus módszer előnyös tulajdonságait figyelembe véve, amikor Bozóki Zoltán, aki Miklós András témavezetésével fotoakusztikus kutatásokat végzett az MTA Izotópkutató Intézetben, állást keresett 1994-ben, Szabó Gábor állást, sőt kutatási pénzt ajánlott neki. Tette ezt annak ellenére, hogy, egyrészt ez volt az ún. „Bokros-csomag” időszaka, ami komoly terheket rótt az egyetemekre, másrészt ebben az időszakban a fotoakusztika már nem számított „menő” tudománynak. Valóban, a fotoakusztika hőskora a múlt század hetvenes-nyolcvanas éveire esett, amikor világszerte rengeteg tudományos publikáció jelent meg, amelyekben rendkívül érzékeny (ppt /azaz egy részecske per ezermilliárd részecske/ nagyságrendű érzékenységgű) fotoakusztikus rendszerekről számoltak be. Azonban a fotoakusztika iránti kiemelt érdeklődés a kilencvenes évek elejére szinte teljesen alábbhagyott, amikor nyilvánvalóvá vált, hogy az ilyen „világbajnok” érzékenységek eléréséhez olyan rendkívül bonyolult lézerek alkalmazására van szükség, melyek akár egy teljes kamiont is megtöltenek, és folyamatos üzemeltetésükhöz 2-3 tudós munkájára van szükség. Szabó Gábor, Bozóki Zoltán és Miklós András közös gondolkodása révén született meg az a később rendkívül sikeresnek bizonyuló koncepció, hogy olyan fotoakusztikus rendszereket kell fejleszteni, melyek olcsók, robusztusak és hosszú időn keresztül teljesen automatikus módon üzemeltethetők,

még azon az áron, is, hogy ezeknek a rendszereknek az érzékenysége nem éri el a korábbi rendszerek extrém érzékenységét. Ezért került előtérbe a telekommunikációs iparban rutinszerűen alkalmazott szobahőmérsékletű diódalézerek használata a tanszék fotoakusztikus rendszereiben, hiszen e fényforrások olcsók, nagy megbízhatóságúak, teljesen automatikus módon üzemeltethetők, és élettartalmuk eléri vagy meg is haladja a 10 évet.

Innentől a fotoakusztikus módszer kutatása és fejlesztése két szálon futott tovább a tanszéken. Egyrészt kiemelt cél volt a fotoakusztikus rendszerek megbízhatóságát növelő eljárások kifejlesztése, a fotoakusztikus mérések pontosságának növelése. Másrészt meg kellett keresni azokat az alkalmazásokat, ahol a dióda lézerekkel elérhető ppm (azaz egy részecske per millió részecske) nagyságrendű érzékenység mellett is előnyösen használható a fotoakusztikus módszer.

A fotoakusztikus módszer megbízhatóságát és érzékenységét növelő eljárások kidolgozásában a tanszéki kutatók rövid időn belül komoly eredményeket értek el:

- Miután nyilvánvalóvá vált, hogy a diódalézerek jellemző hullámhossz-stabilitása, ami a telekommunikációs alkalmazásokban elegendő, nem megfelelő a fotoakusztikus mérésekhez, újfajta hullámhossz-stabilizálási eljárásokat dolgoztak ki .
- Újfajta, nagy érzékenységű és rövid válaszidejű fotoakusztikus mérőkamrákat terveztek, és mérésekkel igazolták ezek előnyös tulajdonságait.
- Eljárást dolgoztak ki, melynek segítségével a lézer modulációs frekvenciája gyorsan és nagy pontossággal a fotoakusztikus kamra (gázösszetételtől függő) rezonanciafrekvenciájára hangolható.

Ami pedig a lehetséges gyakorlati alkalmazások felkutatását illeti, a következő években Szabó Gábor, Bozóki Zoltán és kollégáik „nyakukba vették az országot”, a nyíregyházi hulladékteleptől, a komlói szennyvíztelepen, a gödöllői Mezőgazdasági Gépesítési Intézetten keresztül a győri Audi gyárig keresték azokat a területeket, ahol a fotoakusztikus módszer előnyösen alkalmazható.

Hamar nyilvánvalóvá vált, hogy a gyakorlati alkalmazások szempontjából a földgázipar a legígéretesebb, ennek megfelelően a kilencvenes évek második felétől intenzív és rendkívül gyümölcsöző K+F kapcsolat alakult ki fotoakusztikus témában a MOL Magyar Olaj- és Gázipari Nyrt. társasággal. A tanszék által sikeresen megvalósított első kutatás-fejlesztési projekt eredményeként egy olyan fotoakusztikus elvű berendezés jött létre, amely a földgáz vízgőzszennyezettségét méri folyamatos módon. Ezt a műszert újabban követték, amelyek már a vízgőz mellett, illetve helyett a szintén nagyon kritikus szennyező komponens, a kén-hidrogén-koncentráció mérésére is alkalmasak voltak. Ezek a műszerek különböző magyarországi gázüzemekben kerültek telepítésre. A fotoakusztikus módszer ipari alkalmazása világviszonylatban is

újdonságnak számított, a módszert ezt megelőzően csak laboratóriumokban tudták sikeresen alkalmazni.

A fotoakusztikus rendszerek egy további, szintén igen sikeres alkalmazása 2001-ben kezdődött, amikor a CARIBIC projekt keretében egy fotoakusztikus elvű, a tanszék által kifejlesztett műszer került telepítésre egy utasszállító repülőgép poggyászerében, ahol több mint 10 éve működik problémamentesen. A Contitech Rubber Industrial Kft.-vel együttműködve végzik műanyagok és gumik gázáteresztő-képességének mérését. Szintén sikeres területeknek bizonyultak a módszer orvosi alkalmazásai: elsősorban a kilélegzett gázok analízise. Továbbá a fotoakusztikus módszert egyéb területeken is sikeresen alkalmazták, mint pl. a levegő aeroszol- és ammóniatartalmának mérése, folyadékok szennyezettségének mérése, kőzetek gázáteresztő- és gázmegtartó-képességének mérése.

A fotoakusztikus mérési elvre alapozva a tanszék számos hazai és nemzetközi K+F projektben, együttműködésben vett részt, továbbá nagyszámú szakdolgozat és diplomamunka, OTDK-dolgozat és PhD-dolgozat is született. A tanszék munkatársai által írt, nemzetközi tudományos folyóiratokban publikált cikkek száma meghaladja az ötvenet. A fotoakusztikus kutatások sikerességét jelzi, hogy 2013-ban a Magyar Tudományos Akadémia támogatásával megalakult az MTA-SZTE Fotoakusztikus Kutatócsoport Szabó Gábor vezetésével.

