

AZ ELI ALPS LÉZERES KUTATÓINTÉZET

Varjú Katalin^{1,2,*}, Dombi Péter^{1,3}, Börzsönyi Ádám¹

¹ELI ALPS Lézeres Kutatóintézet, Szeged

²Szegedi Tudományegyetem, Szeged

³HUN-REN Wigner Fizikai Kutatóközpont, Budapest

*E-mail: info@eli-apls.hu

Az ELI (Extreme Light Infrastructure) lézeralapú alap- és alkalmazott kutatások végzésére, három telephelyen megvalósított egységes irányítású szervezetként működik. Az ELI Attosecond Light Pulse Source (ALPS, Attoszekundumos Fényimpulzusforrás) létesítmény Szegeden, az ELI Beamlines a Cseh Köztársaságban, a Prága melletti Dolní Břežanyban található, illetve az ELI Nuclear Physics a romániai Bukarest melletti Măgureleében épült fel. Az ELI sajátos jellemzője és potenciális erőssége a létesítmények komplementaritása, amely lehetővé teszi a tudományterületek különösen széles skálájának támogatását, továbbá új technológiák együttes kifejlesztését – például a lézertechnológia, a diagnosztika vagy a céltárgyak előállítása tekintetében. A három ELI-létesítmény 2022 óta szakértői értékelés alapján, nyílt pályázati felhívásokon keresztül érhető el a nemzetközi tudományos közösség felhasználói számára. Eddig az ELI-létesítmények 27 országból vonzották a kutatókat, akik 30 különböző eszközhöz nyertek hozzáférést fizikai, biológiai, kémiai, anyagtudományi és multidiszciplináris projektjeik elvégzéséhez.

Az ELI ALPS Lézeres Kutatóintézet fő küldetése a rendkívül gyors dinamikájú folyamatok tanulmányozása. A legkorszerűbb lézerek, fejlett másodlagos források és egyedülálló kísérleti munkaállomások megléte egyedülálló időfelbontású vizsgálati lehetőségeket kínál a fény és anyag nemrelativisztikus és relativisztikus kölcsönhatásainak vizsgálatához.

A lézeralapú alap- és alkalmazott kutatások széles skálájának támogatására kutatóintézetünk tizenkét speciális, kevés ciklusú, kimagasló átlag- és csúcsteljesítményű lézerrendszerrel rendelkezik (100 W átlagteljesítményt meghaladva a közeli és a közép-infravörös tartományban, 10 Hz-től 100 kHz-ig terjedő ismétlési frekvenciával). Már a lézerrendszerek tervezése során szem előtt tartottuk a rendkívüli igénybevételt, ami így paradigmaváltáshoz vezetett a modern ultragyors lézer-

technológia terén. Az addig elterjedt, de gyakran szer- vizigényes Kerr-lencsés módusszinkronizált titán-zafír oszcillátorok szerepét átvették az ipari alkalmazások terén bizonyított Yb-alapú impulzusforrások. Fehér- fény-keltéssel viszonylag könnyen előállítható a kevés ciklusú impulzusidőt biztosító spektrális szélesség; a különbségi frekvencia keltésével pedig inherens módon elérhető a vivő-burkoló fázis stabilitása.

A diódapumpált lézertechnológia fejlődése lehetővé tette a rendkívül stabil és kimagasló nyalábminőségű pumpalézerek használatát, melyek optikai parametrikus erősítőfokozatokat hajtanak meg. Ez utóbbi technológia kifejezetten előnyös nagy átlagteljesítmények eléréséhez, hiszen gyakorlatilag alig jelentkezik hőterhelés, illetve az ezzel együtt járó termikus lencsehatás. A kevés ciklusú impulzusidő elérését vékony üveglemezben történő spektrális szélesítéssel oldjuk meg. Ezeket a technológiai áttöréseket alkalmaztuk az 1 kHz-es SYLOS [1], MIR-HE és a 100 kHz-es MIR [2] rendszerek esetében. Egy másik megközelítés a nagy átlagteljesítményű, kevés ciklusú és nagy ismétlési frekvenciájú (HR, high-repetition) fényforrások előállításához a szállézeres technológia. A párhuzamosan elrendezett optikai szálerősítők nyalábjainak koherens kombinációval való egyesítése után a 300 fs körüli tartományból két posztkompressziós lépésen több- utas gázcellák alkalmazásával 6 fs-os impulzusidőt érünk el a 100 kHz-es HR lézerrendszerek esetében [3].



