



Magyar Tudományos Akadémia  
Wigner Fizikai Kutatóközpont  
Szilárdtest-fizikai és Optikai Intézet

1121 Budapest, Konkoly-Thege Miklós út 29-33.  
1525 Budapest, Pf. 49  
Tel/Fax: +36 1 392 2222

Dr Donkó Zoltán  
E-mail: donko.zoltan@wigner.mta.hu

## BÍRÁLAT

Veres Gábor

*„Gyengén csatolt laboratóriumi plazmák diagnosztikája spektroszkópiai módszerekkel”*

című, az MTA Doktora cím elnyerésére benyújtott értekezéséről

Az értekezés a plazmák atomfizikai folyamatai és az általunk kibocsátott fény közötti kapcsolat feltárásával, illetve a kibocsátott fény analízisének kérdéseivel foglalkozik. A plazma-spektroszkópia, illetve általában véve, a plazmák optikai módszerekkel való vizsgálata fontos kutatási terület, ami messze túlmutat a fúziós plazmafizika témakörén. A alkalmazott módszerek relevánsak a különböző laboratóriumi plazmák és asztrofizikai plazmák kutatásában is. Továbbá, a plazmák technológiai alkalmazásaiban a kibocsátott sugárzás azonnali és automatikus analízise számos esetben a folyamat-vezérlő kör része. Mindezek miatt világos, hogy az *alapfolyamatok*, a *plazmaparaméterek* és a *plazmát elhagyó sugárzás* kapcsolatának ismerete elengedhetetlen, és minden ez irányba tett lépés több mint kívánatos. Veres Gábor, egymástól nagyban különböző fizikai rendszereken végzett kutatásait ezen logikai szál mentén fűzi fel disszertációjában – ahogy maga is állítja, munkája „jobban kötődik egy tudományos módszerhez, mint egy adott kutatási területhez”<sup>\*</sup>.

Az értekezés kivitelét tekintve gondos munka, kellemesen olvasható, bár helyenként előfordulnak mondat szerkesztési pontatlanságok és helyesírási hibák. A bevezetés, amit a 4. fejezet tartalmaz, rendkívül szűkre szabott, ezt az egyes témák bemutatásánál adott bevezető ellensúlyozza.

---

<sup>\*</sup> Ez a választás természetesen elfogadható, ugyanakkor nehéz helyzetbe hozza az alacsony hőmérsékletű plazmafizika területén dolgozó bírálót, akinek most ezen terület mellett át kellene látni a többi érintett tudományterület (rövidimpulzusú lézeres felharmonikus-keltés és fúziós plazmafizika) történeti fejlődését, jelenlegi állását és élvonalbeli eredményeit is.

A disszertáció lényegi részét az 5-8. fejezetek tartalmazzák. Ezek közül az első (5. fejezet) bemutatja az alapvető elemi plazmafizikai ütközési folyamatokat, a gerjesztett állapotok populációinak matematikai leírását, a különböző paraméter-tartományokban alkalmazható sugárzási modelleket. Egy külön részben diszkutálja a fotonok transzportját a plazma közegben. Az atomfizikai modell és a transzport modellje együttesen kapcsolatot teremtenek a rendszerek „mikrofizikája” és a (makroszkopikus) plazmából kilépő és megfigyelhető fénysugárzás jellemzői között. A kapott rátaegyenletek az irodalomból ismert paraméterek felhasználásával megoldhatókká válnak és az egyes gerjesztett szintek populációja, illetve a hozzájuk kapcsolódó sugárzás intenzitása meghatározható. A modellfejlesztés területén elért eredményeit egy alkalmazás bemutatásával – egy pelletfelhő sugárzásának jellemzésével – illusztrálja.

