

4.

A SYLOS2A LÉZERRENDSZER ÉS A VÁKUUM SZEREPE A HULLÁMFRONT STABILIZÁLÁSÁBAN

Dóra István¹, Csontos János¹, Tóth Szabolcs¹, Tóth László Tamás¹, Somoskői Tamás¹, Prabhass Prassannan Geetha¹, Abt Dániel Jenő¹, Kovalovszki Balázs¹, Divéki Zsolt¹, Nagyillés Balázs¹, Farkas Balázs¹, Körmöczy Andor¹, Börzsönyi Ádám¹

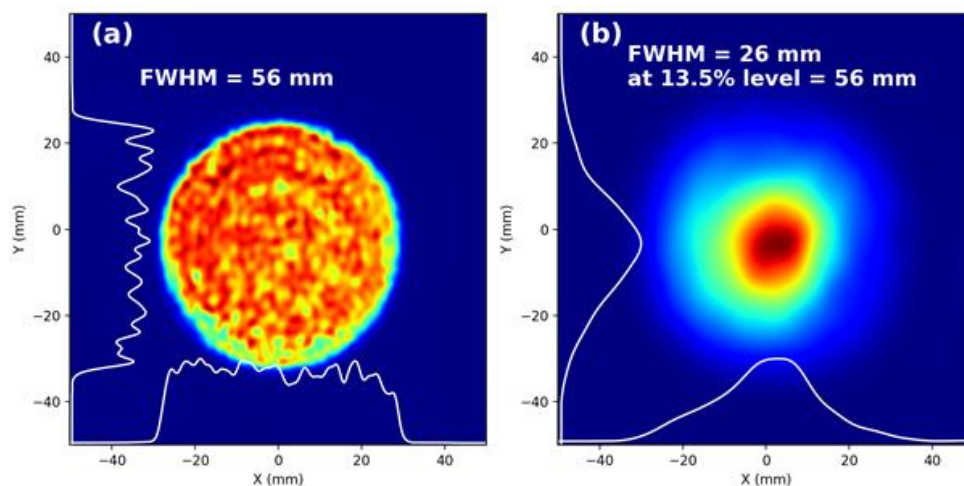
¹ELI ALPS Lézeres Kutatóintézet, Szeged

A lézerrendszer főbb paraméterei

A SYLOS2A hat másodlagos forrást képes kiszolgálni a szegedi ELI ALPS-ban, ezáltal az intézet egyik kulcsfontosságú lézerrendszere. [1,2] A litván Light Conversion és EKPLSA cégek által fejlesztett egyciklusú lézer 1 kHz-es ismétlési frekvenciával képes <7 fs-os impulzusokat biztosítani, több, mint 3,75 TW-os csúcsteljesítménnyel és 845 nm-es központi hullámhosszal, 200-250 mrad alatti CEP stabilitással. A kimeneti spektrum átlagos sávszélessége 720 nm–1180 nm, mely szűkíthető a kimeneti energia rovására. (1. táblázat)

Az NOPCPA éppen aktuális beállításai miatt jelenleg 12 fs-os impulzushossz érhető el, de az erősítőfokozatok újra konfigurálásával a fentebbi <7 fs-os impulzushossz is visszaállítható. Az impulzushossz változtatását a sávszélesség, és így a transzformlimitált impulzushossz változtatás mellett negatív csörp hozzáadásával is el tudjuk érni, ami segítségével az impulzusok 200 fs-ig nyújthatók, a sávszélesség megtartása mellett. (1. táblázat)

A SYLOS2A lézerrendszer kimeneti nyalábprofilja super-Gauss (top-hat), melynek átmérője 56 mm (FWHM), amit az 1 a) ábra szemléltet. Igény esetén térszűrés alkalmazásával közel Gauss eloszlású nyaláb is biztosítható a felhasználók számára 26 mm-es (FWHM) kimeneti nyalábátmérővel. (1. b) ábra) Természetesen a térszűrés transzmissziójából fakadóan a maximális impulzusenergia, és így a csúcshintenzitás csökkenése mellett. (1. táblázat)



1. ábra: SYLOS2A super-Gauss és közel Gauss eloszlású kimeneti nyalábprofiljai, Forrás: ELI User Portal

A felhasználói- és kísérleti igényeknek megfelelően ezek a nyalábátmérő adatok változhatnak más teleszkóp alkalmazásával vagy a deformálható tükör beállításainak módosításával.

