

## Opponensi vélemény

Dombi Péter

„*Ultragyors fotoemissziós folyamatok nanolokalizált elektromágneses terekben*”

című MTA doktori értekezéséről

### Általános megjegyzések

Az elmúlt évtizedekben a titán-zafír lézerekhez köthető gyors fejlődés lehetővé tette a periódusidővel összemérhető burkolóval rendelkező impulzusok generálását, alkalmazását. Ilyen ún. kevés ciklusú impulzusok esetén a fény-anyag kölcsönhatási jelenségek időfelbontása ugrásszerűen megnövekszik, hiszen a burkoló helyett a tényleges – a burkolónál lényegesen gyorsabban változó – optikai hullámforma játssza a meghatározó szerepet.

Ezen szempont figyelembe vételével, a dolgozat tárgyát képező felületi plazmonok keltése a lézer-szilárdtest kölcsönhatások igen érdekes és perspektivikus esetét képviselik. Ezen folyamatoknál a tér nanolokalizációjával kapcsolatos térnövekmény – a fény időbeli koncentrálásán túlmenően – a térbeli koncentráció lehetőségét is messzemenően kihasználja (a periódusidővel/hullámhosszal összemérhető skálán).

Fentiekre való tekintettel a témaválasztás időszerű; aktuális, fontos problémák vizsgálatát, megoldását tűzi ki célul, melyek a fény-anyag kölcsönhatások, illetve azokhoz szükséges lézeres fényforrások egymásra épülő kutatását feltételezik.

A tézispontokhoz kapcsolódó 17 tudományos közlemény szerint az értekezés a szerző 2005-2016 közötti tevékenységét/eredményeit foglalja össze. Ezen közlemények közül 9-nek első szerzője, ami a téma művelésében való meghatározó szerepére utal. A közlemények döntő többsége magas impakt faktorú folyóiratban megjelent cikk, egy pedig könyvfejezet.

A vizsgálatoknak – publikációkban mérhető, elsődlegesen alapkutatási jellegén túlmenően – praktikus aspektusai is vannak, melyek az eredmények kommerciális termékekben való megjelenésében, a szerző által felépített lézertudományi Laserlab Europe hálózat társult tagi státuszában, illetve Max Planck Partnerscsoport státuszának elnyerésében realizálódott.

Mindezekon túlmenően, a dolgozatban bemutatott eredmények közelebb vihetnek az optikai frekvenciákon működő „tranzisztorok” megvalósulásához.

### Formai követelmények

A dolgozat terjedelme 115 oldal, amelyből egy fejezet a tudományos előzményeket mutatja be, további 7 fejezet (3-9) a saját munka, illetve az elért eredmények bemutatásának van szentelve. Ez utóbbit a „Célkitűzések” című (2-es) fejezet vezeti be, illetve a 10-es fejezet (Összefoglalás, hasznosulás, alkalmazási lehetőségek) zárja. A saját munka bemutatásának ezen „keretes” szerkezete mellett minden egyes – a saját munkára vonatkozó fejezet következetes, saját szerkezettel bír; a kísérleti módszerek, eredmények bemutatása után csak arra a témakörre vonatkozó összefoglalással, következtetéssel, kitekintéssel zárul.

Ugyanígy „következetességet” képvisel a lézer-szilárdtest kölcsönhatások, illetve a lézer fényforrás kutatás-fejlesztésére irányuló tevékenység egymásra épülő bemutatása. Lehetséges lett volna a két terület szétválasztása, ehelyett az egyes fejezetekben ezek „felváltva” következnek, jól érzékeltetve a szerző törekvését; miszerint a fényforrás paramétereinek változtatásával egy újabb kölcsönhatási vizsgálat igényét elégítette ki. Ezt a szakmai

egymásra épülést a fejezetekhez, tézispontokhoz kapcsolódó publikációk időrendje is jól alátámasztja.

Fejezetenként 3-15 ábrát használ a szerző a téma/eredmények bemutatására, amely kiegyensúlyozott formai arányokat eredményez. Az ábrák számozása logikus, rendezett, az ábraaláírás, a feliratok magyar nyelvűek. (Ugyanezen pozitív értékelés vonatkozik az egyenletek rendezett számozására.)

Az ábraaláírások „részletessége” mindenütt eléri az – érthetőség által definiált – szükséges szintet, sőt néhány ábra esetében talán túl részletesnek tűnik. Az ilyen (túl részletes) ábraaláírásnak több veszélye van; vagy szükségtelen mértékben átfed a szöveggel, vagy nemkívánatos módon kiegészítő jellegűvé válik (lásd a későbbi részletes megjegyzéseket).

