

Hivatalos bírálói vélemény

SZALÓKI IMRE: „Az emissziós röntgenspektrometria fizikai folyamatainak modellezése és analitikai fejlesztése”

MTA doktori cím megszerzésére beadott értekezéséről

A XIX. és a XX. század fordulója fizikájának kétségkívül az egyik legfigyelemre méltóbb felfedezése a kemény elektromágneses sugárzások felismerése és az ezekkel besugárzott anyagok által kibocsátott másodlagos sugárzások részletes megismerése volt. Kiderült, hogy ezekben a fluoreszcens folyamatokban az egyes anyagok a kémiai azonosságuknak megfelelően sugároznak, a kibocsátott – a mai magyar szaknyelv elnevezése szerint – Röntgen sugaraik tulajdonságai egyértelműen jelzik az illető atom jelenlétét a vizsgált anyagban. Így a kísérleti tapasztalatok nagyon hamar elvezettek ahhoz a gondolathoz, hogy a Röntgen-fluoreszcencia jelensége egy eszközt, az emissziós röntgenspektrometria módszerét adja a kutatók kezébe a vizsgált anyag összetételének minőség és mennyiség szerinti vizsgálatához, amely még ráadásul roncsolásmentes is.

Bár a módszer alap gondolata egyszerű és könnyen átlátható, az emissziós röntgenspektrometria gyakorlati megvalósítása azonban a vizsgálat eredményeitől elvárt követelményekhez igazodva számos kérdés megválaszolását igényli. Itt elsősorban arra kell gondolnunk, hogy a gyakorlati életben a legkülönbözőbb anyagokkal kapcsolatban az elemek szerinti összetétel mellett igen fontosak a mennyiségi viszonyokra vonatkozó kérdések is. Így át kell tekinteni, hogy milyen módon, milyen elsődleges sugárzással kívánjuk gerjeszteni a vizsgálandó mintában lévő atomokat? Hogyan készítsük elő magát a mintát a vizsgálatához? Felmerül-e, hogy maga a vizsgált minta (például egy biológiai preparátum) sérülhet-e a vizsgálat alatt? Milyen mérőeszközökkel fogjuk megfigyelni az anyag fluoreszcens kisugárzását? Az emittált sugárzások energiája nagymértékben függ a kibocsátó elem rendszámától, alacsony rendszám esetén az energia olyan alacsony lesz, hogy azt már kevés anyag is elnyeli. Ez erősen felveti, hogy hogyan értékelhetjük ki a méréseknél kapott eredményeket? Ilyen és számos más hasonló probléma szakmailag korrekt és korszerű megválaszolása az emissziós röntgenspektrometria művelését nem teszi egyszerűvé, az komoly felkészültséget igényel mind az elméleti értékelés, mind pedig a kialakított mérési eljárás oldaláról egyaránt.

A fizika kísérleti módszereinek az elmúlt évtizedekben történt gyors és látványos fejlődése az anyagvizsgálatoknál számos új lehetőséget teremtett az elsődleges sugárforrások alkalmazása területén. A laboratóriumi röntgensövek és radioaktív sugárforrások felhasználása mellett megépültek a mind a kemény, mind a lágy röntgensugárzási tartományokban az előbbieknél sok, akár 10-15 nagyságrenddel is intenzívebb sugárzást adó szinkrotronok. Ezeknek a nyaláboknak a röntgenemissziós anyagvizsgálatokban való felhasználása korábban elképzelhetetlen lehetőségeket nyitott meg például az igen kicsiny, akár a néhányszor tíz mikrométer, vagy ennél is kisebb minták kémiai, szerkezeti és nyomelem vizsgálata területén. Hasonló mértékben fejlődtek és átalakultak a sugárzásmérő detektorok is. A már korábban kifejlesztett félvezető alapú Si(Li) és nagy tisztaságú germánium detektorok mellett megjelentek a szilícium-drift detektorok és az energiadiszipatív röntgenkamerák, az igen jó energiafelbontású szupravezető röntgendetektorok, a helyérzékeny gáztöltésű- és

félvezető detektorok. Ezekkel párhuzamosan óriási fejlődést hozott a nagyteljesítményű számítógépeknek ezen a területen is lehetséges alkalmazása. Olyan matematikai modelleket dolgoztak ki, amelyek részletesen figyelembe veszik az anyag és a beérkező sugárzás kölcsönhatásait, a kölcsönhatásokat követő emissziós és szórási folyamatokat, és az esetleg járulékos további sugárzások hatásait. E modell-számításokból következtetni lehet az anyag belső fizikai és kémiai szerkezetére, valamint az elemek térbeli, 3 dimenziós és mennyiségi eloszlására is. Mindez alapos, a kísérleti tapasztalatokon alapuló elméleti munkát tételez fel és igényel a további fejlesztésekben is.