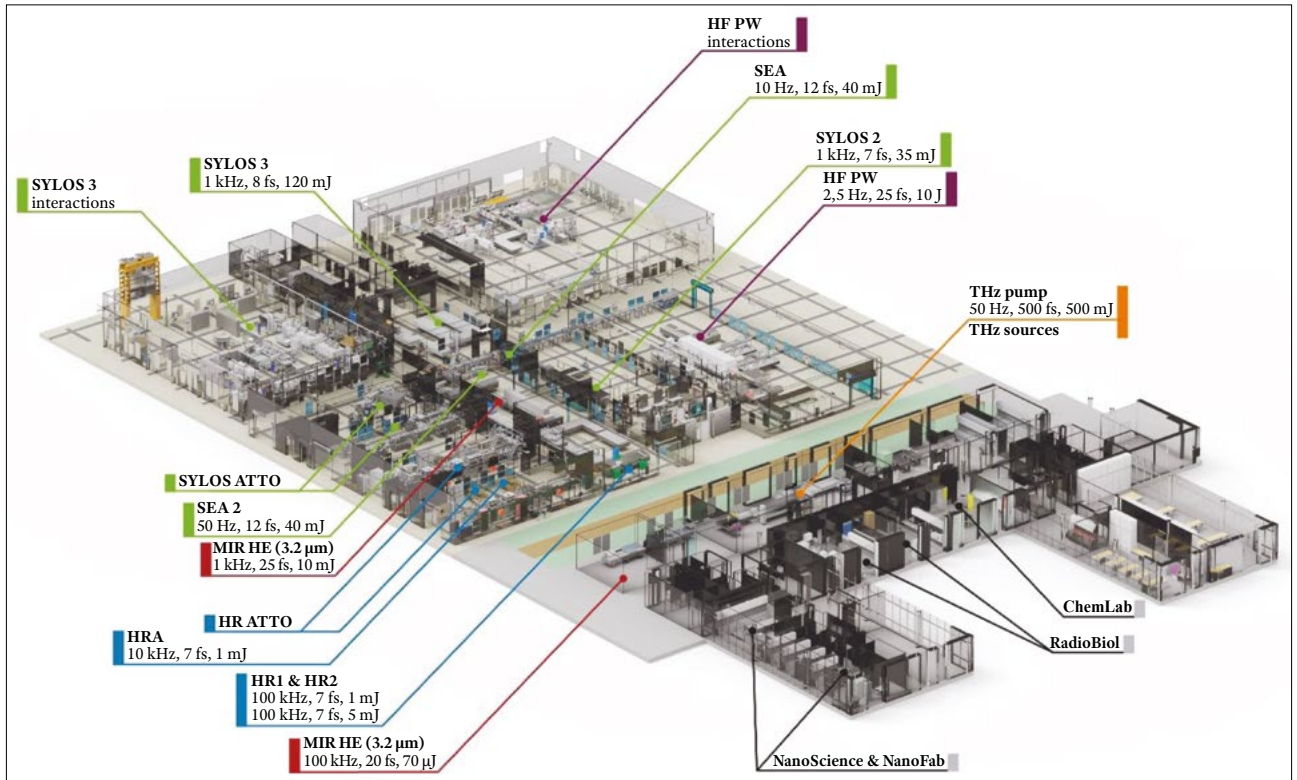
Varjú Katalin PhD, az ELI ALPS Lézeres Kutatóintézet tudományos igazgatója, a Szegedi Tudományegyetem Optikai és Kvantumelektronikai Tanszékének docense. Kutatási területe az attoszekundumos impulzusok keltése és alkalmazásai.