Orvosi fényterápiát fejlesztő kutatások Szegeden

A csoport vezetője: Prof. Szabó Gábor, akadémikus

Az Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék – Ignác Ferenc tudományos munkatárs folyamatos közreműködésével – az 1990-es évek elejétől dolgozik együtt a jelenleg prof. Kemény Lajos által vezetett Bőrgyógyászati és Allergológia Klinikával, kutatások, illetve orvostechnikai eszközök műszaki fejlesztése terén. A kezdeti időszakban elsősorban a psoriasis (pikkelysömör) – addig a világon sehol nem alkalmazott-lézeres kezelésének kidolgozására került sor módosított XeCl excimer lézerrel (308 nm) (Béla Bónis és mtsai., 1997). Ez a mai napig a legkorszerűbb, legeredményesebb kezelés világszerte. A későbbiekben ez a módszer alkalmasnak bizonyult vitiligo és atopias dermatitis hatásos kezelésére is. Közben azt is kutattuk, hogyan indukál sejtapoptózist T-sejteken a XeCl lézer. A 2000-s évek elejétől a kutatási terület tovább szélesedett. A pollenallergia hatalmas méreteket ölt világszerte. Ennek kapcsán végrehajtottunk ez irányban vizsgálatokat lézerrel, de mivel annak ára miatt nem terjedhet el annyira, hogy a rengeteg allergiás beteg számára elérhető legyen, így más fényforrás felé

irányultak a kísérletek. Sikerült egy olyan fényterápiás, nemzetközi szabaddal védett orvostechnikai berendezést (Rhinolight) kifejleszteni, amivel a szénanátha kezelésében minden addig alkalmazott gyógyszernél jobb hatást ér el (Andrea I Koreck és mtsai., 2005). Ezt a világ több klinikáján elvégzett tanulmányok is bizonyítják. (Detlef Brehmer, 2010). A pollenszezonban tünetmentesíti a beteget, 3–4 szezonban alkalmazott kezelés után pedig az esetek döntő többségében végleg meggyógyul a beteg. Óriási érdeklődést váltott ki nemzetközileg, hiszen az allergiás betegek száma szinte exponenciálisan növekszik. A berendezést a székesfehérvári Videoton gyárban szerelik össze. A készülék orvostechnika CE1011 tanúsítvánnyal rendelkezik, amely folyamatosan megújításra kerül. A világ 23 országában (Japán, Törökország, Ausztrália stb.) használják jelenleg is orvosi rendelőkben, kórházakban, klinikákon évről évre növekvő számban. A kezeléssel kapcsolatban külön biztonságossági vizsgálatok is történtek. Az Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék, illetve a Bőrgyógyászati Klinika szoros együttműködésébe később a Füll-Orr-Gégészeti Klinika is bekapcsolódott. Ott jelenleg is folyik egy, az Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék továbbfejlesztett berendezés klinikai kipróbálása, ami az orrpolip kezelésére ad alternatívát a műtéttel szemben az esetek egy jelentős részében.

Irodalom:

1. Béla Bónis, Lajos Kemény, Attila Dobozy, Zsolt Bor, Gábor Szabó, Ferenc Ignác: “308 nm UVB excimer laser for psoriasis” *The Lancet*, N.9090, Vol. 350, 1522. (1997)
2. Andrea I Koreck, Zsanett Csoma, Laszlo Bodai, Ferenc Ignacz, Anna Sz. Kenderessy, Edit Kadocsa, Gabor Szabo, Zsolt Bor, Anna Erdei, Barnabas Szony, Bernhard Homey, Attila Dobozy, Lajos Kemeny: Rhinophototherapy: a new therapeutic tool for the management of allergic rhinitis. *J. Allergy Clin. Immunol.* 2005, 115(3): 541–47.
3. Detlef Brehmer: Endonasal phototherapy with Rhinolight® for the treatment of allergic rhinitis. *Expert Rev. Med. Devices* 2010, 7(1): 21–26.

A Kísérleti Fizikai Tanszék vezetője, a nagy intenzitású lézer laboratórium létrehozója: Szatmári Sándor

Szatmári Sándor egyetemi tanulmányait Szegeden, a *József Attila Tudományegyetemen* (a JATE-n) végezte, fizikus szakon (1975–1980). A *Kísérleti Fizikai*

Tanszéken (KFT-en) folyó lézerfizikai kutatásokba már egyetemi éveit alatt bekapcsolódott. Diplomamunkáját „*Keskenysávú festéklézerek vizsgálata*” címmel készítette el, és kiváló minősítéssel védte meg. Egyetemi tanulmányai alapján 1981-ben *Felsőoktatási Tanulmányi Érdemérem* kitüntetést kapott.

Az egyetemi doktori cím megszerzése (1982) után – kisebb megszakításokkal, Max Planck ösztöndíjasként – a *göttingeni Max Planck Institut für Biophysikalische Chemie Lézerfizikai Osztályán dolgozott* (1982–1991), ahol excimer lézeres kutatásokat végzett. Tanulmányútja alatt kifejlesztett egy nagyteljesítményű szub-pikuszekundumos excimer lézerrendszert, továbbá részt vett az intézetben folyó röntgen-lézeres kutatásokban is. Később nagy teljesítményű UV impulzusok erősítésével foglalkozott. Az elért kutatási eredményeire alapozva 1987-ben megvédte kandidátusi, majd 1989-ben akadémiai doktori értekezését. 1991 és 1994 között kutatásait a *göttingeni Laser-Laboratorium Göttingen (LLG) intézetben* folytatta, amelynek megalapításában aktív szerepet vállalt. Mindkét intézetben 5-6 fős munkacsoport irányításával is megbízták. 1994-ben a JATE Kísérleti Fizikai Tanszékére egyetemi tanári kinevezést kapott, és egyben megbízták a *Kísérleti Fizikai Tanszék (KFT)* vezetésével. Ezt a funkciót azóta is folyamatosan ellátja.

Több évre kiterjedő külföldi tanulmányútjáról visszatérve a KFT-re – kiemelkedő kutatási eredményeit, tapasztalatait és kapcsolatait felhasználva – megalapította a *Nagyintenzitású Lézer Laboratóriumot* (HILL). Ez a – kutatás és oktatás céljait egyaránt szolgáló – laboratórium lehetővé tette nagy intenzitású lézerek kutatásával, fejlesztésével és alkalmazásával kapcsolatos kísérletes tevékenység magyarországi meghonosítását. A ma már nemzetközileg is elismert, „felhasználó központú” HILL laboratórium folyamatos fejlesztésének és fenntartásának finanszírozása elsődlegesen a *Szatmári Sándor* által vezetett kutatás-fejlesztési projektekből történik.

A HILL laboratórium

A laboratóriumban folyó egyik fő tevékenység: az excimer lézerek kutatása, illetve fejlesztése, nagy intenzitású és igen rövid UV lézer-impulzusok előállítására céljából. A kutatások alapjául egy – *Szatmári Sándor* által kifejlesztett – femtoszekundumos festék/excimer lézer szolgál, amellyel $\sim 10^{19}$ W/cm²-es fókuszált intenzitás érhető el az UV tartományban, viszonylag alacsony teljesítmény szint mellett.

A HILL megalapításakor számos kutatási projekt vette kezdetét és jelenleg is folynak ilyen projekt munkák a plazmafizika, a szilárdtestfizika és

a mikroanyagmegmunkálás területén, belevonva a kutatásokba a tanszéken, illetve más intézetben dolgozó (köztük külföldi) kutatókat is.

A lézerplazmában keletkező gyors elektronok és sugárzások tulajdonságai – a nagy intenzitásnak ($\sim 10^{19}$ W/cm²) köszönhetően – a HILL-ben hatékonyan tanulmányozhatók. Ezen kutatásokat a KFT munkatársai szoros együttműködésben végzik az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont Részecske- és Magfizikai Intézet munkatársaival. A laboratóriumban folyó dinamikai vizsgálatok keretében főként szilárd testeknek (félvezetőknek, szigetelőknek) és femtoszekundumos impulzusoknak a kölcsönhatását vizsgálják.

A HILL laboratórium számos hazai és nemzetközi tudományos együttműködés kialakítását tette lehetővé.

A HILL laboratórium a *németországi LLG*-vel a nagy intenzitású lézerek kutatása, nagy felbontású dinamikai vizsgálatok, mikrostruktúrák létrehozása területén tart fenn szoros kapcsolatot.