Összefoglalva: az emissziós röntgenspektroszkópia alkalmazása lényegesen gazdagítja és kiszélesíti a gyakorlati anyagvizsgálatok, elsősorban a tudományos megfigyelések keretén belüli légköri (például aeroszol), geológiai, biológiai, kémiai-fizikai vizsgálatok lehetőségeit és előre vetíti a széleskörű ipari alkalmazások megvalósítását. Minden olyan kísérletes tevékenység, kutatás, amelyek ezeknek a módszereknek az elterjedéséhez vezet, vagy azokat segíti, méltán igényel figyelmet és elismerést a fizikai-metodikai fejlesztések és az egyéb, közvetlenül érintett tudományok oldaláról egyaránt.

Szalóki Imre az MTA doktori cím elnyerésére készített doktori értekezésében az emissziós röntgenspektrometria fejlesztésével és alkalmazásával kapcsolatos elméleti és gyakorlati munkáiról, hangsúlyosan az analitikai módszerek fizikai-matematikai modellezéséről, speciális mérés-technikai eszközök és eljárások kifejlesztéséről és ezek gyakorlati adaptálásáról számol be. Eredményei alapvetően metodikai jellegűek. Ezen túlmenően bemutatja több, a légköri vizsgálatok, a geológia, a biológia és az élettudományok területén érdeklődésre számot tartó mintákon végrehajtott mérései eredményeit is. Különbőféle, gyakorlati feladatokat megoldó kísérleti munkáiban közös az, hogy összes bemutatott eredménye illeszkedik az emissziós röntgenspektrometria használatát elősegítő eljárások kidolgozásához, fejlesztéséhez, a mérési módszer alkalmazásához szükséges ismeretanyag bővítéséhez.

A jelölt kutatómunkáját az utóbbi mintegy negyedszázadban két hazai munkahelyén végezte. 2008-ig **Szalóki Imre** a Debreceni Egyetem Kísérleti Fizikai Tanszékének munkatársa volt, onnan az említett évben ment át a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Nukleáris Technikai Intézetébe. Munkája mindkét helyen illeszkedett munkahelye kutatási lehetőségeihez, célkitűzéseire és tudományos programjához. A dolgozatban közölt, általa kidolgozott metodikai fejlesztések eredményei minden esetben bővítik a röntgenemissziós spektroszkópia alkalmazásával kapcsolatos általános ismereteket is. A doktori értekezésben összefoglalt mérések, kísérleti eredmények hosszú évek alatt kitartó szorgalommal elvégzett színvonalas kutatómunkát mutatnak be. – A jelölt szakmai tekintélyével és a nemzetközi tudományos közösségbe való beágyazottságával kapcsolatban érdemes megemlíteni, hogy 2002 és 2006 között négy, a röntgenspektroszkópia szakterület fejlődését áttekintően értékelő cikk jelent meg az *Analytical Chemistry* rangos tudományos folyóiratban, amelyeknek meghívás alapján mind a négy esetben **Szalóki Imre** volt a főszerzője.

Szalóki Imre kísérleti és elméleti munkáit elsősorban az előbb említett hazai intézményekben végezte el. A jelölt ezen kívül több fejlesztést és mérést hazai és nemzetközi együttműködésben más intézményekben, különböző együttműködések és pályázatok keretében, vendégkutatóként hajtott végre. Így a dolgozatban a szerző eredményeket közöl a brit Swansea-i Egyetem (University of Swansea), a japán Osaka-i Elektro-kommunikációs Egyetem (Osaka Electro-communication University), a belga Antwerpen-i Egyetem (University of Antwerp) munkatársaival közösen végzett munkáiról, és lehetőséget kapott Európa két vezető szinkrotron laboratóriumában, a Grenoble-i ESRF-nél (European Synchrotron Radiation Facility) és a Hamburg-i HASYLAB-nál (Hamburg Synchrotron Radiation Laboratory) végrehajtott mérésekhez is. A hazai intézmények közül együttműködött