A szerző messzemenően teljesíti a magyar nyelvű doktori munkákhoz rendelhető/kapcsolható elvárást; művelje, fejlessze a szakirodalom magyar nyelvi környezetét. Mintaszerű az angolból magyarosított kifejezések következetes használata. Egyedüli kritikai megjegyzésem ezen – általában többszörösen összetett – magyar szakkifejezések helyesírására vonatkozik; több esetben kívánatosnak ítélem a kötőjel használatát, illetve azt, hogy egyfajta helyesírási mód (pl.: egyben vagy külön írás, kötőjel használata) bevezetése után ragaszkodjunk egy „megoldáshoz”. (Erre vonatkozó részletes megjegyzéseimet a későbbi részek tartalmazzák.)

A doktori munka (és természetesen a szerző) rendezettségének mércéje, hogy elütést, helyesírási hibát praktikusán alig lehet találni. A részletes megjegyzésekben bemutatott néhány hiba csupán ezt a pozitív kijelentést hivatott alátámasztani. Az irodalom szétválasztása – tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények, illetve irodalmi hivatkozások részekre – továbbá az erre vonatkozó utalás formai kivitelezése igen logikus és szerencsés. A dolgozatban a mértékegységek megválasztása a hibahatárok feltüntetése több indoklást, több információt igényelne.

### **Tartalmi követelmények**

A tézisek, illetve a mögöttük álló publikációk alapján az összes (mind a 8) tézispontot független, önálló eredménynek fogadom el, mely a szerző eredménye.

#### Külön kiemelendők tartom:

2. pont; az ellenteres elektron spektrométer megépítése és beüzemelése,

3. pont; a felületi plazmonos fotoemisszió és elektrongyorsítás modelljének megalkotása,

4-5. pont; a hosszú rezonátoros titán-zafír lézerek paramétereinek célirányos optimalizálása, javítása, illetve ezen impulzusok felhasználásával a plazmontér által indukált erős tér fotoemisszió és elektrongyorsítás kísérleti realizációja,

7. pont; nanotű alkalmazásán alapuló ultragyors vákuumdióda megépítése.

#### Kérdések a jelölthöz

- A szerző a 93. oldalon előrevetíti a nanotűk távolságának csökkentésével esetlegesen jelentkező effektusokat. Véleménye szerint „Szubnanométeres távolságnál pedig kvantumos alagutazási csatornák is felléphetnek a tűk között, melyeket a lézerpulzus tere közvetlenül is tud befolyásolni”. Ezzel kapcsolatban felmerül a kérdés, hogy milyen elvi megfontolások,

limitek korlátozhatják az esetleges „kapcsolóelem” kapcsolási idegének alsó határát, illetve több csatorna esetén előfordulhat a lebegéshez hasonló „egymásra épülés” jelensége.

- A térnövekményre vonatkozó eredményeinek látja-e kapcsolatát az ún. hidegkatódos elektronágyúk tervezésére/konstrukciójára vonatkozóan?

### **Részletes (tartalmi jellegű) megjegyzések**

9. o: az 1.3 ábrán a felületi plazmonok fém nanorészecskéken való keletkezését illusztrálja. Célszerű lenne a szokásos (tipikus) mérettartomány feltüntetése.
5. o. 1.1 ábra: a „szaggatott vonallal” jelölt potenciál járulék pusztán az ábra alapján nehezen azonosítható (a vákuumszint is szaggatott vonal).
7. o. 1.2 ábraaláírás: a „kevés femtoszekundumos” kifejezés kissé szerencsétlen (a kevés ciklusú a szokásos és elfogadott terminológia, ami egyébként is csak közeli infravörös impulzusok esetén ekvivalens az előbbivel).
15. o. 1.6 ábra: a görbék azonosítása érthetőbb/egyszerűbb lenne a görbéket alkotó pontok (négyzet, kör, félkör, háromszög stb.) szövegbeli azonosításával.
17. o: az 1.7 ábra magyarázata a szövegben kissé elnagyolt (az OC tükör nemcsak a kicsatolásért, hanem a részleges visszacsatolásért is felelős).
29. o. 3.4 ábraaláírás: „a mérés rekonstrukciójára megalkotott kiértékelési eljárás”. Ennek az egyébként is bonyolult kifejezésnek könnyebb azonosítását segítené „A kísérleti eredmények kiértékelése” című 3.3 pontra való utalás.
36. o. 4.3 ábra: a színskálát célszerű lenne a függvénytől elkülöníteni.