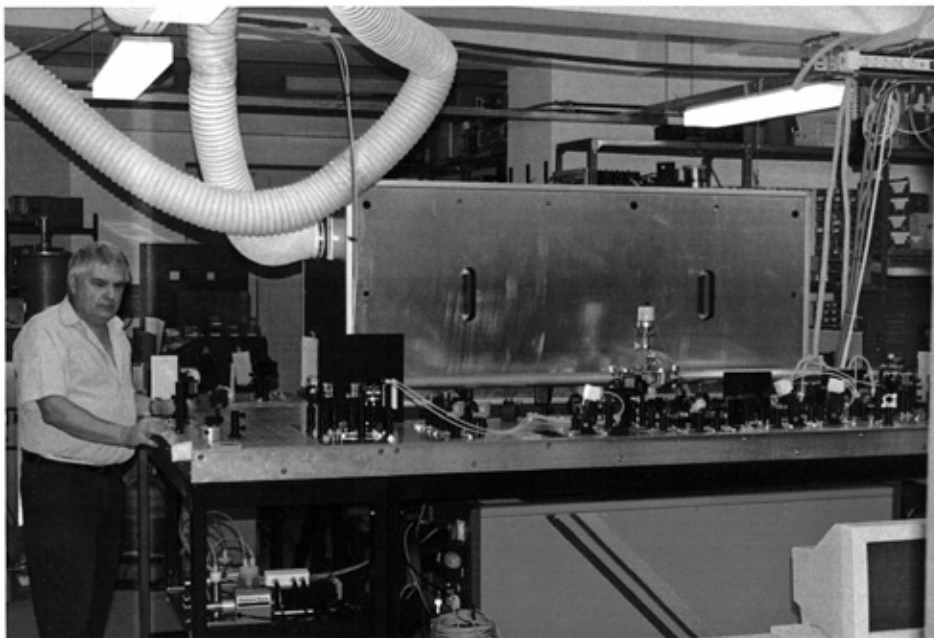
A HILL és a *Kínai Atomenergia Kutató Intézet (CIAE) Nagy Energiájú Excimer Lézer Laboratóriuma* között több mint 15 évre visszatekintő sikeres együttműködés alakult ki. Ennek az együttműködésnek az alapja a speciális excimer lézerrendszerek kutatása, fejlesztése, illetve plazmafizikai alkalmazása. Ez az együttműködés – a *Magyar–Kínai Kormányközi Együttműködések* keretében – az elmúlt évtizedben szinte folyamatos pályázati támogatást élvezett. A CIAE felkérésére, kutatás-fejlesztési megállapodások keretében a KFT-n kifejlesztésre került több (5 db) speciális paraméterű excimer lézer is.

A chicagói Illinois Egyetem 'X-ray Microimaging and Bioinformatics' laboratóriumával együttműködve, a HILL laboratóriumban nagy specifikus intenzitású UV-, illetve röntgensugárzás generálásával foglalkozunk.

A permanens együttműködések sorába tartozik a *Pécsi Tudományegyetem Fizika Intézetével*, a *Nyugat-magyarországi Egyetemmel* és a *Dunaújvárosi Főiskolával* fenntartott szakmai kapcsolat.

A HILL laboratórium *Nagyintenzitású Csoportja* aktív pályázati tevékenységet folytat, számos nemzetközi (NATO, FP6, FP7) és hazai (OTKA, NKFP, TÉT, TÁMOP stb.) pályázatot nyert el és valósított meg sikeresen. Tevékenységének elismerését jelenti, hogy a Nagyintenzitású Lézer Laboratórium 2004 és 2008 között tagja volt az *európai XTRA* elnevezésű *Marie Curie Kutató Képzési hálózatának*, valamint 2009-től az európai lézeres laboratóriumokat tömörítő, *LASERLAB-EUROPE hálózatának* is tagjává vált, amelyben a – Magyarországot, ill. a Szegedi Tudományegyetemet képviselő – csoportvezetői tisztséget *Szatmári Sándor* látja el. Fontos megemlíteni, hogy a *LASERLAB-EUROPE hálózatának* rangos laboratóriumai többségükben nemzeti pénzügyi forrásokból felépített és fenntartott infrastruktúrák, míg a hasonló színvonalat

képviselő Nagy Intenzitású Lézerlaboratórium megalapításának, folyamatos fejlesztésének és fenntartásának finanszírozása elsődlegesen a *Szatmári Sándor* által vezetett kutatás-fejlesztési projektekből történik. Egy kínai kutatóintézettel – speciális lézerrendszer kifejlesztésére és elkészítésére – pl. 650 000 Euro értékű szerződést kötött.



6. ábra

A felvételen (6. ábra) egy kutatás-fejlesztési szerződés keretében, a HILL laboratóriumban készülő femtoszekundumos festék-excimer lézerrendszer látható. A képen a készülék tesztelését Szatmári Sándor professzor végzi.

Az *Extreme Light Infrastructure (ELI)* Szegedre kerüléséhez kötődően kiemelt jelentőségűek a HILL laboratórium excimer lézerével elvégezhető, ELI-hez köthető kísérletek.

Fontosabb tudományos eredmények

Új módszereken alapuló nagy intenzitású excimer lézerrendszer kidolgozása és felépítése; az excimerek erősítésének dinamikai vizsgálata, erősítési jellemzőinek meghatározása; a kvantumlebegés kényszerített emisszióban történő első

kísérleti demonstrációja; direkt erősítéssel a mai napig legrövidebb impulzusok keltése az ArF és KrF hullámhosszán; a mai napig legrövidebb impulzusidejű impulzusok keltése impulzusüzemű festéklézereken alapuló lézerekkel; speciális erősítési módszerek (térben fejlődő fázismodulált erősítés, off-axis erősítés, illetve interferometrikus multiplexelés) kidolgozása az excimerek fizikai okokból limitált erősítési határfokának javítására. Rövid impulzusok diszperzív közegben való speciális terjedési viszonyainak vizsgálata, új típusú, haladó hullámú gerjesztő elrendezés kifejlesztése nagy intenzitású lézer-szilárdtest kölcsönhatások vizsgálatára. A Fourier-síkban bevezetett nemlinearitásokon alapuló, újszerű tér- és időszűrési technikák vizsgálata/alkalmazása nagy intenzitású lézerek kontrasztjának javítására. A rövid impulzusok excimerekben történő erősítésének követelményeire illesztett speciális KrF erősítők kutatás-fejlesztése.

A legfontosabb tudományos eredményeket tartalmazza a mellékelt válogatott publikációk.

Szatmári Sándor eddigi tevékenysége során kiemelkedő, nemzetközileg is elismert kutatási eredményeket ért el. Ezt bizonyítja: az eddig megjelent 229 tudományos publikáció, melyek jelentős része elszerezős (34), neves külföldi folyóiratokban megjelentetett tudományos cikkek (100), illetve nemzetközi konferenciákon meghívott előadások (28). Szabadalmainak száma 20. Tudományos közleményeire érkezett független hivatkozások száma 1424, amelyből az első szerzős publikációira érkezett hivatkozások száma meghaladja az 1000-et. Tudományos tevékenysége eredményéhez kötődő, nagy intenzitású femtoszekundumos excimer lézerrendszer a világ számos (~20) rangos laboratóriumában működik, s szolgál fényforrássul különböző fizikai kísérletekhez.

