

Hivatalos bírálói vélemény
Szalóki Imre: „Az emissziós röntgenspektrometria fizikai folyamatainak modellezése és analitikai fejlesztése” című MTA doktori értekezéséről

Szalóki Imre szakterületének, az emissziós röntgenspektrometriának és az ahhoz kapcsolódó egyéb kísérleti, elméleti és méréskiértékelési módszereknek nemzetközileg elismert művelője és szaktekin-télye. Az egykori debreceni Kossuth Lajos Tudományegyetemen 1983-ban megszerzett dr. rer. nat. címét 1997-ben PhD fokozattá minősítették át. Ennek megfelelően MTA doktori műve téziseinek alapját 1997 utáni publikációi képezik.

A jelölt tudományos közleményeinek száma az MTMT szerint 73; ebből 51 folyóiratcikk, 4 össze-foglaló cikk, 13 lektorált konferenciaközlemény és 5 könyvfejezet.

Közleményeire 884, a Fizikai Tudományok Osztálya számára elfogadható független hivatkozás tör-tént, ezek effektív értéke 697,25. 1997 óta megjelent közleményeinek független idézettsége 830, ef-fektív értékük 643,5. A jelölt független hivatkozásokból számolt H-indexe 15; a jelenleg „H-indexes” cikkek egy kivételével az 1999–2012 időszakban születtek.

A jelölt téziseit 30 cikkre alapozza, amelyek a szakterületének megfelelő folyóiratokban jelentek meg. Az ezekre a cikkekre kapott független hivatkozásainak száma 521, ami összes hivatkozásnak 59 %-át teszi ki. Látható, hogy az említett mutatók alapján mind a jelölt általános publikációs tevén-kenysége, mind a tézisei alapjául szolgáló cikkeinek hivatkozottsági mutatói messzemenően teljesítik az MTA Doktora cím megszerzésekor elvárható feltételeket. Ezt a megállapítást tovább erősíti az a tény, hogy a jelölt teljes eddigi pályafutása alatt jelentős oktatási tevékenységet is végzett. Jelenleg a BME Nukleáris Technikai Intézetében a „Röntgen- és gammaspektrometriai módszerek” című tárgy előadója, de doktoranduszok témavezetésében is igen aktív: egy-egy doktorandusza 2018-ban, illetve 2020-ban szerzett fokozatot, két további doktoranduszának védeése pedig 2024-ben és 2025-ben lesz esedékes. A jelölt kiterjedt nemzetközi kapcsolatairól is tanúskodnak, hogy évtizedek óta szerte a világon szívesen látott együttműködési partner. Kissé részletesebben elemezve azonban az említett cikkek hivatkozottságát, feltűnő, hogy a 16 olyan cikk között, amely legalább 15 hivatkozást ért el, mindössze öt olyan található, amelynek szerzőlistáján a jelölt kiemelt helyen jelenik meg, köztük az előző bekezdésben említett egyetlen kivétel, a jelölt 1991-ben született egyszervős cikke (*X-Ray Spec-trometry* **20**, 297 (1991)), amely 21 független hivatkozást kapott. A másik négy ilyen cikk (*X-Ray Spectrometry* **28**, 399 (1999); *Physics in Medicine and Biology* **44**, 1245 (1999); *Analytical Chemistry* **72**, 211R (2000); *Analytical Chemistry* **78**, 4069 (2006)) független hivatkozottsága sem kiugró (rendre 29, 15, 28 és 15). A tézisek alapjául szolgáló 30 cikk közül a fenti négy közleményben és további 12, alacsonyabb hivatkozottságú publikációban szerepel a jelölt kiemelt (első vagy utolsó) helyen. Természetesen nem vonom kétségbe, hogy a jelölt lényeges szerepet játszott a téziseinek alapjául szolgáló másik 14 cikkben is, illetve hogy a tézisekben megfogalmazott eredményeket a (nagyreszt külföldi) társzerzők egyike sem használta fel saját értekezésében, ez azonban sem a tézi-sekből sem a doktori műből nem állapítható meg; feltételezem, hogy ennek vizsgálata a benyújtott dokumentumok alapján a habitusvizsgálati eljárás során megtörtént.