a most az Eötvös Loránd Kutatói Hálózathoz tartozó Energiatudományi Kutatóközponttal, az Eötvös Egyetem (ELTE) két tanszékével, a Növényélettani és Molekuláris Növénybiológiai, illetve a Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszékekkel, valamint a Paksi Atomerőmű Vegyészeti Főosztályával. A kutatások során a jelölt a kísérleti lehetőségek mérlegelésével céltudatosan választotta ki mind a vizsgálandó feladatot, mind az alkalmazott kísérleti módszert. – **Szalóki Imre** kutatásai és eredményei nemzetközi szinten figyelemre méltóak, a technikai fejlődéssel lépést tartva időszerűek, célkitűzésük megfelel a gyakorlati igények kívánalmainak. Kidolgozott és alkalmazott elméleti modelljei és kísérleti módszerei az élvonalbeli tudomány mércéjével mérve korszerűek. A Magyar Tudományos Művek Tára, az MTMT 2022 novemberi adatai szerint **Szalóki Imre** tudományos közleményeire 930 független idézetet ismernek a nemzetközi szakirodalomban.

Az összesen 127 oldalas dolgozat kilenc, a tényleges tartalom jellegét tekintve is eltérő fejezetből áll. A „*Kutatómunka előzményei és célkitűzései*” és az „*Emissziós röntgenspektrometria vizsgálati módszerei és eszközei*” után a „*Modellszámítások a fotongerjesztéssel végzett röntgenemissziós analitikában*” fejezet következik. Ezt a „*Fordított Monte-Carlo és FPM modell aeroszol részecskék összetételének elektronsugaras mikroanalízissel végezhető meghatározására*”, majd a „*TW-EPMA és RMC-FPM elemzés mérési, számítási folyamatainak optimalizálása és alkalmazása aeroszol részecskék elemzésében*” fejezetek követik. A hatodik rész a „*Röntgenspektrometriai modellszámítások az elektrokémiában*”, a hetedik a „*Specializált FPM modellszámítások biológiai és geológiai anyagok analízisére*”, a nyolcadik a „*Szinkrotronsugárzással végzett 2D/3D mikroanalitikai és in-vivo XANES vizsgálatok mérés technikai és modellszámítási módszereinek fejlesztése*”, míg a kilencedik fejezet az „*FPM modellek kifejlesztése a μ XRF-CI elemzés rekonstrukciós számításaihoz és saját fejlesztésű laboratóriumi MAXRF spektrométerekhez*” címet viseli. Ezeket a részeket a „*Kutatási eredmények összefoglalása*”, a „*Rövidítések jegyzéke*”, a „*Köszönetnyilvánítás*” és a „*Hivatkozások*” követik. – A szerző a harmadik fejezettől kezdve minden részben egy-egy javasolt tudományos tézist foglalja össze egészen a 9. fejezetig. Az összesen hét tézis külön-külön való megfogalmazását a vizsgálatok szakmai szempontok szerint egymástól való különállásával igazolhatja.

Szalóki Imre MTA doktori értekezése formai szempontból megfelel az elvárható követelményeknek. A dolgozat szövege érthető, a szaknyelv használata megfelelő, nyelvhelyességi szempontból komolyan kifogásolható részt nem tartalmaz. A disszertáció kiemelten gondos kivitelű.

Szalóki Imre doktori értekezésében a következő, véleményem szerint új, eredeti tudományos eredményeiről számol be:

1. A pályázó figyelemre méltó eredményeket ért el az anyagokban fotonokkal és elektronokkal létrehozott gerjesztéseket követő röntgenemisszió atomi jelenségeinek az Alapvető Paraméterek Módszerének alkalmazásával kvantitatív elemzés céljából történő matematikai modellezésében, a kidolgozott megoldási algoritmusok és számítástechnikai eljárások szoftveres megvalósítása és felhasználása területén. Eljárása alkalmas különböző anyagminták atomi összetételének emissziós röntgenspektroszkópiával történő mennyiségi meghatározására. A kidolgozott módszer egyidejűleg alkalmazható a minta eltérő kísérleti feltételekhez tartozó eredményeinek kiértékelésére. Az Alapvető Paraméterek Módszerével történt modellfejlesztések lefedik az emissziós röntgenspektroszkópia több különböző típusát és azok kísérleti alkalmazásait. Az elért eredmények hozzájárultak az egyes röntgenspektroszkópiai módszerek analitikai teljesítőképességének lényeges, érdemi javításához.