Oktatás

A hosszabb ideig tartó külföldi tanulmányútjai során külföldi egyetemeken is oktatót és kutatót. Ez a tevékenység a többi között lézeres témakörben speciális kollégiumok tartásában (Recent advances of femtosecond laser technology, University of Hannover; Physikalisches Kolloquium, Universität Essen), diplomamunkát készítő hallgatók, ill. PhD-ösztöndíjasok munkájának irányításában nyilvánult meg. 1994-től aktívan bekapcsolódott a Kísérleti Fizikai Tanszék oktatómunkájába (Atomfizika alapkollégiumi előadás, *Nagy intenzitású elektromágneses terek* 1–2. speciális kollégium, *Femtoszekundumos gázlézerek és alkalmazásaik* speciális kollégium, számolási és laboratóriumi gyakorlatok vezetése, speciális kollégiumok tartása). Jelenleg az SZTE Kísérleti Fizikai

Tanszékén *BSc kurzust* (Atomfizika előadás), *MSc és PhD-kurzusokat* (*Sugárzáselmélet és lézerek* előadás, *Nagy intenzitású lézerek és alkalmazásaik I–II.* előadás, *Nagyfeszültségű elektromos áramkörök* előadás) tart. Angol nyelvű előadást (High Intensity Lasers) is tartott az ERASMUS program keretében.

Részt vesz az egyes fizika szakok és szakirányok hálóterveinek összeállításában, valamint a *fizika tanárképzés és a lézertechnikus szakirányú képzés* szakfelelősi feladatának ellátásában is.

Szakmai vezetéséhez egy egyetemi doktori, egy kandidátusi, valamint 7 PhD fokozat megszerzése kötődik. Szegeden, az általa létrehozott tudományos műhelyhez kötődően, egy munkatársa akadémiai doktori fokozatot szerzett.

Kezdeményezésére 1998-tól a KFT évente versenyt hirdet meg középiskolai tanulók részére, amely hozzájárulást jelent az egyetem beiskolázási tevékenységéhez.

Tudományos közéleti tevékenysége

Aktív szerepet vállal a hazai és nemzetközi tudományos közéletben: tagja az European Physical Societynek, az Optical Society of Americának (OSA), az MTA Lézerfizikai Bizottságának, az MTA Fizika Doktori Bizottságnak, az SZTE Habilitációs Bizottság Fizikatudomány Szakbizottságának, az SZTE TTIK Tudományos Tanácsának, az MTA Bolyai Szakértői Kollégiumnak. 1996-tól az MTA köztestületi tagja. Tagja volt az SZTE Egyetemi és a TTIK Doktori Tanácsnak; ellátta az ELFT Atom-, Molekulafizikai és Kvantum-elektronikai Szakcsoportjának elnöki feladatait is. 2010-ben az MTA Fizikai Tudományok Osztályának köztestületi képviselőjének választották. Jelenleg másodízben látja el az SzTE TTIK Fizikus Tanszékcsoport vezetői feladatot.

2002-ben a Kínai Atomenergiai Kutatóintézet tiszteletbeli professzorának, illetve az intézet tanácsadó testületének tagjává választottak.

2009-től a LASERLAB-EUROPE hálózatában Magyarországot, ill. a Szegedi Tudományegyetemet képviselő csoport vezetője (a General Assembly tagja, National Contact Point), továbbá a LASERLAB-EUROPE Access Boardjának tagja.

Eddigi eredményes kutató- és oktatómunkájáért, sokoldalú tudományos közéleti tevékenységéért számos kitüntetésben és elismerésben részesült. *Pl. Selényi Pál-díj, Gábor Dénes-díj, Szent-Györgyi Albert-díj, Széchenyi professzori ösztöndíj, Szentágothai János kutatói ösztöndíj.*

Végül kiemelendő, hogy *Szatmári Sándor* excimer lézerekre irányuló – kutatás-fejlesztési tevékenysége technikai háttérének biztosítása érdekében magas színvonalon működő elektromos és mechanikai műhelyt hozott létre, amely speciális kísérleti elemek mérőegységek tervezésén, elkészítésén,

javításán és karbantartásán keresztül kiváló technikai háttérrel biztosít egyéb kísérletes jellegű kutatásokhoz és az oktatáshoz is.

Fontosabb publikációi

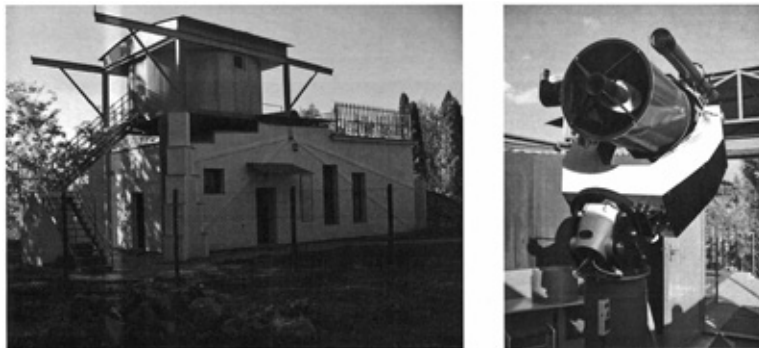
1. S. Szatmári, F.P. Schäfer, E. Müller-Horsche, W. Mückenheim: *Hybrid dye-excimer laser system for the generation of 80 fs, 900 GW pulses at 248 nm*, Opt. Commun. **63**, 305–309 (1987)
2. S. Szatmári, F.P. Schäfer: *Comparative study of the gain dynamics of XeCl and KrF with subpicosecond resolution*, J. Opt. Soc. Am. **B4**, 1943–1948 (1987)
3. S. Szatmári, F.P. Schäfer: *Simplified laser system for the generation of 60 fs pulses at 248 nm*, Opt. Commun. **68**, 196–202 (1988)
4. R. Fedosejevs, R. Ottmann, R. Sigel, G. Kühnle, S. Szatmári, F.P. Schäfer: *Absorption of femtosecond laser pulses in high-density plasma*, Phys. Rev. Lett. **64**, 1250–1253 (1990)
5. S. Szatmári: *High-brightness ultraviolet excimer lasers*, Appl. Phys B Feature Issue: Recent Advances in Ultrashort Optical Pulse Generation From Terahertz Frequencies to X-Rays **58**, 211–223 (1994)
6. S. Szatmári, G. Almási, M. Feuerhake, P. Simon: *Production of intensities of 1019 W/cm² by a table-top KrF laser*, Appl. Phys. **B63**, 463–466 (1996)
7. S. Szatmári, G. Marowsky, P. Simon: *Femtosecond Excimer Lasers and their Applications*, Landolt-Börnstein New Series VIII/1B1 215–253 (2007)

Szatmáry Károly, a szegedi csillagászati kutatások reprezentánsa

Dr. Szatmáry Károly a Szegedi Tudományegyetem Természettudományi és Informatikai Kar Fizikus Tanszékcsoport Kísérleti Fizikai Tanszékének egyetemi docense 1956. december 21-én született Szegeden, ott járt általános- és középiskolába. Egyetemi tanulmányait az Eötvös Loránd Tudományegyetemen végezte csillagász és matematika–fizika tanár szakon, 1981-ben diplomázott, azóta a tanszék oktatója. 1982-ben 4 hónapos tanulmányúton volt az Odesszai Egyetem Csillagászati Observatóriumában. 1988-ban egyetemi doktori, 1995-ben kandidátusi fokozatot szerzett. 2002-ben habilitált. 2013-ban védte meg az MTA doktora értekezését.

2001 óta tanszékvezető-helyettes. A Fizikus Tanszékcsoport TDK felelőse, 2005–2011 között a TTIK Kari Tudományos Diákköri Tanácsának elnöke

volt. Az SZTE TTIK Kari Tanács, a Fizikus Tanszékcsoport Tanács és a Fizikus Doktori Tanács tagja. A Szegedi Csillagvizsgáló alapítója és vezetője, működésének szervezője, honlapjának szerkesztője (<http://astro.u-szeged.hu>). 14 tudományos diákköri dolgozat, 72 szakdolgozat és diplomamunka, valamint 4 PhD-értekezés (Kiss L. László, Szabó M. Gyula, Székely Péter, Simon Attila) témavezetője volt. Alapvető szerepe volt abban, hogy Szegeden beindult a csillagász szak. Előadásokat tart a csillagászat minden témakörében.



