

Dr. Sándor Péter kutatói életrajza

Születési hely, dátum: Debrecen, 1983. 06. 27.

Kutatói azonosítók:

- ORCID: 0000-0002-8311-1878
- Web of Science ResearcherID: AAB-5610-2019
- Google Scholar ID: zINK9XQAAAAJ
- MTMT: 10066470

Jelenlegi munkahely: tudományos munkatárs, Wigner FK (2018-)

Korábbi munkahelyek: posztdoktor kutató, University of Virginia, USA (2016-2018)

doktorandusz/predoktor kutató, Stony Brook University, USA (2010-2016)

Végzettség és képesítések: Mérnök-fizikus egyetemi diploma, Budapesti Műszaki Egyetem (2008)

Fizika PhD, Stony Brook University (2016)

Kutatási tapasztalat:

Tudományos munkatársi megbízatás, 2018 október 1 óta, **Wigner Fizikai Kutatóközpont** (témavezető: **Dombi Péter**)

- Ultragyors plazmonikai és fotoemissziós kísérletek félgömb analizátorral
- Kevés ciklusú impulzusok mérésére szolgáló optikai interferometrikus autokorrelációs elrendezés továbbfejlesztése interferometrikus FROG elrendezéssé, kiértékelő program adaptációja, impulzushossz mérése.
- Lokális plazmonterek kontrollja a gerjesztő lézer polarizációjával, user projektek megvalósítása az ELI Lézerközpontban
- Forró elektronok ultragyors dinamikájának vizsgálata femtoszekundumos plazmonokkal; a plazmonok optikai kapcsolásának megvalósítása.

Tudományos munkatársi megbízatás, 2016 március 17 – 2018 augusztus 31, **Physics Dept., University of Virginia** (témavezető: **Robert R. Jones**)

- Az ATTO-CM együttműködés munkatársa, mely három kutatócsoport koordinációját valósította meg a következő egyetemekről: Louisiana State University, Ohio State University és University of Virginia. A cél molekulák elektronszerkezetében lezajló töltésmigráció tanulmányozása attoszekundumos időskálán.
- Erős elektromos terekben történő molekuláris ionizáció elektronhozamának irány szerinti felbontással való mérése (angle-resolved strong field molecular ionization) szén-szulfid (CS_2), bromometán (CH_3Br) és klorometán (CH_3Cl) esetében.
- Ultrarövid lézerimpulzus által indukált tranziens térbeli irányultság szimulációja lineáris és forgászimmetrikus molekulák esetén.
- Többutas (multipass) titán-zafír erősítő fokozat fejlesztése (3 mJ-os impulzusok 1 kHz ismétlési frekvenciával)

Doktori kutatási feladatok, 2010 február – 2016 január, **Physics Dept., Stony Brook University** (témavezető: **Thomas C. Weinacht**)

- DNS-bázisok elektronikus relaxációs folyamatainak vizsgálata 2D UV spektroszkópiai módszerrel
- Sebesség szerinti leképezést (Velocity Map Imaging) megvalósító berendezés továbbfejlesztése úgy, hogy egy ion és a hozzá tartozó elektron koincidenziája detektálható legyen.
- Többatomos molekulák erős terekben való ionizációja és disszociációja dinamikájának vizsgálata koincidenziadetektálással és ultrarövid lézerimpulzus-formálással.
- Másodharmonikuseltétes (SHG) FROG berendezés módosítása, melynek eredményeként 9 fs hosszú impulzusok is mérhetővé váltak (800 nm középhullámhosszon).

Diplomamunka (2007 január – 2008 június), alkalmazás az **R&D Ultrafast Lasers Kft.**-nél (2008 szeptember – 2008 december) valamint alkalmazás az **MTA Szilárdtestfizikai Kutatóintézetnél** (2009 január – 2009 december) (témavezető/felettes: **Szipócs Róbert**)

- Tapasztalat femtoszekundumos időfelbontott spektrális interferometria módszerrel (tranzienzfázismérések).
- Tükördiszperzió mérése spektrálisan felbontott fehérfényű interferometriával
- Együttműködés femtoszekundumos időfelbontott tranzien abszorpciós mérőrendszer kialakításában.
- PPLN alapú, Yb szállézerrel pumpált optikai parametrikus oszcillátor (OPO) fejlesztése.
- Telítődő abszorbens tükrök kísérleti vizsgálata Z-pásztázás (Z-scan) technikával.