Az 1 kHz-es ismétlési frekvencia csökkenthető. Leggyakrabban használt alacsonyabb ismétlési frekvenciák: 10 Hz és 100 Hz. Igény szerint minden olyan ismétlési frekvencia alkalmazható, mely 1000-nek osztható.

Kimeneti paraméterek	
Csúcsteljesítmény	>3,75 TW
	>2,75 TW
Impulzusenergia	40 mJ
	30 mJ
Kimeneti nyalábprofil	szuper-Gauss
	Gauss
Impulzushossz	<7 fs
Ismétlési frekvencia	1 kHz
CEP stabilitás	<200-250 mrad
Központi hullámhossz	845 nm
Nyalábátmérő	56 mm
(FWHM)	26 mm

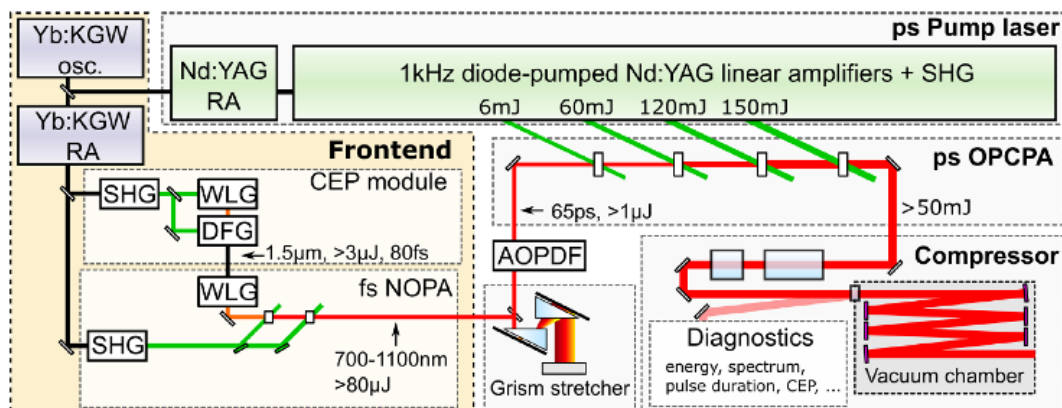
1. táblázat: SYLOS2A lézerrendszer főbb kimeneti paramétere, Forrás: SYLOS Group, ELI User Portal

A lézerrendszer részei

A lézer kezdőpontja a szélessávú móduscsatolt oszcillátor (Yb:KGW), ami az optikai szinkronizáció révén magimpulzust szolgáltat a femtoszekundumos NOPA (Light Conversion) és a pikoszekundumos pumpalézer (EKSPLA) Nd:YAG-alapú regeneratív erősítőinek. (2. ábra)

A rendszer frontendjét a Pharos és Orpheus (fs-NOPA) alkotják, melyek feladata a CEP-stabil, szélessávú magimpulzusok előállítása. A rendszer részét képezi a pumpa nyalábok előállítása a femtoszekundumos NOPA részére másodharmonikus generálás (SHG) segítségével. Ez mellett a fő részét a fehérfény- (WLG), valamint a különbségfrekvencia keltés (DFG) adja az erősítendő, szélessávú, passzív CEP stabilizált jel előállítása érdekében, amit BBO kristályok alkalmazásával erősítünk >80 μ J-os energiaszintre. (2. ábra)