Dombi Péter, az MTA doktora, az MTA Lézerfizikai Bizottságának elnöke. A HUN-REN Wigner Fizikai Kutatóközpont Lendület-csoportvezetője, a szegedi ELI ALPS lézerközpont osztályvezetője. Kutatási területei a lézerfizika, a nanooptika és az ultragyors fény-anyag kölcsönhatási folyamatok vizsgálata.



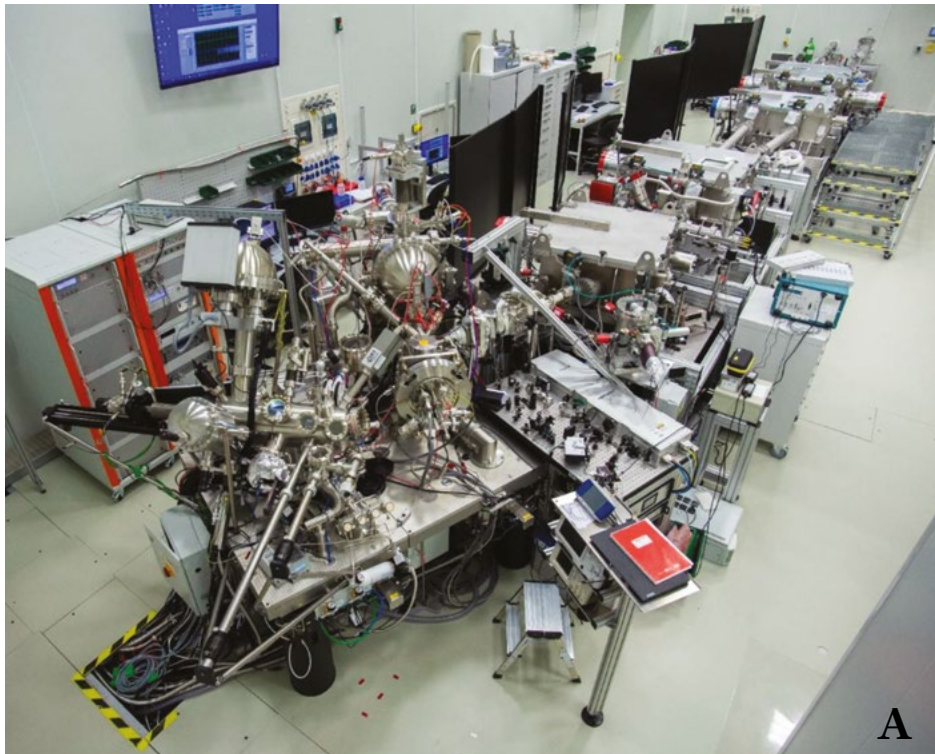
Börzsönyi Ádám PhD, az ELI ALPS tudományos főmunkatársa, a Lézerforrások Osztályának vezetője. Doktori fokozatát 2013-ban szerezte a Szegedi Tudományegyetemen. Kutatási területei a nagy átlagteljesítményű ultrarövid lézerrendszerek fejlesztése, posztkompressziós eljárások kutatása és új lézerdiagnosztikai módszerek kidolgozása.



1. ábra. Kutatási berendezések – lézerek, másodlagos források és kísérleti állomások – elhelyezkedése az ELI ALPS-ban

A nagy csúcsteljesítményű, petawattos technológia terén megfelelő méretű erősítőkristályok híján továbbra is a titán-zafír technológia a domináns az OPCPA-val (optical parametric chirped pulse amplification, optikai parametrikus erősítés) szemben. Az

erősítőkristályok hűtésének speciális megoldásaival itt is több száz watt átlagteljesítményt értünk el 10 Hz-es ismétlési frekvencián, ami a legmagasabb eddig elért ismétlési frekvencia a petawattos lézerek tekintetében [4].





2. ábra. Két példa az ELI ALPS laboratóriumai közül: A – NanoESCA, illetve B – a közép-infravörös lézertábor

A lézertimpulzusok tizenkét különböző másodlagos forrást hajtják meg nemlineáris frekvenciakonverzió, illetve részecskegyorsítási folyamatok révén. Az attosekundumos másodlagos források a magasrendű harmonikusok fejlett technikáin alapulnak (optikailag ionizált gázokban vagy oszcilláló felületi plazmában) [5–7]. További másodlagos források THz-es sugárzást (optikai egyenirányítással) vagy elektronnyalábot biztosítanak spektroszkópiai és szerkezeti vizsgálatokhoz, plazmafizikához vagy sugárbiológiához.