A 6. fejezet a hétszeresen ionizált volfrám atomok vákuum-ultraibolya tartományú spektrumának méréséről, illetve ezen ionok egyes energiaszintjeinek meghatározásáról számol be. A volfrám, mint vizsgált anyag fontosságát az adja, hogy a mágneses összetartású fúziós berendezésekben a plazmakamra határoló felületének teljes egésze, vagy egy része (pl. divertor) hagyományosan ebből az elemből készül. Ebből az is következik, hogy mint szennyezőanyag, a volfrám a plazmában elkerülhetetlen módon mindig jelen van. A kísérleteket az MT-1M tokamakon végezte, volfrám pelletek lézeres belövésével. (Kísérleteihez igencsak alkalmas forrást talált, ugyanis ilyen ionizációs állapotok előállítása nem egyszerű feladat, és a tokamak  $\sim 200$  eV elektron-hőmérsékletű plazmája erre kiválóan megfelelt.) Ugyancsak ez a fejezet mutatja be bizonyos alacsony rendszámú elemek (szén, nitrogén és oxigén) egyes állapotaihoz tartozó átmeneti valószínűségek meghatározását, amelyet atmoszférikus nyomású falstabilizált ívkiülés segítségével végzett. A kapott eredményeket, elemzésükön túlmenően, táblázatos formában adja meg a Függelékben. A mérések során ötletes módon, a kisülés fényének a plazmán való újabb átvezetésével vizsgálja a vonalak önabszorpcióját. Ugyancsak figyelmet fordít az LTE modell alkalmazhatóságához szükséges, megfelelően nagy elektronsűrűség meglétére.

A 7. fejezetben a felharmonikus-keltéssel kapcsolatos kutatási eredményeit ismerteti. Elsőként titán-zafír lézer harmadik harmonikusának keletkezését tanulmányozza különböző típusú üveg céltárgyak és levegő határfelületén. A továbbiakban ismertetett kísérleteihez femtoszekundumos KrF lézer impulzusait használja, a 2. és 3. harmonikusok megjelenését különböző anyagú céltárgyakon vizsgálja. A polarizációs tulajdonságok és a lézerplazma tágulási dinamikájával kapcsolatos vizsgálatai hozzájárultak a lézerabszorpció mechanizmusának megértéséhez.

A 8. fejezet a termonukleáris plazmákon végzett spektroszkópai méréseit ismerteti. Ezt megelőzi egy viszonylag részletes bevezetés a tokamak berendezések mágneses térkonfigurációjánál, "H" működési módjáról és az ELM-ek („Edge Localised Mode”) jellemzőiről és hatásairól. Bemutatja a vizsgálataihoz alkalmazott detektorok (a szalag-bolométerek és UV diódák) működési jellemzőit, illetve az ezekre épülő kamerarendszerek elhelyezkedését a plazmakamrában. Ezt követően részletesen bemutatja az ELM-ek kialakulásához köthető eredményeit, amik azért is fontosak, mert az ELM-ekkel kapcsolatos kérdések ma is a mágneses összetartású fúziós plazma kutatások egyik kritikus pontját jelentik.

### Kritikai megjegyzéseim:

- A 17/18 oldalon, a rátaegyütthetők bemutatásánál zavaró, hogy az elektronütközéses gerjesztési rátát és a kételektronos rekombináció rátáját ugyanazzal, az  $X$  betűvel jelöli. A 16. oldalon az utóbbi rátára  $\alpha^{\text{DR}}$  jelölést használ. A 18. oldalon, a (12) összefüggéssel megadott ráta dimenziója, véleményem szerint, hibás! Az (5) összefüggésben lévő  $E_{\text{ion}}$  ugyanaz, mint a (10) és ezt követő összefüggésekben szereplő  $E_{\text{ioniz}}$ ?
- A 21 oldalon: az „E” nem tagja a teljes eredő pályamomentum lehetséges értékeit jelző betűk sorozatának.
- A 37. oldalon nem látszik a 8. ábra aláírásában említett „bekeretezés”. A következő oldalon a plazmaforrás szerkezetére utalva írja, hogy ezt „... a 7. ábra mutatja”, valójában ezt a 8. ábra mutatja.
- Ugyanezen az oldalon furcsa fogalmazásnak tartom az alábbi: „... a plazma hőmérsékletének variációi elhanyagolható hibát okoznak.” Mit ért „variáció” alatt?
- Az 55. oldalon lévő 19. ábrán a Doppler-eltolódás vizsgálatára szolgáló kísérleti berendezést mutatja be. Az ábrához a szövegben mindössze 2 sor tartozik, ami csak az ábra létére utal és semmilyen információt nem ad magáról a mérésről.
- Az ELM instabilitásról szóló részben (a 67. oldalon) először a 25. és 27. ábrákat vezeti be, a 26. ábrát csak a következő oldalon említi (azaz a 26. és 27. ábrákat fordított sorrendben kellett volna beilleszteni a fejezetbe).
- Szerencsésebbnek tartottam volna azt a sorrendet, hogy a tomografikus módszert az ezzel kapott eredmények ismertetése előtt mutatja be. (A 77. oldalon már bemutat tomografikus módon rekonstruált intenzitás-eloszlásokat, míg magát a módszert csak a fejezet végén, utolsó alfejezetként ismerteti.)
- A 81. oldal 39. ábráján nem világos számomra, hogy a bázisfüggvények hogy jelennek meg.