Kompetenciák

- Ultragyors és nemlineáris optikával, ultragyors lézerimpulzus-formálással és diagnosztikával kapcsolatos ismeretek (Frekvenciafelbontott optikai kapuzás /FROG/ és variánsai)
- Elektron- és ionoptika, illetve detektálásra szolgáló technikák alkalmazásszintű ismerete (Repülési-idő-spektrometria, sebesség szerinti leképezés /velocity map imaging/, hemiszférikus analízator, elektron-ion koincidenziadetektálás)
- Az időfüggő Schrödinger egyenlet megoldási módjának ismerete ultragyors lézerimpulzus által indukált tranzien molekulfizikai folyamatok szimulációjára
- Vákuumrendszerek alkalmazási szintű ismerete
- Gépészeti eljárások ismerete
- Kiterjedt programozási ismeretek C, MATLAB, Python és LabView nyelvekben
- Sokrétű tapasztalat adatfelvételi/mérési rendszerek építésében és adatkiértékelési eljárásokban
- Jó alkalmazkodóképesség és munkatársakkal való együttműködési készség
- Optikai kísérleti berendezések, mérési kampányok tervezése és végrehajtása külső helyszínen
- Folyékony angol nyelvtudás

Kutatási terv

1) Elektronok kontrollja plazmonikus közelterekben

Az elmúlt évtizedek során a fény-anyag kölcsönhatás kutatása egyre nagyobb térbeli és időbeli felbontással valósult meg. Időbeli rövidség tekintetében a femto- illetve attoszekundumos, térbeli koncentráltság tekintetében pedig a 10-100 nanométeres (diffrakciólimit alatti) tartomány jelenti jelenleg a határt. Az utóbbit felületi plazmonokkal lehet elérni, és ezekre építve az ún. ultragyors nanooptika a fentebb említett tér- és időbeli felbontás *egyszerre* történő elérését ígéri. Korábbi munkám során, melyet a Ultragyors Nanooptika „Lendület” kutatócsoport tagjaként végeztem, demonstráltam, hogy a nanoplazmonikus közelterekkel nem csak fotoemissziót lehet előidézni, hanem az emittált elektron mozgását közvetlenül lehet befolyásolni, melynek egyik eredménye lehet a jelentősen megnövekedett kinetikus energia [1]. A továbbiakban azt vizsgálom meg, hogy kevés ciklusú lokalizált plazmonikus közelterek esetén a vivő-burkoló fázis (carrier-envelope phase, CEP) közvetlen kontrollja milyen hatással van az emisszióra, az emittált elektronok mozgására, illetve kinetikus energiájukra. A továbbiakban is számítok a kutatócsoport szakmai támogatására, kiegészítve azt külső partnerekkel történő együttműködéssel is (pl. Grazi Műszaki Egyetem).

2) Időben és térben felbontott plazmondinamika

Az 1)-es ponthoz szervesen kapcsolódik az a törekvés, hogy a keltett plazmonoszillációkat időben és térben feloldva vizsgálni lehessen. Egy plazmon hullámcsomag időbeli hosszáról a legtöbb esetben csupán közvetett információink vannak. Ezek leginkább a gerjesztő impulzus és a nanostruktúra geometriájának ismeretén, valamint az elektromágneses közeltér végeelem-módszerrel történő szimulációin alapulnak. A jelenlegi legkorszerűbb diagnosztikai módszer elektronmikroszkópián alapul [2,3], s emiatt a térbeli felbontóképessége még nem elégséges ahhoz, hogy egy adott, ~100 nm karakterisztikus méretű nanostruktúra különböző részeinek plazmonválaszt elkülönítse. Munkám során annak vizsgálatára teszek javaslatot, hogy a térbeli információ mellett az emissziós spektrumból kinyerhető adatokat is használjuk fel a térbeli felbontás növelése érdekében. (Tudvalevő például, hogy az ún. forró pontokból /hot-spot/ érkező elektronok nagyobb kinetikus energiával rendelkeznek.) Ennek érdekében szoros együttműködést kezdeményezek az ELI-ALPS kutatóközponttal, ahol a vizsgálatokhoz szükséges személyi és tárgyi feltételek is adottak (NanoESCA mérőberendezés).