Az értekezés fő vonalaiban jól áttekinthető, világos szerkezetű. Szeretném külön kiemelni annak el-sőrangú, magyaros nyelvezetét és fogalmazásmódját, ami manapság sajnos egyre inkább ritkaság-számba megy. Helyesírási problémák a doktori műben csak elvétve találhatók, azok is leginkább a különírás-egybeírás, illetve a kötőjelezés amúgy is gyakran jelentésfüggő, és ezért nem is mindig egyértelmű szabályaihoz kapcsolódóan; ezek tételes felsorolásától szeretnék eltekinteni. Legfeljebb a vesszők használatának angolos módja zavaró, pl. a mondatot kezdő „Ezért” vagy „Azonban” után elhelyezett vesszők, amelyek a „Therefore”, illetve a „Nevertheless” tükörfordításai; ilyen vessző-használat a magyar nyelvben nem létezik. Az angollal ellentétben ugyancsak nem határolhatunk el vesszők közé szűrve egy bővítményt, értelmezői vagy jelzői mellékmondatot; a magyar szövegben ilyenkor nagykötőjeleket használunk.

Általános megjegyzésem a doktori művel kapcsolatban, hogy az – főleg a kísérleti részek vonatkozásában – igen jól mutatja be a jelölt által több évtizeden keresztül végzett hatalmas munkát és annak kiváló minőségét. Az értekezésben közölt igen nagy mennyiségű, általában táblázatokba, illetve ábrákba foglalt konkrét kísérleti adat legnagyobb részének azonban alighanem jobb helye lett volna egy nyílt hozzáférésű adatrepozitóriumban, mint magában a dolgozatban.

A 127 oldalas mű – a tartalomjegyzéket, az összefoglalást, a rövidítésjegyzéket, a köszönetnyilvánítást és a hivatkozásjegyzéket nem számítva – kilenc fejezetből áll; utóbbiakat a szerző esetenként további 1–2 decimális mélységben osztotta alá. A 3–9. fejezetek utolsó, „Összefoglalás: *n.* tézis” című alfejezeteiben jelennek meg a doktori mű tézisei, megadva az adott tézis alapjául szolgáló közleményeket (természetesen összhangban a külön is benyújtott „MTA Doktori Értekezés Tézisei” című dokumentummal). A hivatkozásjegyzékben félkövér sorszámokkal van kiemelve a tézisek alapjául szolgáló 30 publikáció. A továbbiakban röviden ismertetem az egyes fejezetek tartalmát, az ismertetésbe beépítve megjegyzéseimet és kérdéseimet.

Az 1. fejezet a kutatómunka előzményeit és célkitűzéseit ismerteti. Az olvasó világos képet kap a doktori mű témaköréről, annak helyéről egyrészt az elemanalitikában, másrészt a különféle röntgenforrások világában.

- A 4. oldalon olvasható a következő mondat: „A térbeli felbontás ilyen jelentős mértékű növekedésén túl a legújabb generációs szinkrotron sugárforrásokkal extrém rövid időtartamú röntgenimpulzusokkal lehet besugárzást végezni (European XFEL)”. Való igaz, hogy a legújabb (részben még épülő) negyedik generációs szinkrotronok (MAX-IV, ESRF-EBS, SPring-8-II, HEPS, PETRA-IV, ALS-U, SKIF, stb.) számos más kedvező tulajdonságuk mellett abban is különböznek elődeiktől, hogy elektronsomagjaik azokénál kompaktabbak, időben rövidebbek. A European XFEL azonban femtoszekundumos impulzusai ellenére nem szinkrotron, hanem röntgenszabadelektronlézer.
- Ugyancsak a 4. oldalon a következő bekezdés is tartalmaz egy apró pontatlanságot: nem az ott hivatkozott 1997-es Pathfinder volt az első Mars-expedíció, sőt még csak az első olyan Mars-expedíció sem, amely nagyobb mennyiségű tudományos adatot továbbított a Földre; ezt ugyanis már az USA 1976-ban felbocsátott, majd utána több mint hat éven át működő Viking 1 szondája is megtette.

A 2. fejezet az emissziós röntgenspektrometria vizsgálati módszereit és eszközeit mutatja be. Kitűnő bevezető anyag a témával ismerkedni kívánó olvasó számára; letagadhatatlanul a tárgy hivatott oktatójának tollából származik.