7. ábra. A Szegedi Csillagvizsgáló épülete és a 40 cm-es tükrös távcső.

Kutatási területe a pulzáló változócsillagok, különösen a mira és félszabályos vörös óriások, valamint a más csillagok körül keringő exobolygók és holdjaik. A fényességváltozás periodicitásának vizsgálatában a Fourier-analízis mellett idő-frekvencia módszereket alkalmaz és fejleszt. A Szegedi Csillagvizsgálóban korszerű fotometriai mérőrendszert hozott létre. Publikációinak száma 177, ebből angol nyelvű 79, orosz nyelvű 1, magyar tudományos 48, oktatási, ismeretterjesztő 49. Független hivatkozásainak száma: 660 +46 magyar, kumulatív impakt faktor: 91, h-index: 15.

6 OTKA valamint 39 más elnyert kutatási és oktatási pályázat témavezetője volt. Számos szakmai szervezetben vállal szerepet, tagja a Magyar Csillagászati Egyesületnek, az Eötvös Loránd Fizikai Társulatnak, a Magyar Asztronautikai Társaságnak, az MTA Csillagászati és Űrfizikai Bizottságának és a Nemzetközi Csillagászati Uniónak. Kétszer volt tagja az OTKA Fizika Zsűrinek. Számos alkalommal kérték fel szakértőnek, bírálónak országos szervezeteknél, minősítési eljárásoknál.

Oktatási és kutatási eredményeiért 1986-ban Miniszteri Dicséretet, 1997-ben Iskolateremtő Mestertanár kitüntetést, Széchenyi Professzori Ösztöndíjat, 2001-ben Detre László-díjat, Széchenyi István-ösztöndíjat, 2006-ban Öveges József kutatói támogatást, 2011-ben OTDT Jubileumi emlékérmét kapott.

Válogatott publikációi

- Szatmáry K., Vinkó J.: Periodicities of the light curve of the semiregular variable star Y Lyncis, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* 256, 321–328. (1992)
- Szatmáry K., Vinkó J., Gál J.: Applications of wavelet analysis in variable star research. I. Properties of the wavelet map of simulated variable star light curves, *Astronomy and Astrophysics Suppl. Ser.* 108, 377–394. (1994)
- Szatmáry K., Gál J., Kiss L.L.: 1996, Applications of wavelet analysis in variable star research. II. The semiregular star V Bootis, *Astronomy and Astrophysics* 308, 791–798. (1995)
- Kiss L.L., Szatmáry K., Cadmus R.R., Jr., Mattei J.A.: Multiperiodicity in semiregular variables. I. General properties, *Astronomy and Astrophysics* 346, 542–555. (1999)
- Szatmáry K., Kiss L.L., Bebesi Zs.: The He-shell flash in action: T Ursae Minoris revisited, *Astronomy and Astrophysics*, 398, 277–282. (2003)
- Simon A., Szatmáry K., Szabó Gy.M.: Determination of the size, mass, and density of “exomoons” from photometric transit timing variations, *Astronomy and Astrophysics*, 470, 727–731. (2007)
- Bányai E., Kiss L.L., Bedding T.R., Bellamy B., Benkő J.M., Bódi A., Callingham J.R., Compton D., Csányi I., Derekas A., Dorval J., Huber D., Shrier O., Simon A.E., Stello D., Szabó Gy.M., Szabó R., Szatmáry K.: Variability of M giant stars based on Kepler photometry: general characteristics, *Monthly Notices of Royal Astron. Soc.*, 436 (2), 1576–1587. (2013)
- Szatmáry K.: Idősorok analízise csillagászati alkalmazásokkal, in: PhD Doktori kurzusok fizikából (B rész), szerk. Hevesi Imre, JATE Press Kiadó (ISBN 978-963-315-163-1), Szeged, 133–213. o. (2014)

A matematikai fizika szegedi kutatója, az Elméleti Fizikai Tanszék vezetője, Fehér László

1957. november 14-én született Békéscsabán. Általános iskolába Csanádapácán, gimnáziumba Orosházán járt, ahol 1976-ban érettségizett. Katonai szolgálat után 1977-ben beiratkozott a JATE biológus szakára, majd 1 év elvégzése után ugyanott fizikus szakra iratkozott át, és 1983-ban kitüntetéses fizikus oklevelet szerzett. „Z(N) szimmetrikus mértékelméletek fázisszerkezete” című diplomamunkáját az RMKI Elméleti Főosztályán Szlachányi Kornél irányí-

tásával készítette, és rokon témában OTDK-dolgozatot írt. Egyetemi tanulmányai alapján 1984-ben Felsőoktatási Tanulmányi Érdemérem kitüntetést kapott.

1983. szeptembertől 1988. márciusig az MTA TMB tudományos továbbképzési ösztöndíjasa volt a JATE Geometriai Tanszékén. Az ösztöndíj elnyerésének alapjául az szolgált, hogy fizikus hallgatóként matematikusok számára kötelező és speciális kurzusokat is sikeresen teljesített a Bolyai Intézetben. Nagy Péter segítő felügyelete mellett önállóan dolgozott „Differenciálgeometriai módszerek a matematikai fizikában” című témáján, és közben részt vett a tanszék oktatási munkájában. A TMB ösztöndíjat megszakítva 7 hónapig katona volt, az 1986-87-es tanévet pedig az Oxfordi Egyetem Matematikai Intézetében töltötte vendéghallgatóként a Soros Alapítvány ösztöndíjával.

1988 szeptemberében védte meg „Pontszerű részecskek mozgásegyenletei és dinamikai szimmetriái” című matematikai kandidátusi értekezését. Ebben a témában összesen 13 referált cikke született, részben három külföldi társszerzővel közösen. Az említett munkák fő eredményének bizonyos adott külső Yang–Mills–Higgs-mezőkben mozgó tesztészecskek, geodetikus mozgások és monopólus kölcsönhatások klasszikus és kvantummechanikai vizsgálatában Kepler–Coulomb-típusú $O(4)$, $O(3,1)$, $O(4,2)$ szimmetriák kimutatása és azok részletes analízise tekinthető. Ennek egy összefoglaló leírása található [1]-ben. Ekkoriban foglalkozott a kvantummechanikai Berry-fázis geometriai vonatkozásaival is, Benedict Mihállyal és Horváth Zalánnal együttműködve.

1988. áprilistól 1995. decemberig alkalmazásban állt a JATE Geometriai, illetve 1994. júliustól az Elméleti Fizikai Tanszékén mint tanársegéd, adjunktus, majd docens. Ugyanakkor ezen időszak nagy részében különböző ösztöndíjak és meghívások alapján külföldön folytatott kutatómunkát. 1988 és 1991 októbere között 2 és fél évet Írországból dolgozott, a Dublin Institute for Advanced Studies posztdoktori ösztöndíjasaként. Ezután 1 évig posztdoktor a Montreáli Egyetem Magfizikai Laboratóriumában és Matematikai Intézetében, majd másfél évig Humboldt-ösztöndíjas Bonnban az egyetem fizikai intézetében. 1994 májusától fél évig vendégprofesszor az ENS-en Lyonban, ezután posztdoktor Swansea-ban, majd 1995 szeptemberétől 1 évig a Tokyo University vendégprofesszora volt. 1996 októberétől 1997 augusztusáig ismét Bonnban és Dublinban volt ösztöndíjas.

