

## Válasz Dr. Hebling Jánosnak

Mindenekelőtt szeretném megköszönni Dr. Hebling János professzor úrnak a gondos bírálat elkészítését, konstruktív észrevételeit és kérdéseit. A kérdésekre adott válaszaim a következők.

### 1) Hogyan magyarázható a 6. ábrán látható lineáris kapcsolat?

*A  $S^{7+}$ ,  $Cr^{7+}$  és  $Mo^{7+}$  ionok valencia elektronjai azonos konfigurációjúak, és azonos magtöltést „éreznek” a belső elektronhéjak által leárnyékolt magból. Várható, hogy ez a kvalitatív analógia valamiféle egyértelmű összefüggésben is meg fog nyilvánulni a gerjesztett energiák tekintetében. Leginkább a belső elektronburok mérete az, ami a három ion esetében különbözik, és, a 6. ábra szerint, ez már a legegyszerűbb, lineáris függés felhasználásával jól leírja a gerjesztési energiák kapcsolatát. Természetesen vannak és látszanak is a 6. ábrán eltérések, akár szisztematikus eltérések is lineáris kapcsolattól, azonban az analógia szempontjából, véleményem szerint, esetleges a lineáris kapcsolat. Úgy gondolom, hogy a lineárisnál magasabb rendű összefüggés esetén is felhasználható lett volna az analógia a  $W^{8+}$  ionok energiaszintjeinek becsléséhez.*

### 2) A 40. oldalon a második bekezdésben a következőt írja: „... a mért vonalakra egy lassan változó kontinuumra szuperponálódó Lorentz es Gauss profil összegét illesztettem”. Egy ábrán mutassa be, hogy pontosan mit tett, es indokolja meg, hogy miért így járt el!

*A vonatkozó fejezetben bemutatott méréseimet 1992-1993 környékén végeztem el. Sajnos a számítástechnika akkori színvonala nem tette lehetővé praktikus idők alatt sok-sok, a mérésnek igazán megfelelő Voigt-profil, azaz egy Gauss- és egy Lorentz-profil konvolúciója illesztését. A háttér tekintetében pedig legalább négyzetesen változó háttérrel kellett volna illeszteni, de ezt lineárisan változó háttérrel helyettesítettem, szintén a futási időkre vonatkozó praktikus megfontolások alapján. Magának az illesztési eljárásnak csak annyiból volt jelentősége, hogy egy-egy vonal teljes integrálját minél pontosabban meg lehessen határozni a háttér minél pontosabb levonása mellett.*

*A mérési pontokra az alábbi görbét illesztettem, melyet 6 paraméter segítségével definiáltam: 1-1 amplitúdóval és félérték szélességgel a Gauss- és a Lorentz-eloszlásokat, valamint 1 meredekséggel és egy ofszettel a lineáris háttérrel.*

$$I(\lambda) = A\lambda + B + \frac{C}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\lambda-\lambda_0)^2}{2\sigma^2}} + \frac{\gamma}{4\pi^2} \frac{D}{(\lambda-\lambda_0)^2 + (\gamma/4\pi)^2}$$

*A 6 paraméter A, B, C, D,  $\sigma$ , és  $\gamma$ .  $\lambda$  a hullámhossz és  $\lambda_0$  a vonal centruma.*

*A 6 paraméternek előfeltevéseken és tapasztalaton alapuló kezdőértéket adtam, majd 5 paraméter rögzített értéke mellett a legkisebb négyzetek módszerével a 6. paramétert optimalizálni tudtam. Ezután egy másik paramétert optimalizáltam és a maradék ötöt rögzítettem. Mindezt addig folytattam, amíg  $I(\lambda)$  négyzetes eltéréseinek összege a méréstől a lehető legkisebb nem lett.*

### 3) A (41) egyenletre hivatkozva, az egyenlet alatti második bekezdésben azt írja, hogy normális diszperzió esetén nincs megfelelő harmadik harmonikus keltés. Anomális diszperzió esetén

van? Választáa hogyan támasztja alá a (41) egyenlet? Az ön mérései a normális, vagy az anomális diszperzió tartományában történtek?