- Az 5. oldalon fordul elő először az értekezésben számos további alkalommal is használt „SD” rövidítés. A rövidítésjegyzékben az SDD (Silicon Drift Detector) szerepel. Ez még a kisebbik probléma lenne, mert ebből az SD jelentése (silicon drift) értelemszerűen következik, de a 12. oldalon előforduló „Si-SD detektor” már végképp tautológia.

A doktori mű további fejezeteiben ismertetett metodikai eredmények bemutatására újabb és újabb konkrét alkalmazások kapcsán kerül sor; ennek megfelelően megjegyzéseimben és kérdéseimben sem fognak szétválni a metodikára, illetve az egyes alkalmazásokra vonatkozó elemek. Ezekben a fejezetekben a jelölt általában részletesen leírja a szakirodalomban más szerzőktől származó módszertani felismeréseket is, ami ugyan egyrészt a szakirodalom tökéletes ismeretéről tanúskodik, másrészt viszont nem könnyíti meg a saját eredmények világos elkülönítését a folyó szövegben. Ezen a problémán viszont kétségtelenül sokat segítenek az egyes fejezetek végén található összefoglaló alfejezetek, amelyek általában megadják a jelölt saját szerepét.

A 3. fejezet a fotongerjesztéssel végzett emissziós röntgenanalitika modellszámításaival foglalkozik. Ez a fejezet az értekezés további részének metodikai alapvetése, amely azt is bizonyítja, hogy szerzője teljes biztonsággal kezeli módszereinek mind kísérleti, mind matematikai apparátusát.

- A 10. oldalon, a 3.1.1. ábra alatti bekezdésben kerülnek említésre egy felsorolásban a kézi-, hordozható és laboratóriumi röntgenanalizátorok, Kérem a jelöltet, pontosítsa, hogy mi a különbség a kézi és a hordozható röntgenanalizátorok között!
- A (3.1.1) képlet ebben a formában és ezen a helyen nem ad könnyen használható eszközt az olvasó kezébe. Melyek a (3.1.2) képlet utáni bekezdésben említett egyszerűsítő körülmények? A K szorzófaktor tényleges értéke sem állapítható meg az itt szereplő információk alapján (a későbbiekből kiderül, hogy általában illetett paraméter). A (3.1.1) egyenletrendszer forrásaként két közlemény van megadva: T. Shiraiwa és N. Fujino cikke (*Jpn. J. Appl. Phys.*, **5**, 886, 1966), az értekezés [15] hivatkozása, valamint a jelölt már korábban is említett 1991-es cikke (*X-Ray Spectrom.*, **20**, 297, 1991), az értekezés [20] hivatkozása. A Shiraiwa–Fujino-cikkre (téves, 1968-as évszámmal) a jelölt 1991-es cikke is hivatkozik. Ez utóbbi a lényegében ekvivalens (1) egyenletrendszer ismertetésekor viszont nemcsak a Shiraiwa–Fujino-cikket említi forrásként, hanem J.W. Criss és L.S. Birks 1968-as cikkét is (*Anal. Chem.*, **40**, 1080, 1968), az értekezés [14] hivatkozása, és amely elsőként használta a Fundamental Parameter Method fogalmát. Kérem a jelöltet, fejtse ki, hogy a (3.1.1) egyenletrendszer milyen közelítéseket tartalmaz. Kérem, vázolja fel, hogy a (3.1.1) egyenletrendszernek ebben a formában való felírhatóságát a felsorolt publikációk mennyiben alapozták meg.
- Kis formai hibát jelentenek a (3.1.2) egyenletben benne maradt angol „if” szavak.
- A 3.1.2. ábrán bemutatott példával kapcsolatban szeretném megkérdezni, hogy mi a valódi növénytani relevanciája az ott bemutatott példának, vagyis hogy mire lehet ténylegesen használni az uborka hipokotiljából (egy csírázó palánta szárából) készült, liofilizált mintán végzett mérésekből származó adatokat. Kérdésem természetesen vonatkozik a 8. fejezetben, a 75. oldalon található 8.4.1. ábrára is.
- A 3.1.3. ábra valóban meggyőzően mutatja, hogy a fiktív közet abszorpciós együtthatójának a második módszerrel történt meghatározása kitűnően közelíti a valódi összetételhez tartozó értékeket. Ugyanakkor feltűnő, hogy a narancssárga színű görbén látható kismértékű eltérés határozottan nagyobb 2 keV alatt, mint magasabb energiáknál. Mi lehet ennek oka?
- A 25. oldalon, a 3.5. alfejezet első bekezdésében olvasható, hogy „A legtöbb anyag törésmutatójának értéke a röntgensugárzás energiatartományában kisebb, mint 1.” A nukleáris rezonancia-szórás ide nyilván nem tartozó esetét figyelmen kívül hagyva, számomra egyetlen anyag sem ismert, amelynek törésmutatója a röntgentartományban ne lenne 1-nél kisebb. Miért „a legtöbb”, miért nem „minden”?
- A 27. oldal (28. oldalra is áthúzódó) utolsó bekezdésében esik szó arról, hogy a jelölt az FPM számítások ellenőrzéséhez és a teljes eljárás empirikus hitelesítéséhez standard oldatokból álló sorozatot készített a K, Sc, V, Mn, Co és Cu elemek esetére; itt bizonyára ezen elemek valamilyen sóinak oldatairól van szó. Az anion nem befolyásolja a hitelesítési eljárást?