Általános megjegyzés, hogy a mérési eredmények bemutatásakor az ábrákon (és a szövegben is) gyakran nincs vagy csak hozzávetőleges utalás van a hibára vonatkozóan. (pl.: 3.3 ábra)

36. o: az ellentéres elektron spektrométeren alapuló mérés kiváló eredményeket adó munka. A 4.3 (b) ábra „strukturált” vonalairól bővebb információ igen érdekes és hasznos lett volna.
38. o. 2. bekezdés: „A fizikai intuíció alapján várt fázisfüggés hiányára több lehetőség adódik” helyett: hiányának magyarázatára.
- 41-42. o: a 4.6 és 4.7 ábrákon a színskálát célszerű lenne újból szerepeltetni.
52. o. 5 pont: a hosszú rezonátorú lézerek megvalósításának nehézségeire vonatkozó bevezetés ismétlést tartalmaz.
60. o: a tipikus és az erősen csörpölt diszperzív tükrök bemutatása (már csak a terjedelemre való tekintettel is) nem illeszkedik ehhez – a saját eredmények bemutatására hivatott – fejezethez.
- A 63. o. 16. sor „negatíván fázismodulált impulzus”-t,
69. o. 1. sor „pozitíván fázismodulált impulzus”-t említ; világossá kellene tenni a két eset közötti különbséget, beleértve az önfázis modulációnak és ezen keresztül a spektrális kiszélesedésnek az eredeti fázis moduláció előjelétől illetve értékétől való függését.
88. o. 17. sor: „...lézerforrások jelenleg megfigyelhető rohamos fejlődése a titán-zafír lézerek .... gyors elterjedéséhez fogható” helyett: hasonlítható vagy köthető.

69. o. 7.1, 91. o. 7.3 és a 92. o. 7.4 ábrák ábraalírásai jó példák a szokatlanul vagy főlegesen hosszú aláírásra, amely részben átfed a szöveggel vagy a szövegbe illő részek komplementáris módon jelennek meg ábraalírásként.
91. o. 7.3 ábraalírás: két görbe „a láthatóság érdekében... eltolva” kifejezés nehezen érthető.
92. o. 7.4 (b) ábrán a mérési pontosságra vonatkozó információ kívánatos lenne.
76. o: A felületi plazmonikus nanostruktúrák kontrollált előállítására vonatkozó leírásban a témában kevésbé jártas olvasó méltán hiányolhatja a nanostruktúrákra vonatkozó további információkat (pl.: a rétegek vastagsága).
96. o: *ábra alatti 2. sor*: ...az „5-20 nm közötti görbületi sugár”-ral bíró ...”nanotűk kúp-szegmensét optikai mikroszkóppal vizsgálva” kijelentés – a későbbi, teljes magyarázatot adó szövegrész olvasása nélkül – félreérthető.
103. o: az összefoglalásban célszerű lenne explicit módon kifejteni az anód és a katód szerepköröknek a görbületi sugarak viszonyához való kapcsolódását.
104. o. 9. pont bevezetés: „Magasrendű felharmonikusok keltésével ugyan lehetővé vált az attoszekundumos tartomány elérése ..., ezek az impulzusok az elektromágneses spektrum egy olyan köztes tartományába, az extrém ultraibolyába esnek, amely viszonylag nehezen használható ki ...” Ez egy szükségszerű skálázódás; a  $\Delta\nu\Delta\tau \geq 1$  összefüggésnek megfelelően a rövidebb  $\Delta\tau$  impulzusidők elérése nagyobb  $\Delta\nu$  sávzélességeket igényel, melyek produkálásához szükséges sugárzás  $\nu$  központi frekvenciájára fennáll a  $\nu \geq \Delta\nu$  összefüggés. Fentiekből  $\Delta\tau \geq \frac{1}{\nu}$  (1) adódik. Amennyiben – az alkalmazásokra való tekintettel – a spektrum bizonyos tartományának „kihagyása” kívánatos az (1) összefüggés bizonyos „játékteret” enged a spektrum (központi frekvencia) eltolására.

### Részletes (formai jellegű) megjegyzések

Megjegyzéseim jelentős része hosszú, többtagú szakkifejezések kötőjellel történő szétválasztására, tagolására vonatkozik; ezeket megfontolandó javaslatoknak szánom.