3) Forró elektronok dinamikájának vizsgálata plazmonikus szondázással

A mai modern számítógépek információfeldolgozó kapacitásának bővítésére egyre nagyobb igény van. Egyes elképzelések szerint tisztán fény alapú architektúrára lenne szükség, ami nagyságrendbeli ugrást jelenthetne az elérhető sávszélességben. Ezen belül is a plazmonikus áramköri elemek jelenthetik a megvalósítás felé vezető egyik utat, s bizonyos egyszerű funkciók (jelvezetés, osztás, összeadás) már demonstrálásra kerültek [4]. Kihívást jelent viszont egy olyan kapcsoló létrehozása, amelynek mindkét bemenetén optikai jeleket fogad, míg a kimenetén ezek kölcsönhatásának eredményeként szolgáltat logikai magas vagy logikai alacsony jelszintet. Eddigi eredményeim közé tartozik egy olyan új architektúra vizsgálata, melyben egy nagy intenzitású optikai pumpa impulzus hat kölcsön egy plazmonikus szonda impulzussal [5]. A kölcsönhatás alapja a haladó plazmonhullámot vezető aranyrétegben, a pumpa impulzus által keltett, többletenergiával rendelkező ('forró') elektronok megjelenése, majd termalizációja. Ezek ultragyors dinamikájának vizsgálata alapvető kutatási

szempontból, a plazmonikus architektúra optimalizációja pedig az esetleges alkalmazások szempontjából érdekes. Célom ezt a kutatási irányvonalat folytatni, melynek egyik mérföldköve egy kevés ciklusú haladó plazmon-pumpa / plazmon-próba elrendezés megvalósítása, melynek egyik fő előnye a megnövekedett időbeli felbontóképesség. További célkitűzés a planáris plazmonkapcsolók megvalósítása és karakterizálása a kapcsolási karakterisztika optimalizálásának érdekében.

4) Molekulák plazmonikus csapdázása

Az atomok és molekulák lézeres térbeli csapdázására irányuló törekvések közel egyidősek magukkal a lézerekkel. Az egyedülálló kémiai molekulák csapdázásának érdekében a csapda térfogatának drasztikus csökkentésére van szükség, jóval a diffrakciólimit alá; ehhez nanooptikai struktúrák alkalmazását javasolták. Az első demonstráció pár éve történt meg, plazmonikus nanotű-pár segítségével [6]. Mindez megnyitja az utat nem csak az egyedi molekulák kontrollált vizsgálatának irányába, hanem ahhoz is, hogy ilyen molekulákat plazmonikus rendszerekbe lehessen integrálni, és új funkciókat, alkalmazásokat lehessen találni. Hosszú távú célul tűzöm ki a plazmonikus molekula-csapdák kísérleti kutatását, legfőképp optikai kapcsolók létrehozásának szempontjából. Mivel ez egy merőben új kutatási irány, ezért ebben nem csupán a kutatócsoportom szakmai-technikai hátterére, hanem a Wigner FK-éra is támaszkodnék, mind a mintakészítés, mind az elméleti modellezés terén.

Hivatkozások

- [1] B. Lovász*, P. Sándor*, G.-Z. Kiss, B. Bánhegyi, P. Rácz, Z. Pápa, J. Budai, C. Prietl, J. R. Krenn, and P. Dombi, *Nonadiabatic Nanooptical Tunneling of Photoelectrons in Plasmonic Near-Fields*, Nano Lett. **22**, 2303 (2022) *az első két szerző egyenlő hozzájárulásával
- [2] K. Komatsu, Z. Pápa, T. Jauk, F. Bernecker, L. Tóth, F. Lackner, W. E. Ernst, H. Ditlbacher, J. R. Krenn, M. Ossiander, P. Dombi, and M. Schultze, *Few-Cycle Surface Plasmon Polaritons*, Nano Lett. **24**, 2637 (2024).
- [3] A. Gliserin, S. H. Chew, S. Choi, K. Kim, D. T. Hallinan, J. W. Oh, S. Kim, and D. E. Kim, *Interferometric Time- And Energy-Resolved Photoemission Electron Microscopy for Few-Femtosecond Nanoplasmonic Dynamics*, Rev. Sci. Instrum. **90**, (2019).
- [4] S. Sederberg, C. J. Firby, S. R. Greig, and A. Y. Elezzabi, *Integrated Nanoplasmonic Waveguides for Magnetic, Nonlinear, and Strong-Field Devices*, Nanophotonics **6**, 235 (2017).
- [5] B. Lovász*, P. Sándor*, J. Budai, Z. Pápa, and P. Dombi, *Ultrafast Surface Plasmon Probing of Interband and Intraband Hot Electron Excitations*, Nano Lett. (2024, minor revision módosítást készítjük). *az első két szerző egyenlő hozzájárulásával
- [6] C. Zhan, G. Wang, J. Yi, Y. Yang, W. Hong, and Z.-Q. Tian, *Single-Molecule Plasmonic Optical Trapping*, Matter **3**, 1350 (2020).