Észrevételeimtől és a jelölt azokra adandó válaszaitól függetlenül az 1. tézispontot új tudományos eredménynek fogadom el.

A doktori mű 4. fejezetének témája a Reverse Monte-Carlo (RMC) módszer és az FPM modell alkalmazása aeroszolrészecskék összetételének elektronsugaras mikroanalízissel (EPMA) történő meghatározására; a jelölt az alkalmazáshoz a leglátványosabb példát amazóniai aeroszolok vizsgálatából veszi. Az elektronsugaras mikroanalízis módszerének részleteiben jártassággal nem rendelkező olvasót megzavarja a ZAF rövidítés, amely sem a doktori műben korábban, sem annak rövidítésjegyzékében nem szerepel (a rövidítés feloldása a Z rendszám, az A abszorpció és az F fluoreszcenciagerjesztés).

- A 4.3.1. ábrával kapcsolatban szeretném megkérdezni, hogy az a NaCl április 7-én, de különösen március 26-án megfigyelhető hirtelen feldúsulása köthető volt-e valamilyen azonosítható meteorológiai eseményhez.

Igen komoly problémának látom, hogy ebben a fejezetben a jelölt nem tisztázza egyértelműen saját szerepét az ismertetett munkában: „Ezt az új detektálási technikát alkalmaztuk aeroszol részecskék analitikai vizsgálatára az Antwerpeni Egyetem Kémiai Tanszékén egy nemzetközi kutatócsoporttal.” „Az elektronsugárral végzett röntgenfluoreszcens gerjesztés körülményeire egy új sztochasztikus számítási modellt és annak iteratív megoldási algoritmusát dolgoztuk ki...”. Ezért a 2. tézispontot csak abban az esetben tudom új tudományos eredménynek elfogadni, amennyiben azt a jelölt úgy fogalmazza át, hogy abból szerepe az elvégzett munkában teljesen világosan azonosítható legyen.

Az értekezés 5. fejezetében a jelölt ismét aeroszolrészecskék elemzésével foglalkozik, ezúttal a TW-EPMA és az RMC-FPM elemzés mérési, számítási folyamatainak optimalizálását és azok alkalmazásait állítva középpontba. Bár ez a rész az előző fejezet egyenes folytatása, itt teljesen egyértelmű a jelölt saját, meghatározó szerepe a bemutatott munkában. A leírt mérés technika kiemelkedő minőségét különösen jól láthatjuk az 5.1.4. ábrán, amelyen még a C 277 eV energiájú karakterisztikus röntgen vonala is torzítatlanul, kiváló felbontással jelenik meg.

- Az 5.1.4. ábrával kapcsolatban kérdezem, hogy azon miért szerepelnek a C-K α és a O-K α jelölések, jóllehet K β sugárzásról csak a periódusos rendszer harmadik sorától, a Na-tól kezdve beszélhetünk. Ugyanez a kérdés vonatkozik a folyó szövegben a 41. oldal alján, az 5.1.3. ábrától jobbra a már említetteken kívül található N-K α jelölésre is. A C-K α , N-K α és O-K α problémája ismét megjelenik a 44. oldal első bekezdésében, az O-K α az 5.1.8. ábra aláírásában, stb.

Észrevételeimtől és a jelölt azokra adandó válaszaitól függetlenül a 3. tézispontot új tudományos eredménynek fogadom el.