5. o. 9. sor: „adszorbeátummentes” helyett: adszorbeátum-mentes.
7. o. 14. sor: „ábárazolásából” helyett: ábrázolásából.
8. o. „nagy térbeli és/vagy időbeli” helyett: nagy tér- és/vagy időbeli.
11. o. 1.4 ábra: „abszolútértéke” helyett: abszolút értéke.
13. o. 9. sor: „, Girardeau-Montaut és Girardeau-Montaut” véletlen ismétlés.
18. o. 1.6.3 fejezet 8. sor: „nyalábnyakak” (szerencsétlen kifejezés).
18. o. alulról 2. sor: „propagációs járulék” helyett: pl. terjedési járulék.
19. o. 1. sor: önamplitúdómodulációs tényező” helyett: önamplitúdómodulációs-tényező.  
12. sor: „nagyenergiájú” helyett: nagy energiájú.
25. o. 2. sor: „fotovoltaika” helyett: foto-voltaika.
25. o. 12. sor: „tereket... tranzienseket alkalmazások céljára is felhasználhatóvá tegyem” helyett: pl. alkalmassá tegyem.

26. o. cím: „kevéciklusú” kifejezés írása nem konzekvens. Korábban külön írva, később (82. o. utolsó bekezdés, 86. o. 6.9 ábraalírás, 10. sor, 12. sor) kötőjellel írva. Talán ez utóbbi, kötőjeles írásmód a legszerencsésebb választás.
38. o. 4.4 ábra: „rel. uegység” helyett: rel. egység.
39. o. 4.3 cím: „evaneszcens” kifejezés magyarosítása kívánatos.
43. o. 15. sor: „tesztelektron” helyett: teszt-elektron (várhatóan ez „ízlésbeli” rangsort jelent).  
20. sor: „mozgásegylenelet” helyett: mozgásegyenlet.
44. o. 4.8 ábraalírás: „példaelektronra” helyett: példa-elektron (várhatóan ez újból „ízlésbeli” rangsort jelent).
47. o. 4.5 cím (és későbbiekben): „nemponderomotoros hatások” helyett: nemponderomotoros hatások.
49. o. 4.13 ábraalírás: „mintaelektronok” helyett: minta-elektronok.
54. o. 4. sor: „transzformációkorlátozott” helyett: transzformáció-korlátozott.  
6. sor: „transzformációkorlát” helyett: transzformáció-korlát.
58. o. 1. sor: „40 fs körüli rövidségűek” helyett: ~ 40 fs időtartamú.
66. o. 21. sor: „...az impulzusenergia igen korlátozott, maximálisan jellemzően 1 nJ alatt marad” helyett pl.: maximális értéke jellemzően 1 mJ alatt marad.
68. o. 5.13 ábraalírás: „... bevíve ...” helyett: bevezetve.
74. o. 1. sor: „nem csak” helyett: nemcsak.  
7. sor: „nemcsak”.
75. o. utolsó előtti sor: „szürkeszűrő” helyett: szürke szűrő.
80. o. 10. sor: „descarti” helyett: descartes-i.  
20. sor: „...trajektóriaszámolásai... legyen kezelhető” helyett: legyenek kezelhetők.
81. o. 6.4 ábraalírás: „elektrontrajektóriák” helyett: elektron-trajektóriák.
90. o. 7.2 ábraalírás: „különbségfrekvenciaképzés” helyett: különbségfrekvencia-képzés.
91. o. 16. sor: „függetlenül attól... van szó „kifejezést célszerű gondolatjelek közé helyezni”.  
17. sor: „teljes validálását” helyett pl.: igazolását.
105. o. 18. sor: „kompromittálják” helyett: hátrányosan befolyásolják.
107. o. 8. sor: „kompromittálja” helyett: hátrányosan befolyásolja.

## Konklúzió

Figyelembe véve a doktori értekezésben foglalt tudományos eredmények súlyát, a szerzőnek ezekhez való domináns hozzájárulását, valamint az értekezés formai kvalitásait – a megjegyzéseimre adott válaszoktól/válaszlépésektől függetlenül – a jelöltet alkalmasnak tartom az MTA doktori cím elnyerésére és melegen javaslom a munka nyilvános vitára való bocsátását.

Szeged, 2017. április 11.



Prof. Dr. Szatmári Sándor  
egyetemi tanár