A fenti időszakban változó összetételű nemzetközi együttműködések keretében sikeres kutatásokat folytatott a kétdimenziós konform térelmélet szimmetria algebraival, valamint a részben ezekhez kapcsolódó egzaktul megoldható („integrálható”) redszerekkel (főként az ún. Wess–Zumino–Novikov–Witten- és Toda-modellek, KdV hierarchiák, általánosított

Drinfeld–Sokolov-rendszerek) foglalkozó témában [2–5]. Kutatásait összegezve 1993 telén elkészítette “Extended conformal algebras and integrable systems from a Hamiltonian reduction viewpoint” című doktori disszertációját, amelynek 1996 decemberi megvédése után 1997-ben elnyerte a „fizikai tudományok doktora” címet.

1997. szeptemberben 8 és fél éves külföldi kutatómunka után hazatért, és azóta tanít és kutat az SZTE Elméleti Fizikai Tanszéken. Az Elméleti Fizikai Tanszéken 1997 őszén habilitált, és 1998 júliusától lett egyetemi tanár. Ezt a tevékenységét 2003 szeptemberétől 2012 decemberéig egyéb jogviszonyban („félállásban”) végezte, főállásban pedig a KFKI RMKI (újabb nevén Wigner FK RMI) tudományos tanácsadója volt. Félévenként általában két kurzust oktatott, melyek között megtaláljuk a „Kvantumtérelmélet”, „Szimmetriák a fizikában”, valamint az „Analitikus mechanika” és a „Bevezetés az elméleti fizikába” (matematikusoknak) jellemzően MSc szintű tárgyakat, továbbá a „Válogatott fejezetek a matematikai fizikából” című speciális kollégiumot, és 5 matematikai fizika tárgyú doktori kurzust. 2013 januárjától kezdve az SZTE Elméleti Fizikai Tanszékének vezetője főállásban, de „negyedállásban” tovább dolgozik a Wigner FKI RMI-ben is.

Kutatásai az MTA doktori cím megszerzése óta is a matematikai fizika területéhez tartozó integrálható rendszerekkel, azok szimmetriastruktúráival, illetve konkrét integrálható modellek (minden numerikus vagy közelítő módszertől mentes) vizsgálatával foglalkoznak. Egzaktnak megoldható modellek fontos szerepet játszanak a fizika szinte minden ágában. A megoldhatóság hátterében általában valamilyen szimmetria áll, amely ezen problémák extrém matematikai szépségét is garantálja. Fehér László munkái gyakran a szimmetriastruktúrákat használják és elemzik. Cikkeinek jellemző vonása a Lie-elmélet és a szimplektikus geometria modern redukciós módszereinek alkalmazása, de alkalmanként pl. a funkcionálanalízis és a Riemann-geometria eszközei is bevetésre kerülnek. Munkája a matematika olyan friss területeit is érinti, mint a vertex operátor algebrák és a kvantumcsoportok elmélete, valamint utóbbiak kvázi-klasszikus analógjai: a Poisson–Lie-csoportok és a dinamikai Yang–Baxter-struktúrák [6–9].

Az utóbbi évek munkáinak legfontosabb témája az úgynevezett Calogero–Moser–Sutherland és Ruijsenaars–Schneider típusú egydimenziós sokrészecske rendszerek dualitásainak leírása. Ezek a modellek a fizika számos területén megjelennek és sok szálon kapcsolódnak a matematika érdekes fejezeteihez. Két integrálható sokrészecske-rendszer dualitása azt jelenti, hogy az egyik rendszer részecske-koordinátái a másik rendszer hatásváltozóit adják, és ez a reláció szimmetrikus a rendszerek felcserélésére nézve. A dualitási

relációt a 90-es évek közepén S. Ruijsenaars fedezte fel, nehéz és körülményes direkt módszerek alkalmazásával. Fehér László és munkatársainak cikkei a dualitási relációik egységes csoportelméleti értelmezését célozzák. A dualitásban álló rendszereket olyan magas dimenziós fázistereket redukálva kapják, melyek „szabad” Hamilton-függvények két családját hordozzák. Redukció után a szabad Hamilton-függvények adják a duális rendszerek hatásváltozóit és részecskekoordinátáit. Szerepük felcserélése mögött a redukált fázistér két ekvivalens leírása áll, melyek megfelelnek a duális rendszereknek. Ebben a képben magától értetődővé vált az az alapvető állítás, hogy a dualitást egy kanonikus transzformáció reprezentálja, és a Poisson–Lie-csoportok kvantálása révén adódó kvantumcsoportok trigonometrikus Ruijsenaars-rendszerekben játszott szerepe is természetes magyarázatot nyert [10, 11].

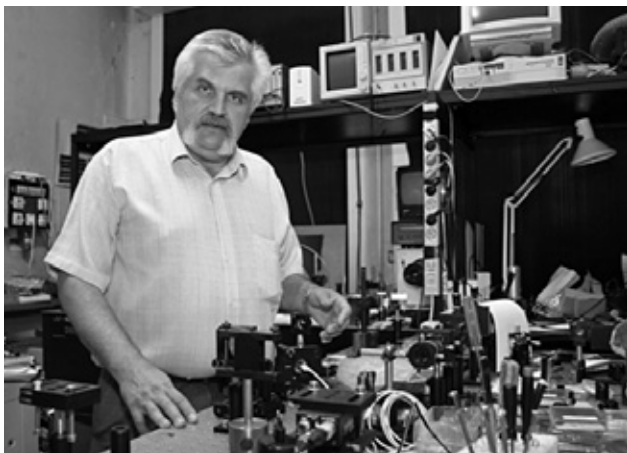
Az SZTE fizika doktori iskola törzstagjaként eddig három hallgatója szerzett PhD-fokozatot: Pusztai Béla Gábor (2003), Gábor András (2004) és Ayadi Viktor (2013). Az említett hallgatói és jelenlegi PhD-hallgatója (Görbe Tamás Ferenc) sikeres OTDK-dolgozatokat (2., 3. illetve különdíjak) is írtak. Eddig megjelent 72 referált cikkére és 21 konferencia közleményére az MTMT-ben jelenleg összesen 1735 független idézet található, ami viszonylag magas szám a matematikához közeli kutatási területén. Szakmai elismertséget jelez a „SIGMA” (Symmetry, Integrability and Geometry: Methods and Applications) és a „Journal of Nonlinear Mathematical Physics” nemzetközi folyóiratok szerkesztőbizottsági tagsága és az MTA XI. Osztályától 2009-ben elnyert „Fizikai Díj” is.

Válogatott publikációi

1. B. Cordani, L. Fehér, P.A. Horváthy: *Kepler-type dynamical symmetries of long-range monopole interactions*, J. Math. Phys. 31, 202–211 (1990).
2. J. Balog, L. Fehér, L. O’Raifeartaigh, P. Forgács, A. Wipf: *Toda theory and W-algebra from a gauged WZNW point of view*, Ann. Phys. (N. Y.) 203, 76–136 (1990).
3. L. Fehér, L. O’Raifeartaigh, P. Ruelle, I. Tsutsui, A. Wipf: *On Hamiltonian reductions of the Wess-Zumino-Novikov-Witten theories*, Phys. Rep. 222, 1–64 (1992).
4. L. Fehér, J. Harnad, I. Marshall: *Generalized Drinfeld-Sokolov reductions and KdV type hierarchies*, Commun. Math. Phys. 154, 181–214 (1993).
5. F. Delduc, L. Fehér: *Regular conjugacy classes in the Weyl group and integrable hierarchies*, J. Phys. A: Math. Gen. 28, 5843–5882 (1995).