A doktori mű 6. fejezetét a jelölt röntgenspektrometriai modellszámításai elektrokémiai alkalmazásainak szenteli. A munka részleteinek leírása rendkívül meggyőző mind a Si-PIN diódával, mind a szcintillációs detektorral végzett adszorpciós vizsgálatok esetében; előbbi vonatkozásában szeretném külön kiemelni a 6.1.2. ábrán bemutatott, a voltametriás feszültség széles tartományában megfigyelt kitérő egyezést a számított és empirikus kalibrációk között.

- A 6.1.1. ábrán bemutatott elrendezéssel kapcsolatban kérdezem: hogyan biztosították az elektrolízis során a ^{65}Zn oldat egyenletes laterális eloszlását? Felmerült-e esetleg ennek céljából az elektrolit folyamatos vagy szakaszos keverése?
- Apró formai hiba a 6.2.2. ábra abszcisszájának feliratában szereplő V-K α a helyes V-K β helyett.

Észrevételeimtől és a jelölt azokra adandó válaszaitól függetlenül a 4. tézispontot új tudományos eredménynek fogadom el.

Az értekezés 7. fejezetének témája specializált FPM modellszámítások alkalmazása biológiai és geológiai anyagok analízisére. A fejezet mindhárom alfejezete rendkívül gondos és alapos vizsgálatokat mutat be; a jelölt azokban játszott személyes szerepe jól azonosítható.

- A 7.1.1. ábrán számomra nem világos a függőleges apertúrasorozat alsó belépő ablakának szerkezete. Milyen anyag van az Al alatt? Miért nem lehetett itt is Mo/Al apertúrát alkalmazni?
- Az ólom a cserépedények mázából történő kioldódásának időfüggését megadó (7.2.1) képlettel kapcsolatban kérdezem: rendelhető-e külön-külön fizikai folyamat az empirikus formula két tagjához?
- A μ XRF-CT és μ XRF-CI módszerekkel végzett elemanalitika vizsgálatokkal kapcsolatos kérdésem: hozott-e, illetőleg fog-e a jövőben azok felbontóképességében és hatékonyságában változást hozni az ESRF Upgrade közelmúltban lezárult második fázisa, az ESRF Extremely Brilliant Source (ESRF-EBS)?

Észrevételeimtől és a jelölt azokra adandó válaszaitól függetlenül az 5. tézispontot új tudományos eredménynek fogadom el.

A doktori mű igen szerteágazó, öt tematikus alfejezetre alaosztott, 16 oldal hosszúságú 8. fejezete a „Szinkrotronsugárzással végzett 2D/3D mikroanalitikai és in-vivo XANES vizsgálatok mérés-technikai és modellszámítási módszereinek fejlesztése” címet viseli. Ennek első négy tematikus alfejezete a jelölt különféle mikroanalitikai eljárásokban elért eredményeit mutatja be; az ötödik alfejezet az azoktól metodikailag alapvetően különböző XANES eljárással foglalkozik. A *Dafnia magna* (DM) különböző szennyezettségű vizekben nevelt példányain szinkrotronsugárzással felvett elemtérképek látványosan mutatják mind a módszer hatékonyságát, mind a 3. fejezetben részletesen bemutatott FPM módszer hatékonyságát. A két SD detektorral és kriogén hűtéssel végzett μ XRF-CT elemzés alkalmazását ismét biológiai példán láthatjuk.

- A 8.2. alfejezetben nem találtam semmilyen, arra vonatkozó utalást, hogy ezek a vizsgálatok milyen biológiai mintákon történtek. Ugye a 8.2.1. ábra is DM-en készült felvételeket mutat?

A 8.3. alfejezet tárgyköre az önabszorpciós hatás korrekciója a 2D μ XRF-CI analízisben; a konkrét biológiai példa ismét a DM.

A 8.4. alfejezetben változik az élettani objektum; a jelölt itt növényi mintákban szinkrotronsugárzással végzett, μ XRF-CI és μ XRF-CT eljárásokkal elért elemeloszlás-meghatározási vizsgálatairól számol be. A liofilizált uborka hipokotilján végzett mérések relevanciájáról teljes mértékben továbbra sem vagyok meggyőződve, hiszen – mint az értekezés 75. oldalának utolsó bekezdésében is szerepel – a liofilizálási művelet során nem minden esetben sikerült elérni, hogy a minta belső biológiai szerkezete ne változzék meg valamilyen mértékben. Ez különösen fontos tény annak fényében, hogy a rizsszemek szinkrotronsugárzással végzett 2D- μ XRF-CI eljárással végzett elemzése során semmilyen nyáláthatást nem lehetett megfigyelni, és a minták hűtésére sem volt szükség.