Az Yb:KGW oszcillátor magimpulzusai spektrális szűrést, valamint erősítést követően jutnak el a pikoszekundumos pumpalézer Nd:YAG-alapú regeneratív erősítőjébe. Ezt követően a nyaláb három egyenlő részre osztva halad további diódapumpált Nd:YAG erősítőkbe és másodharmonikus keltést követően négy darab 532 nm hullámhosszú nyalábként távoznak a pikoszekundumos OPCPA erősítőfokozatok irányába. (2. ábra)



2. ábra: A SYLOS2A lézer sematikus rajza, Forrás: ELI User Portal

A szélessávú magimpulzusok erősítése négy fokozatban történik, miután azok egy nyújtón (grism stretcher), valamint programozható akusztó-optikai diszperzív szűrőn (AOPDF; Dazzler - Fastlite) haladtak keresztül. Mindegyik fokozat egy-egy ékes kristályt (BBO) tartalmaz a szögdiszperzió kompenzálása céljából. Az ékességnek köszönhetően a hátoldali reflexiókat a relatíve hosszú pumpaimpulzusok nem fogják erősíteni. (2. ábra)

A négy fokozatot követően nyaláb egy teleszkóp segítségével távol a back-end irányába, ahol SF57 és fused silica üveg tömbökön áthaladva prekompresszálódik, amely után egy deformálható tükörön

(Imagine Optic) reflektálódva a nyalábtovábbító rendszerbe jut, ahol az impulzusok vákuum környezetben jutnak el a célterülethez. A back-end utolsó eleme egy ékpár, amelyen reflektálódó nyaláb a diagnosztikai ágba jut, ahol a többek között a deformálható tükrökhöz tartozó szenzor (HASO, Imagine Optic) segítségével történik a hullámfront korrigálása. Ezen felül a nyalábstabilizációhoz tartozó tükrök is a back-end fontos elemei, melyekhez tartozó kamerák pedig szintén a fentebb említett diagnosztikai ágban találhatóak. (2. ábra)

A kimeneti impulzusok további kompresszálása már vákuumkamrában történik pozitív csörp hozzáadásával, amit négy pár csörpölt tükrő biztosít. Ezek a kompresszorok minden egyes nyalábvonal elején helyezkednek el.

Nyalábtranszport és a másodlagos források, nyalábvonalak

A SYLOS2A lézernyaláb célterületei közül attoszekundumos impulzusok, valamint lézer-gyorsított részecskék (elektron, proton, deuteron, neutron) generálása történik. Ezek a célterületek, illetve a nyalábvonalak: GHG SYLOS Long és SYLOS Compact, SHHG-SYLOS, eSYLOS és LEIA. Ezeken felül a nyaláb egy gyengített része, az úgynevezett 1 mJ-os nyalábvonal szolgált már kémiai reakciók kontrollálására korábban és történtek már biológiai kísérletek is ezen a vonalon.

A prekompresszálást, valamint a hullámfront-korrigálást követően a nyaláb terjesztése vákuumkamrákban történik, mivel a lézerlabor és a célterületek között akár 40-50 méteres távolság is előfordulhat. Ehhez kapcsolódik egy komplex nyalábtranszport-rendszer, melyben tükrök és eltolók segítségével a nyalábut gyorsan megváltoztatható az adott célterület irányába. Egyes nyalábvonalak esetén a polarizáció elfordítására is van mód, ha az adott célterületen nem ideális a lézer eredeti s-polarizációja.