6. J. de Boer, L. Fehér: *Wakimoto realizations of current algebras: an explicit construction*, Commun. Math. Phys. 189, 759–793 (1997).
7. J. Balog, L. Fehér, L. Palla: *Chiral extensions of the WZNW phase space, Poisson-Lie symmetries and groupoids*, Nucl. Phys. B 568, 503–542 (2000).
8. L. Fehér, I. Tsutsui, T. Fülöp: *Inequivalent quantizations of the three-particle Calogero model constructed by separation of variables*, Nucl. Phys. B 715, 713–757 (2005).
9. L. Fehér, B.G. Puzsai: *Hamiltonian reductions of free particles under polar actions of compact Lie groups*, Theor. Math. Phys. 155, 646–658 (2008).
10. L. Fehér, C. Klimcik: *Poisson-Lie interpretation of trigonometric Ruijsenaars duality*, Commun. Math. Phys. 301, 55–104 (2011).
11. L. Fehér, T.J. Kluck: *New compact forms of the trigonometric Ruijsenaars-Schneider system*, Nucl. Phys. B 882, 97–127 (2014).

Interjú Szabó Gábor akadémikussal



Gyémánt Iván: Szabó Gábor akadémikus, a Szegedi Tudományegyetem rektora, a TTIK Fizikus Tanszékcsoportban az Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék professzora, a Magyar Innovációs Szövetség elnöke, volt kutatás-fejlesztési helyettes államtitkár. 2010-ben, rektori köszöntőjében megfogalmazta, hogy milyennek látja, milyennek szeretné látni a szegedi egyetemet.

Szabó Gábor: A Szegedi Tudományegyetem dinamikus és a változásokhoz alkalmazkodó szereplője a magyar felsőoktatásnak. Egy óriási intézmény

rugalmassága olyan erény, amely mögött jól felépített rendszerek biztosítják a stabilitást és a folytonosságot. Az egyetem hosszú távú stratégiája, az oktatás-kutatás-innováció között létrehozott kapcsolat, a különböző képzési területek összehangoltsága együtt a kihívásoknak megfelelni képes egyetemi világot alkotnak. Az oktatók odaadó munkájának és a hallgatók tehetségének köszönhetően a Szegedi Tudományegyetem nagy presztízsű, elismert intézmény. Amikor a jót jobbra kívánjuk tenni, a még ki nem használt lehetőségeket kell megtalálni. Az integrált egyetem sokoldalúsága és átjárhatósága nagyszerű adottság. Az integrált, szinte minden képzési területet magáénak mondó Szegedi Tudományegyetem Magyarország egyik vezető kutatóegyeteme, ahol a karok közti együttműködésnek köszönhetően a különböző tudományterületek hatékonyan egészíthetik ki egymást. Ez az egyetemi belső munkamegosztás a jövő felsőoktatásában a siker kulcsa, mely korszerű, a változásokat követni képes oktatást, a kutatásban és az innovációban vezető szerepet ígér. Nemcsak remélem, hanem hiszem is, hogy a Szegedi Tudományegyetem jó hírét sokoldalúságában rejlő lehetőségei és ezen lehetőségek kihasználása messzire viszi hazánkban és az országhatáron túl.

Gy. I.: Amikor 2010 márciusában önnek ítelték a Szegedért Alapítvány Tudományos Kuratóriumának díját, az ELI uniós kutatóközpont szegedi megépítésének jelentőségéről nyilatkozott.

Sz.G.: Az ELI legalább egy évtizedig meghatározó lesz a világ lézerkutatásában. A magyar lézerfizikusok munkájának köszönhető siker hatalmas lehetőséget nyit meg a Szegedi Tudományegyetem előtt is. A központ üzemeltetése 150-200 jól képzett szakembert igényel, és ugyanennyi kutató végzi majd itt munkáját. A gazdasági haszon mellett óriási tudományos presztízst jelentene a szuperlézer, amely képes lenne extrém nagy teljesítményű attoszekundumos impulzusokat is előállítani. Lehetővé válna igen rövid időtartamú – pl. molekuláris biológiai folyamatok – nyomon követése, de profitálhatna belőle többek között az anyagtudomány és a felülettudomány is. Fontos, hogy elinduljanak a témához kapcsolódó idegen nyelvű képzések. Valószínűleg nagy számban jelennek meg Szegeden a fizika e területével foglalkozó külföldi diákok. Nem nagyon kell majd annál jobb ajánlólevél a világ bármely kutatóintézetébe, minthogy valaki itt készítette a doktoriját.

Gy. I. 2010. november 24-én tartotta akadémiai székfoglaló előadását, amelyet a levezető elnök rendkívülinek nevezett, mert nem elsősorban alapkutatási, hanem alkalmazott kutatási eredményeit foglalta össze. Az akadémia hírlevelében a következő méltatással tudósítottak a rendes taggá választásról: Szabó Gábor fizikus, a Szegedi Tudományegyetem Optikai és Kvantumelektronikai Tanszékének egyetemi tanára. Az 56 éves kutató szűkebb

szakterülete az optika, a kvantumelektronika, a spektroszkópia és az orvosi fizika. Az MTA-nak 2004 óta levelező tagja. Az utóbbi években kutatásainak középpontjában a fotoakusztikus spektroszkópia környezetvédelmi és ipari alkalmazásai állnak. Ennek keretében munkatársaival kifejlesztett egy felső légköri mérésekre alkalmas vízgőzmérőt, szub-ppb érzékenységű ammónia-mérőt, földgáziparban alkalmazható kénhidrogénmérőt, illetve a levegőben lebegő korom spektroszkópiai azonosítására alkalmas műszert.

Sz. G.: A hetvenes évek közepétől a nyolcvanas évek elejéig-közepéig tizenegynéhány lézerrendszert adtunk el Magyarországon. Itt szoktam meg, hogy a vevő mindig kifizeti a termék árát. Abban az időben mindig azt mondogattuk egymásnak, ha valaki nem kellően gondos munkát végzett, hogy „Képzeld el, hogy ezért a lézerért annyit fizetett valaki, hogy abból a pénzből tizenkét Ladát ide lehetne állítani az épület elé!” A fiataloknak ez valószínűleg nem sokat mond, de a 70-es évek végén a Lada volt a luxus alapegysége. Tehát a lézernek működni kell, nincs olyan, hogy nem működik, nem teljesíti a paramétereit. Ott szoktam hozzá ahhoz, hogy az életnek ezt az oldalát is látni kell, és ez még mindig fontos hajtóerő számomra. Meglepő módon nagyon sok közös van az alapkutatásban és alkalmazott kutatás, illetve ipari tevékenység között: a kettő nagyon mély kapcsolata abban áll, hogy van egy alapvető kihívás, és van egy probléma, amit meg kell oldani. Az igazi különbség csupán annyi, hogy az egyik esetben én vetek föl egy problémát, mert a tudomány logikájából kiindulva úgy gondolom, hogy ez érdekes kérdés lehet. Eddig bizonyos dolgokat már megválasztottak vele kapcsolatban a kollégáim, de erre a részletére még senki sem tudja a választ. Az utóbbi esetében valaki más veti fel a problémát, amit meg kell oldani. A lényeg az, hogy a problémát mindkét esetben meg kell oldani, és a problémamegoldás, az alapkutatás és az alkalmazott kutatás logikája, eszközei, módszerei nagyon hasonlítanak egymásra.

Gy. I.: 1954-ben Nagykanizsán született egy sokgyermekes családban. Köztudott, hogy testvérei is pályájuk sikeres képviselői. Édesapja szegedi kötődése is szerepet játszott abban, hogy a fizikus szakot a szegedi József Attila Tudományegyetemen végezte el. 1978-ban a Kísérleti Fizikai Tanszék oktatója lett, 1981–1989 között mintegy öt évet a göttingeni Max Planck Intézetben, majd 1990–1996 között három évet a houstoni Rice Egyetemen dolgozott vendégkutatóként, ill. vendégprofesszorként, közben számos akadémiai, alapítványi és állami kitüntetést kapott. Itthon közben zajlott a felsőoktatás permanens reformja, amelyben ön is aktívan részt vett. Emlékszem, hogy 1996-ban Rácz Béla professzorral közösen kitalálták és kidolgozták a Tanulmányi és Informatikai Központ koncepcióját, tárgyaltak a Világbank, majd a magyar kormány képviselőivel.