A 8.5. alfejezetben változik a módszer: itt kerül sor az uborka hipokotilnak az arzén oxidációs állapota meghatározása céljából végzett in-vivo XANES-mérések ismertetésére. Valódi in-vivo mérésre a nyáláthatás miatt végül is nem nyílt lehetőség, a lefagyasztott mintákon végzett kvázi in-vivo mérések növénytani relevanciája viszont kétségbe vonható.

- Kérdésem: lát-e a jelölt egyáltalán lehetőséget növénymintákon valódi in-vivo XANES-mérésekre, vagy ez elvileg kizárt?

Észrevételeimtől és a jelölt azokra adandó válaszaitól függetlenül a 6. tézispontot új tudományos eredménynek fogadom el.

Az értekezés utolsó, 32 oldal terjedelmű 9. fejezetének címe „FPM alapú modellek kifejlesztése μ XRF-CI elemzés rekonstrukciós számításaihoz és saját fejlesztésű laboratóriumi MAXRF spektrométerekhez”. Ez a rész öt tematikus alfejezetre van alaosztva, amelyek közül a negyedik további négy al-alfejezetre tagolódik.

A „ μ XRF-CI leképezés rekonstrukciója FPM számításokkal” című 9.1. alfejezetben a jelölt célkitűzése, hogy megalkossa az FPM modellnek a μ XRF-CI módszerhez adaptált változatát. E célkitűzés megvalósításának részletes kifejtése történik meg az alfejezetben, amelynek végén az eljárás tesztelése, majd valódi biológiai mintákon való alkalmazása is bemutatásra kerül. A matematikai eljárás kidolgozása nyilvánvalóan teljes mértékben a jelölt saját munkája.

A 9.2. alfejezet a MAXRF-Raman laboratóriumi spektrométer kifejlesztésének leírását tartalmazza.

- Bár az első bekezdésben említett HPLC (High-performance liquid chromatography) a kémiai elemzést választás és a radiokémia jól ismert eljárása, a betűszót célszerű lett volna a rövidítésjegyzékbe is felvenni.

A jelölt által magas színvonalon megoldott kihívást jelentett az XRF- és Raman-spektrométerek mechanikai összeházasítása, illetve azoknak a besugárzó kamrához való csatlakoztatása. A kitűnő eredményt igen meggyőzően mutatja a 9.2.3. ábra.

A 9.3. alfejezet az előző alfejezet egyenes folytatása; a jelölt itt mutatja be a MAXRF spektrométerhez adaptált FPM modell kifejlesztésével kapcsolatos eredményeit; a jelölt saját munkája teljesen egyértelműen azonosítható. Az eljárás hatékonyságát ötvözetmintákon tesztelte; az eredményt egyértelműen bizonyítják a 9.3.1. táblázatban összefoglalt adatok.

A tovább is alaosztott 9.4. alfejezetben ismét metodikai tevékenységről számol be a jelölt; itt ismerteti a 3D MAXRF-CI laboratóriumi spektrométer kifejlesztésével kapcsolatos munkáját, majd az al-alfejezetekben annak további részleteit. Ez a spektrométer a kulturális örökség tárgyainak vizsgálata esetében bír különös jelentőséggel. Mint a jelölt is kiemeli, ezen a területen fontos szempont, hogy lehetőséget teremtsünk olyan, laboratóriumi mikroanalitikai vizsgálatokra, amelyek térbeli felbontóképessége ugyan nem éri el a szinkrotron-nyalábcsatornáknál megvalósítható mértéket, de azoknál nagyságrendekkel költségkímélőbbek. A jelölt a 3D MAXRF-CI laboratóriumi spektrométer kifejlesztésével ezt a célt valósította meg.