Az Értékezésben a fázisugrást  $\Delta k = k_{3\omega} - 3k_{\omega}$  alakban definiáltam, ami normális diszperzió esetén  $\Delta k \geq 0$ -t jelent.

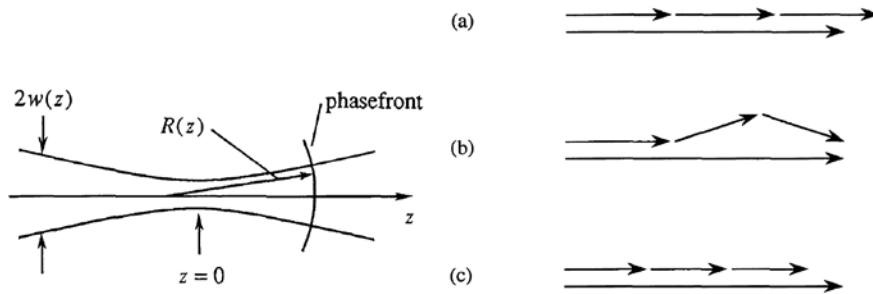
A (41) egyenlet a  $J = \int_{z_{\min}}^{z_{\max}} \frac{\chi(z)e^{ib\Delta kz} e^{-\alpha\Delta z}}{(1+2iz)^2} dz$  integrálra vonatkozik. A harmonikusok intenzitása ennek abszolútértékének négyzetével arányos.

A fenti integrál általános esetben nem értékelhető ki analitikusan, de a kísérleteknek megfelelő feltételek esetén, azaz erősen, 0,65 numerikus apertúrájú optikával fókuszált lézernyaláb esetén, amikor a  $b$  konfokális paraméterre igaz volt a  $b \ll z_{\min}, z_{\max}$  reláció, az integrálás analitikusan is elvégezhető volt térben állandó  $\chi(z)$  szuszceptibilitás mellett.

$$J = \begin{cases} 0, & \text{ha } \Delta k \geq 0 \\ \frac{b^2 \pi \Delta k}{2}, & \text{ha } \Delta k < 0 \end{cases}$$

Látható, hogy normális diszperzió esetén  $J$  valóban eltűnik, és csak anomális diszperzió esetén nem nulla.

Szemléletesen itt arról van szó, hogy az erős fókuszálás miatt a fázisfront erősen görbült a fókusz közelében és a hullámvektorok nem párhuzamosak (bal oldali ábra). Ezért a felharmonikusok jó hatásfokú keltéséhez szükséges fázisillesztés nem tud teljesülni, ha  $\Delta k \geq 0$  (jobb oldali (c) ábra). Ha ellenben  $\Delta k < 0$  (jobb oldali (a) ábra), a fázisfront görbülete segíti a fázisillesztést (jobb oldali (b) ábra).



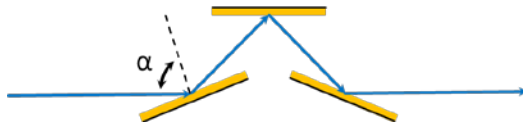
A mérések a normális diszperzió tartományában történtek, és épp emiatt a felharmonikusok nem is a közegben, hanem a közeg határfelületén keletkeztek: ott, ahol a harmadrendű szuszceptibilitásnak ugrása van, a levegő-üveg határfelületen.

**4) A 18. ábrán látható a mérésekben használt, aranytükrokből álló VUV polarizáció-analizátor. Kérdésem, lehet-e Brewster-szögű reflexión alapuló VUV polarizáció-analizátort építeni?**

Elméletileg igen, de egy ilyen rendszer praktikus használhatóságát több tényező is korlátozza, illetve teheti lehetetlenné.