Sándor Péter tudományos és oktatási munkásságának összefoglalása

MTA XI. Fizikai Tudományok Osztálya (2024.05.03)

Teljes tudományos közlemények száma ¹	1-5 szerző	6-10 szerző	11-20 szerző	21-100 szerző	> 100 szerző („szerző”) ²	> 100 szerző („közreműködő”) ³
Eredeti folyóiratcikk	<u>7</u>	<u>8</u>	<u>3</u>	0	0	0
Összefoglaló cikk	0	0	0	0	0	0
Lektorált konferenciaközlemény (legalább 3 oldal)	0	<u>2</u>	0	0	0	0
Könyvek, könyvfejezetek	0	0	0	0	0	0
Összes teljes tudományos közlemény száma	<u>7</u>	<u>10</u>	<u>3</u>	0	0	0

A teljes tudományos közlemények idézettsége teljes tudományos munkákban (önhivatkozás és a társszerzőknek a közös cikkekre való hivatkozása nélkül):

Teljes tudományos közlemények ¹ száma	1-5 szerző	6-10 szerző	11-20 szerző	21-100 szerző	> 100 szerző („szerző”) ²	> 100 szerző („közreműködő”) ³
Független hivatkozások száma	<u>99</u>	<u>82</u>	<u>22</u>	0	0	0
Súlyfaktor (S)	1	0,75	0,5	0,25	1	0
Effektív hivatkozás	99	61,5	11	0	0	0

A pályázó teljes tudományos munkáinak független idézettsége:

Jellemzők	teljes idézettség	effektív idézettség
Összes teljes tudományos munkájának független idézettsége	<u>203</u>	171,5
Tudományos fokozat megszerzése (2016) óta írt közleményeinek független idézettsége	<u>90</u>	64,75

A függő és független hivatkozásból számolt H-indexe	<u>10</u>
A független hivatkozásból számolt H-indexe	<u>9</u>

Az elmúlt 5 év kiemelt publikációi

P. Sándor, A. Sissay, F. Mauger, M. W. Gordon, T. T. Gorman, T. D. Scarborough, M. B. Gaarde, K. Lopata, K. J. Schafer, and R. R. Jones, *Angle-Dependent Strong-Field Ionization of Halomethanes*, J. Chem. Phys. **151**, (2019).

Halogénezett metán molekulák (CH₃Br és CH₃Cl) molekulatengelyhez viszonyított, irányfüggő, intenzív elektromos terekben történő ionizációját vizsgáltuk ultragyors pumpa-próba kísérletek és időfüggő sűrűségfunkcionál-elmélet segítségével. A kísérletek során a lézerimpulzusokkal átmenetileg térben beállított molekulák ionizációjának időfüggéséből nyertük ki a molekulatengelyhez viszonyított ionizációs növekményt; a kísérlet megépítését, végrehajtását és az adatkiértékelést is túlnyomórészt én végeztem. Meglepő módon a legmagasabb energiájú, még betöltött molekulapályák strukturális hasonlósága ellenére a különböző molekulák ionizációs növekményeinek szögeloszlása jelentősen különbözik. A számítások segítségével az adatokat értelmezve ez annak tudható be, hogy az egyik molekula esetén leginkább egy, a másik esetén több ionizációs csatorna is ad járulékot, valamint annak is, hogy a keletkezett lyuk halogénatomokra vonatkozó lokalizációjának mértéke különböző.

B. Lovász*, **P. Sándor***, G. Z. Kiss, B. Bánhegyi, P. Rácz, Z. Pápa, J. Budai, C. Prietl, J. R. Krenn, and P. Dombi, *Nonadiabatic Nano-Optical Tunneling of Photoelectrons in Plasmonic Near-Fields*, Nano Lett. **22**, 2303 (2022). *az első két szerző egyenlő hozzájárulásával

Az intenzív elektromos terekben történő fotoemissziót egy kevésbé tárgyalt szemszögből mutattuk be, ebben a publikációban. Az alapot olyan kísérletek adták, ahol kis energiájú, kevés ciklusú lézerimpulzusok intenzitását optikai térnövekmény segítségével növeltük meg litográfiával írt nanostrukturákon. Bizonyos intenzitástartományban a strukturákról emittált elektronok spektruma alapján megállapítható volt, hogy megjelenik a lézertérben történő gyorsítás és visszaszórás folyamata, mely az alagútemissziós tartományra jellemző; mindeközben viszont a teljes emittált elektronjel intenzitásfüggése a multifoton-tartomány jegyeit viselte magán. E két karakterisztikus jellemző alapján azonosítottuk az ún. nemadiabatikus alagútemissziós tartományt, és megállapítottuk, hogy a nanorészecskék geometriájától függetlenül akkor beszélhetünk erről, amikor a Keldysh-gamma: $\gamma \leq 2$. Jó egyezést találtunk a kísérleti, és az 1D időfüggő Schrödinger-egyenlet megoldásával nyert eredmények között.