A speciális kísérleti állomások lehetővé teszik az elsődleges (lézer-) és a másodlagos források alkalmazását különböző vizsgálati technikákban: például az ún. reakciómikroszkóp lehetővé teszi fotofragmentált molekulák folyamatainak feltérképezését. A nagy intenzitású lézertimpulzusok segítségével erőterfizikai kísérletek, illetve radiobiológiai minták részecskebesugárzása történik. Az intézet profiljához tartoznak továbbá fotokémiai vizsgálatok és intenzív THz-es impulzusokkal folytatott kísérletek.

A szilárdtestek és topológikus anyagok időbontott felületfizikai és felületi kémiai vizsgálatát, a sávstruktúrák feltérképezését a NanoESCA berendezéssel valósítjuk meg [8]. Ezzel a berendezéssel mind fotoelektron-emissziós mikroszkópiai (PEEM), mind k-térbeli (sávstruktúrák) felvételeket tudunk készíteni különböző felületekről. Világszinten is egyedülálló kombinációként a berendezést femto- és attosekundumos impulzusokkal is ki tudjuk világítani, így az előbb említett kísérleteket időbontott mérésnek is meg tudjuk valósítani.

Az ELI ALPS fejlett nanofabrikációs labort is üzemeltet elektronsugaras litográfiával és fókuszált ionsugaras berendezéssel, ahol nemcsak külső felhasználóknak készítünk mintákat [9], hanem az itt dolgozó kollégáink magas szintű mérés-technikai fejlesztéseket

is végeznek. Ez utóbbira jó példa az ún. forró elektronok detektálására kifejlesztett ellipszometriai mérőmódszerünk [10].

A kutatási technológia telepítése 2017-ben kezdődött, amikor elkészültek a speciálisan tervezett épületek (beleértve a 4000 m²-nyi tisztateres, rezgésmentes laborterületet hőmérséklet- és páratartalom-szabályozással, sugárvédelemmel). 2023-ban lezárult az ELI ALPS beruházási fázisa, így jelenleg a fő tevékenység a berendezések folyamatos üzemeltetése, fejlesztése és a tudományos közösség által benyújtott felhasználói pályázatok megvalósítása. Az elsődleges (lézer-) és másodlagos források a kísérleti munkaállomásokkal és mérőberendezésekkel, a diagnosztikai eszközök széles választékával a nemzetközi kutatóközösség rendelkezésére állnak atomok, molekulák, kondenzált anyagok és a lézerek által kelthető plazma attosekundumos és femtoszekundumos időskálán zajló dinamikus folyamatainak tanulmányozására. Az ELI ALPS nem csupán nyálábíró, de technikai és tudományos támogatást is biztosít hazai és nemzetközi felhasználói kísérletekhez. Az érdeklődők további részletes információt az erre szolgáló honlapon találhatnak [11].

Irodalom

1. Tóth S., et al.: *J. Phys. Phot.* 2 (2020) 045003.
2. Thiré N., et al.: *Opt. Express* 26 (2018) 26907–26915.
3. Hädrich S., et al.: *Opt. Lett.* 47 (2022) 1537–1540.
4. Nagymihály R. S., et al.: *Opt. Express* 31 (2023) 44160.
5. Reduzzi M., et al.: *J. El. Spectr. Rel. Phen.* 204 (2015) 257–268.
6. Kühn S., et al.: *J. Phys. B* 50 (2017) 132002.
7. Shirozhan M., et al.: *Ultrafast Science* (2024) – nyomdában.
8. Halasi G., et al.: *npj 2D Mat. Appl.* 8 (2024) 48.
9. Komatsu K., et al.: *Nano Lett.* 24 (2024) 2637–2642.
10. Budai J., et al.: *Nature Comm.* 13 (2022) 6695.
11. <https://up.eli-laser.eu/>