Esetünkben a vizsgálandó második felharmonikus hullámhossza 124 nm, a harmadik felharmonikusé 83 nm. Ezeken a hullámhosszokon mind refraktív, mind reflektív optikai elemek alkalmazása már mindenképp az optikai közegben fellépő elnyeléssel párosul, ezért a komplex törésmutatónak az elnyelést leíró képzetes része nem hanyagolható el. Ez azzal jár, hogy csak úgynevezett pszeudo-Brewster-szögű reflexió definiálható, amikor is a visszavert lézernyaláb  $p$ -polarizált komponense az adott beesési szög mellett minimális, de nem nulla, mint a klasszikus Brewster-szögű reflexió esetén. Ráadásul a visszavert nyaláb gyengülése sem elhanyagolható. A pszeudo-Brewster szögnél nagyobb beesési szöveget választva a polarizáció szelekció romlik, de a visszaverődés hatásfoka javul. Kísérleteimben az ábrán szereplő alfa-

szöveget úgy választottam meg, hogy a polarizáció szelekció még megfelelő legyen, és a felharmonikusok se gyengüljenek jelentősen.



124 nm-es hullámhosszra még éppen alkalmazható lenne pl.  $MgF_2$  anyagú üveglemez a középső tükör helyett (pszeudo)-Brewster-szög alatti beeséssel (ezt az elrendezést meg is valósították), de 83 nm-es hullámhosszon már csak reflektív optika használható, és az is közel súrlódó beesési szögekkel.

- 5) A (46) egyenlet alatti bekezdés szerint az elektrongáz nyomása egyenlő az elektronok átlagos termikus sebességének a négyzetével. Ez a kijelentés a dimenziókat megvizsgálva is nyilvánvalóan helytelen. Pontosítsa a kijelentését!

A vonatkozó rész így szerepel a dolgozatban: „...  $u^2$  pedig az elektrongáz nyomása ( $u^2 = \gamma k_B T_e / m_e$ ,  $\gamma = 3$ ), vagy más szóval az elektronok átlagos termikus sebességének a négyzete.”

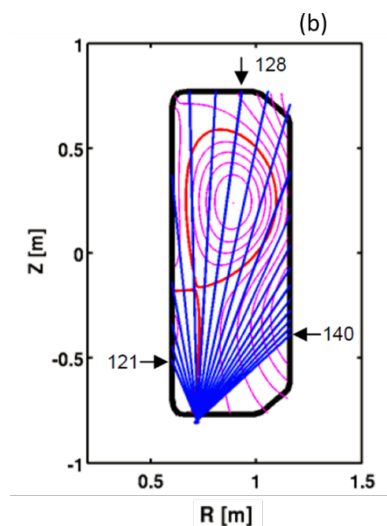
A kijelentés valóban pontatlan, illetve hibás.  $u^2$  sebesség négyzet dimenziójú mennyiség, és Maxwell-eloszlás esetén az elektronok legvalószínűbb sebességének a négyzete. Az „elektrongáz nyomása” rész törlendő, az „elektronok átlagos termikus sebességének a négyzete” rész pedig módosítandó. Természetesen van kapcsolat az elektrongáz nyomása és az elektronok legvalószínűbb sebességének a négyzete között, azonban ettől még az Értekezésben szereplő mondat valóban pontosításra szorul.

- 6) A 74. oldal első mondatában mit jelent a „ $10^{17}$ -es integrált, 10 eV-os fotonáram” kifejezés?

Ez a kifejezést azt jelenteni, hogy „a detektor használata során összesen  $10^{17}$  darab 10 eV energiájú foton érkezett a detektorra”, és ezért az érzékenysége leromlott.

- 7) A 78. oldal első bekezdésében azt írja, hogy „... a látóirányok ... nem haladnak keresztül a fő plazmán ...”. Ez igaz? Kérem, mutassa meg a 36.b ábrán, hogy hol helyezkedik el a fő plazma!