Z. Pápa, **P. Sándor**, B. Lovász, J. Budai, J. Kasza, Z. Márton, P. Jójárt, I. Seres, Z. Bengery, C. Németh, P. Dombi, and P. Rácz, *Control of Plasmonic Field Enhancement by Mode-Mixing*, Appl. Phys. Lett. **120**, (2022).

A nanooptikai közelterek, és ezáltal a forró pontokban elérhető térnövekmény lézerpolarizáció által való hangolhatóságát demonstráltuk ezekben a kísérletekben, melyeket végelem-számolásokkal támasztottunk alá. Megmutattuk, hogy nanotégla strukturák esetén az elérhető térnövekmény növelhető, amennyiben nem csak az egyik, hanem az arra merőleges oldalhosszal összefüggő plazmonmódust gerjesztjük, valamint, ha a módusok közti fázist optimalizáljuk. Ez a munka az ELI-ALPS-ban folytatott kísérleti kampány eredményeként jött létre, mely kampány tervezésében, előkészítésében és végrehajtásában is tevékeny szerepem volt.

V. Hanus, V. Csajbók, Z. Pápa, J. Budai, Z. Márton, G. Z. Kiss, **P. Sándor**, P. Paul, A. Szeghalmi, Z. Wang, B. Bergues, M. F. Kling, G. Molnár, J. Volk, and P. Dombi, *Light-Field-Driven Current Control in Solids with pJ-Level Laser Pulses at 80 MHz Repetition Rate*, Optica **8**, 570 (2021).

V. Hanus, B. Fehér, V. Csajbók, **P. Sándor**, Z. Pápa, J. Budai, Z. Wang, P. Paul, A. Szeghalmi, and P. Dombi, *Carrier-Envelope Phase on-Chip Scanner and Control of Laser Beams*, Nat. Commun. 2023 141 **14**, 1 (2023).

E munkák alapja a szigetelők átmeneti fémesedése extrém alacsony energiájú, és nagy ismétlési frekvenciájú lézerpulzusok esetén. Néhány ciklusú, vivő-burkoló fázisstabilizált impulzusokkal világítottunk meg néhány mikrométer nyílású fém elektródákból, illetve a köztük levő szigetelő vagy félvezető anyagokból álló réseket, s mértük a résen átfolyó áram erősségét. Megfelelően nagy intenzitásnál lézer-indukált töltéshordozók jelennek meg a vezetési sávban, s az így keltett áram erőssége érzékenyen függ a vivő-burkoló fázistól. Ez azt jelzi, hogy a gerjesztésért felelős folyamat nem egyszerűen a lézerintenzitás, hanem az elektromos tér függvénye, s ennek megfelelően az áram elvileg optikai frekvenciákon modulálható. Demonstráltuk továbbá, hogy ez az effektus hogyan alkalmazható a lézerfókuszban a vivő-burkoló fázis térbeli függésének feltérképezésére. A projektek során a néhány optikai ciklusú impulzus időbeli lefutásának diagnosztikájához járultam hozzá.

B. Lovász*, **P. Sándor***, J. Budai, Z. Pápa, and P. Dombi, *Ultrafast Surface Plasmon Probing of Interband and Intra-band Hot Electron Excitations*, Nano Lett. (2024, minor revision módosítást készítjük). *az első két szerző egyenlő hozzájárulásával

Ez a friss eredmény vékony felületi aranyrétegben, optikai gerjesztés hatására megjelenő nemtermális, illetve forró elektronok dinamikáját vizsgálja kísérleti és elméleti szempontból is. A mérés alapja egy olyan, újdonságnak számító pump-próba séma, melynek során a forró elektronokat egy nagy intenzitású optikai impulzussal keltjük, míg a szondázás egy, a felület mentén terjedő haladó plazmonnal történik. Ez utóbbi a felületi szelektivitás mellett elviekben a diffrakciókorlát alatti méretű tartományok specifikus címzésére is alkalmas lehet, s ez előnyt jelenthet más, hagyományosabb optikai módszerekkel szemben. Az adatok azt mutatják, hogy a forró elektron-populáció három különböző időskálán relaxál, s ezek jó egyezést mutatnak a háromhőmérséklet-modellből kinyert paraméterekkel.