Sz. G.: A külföldön tapasztaltak és az itthoni változások alapján látható volt, hogy a felsőoktatás nálunk is tömegesedni fog. Hogy a bekövetkező minőségi csökkenés mellett megmaradjon egy magas minőségű képzés is, a szegedi egyetemet több szempontból versenyképessé kell tenni: ide kell vonzani tehetséges diákokat, pl. jó infrastruktúrával, valamint magas színvonalú, a világban versenyképes képzést kell nyújtani. Éppen ezért ugyanilyen fontosnak tekintetem a fizika doktori képzés megszervezését is, amelynek keretében 1993 óta legalább százan szereztek PhD-fokozatot. Közülük sokan a világ különböző egyetemein, kutatóintézeteiben dolgoznak, többen vezető tisztségekben.

Gy. I.: Szeged város 2009-ben Pro Urbe kitüntetéssel ismerte el tevékenységét.

Sz. G.: A képzés színvonalának magasán tartása mellett a környezettel: a várossal és a gazdaság szereplőivel is élő, hasznosítható kapcsolatot kell kiépíteni, hiszen mérésekkel igazolt tény, hogy a szegedi régió tudáspotenciáljának gazdasági hatása nem arányos annak tudományos méreteivel. Úgy is mondhatjuk, hogy a szegedi tudományos potenciál adása környezetének. Ahhoz azonban, hogy adósságát törleszteni tudja, feltétlen segítséget kell kapnia környezetétől.

Interjú Bor Zsolt akadémikussal



Gyémánt Iván: Amikor 2004-ben Bor Zsoltnak ítelték a Bolyai-díjat, Roska Tamás állította össze a Díjbizottság méltatását. Ez így kezdődik: Bor Zsolt 1949-ben született. Nagyon korán jelét adta kivételes képességeinek:

középiskolás korában már korosztálya kiemelkedő tehetségének számított. Kapott-e családi támogatást és útmutatást tehetsége kibontakoztatásához?

Bor Zsolt: A tehetségek nehezen ismerhetők fel és könnyen összetéveszthetők a hiperaktív rosszcsontokkal. Csak a legkiválóbb tanárok képesek arra, hogy különbséget tegyenek köztük. Ők a tehetséggondozás fizetetlen köz-katonái, a szellemi kincskereső tanárok. Én ismertem egy ilyen kincskereső tanárt Szegeden. Legendás hírű középiskolai fizika szakkörei ontották a felfedezett tehetségeket. Tanítványai közül többen fizikai diákolimpiát nyertek, ma pedig a magyar és külföldi egyetemek fizikaprofesszorai és a Magyar Tudományos Akadémia tagjai. Ő édesapám volt, Bor Pál, a Szegedi Tanárképző Főiskola Fizika Tanszékén főiskolai tanár, fizikatanárok nemzedékei tanulták tőle a szakmát, és ismerkedtek meg látás- és gondolkodásmódjával. Magával ragadó, hiteles személyiség volt, igazi szellemi kincskereső tanár. Bolyai-díjamat az ő emlékének ajánlottam.

Gy. I.: 1977-ben Göttingenben új módszert talált fel rendkívül rövid (piko- és femtoszekundumos) lézerimpulzusok generálására. El tudná magyarázni felfedezésének fő elemeit?

B. Zs.: A rövid lézerimpulzusokat ún. elosztott visszacsatolású festéklézerekkel sikerült előállítani. Ezeknek a lézereknek az aktív, a fényt erősítő anyaga a spektrum látható tartományában erősen abszorbeáló anyag, vagyis festék, amelyben a visszacsatolás a közegben folyamatosan fellép, és nincsen valahol lokalizálva, mondjuk, mint egy tükör segítségével. A lézer működését modellező differenciálegyenleteket a göttingeni laboratóriumban számítógéppel elemezve azt tapasztaltam, hogy a megoldások épp úgy viselkednek, ahogyan azt előre megsejtettem.

Gy. I.: Ennek a sikernek köszönhető, hogy a göttingeni Max Planck Institut für biophysikalische Chemie Lézerfizikai Részlegében létrehozott állandó laborban szegedi munkatársaival, Rácz Béla, Szabó Gábor és Szatmári Sándor professzorokkal, akkor még tudományos segédmunkatársakkal, alapvető sikereket ért el az ultragyors lézerfizika területén.

B. Zs.: A femtoszekundumos lézerimpulzusok jelentősége az, hogy segítségükkel még az olyan gyors folyamatok is fényképezhetővé és folyamatukban követhetővé válnak, amelyek az egymilliomod másodperc egymilliomod részénél is gyorsabban játszódnak le.

Gy. I.: 1989-ben, 40 éves korában a szegedi egyetemre visszatérve kinevezték az újonnan alapított Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék vezető professzorának.

B. Zs.: A tanszék fő kutatási profilja a modern optika új ága, a femtoszekundumos optika megalapozása lett, amely az extrém rövid lézerimpulzusok

tér- és időbeli viselkedését írja le. Munkatársaim, Szabó Gábor, Horváth Zoltán és Osvay Károly kimutatták, hogy a rövid lézerpulzusok korlátozott térbeli tartományban fénysebességet meghaladó sebességgel képesek terjedni. Emellett számos univerzális érvényű fénytani alapösszefüggést ismertek fel.

Gy. I.: 1995-től közel tíz évet töltött az Egyesült Államok különböző kutatóintézeteiben. A houstoni Rice Egyetemen kidolgozott egy új módszert az ún. nemdiffraktáló nyalábok előállítására.

B. Zs.: Ezek a nyalábok úgy terjednek a térben, mintha nem engedelmessé válnának az optika alaptörvényeinek. Szabó Gáborral, Horváth Zoltánnal és Erdélyi Miklóssal közösen kitaláltunk egy optikai trükköt, amellyel sikerült az optikai feloldóképességet úgy megnövelni, hogy eközben egy másik optikai értékmérő paraméter, a mélységélesség is javult. A nemdiffraktáló nyalábok felhasználásával megnövelhető a litográfiai eljárások feloldóképessége. A fotolitográfia a számítógépcsipek előállításának technológiája, az elektronikai ipar legbonyolultabb és egyben legfontosabb eljárása.

Gy. I.: 1990-ben a Magyar Tudományos Akadémia levelező, 1994-ben rendes tagjává választotta, 1993 óta az Academia Europaea (London) tagja, Széchenyi-díjas, 1998-ban megkapta Szeged város Pro Urbe díját és még számos egyéb díj és kitüntetés birtokosa. Mit üzen a szegedi fizikai kutatásokat bemutató kötet olvasói számára?

B. Zs.: A jövőben a tudományos kutatás és fejlesztés lesz a legfőbb értékteremtő és legfontosabb fegyver az egyes országok és régiók közötti harcban. A történelemben arra még nem volt példa, hogy egy ország az oktatási és kutatási kiadások miatt ment volna tönkre. Az ellenkezőjére viszont igen. Aki a tudománnyal foglalkozik, azért teszi, mert érdekesnek találja, mert kíváncsi, mert örömet szerez neki, ha rájön valamire, amit addig nem tudott. A tudomány mégsem a tudósok magánügye, hanem a jólét forrása. Az igazán ugrás-szerű fejlődést minősze egy-két kiemelkedő képességű egyén intellektuális teljesítménye szokta létrehozni. A tudós nemcsak önmagáé, hanem népéé is.