### Kérdéseim:

- 1) A 6. oldalon a Coulomb-kölcsönhatás domináns voltáról ír. A plazmafizikában általánosan használt csatolási paraméter egy részecskepár potenciális energiájának és a termikus energiájuknak arányát adja meg. Amennyiben ezek közül a Coulomb kölcsönhatásból származó potenciális energia dominál, erősen csatolt plazmákról beszélünk. Meggyőződésem, hogy a vizsgált plazmák valóban gyengén csatoltak, de ezzel kapcsolatban kérem, hogy adjon egy becslést a csatolási paraméter értékére a vizsgált rendszerekre! Ez azért is érdekes lehet, mert maga is említi, hogy a 7. fejezetben tárgyalt lézerplazmák esetében a csatolás valójában nem tekinthető egyértelműen gyengének. Ez utóbbival kapcsolatban: a plazma nem-ideális jellegét milyen módon lehetne itt figyelembe venni?
- 2) A fotonok plazmabéli terjedését leíró modelljéhez kapcsolódóan: az egyenletek megoldása csak a fotonok számát adja meg. Állítása szerint: „a keletkezett fotonokat

egy vonalalakkal spektrálisan teríteni kellett.” Említi, e célra a Voigt-függvény használatát. Milyen paraméter-értékeket alkalmazott ennél az eljárásnál? Továbbá: ismert, hogy a spektrális kiszélesedés mind az emissziós, mind pedig az abszorpciós vonalalakat érinti. Emiatt befolyásolja a sugárzás terjedését és a plazmát elhagyó sugárzás vonalalakját is. Figyelembe tudja-e venni ezeket a folyamatokat a modelljében, és ha igen, akkor hogyan?

- 3) A pellet-felhők dinamikájával kapcsolatban: a 28. oldalon szereplő 4. ábrán látottakat a szöveg alapján nem sikerült megértenem. Kérem ismertesse a jelenség részletes magyarázatát!
- 4) A 30. oldalon a hétszeresen ionizált volfrám vákuum-ultraibolya spektrumának úttörő vizsgálatait mutatja be. Mérései óta születtek-e újabb eredmények erre az elemre és hullámhossz-tartományra, és ha igen, akkor azok hogyan viszonyulnak az első mérési eredményekhez?
- 5) A 38. oldal alján, az ívkisülésben folytatott mérésekhez kapcsolódóan közli, hogy a hélium gáz használata előnyös, mert ez esetben a kisülés sugárzásának spektrumvonalai keskenyek. Kérem fejtsse ki ezt a kapcsolatot részletesebben!
- 6) A 40. oldalon írja, hogy a mért vonalakra Lorentz- és Gauss-profilok „összegét” illesztette. Feltételezem, hogy valójában a két profil konvolúciójával tette ezt meg. Emellett kérdezem, hogy az instrumentális vonalszélességet nem kellett-e figyelembe venni, és hogy a Lorentz-profil kialakításában az adott rendszer esetében mely fizikai mechanizmusokat kell figyelembe venni?
- 7) Az ELM instabilitás mechanizmusainak vizsgálatokor kapott eredményei nyilvánvalóan fontosak. Tekintve ezen instabilitások rendkívül összetett voltát, kérdezem, hogy ezzel kapcsolatban milyen problémák várnak még tisztázásra.

#### Összefoglalás:

*Az értekezésben Veres Gábor spektroszkópiai módszerekre alapuló plazma-diagnosztikai kutatásait foglalja össze. A leírtak alapos elméleti ismeretekről és jó kísérletező készségről is tanúskodnak (beleértve a kísérleti összeállítások fejlesztését). Kutatási eredményei relevánsak a laboratóriumi plazmák különböző fajtáinak és az asztrofizikai plazmák tekintetében. A disszertáció téziseiben megfogalmazott, a nemzetközi tudományos közösség által is elismert és jelentős visszhangot kiváltó eredményeit új tudományos eredményeknek fogadom el és támogatom az értekezés nyilvános vitára bocsátását.*

Dr. Donkó Zoltán  
MTA Doktora, tudományos tanácsadó

Budapest, 2017 július 3.