A fő plazma a zárt piros görbével jelölt tartományon belüli, a  $z = -0,2$  és  $z = 0,6$  koordináta értékek közé eső rész. A dolgozatban szereplő, idézett kijelentésem sajnos nem pontos, hiszen vannak a hivatkozott kamerának olyan látóirányai, amelyek átmennek a fő plazmán. A pontos kijelentés az lett volna, hogy vannak a fő plazmán át nem haladó látóirányok.

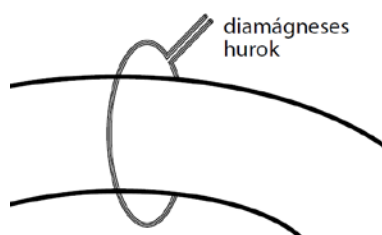


- 8) A 79. oldal második bekezdésében leírtakkal kapcsolatban kérdezem, hogy a diódák nem telítődhetnek-e? Ha ez bekövetkezett volna, akkor a valóságnál kisebb sugárzási veszteséget mért volna.

*Valóban, telítődött diódák esetén a valóságnál kisebb sugárzási veszteséget mértem volna. Szerencsére a tomografikus eljárás alkalmazásánál lehetőség van az esetleg telített csatornák figyelmen kívül hagyására, mivel van olyan fokú redundancia a rendszerben, hogy néhány csatorna elhagyása csak a mérés bizonytalanságának elhanyagolható növekedéséhez vezessen. Egy dióda esetleges telítettsége az időlefutáson látszik, az alkalmazott tomografikus algoritmusban a telített, vagy ahhoz közeli dióda jeleket automatikusan figyelmen kívül hagytam.*

- 9) Hogyan lehet meghatározni a tárolt energia 37.b ábrán bemutatott időbeli változását?

*A tárolt energiát egy úgynevezett diamágneses hurokkal mérik, amiből a plazma diamágneses energiája származtatható, és ez utóbbi közvetlen kapcsolatban van a tárolt (azaz a termikus) energiával. A hurkot, ami nem más, mint egy, a plazmaszlopot körbe vevő mágneses fluxus mérő hurok, az alábbi ábra szemlélteti.*



*Magnetohidrodinamikai egyensúlyban az erőegyensúlyt az alábbi egyenlet írja le.*

*$\vec{\nabla} \left[ p + \frac{B^2}{2\mu_0} \right] = \frac{1}{\mu_0} (\vec{B} \vec{\nabla}) \vec{B}$ , ami a fúziós gyakorlatban előforduló esetekben a  $p + \frac{B^2}{2\mu_0}$  = állandó (a plazma térfogatán belül) kifejezésre egyszerűsödik. A részleteket mellőzve már ebből a kifejezésből is látszik, hogy a mágneses térre vonatkozó mérésekkel (fluxus és mágneses tér komponensek), a plazma térfogattal súlyozott nyomása (ez a tárolt energia) meghatározható.*

- 10) Kérem, ismertesse szerepét és annak súlyát a 6. tézisponthoz kapcsolódó (11-15) publikációiban! Melyik publikációjában szerepel a 36., vagy az annak megfelelő ábra?

*Amikor a TCV tokamakokon elkezdtem dolgozni 2005-ben, az AXUV kamerarendszer használaton kívül, és használhatatlan állapotban volt. Érzésem szerint nyugodtan állítható, hogy én keltettem életre a rendszert a diódák beszerzésétől, kalibrálásától a tomografikus algoritmus implementálásáig, és én is végeztem el vele az összes bemutatott mérést, valamint értelmeztem az eredményeket. A [13-15]-ös publikációk tekintetében az eredményeket Tál Balázs akkori doktoranduszommal közösen értük el.*

*A 36. ábra az alábbi publikációban szerepel: G. Veres, R.A. Pitts, A. Aranyi, A. Bencze, M. Berta, B. Gulejova, S. Kalvin and the TCV Team: Fast Radiation Dynamics during ELMs in TCV; 34th EPS Conference on Plasma Physics ECA **31F** (2007) P-2.141.*

Budapest, 2017-11-16

Veres Gábor