

EGYCIKLUSÚ, ALAKFORMÁLT, STABIL VÍVŐ-BURKOLÓ-FÁZISÚ ATTOSZEKUNDUMOS IMPULZUSOK ELŐÁLLÍTÁSA SZINKROTRON SUGÁRZÁSSAL

Tibai Zoltán¹, Tóth György², Nagy-Csiha Zsuzsanna¹, Mechler Máttyás²,
Fülöp József^{2,3}, Almási Gábor^{1,2}, Hebling János^{1,2,3}

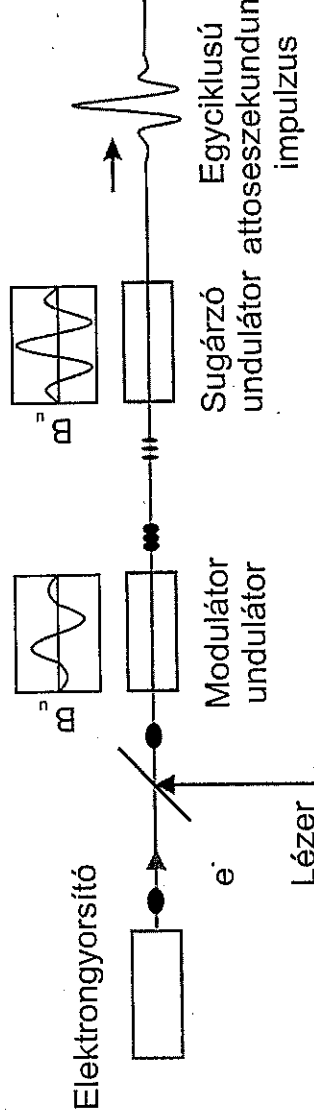
¹Pécsi Tudományegyetem, Fizikai Intézet, 7624 Pécs, Ifjúság útja 6

²MTA-PTE Nagyintenzitási Terahertzes Kutatócsoport, 7624 Pécs, Ifjúság útja 6

³Szentágotthai János Kutatóközpont, 7624 Pécs, Ifjúság útja 6

A fény-anyag kölcsönhatások területén az utóbbi években egyre több folyamatról bizonyosodott be, hogy a folyamat kialakulásánál jelentős szerepe van a vívő-burkoló fázisnak (carrier-envelope-phase, CEP) [1]. A hullámforma kontrollált néhány ciklusú lézerimpulzusokkal lehetőség nyílt izolált attoszekundumos impulzusok generálására, melyek felhasználhatóak az atomokban és molekulákban lévő elektronok dinamikájának vizsgálatára [2]. A szabadelektron lézerek megjelenése óta kivitelezhetővé váltak az EUV pumpa-próba kísérletek [3,4]. A legújabb javaslatok alapján lehetőség nyílt a röntgen-tartománybeli attoszekundumos impulzusok generálására is [5-7]. Ezek a sztochasztikus impulzus-formák azonban előnytelenek az alkalmazások tekintetében, valamint jelenleg nem létezik olyan technika, mellyel stabil CEP-kontrollált attoszekundumos impulzusokat tudnánk előállítani. Korábban javasoltunk egy eljárást, mellyel lehetőség nyílik alakformált, CEP-kontrollált attoszekundumos impulzusok előállítására [8].

Az 1. ábrán az általunk javasolt elrendezés vázlata látható. Az elektrongyorsítóból érkező, relativisztikus sebességű elektronsomag áthaladva a modulátor undulátoron, kölcsönhatásba lép a nagy teljesítményű (TW) lézerrel és az undulátor mágneses terével. Ezek együttes hatásának köszönhetően energia-moduláció jön létre az elektronsomagban; ezáltal – bizonyos repülési út hossz után – az elektronok lokális sűrűsödése révén ultravékony elektronsomók, úgynevezett nanobunchok alakulnak ki. Amikor a nanobunchok longitudinális (haladási irányú) mérete minimális, átküldjük a sugárzó undulátoron. A nanobunchok a sugárzó undulátoron belül a Lorentz-erő által meghatározott pályán mozogva elektromágneses sugárzást bocsátanak ki. A koherens sugárzás feltétele, hogy a nanobunch longitudinális mérete kisebb legyen, mint az előálló sugárzás hullámhosszának fele.