- 1999 végén kezdték forgalmazni az első laboratóriumi mikrofókuszt-röntgenforrásokat, amelyeket ma már igen széles körben alkalmaznak. Példaként említem Németh Zoltán és munkatársai cikkét (Rev. Sci. Instrum. 87, 103105 (2016); <https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.4964098>), amelyben egy, a szinkrotron-sugárforrásokkal sok tekintetben versenyképes, mikrofókuszt-röntgenforráson alapuló eszközt írnak le. Az eszköz hatékonyságát a magyar származású Hámos Lajos ötletén alapuló von Hámos röntgenspektroszkópia megvalósításával bizonyítják, de ugyanebben a cikkben azt is megmutatják, hogy eszközük az abszorpciós röntgenspektroszkópia más változataira (pl. XANES, ill. és EXAFS (extended X-ray absorption fine structure) is alkalmas vagy alkalmassá tehető. Ugyanezt bizonyítják az emissziós röntgenspektroszkópia vonatkozásában is. Kérdezem a jelöltet: spektrométerfejlesztési tevékenysége során használt-e vagy tervez-e használni mikrofókuszt-röntgenforrást, illetve látja-e ilyen röntgenforrások alkalmazásának valamilyen akadályát?

A 9.4.1. al-alfejezet témája a spektrométer He-atmoszférája, a röntgennyaláb kollimálása és az optikai pozicionáló rendszer fejlesztése; ennek eredményét a jelölt U és Ce minták példáján demonstrálja.

A MAXRF-CI spektrométer mechanikai kialakításáról szól a 9.4.2. al-alfejezet. Az ehhez szükséges, megfelelő pontosságú és terhelhetőségű elemek előállítására 3D nyomtatással történt.

Mivel a spektrométerbe épített mozgatóberendezés pozicionálási reprodukálhatóságáról a gyártó cég nem tett közzé adatokat, további vizsgálatokra volt szükség. Ezek leírását olvashatjuk a „Transzlációs mozgások reprodukálhatósága, konfokális térfogat és síkbeli felbontóképesség kísérleti vizsgálata” címet viselő 9.4.3. al-fejezetben. Eszközének említett tulajdonságait a jelölt egy nyomtatott áramköri lap párhuzamos rézcsíkjainak sorozatán ellenőrizte.

A 9.4.4. al-fejezet tárgya kettős rétegek mélységi, illetve radioaktív anyagok felületi elemzése a MAXRF-CI spektrométer segítségével. Elsősorban ez utóbbi jelentőségét szeretném kiemelni, mivel lehetővé teszi radioaktív minták, sőt – ami ennél is fontosabb – nukleáris anyagok inaktív komponenseinek elemzését is. Ez azért igen fontos, mert ez utóbbiak mennyiségi meghatározását megnehezíti a röntgen- és gammaspektrumok részleges átfedése. A módszer tesztelésére a jelölt a Paksi Atomerőmű blokkjaiban a karbantartási időszakban begyűjtött anyagok inaktív összetételét használta, a 9.4.4.1. táblázat tanúsága szerint igen sikeresen.

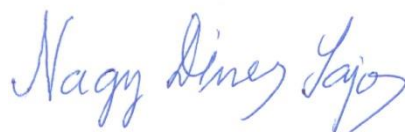
A 9.5. alfejezetben mutatja be a jelölt koncentrációk meghatározásához kifejlesztett Monte-Carlo alapú (RMC-XRF) modelljét. Az energiadiszperzív XRF kvantitatív elemzés esete abban különbözik a 4. fejezetben leírt RCM modelltől, hogy hozzá szükséges a gerjesztő röntgenforrás emissziós spektrumának pontos ismerete. A célkitűzés maradéktalan megvalósítását legjobban a 9.5.2. ábra, illetve a gondos matematikai statisztikai elemzésen alapuló 9.5.1. táblázat bizonyítja.

Észrevételeimtől és a jelölt azokra adandó válaszaitól függetlenül a 7. tézispontot új tudományos eredménynek fogadom el.

Összefoglalva megállapítható, hogy a doktori mű igen alapos, kitűnő munka.

Tekintettel arra, hogy a jelölt doktori műben foglalt eredményei az általam átfogalmazásra ajánlott 2. tézispont nélkül is bőségesen elegendőek az MTA Doktora cím elnyeréséhez, javaslom Szalóki Imre MTA doktori értekezésének nyilvános vitára történő kitűzését és számára az MTA Doktora cím megítélését.

Budapest, 2023. január 31.



Nagy Dénes Lajos
a fizikai tudomány doktora