Hullámfront stabilitása

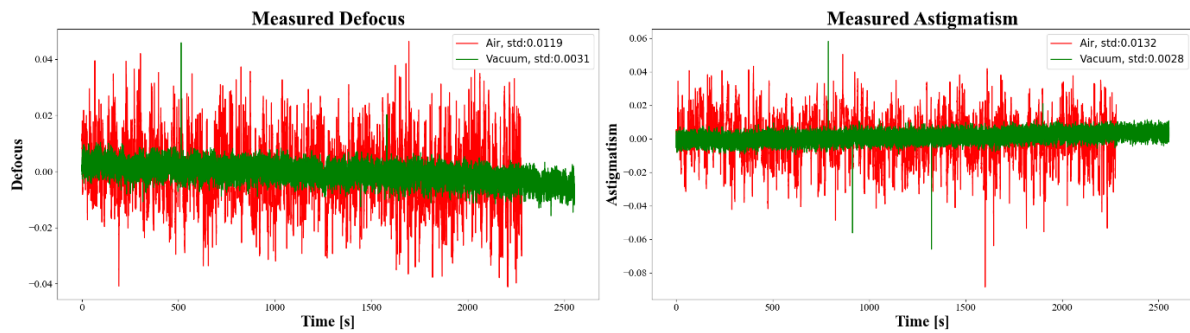
Noha a lézerrendszer zárt dobozokban található, a tapasztalatok azt mutatják, hogy a nagy átlagteljesítmény következtében a fedelek alatt található legkisebb légmozgás is a hullámfront torzulását eredményezi. Ez a kismértékű instabilitás a nyalábtovábbító rendszerben megtett akár 50-60 méteres távolságot követően kritikus lehet.

A fentebb említett nagy távolságok miatt is kiemelten fontos, hogy a lézeroldalon biztosított hullámfront megfelelően stabil legyen és a célterületeken lehetőleg csak a nyalábtranszportban lévő optikákból fakadó hullámfront torzulást kelljen korrigálni az ott található adaptív optikák segítségével. Azokban az esetekben pedig még nagyobb szerepe van stabilitás biztosításának, amikor a hullámfront korrigálása a lézeroldali deformálható tükrökkel történik az adott célterületre, mert példának okáért az adott nyalábvonal nem rendelkezik saját adaptív optikával (eSYLOS, MTA0-posztkompresszió).

Az elmúlt években több változtatás is történt a SYLOS2A back-endjében annak érdekében, hogy az esetleges légmozgás, turbulencia további redukálásra kerüljenek. Ilyenek voltak a melegedő elemek hűtése, elszeparálása. Ahol lehetséges volt a nyaláb burkolása, optikai elemek áthelyezése, ezáltal a back-end kompaktabbá tétele. A továbbra is jelenlévő hőkülönbségekből fakadó turbulencia mértékének bizonyos szint alá való csökkentését levegőn nem lehetett kivitelezni.

A nemrég elvégzett kísérletünk célja az volt, hogy feltérképezzük, vajon sikerül-e nagymértékű javulást elérni a hullámfront stabilitásában, ha az OPCPA fokozatok utáni optikai elemek – teleszkóp, prekompresszor üvegtömbjei, deformálható tükrő, nyalábirány-stabilizáló tükrök – nem levegőn, hanem vákuumban továbbítják a nyalábot a célterület felé.

A kísérletben részt vevő célterület a SYLOS Long nyalábvonal és az LTA-1 labor volt. A hullámfront paraméterei itt kerültek monitorozásra és rögzítésre. A mérési eredmények (3. ábra) azt mutatják, hogy a defókusz és asztigmia értékek minőségi javulásában és stabilitásában egy nagyságrend a különbség a vákuumnak köszönhetően.



3. ábra: A mért defókusz és 0° -os asztigmatia levegőben (piros) és vákuumban (zöld), Forrás: SYLOS Group

A magasabb rendű Zernike polinomok esetén is látható javulást – megközelítően kétszeres – mutattak a mérési eredmények a stabilitást illetően.

Az eredmények alapján kijelenthető, hogy kis mértékű hőkülönbség és az ebből fakadó légmozgás nagy mértékű befolyásoló tényezővel bír a hullámfront stabilitását illetően és ezen negatív hatás vákuum alkalmazásával nagymértékben redukálható.

Felhasznált irodalom

- [1] R. Budriunas et al., “53 W average power CEP-stabilized OPCPA system delivering 5.5 TW few cycle pulses at 1 kHz repetition rate”, Opt. Express 25(5), 5797-5806 (2017)
- [2] S. Toth et al., “SYLOS lasers – the frontier of few-cycle, multi-TW, kHz lasers for ultrafast applications at extreme light infrastructure attosecond light pulse source”, J. Phys. Photonics 2 045003 (2020)