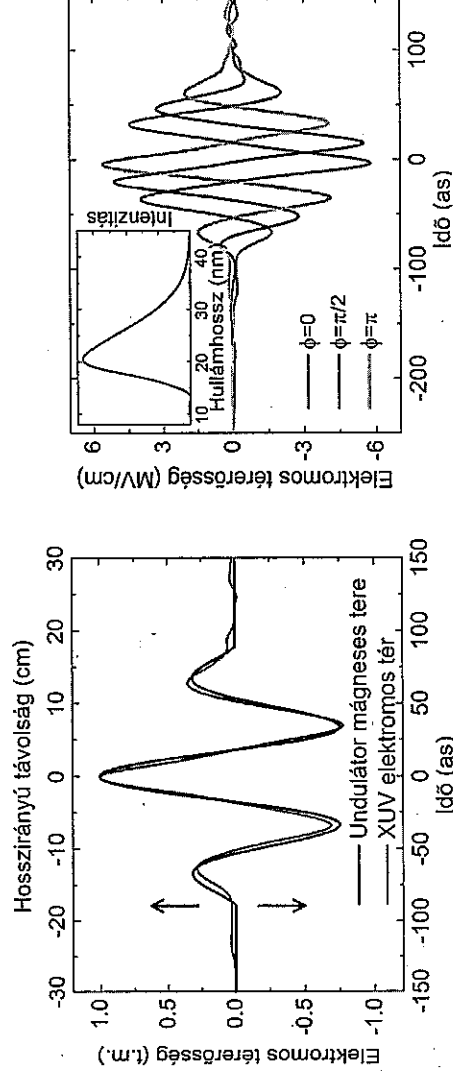
1. ábra. Az elrendezés vázlatos rajza.

A modulátorban lezajló folyamatokat és a nanobunch keletkezését a General Particle Tracer (GPT) [9] szoftverrel szimuláltuk. A szimulációban a hamburgi DESY által üzemeltetett FLASH II elektrongyorsító paramétereivel ($E=1000$ MeV, össztöltés 250 pC) [10,11], egy 516 nm-es, 10 TW-os lézerrel, valamint egy $K=1.4$ undulátorparaméterű, két periódusú trimmelt undulátorral számoltunk.

A sugárzó undulátorban keletkező sugárzást az undulátortól 8m-re számoltuk

$$\vec{E}(t, \vec{r}) = \sum \left[\frac{q\mu_0}{4\pi} \frac{\vec{R} \times ((\vec{R} - R\vec{\beta}) \times \dot{\vec{\beta}})}{(R - \vec{R} \cdot \vec{\beta})^3} \right]_{ret}$$

alapján [12], ahol q a részecske töltése, $\vec{R}$ a részecske helyétől a megfigyelési pontba mutató vektor, $\vec{v}$ a részecske sebessége, $\vec{\beta} = \vec{v}/c$, ahol c a vákuumbeli fénysebesség. A sugárzó undulátoron belül mozgó elektronok sugárzásának időbeli alakja arányos az elektronok gyorsulásával, melyet a mágneses tér térbeli alakja határoz meg. Mivel a gyorsulást a Lorentz-erő határozza meg, elmondható, hogy a keltett sugárzás (elektromágneses impulzus) időbeli alakja közelítőleg lemásolja a sugárzó undulátor mágneses terét (2a. ábra). Továbbá a mágneses tér változtatásával a keltett sugárzás fázisa is változtatható (2b. ábra).



2. ábra. a) Sugárzó undulátor (kék) mágneses tere és a generált attosekundumos impulzus (piros). b) CEP-kontrollált impulzusok.

A fent ismertetett eljárással a sugárzó undulátor undulátorparaméterét $K=0.5$ -re rögzítve, az undulátor periódusát 7, 14, 42 cm-nek választva, 6, 27 és 117 nJ-os energiával 10, 20 és 60 nm-es központi hullámhosszú CEP-kontrollált egyciklusú attosekundumos impulzust kaptunk eredményül. K paraméter értékét megduplázva 10, 20 és 60 nm-en 14, 56 és 320 nJ energia is elérhető.

Helikális undulátort használva sugárzó undulátorként cirkulárisan poláros alakformált attosekundumos impulzusok generálása is megvalósítható. $K=0.5$ -es undulátorparaméter mellett 20, 60 és 100 nm-es központi hullámhosszú egyciklusú impulzusok esetén 30, 150 és 250 nJ-os energia érhető el.

- [1] P. Dombi, J. Mod. Opt., **53**, 163-172 (2006).
- [2] F. Krausz and M. Ivanov, Rev. Mod. Phys. **81**, 163 (2009).
- [3] Y. Jiang et al., Phys. Rev. Lett. **105**, 263002 (2010).
- [4] M. Magrakvelidze et al., Phys. Rev. A **86**, 013415 (2012).
- [5] A. Marinelli et al., Phys. Rev. Lett. **110**, 064804 (2013).
- [6] A. A. Zholents and G. Penn, Phys. Rev. ST Accel. Beams **8**, 050704 (2005)
- [7] D. J. Dunning et al., Phys. Rev. Lett. **110**, 104801 (2013).
- [8] Z. Tibai et al., Phys. Rev. Lett. **113**, 104801 (2014).
- [9] online at <http://www.pulsar.nl/gpt>
- [10] K. Honkavaara et al., in Proceedings of the 34th International Free-Electron Laser Conference, FEL2012, Nara, Japan, 2012, Report No. WEPD07.
- [11] S. Ackermann et al., in Proceedings of the 34th International Free-Electron Laser Conference, FEL2012, Nara, Japan, 2012, Report No. TUPD11.
- [12] J. D. Jackson: Classical Electrodynamics 3rd ed., Wiley, ISBN 0-471-30932-X