2. Az alábbi esetekben és ismertetett problémákra matematikai módszert dolgozott ki és új eljárásokat vezetett be néhány, önmagukban is jelentős kutatási feladat megoldására. Az eljárások minden egyes esetben az emissziós röntgenspektroszkópia módszereinek érdemi fejlesztését jelentették.
 - a) Aeroszol részecskék mennyiségi analíziséhez kidolgozta és eredményesen alkalmazta a Fordított Monte-Carlo módszert. Megmutatta, hogy az energiadiszperzív röntgenspektroszkópai mérések és a vékony ablak elektron mikroanalízis módszer együttes alkalmazásából származó röntgenemissziós adatokból meghatározható nagyszámú, zömmel főleg alacsony rendszámú összetevőket tartalmazó aeroszol részecske egyedi összetétele.
 - b) Matematikai módszert dolgozott ki radioaktív nyomjelzést és „fólia-módszer” mérés technikai eljárást alkalmazó elektrokémiai vizsgálatokhoz az elektródák felületén adszorbeálódott kémiai elemek mennyiségének meghatározására. A kifejlesztett eljárással meghatározta egy vékony, polikristályos arany-elektrod felületére adszorbeálódott ^{65}Zn és ^{51}Cu radioizotópok felületi sűrűségét. A modell-számításokkal kapott eredményeket empirikusan hitelesített, adszorpciós mérésekkel tesztelte.
 - c) Új eljárást dolgozott ki tengeri üledékben lévő részecskék kémiai elemek szerinti összetétele térbeli eloszlásának vizsgálatára. Kísérletileg kimutatta, hogy a vizsgált esetekben a nehézfémek és a szerves alapú szennyezések jelentős része az üledékes részecskék felületére ültek ki. – Szinkrotron sugárzás segítségével meghatározta gyémántokban lévő zárványok 3D kantitativ elem térképét. – Kidolgozta cserépedények mázában lévő ólom savas közegekbe való kioldódása meghatározásának módszerét az idő, a hőmérséklet függvényében. – Módszert javasolt a platina koncentráció biológiai anyagokat modellező (humán) fantomokban való meghatározására röntgenemissziós mérések segítségével.
3. Új számítási modelleket és mérés technikai eljárásokat dolgozott ki a szinkrotron sugárzásokkal végzett, különleges feltételeknek megfelelő alkalmazások megvalósítására. Ezeknél a kísérleteknél elsődleges fontosságú a nagy detektálási sebesség, mivel mikroméretű, nagy fluxussűrűséggel rendelkező röntgennyalábokat állítanak elő kicsiny minták kvantitativ elemzésére. Ezekon kívül kidolgozta és megvalósította két új típusú, széles röntgenanalitikai lehetőségeket biztosító hordozható berendezés terveit és megépítette azok laboratóriumi változatait, melyek alkalmasak radioaktív anyagok közvetlen elemzésére. Egyedi fejlesztési megoldással berendezést hozott létre a röntgen- és Raman-spektroszkópia kombinált alkalmazására. Megmutatta, hogy az ilyen berendezéssel az analizálható koncentráció-tartomány jelentősen kiterjeszhető.

Szalóki Imre doktori értekezésében tudományosan figyelemre méltó, a sugárzások megfigyelésével kapcsolatos technikákat gyakorlatilag alkalmazó közösség érdeklődésére számot tartó, színvonalas, jó elméleti és kísérleti felkészültségről bizonyosságot tevő vizsgálatait foglalja össze. A doktori disszertáció téziseihez megjelölt összesen 30, túlnyomó többségében vezető nemzetközi szakfolyóiratban megjelent közleménye közül 13-nak a jelölt a főszerzője. Ez a mai tudományos együttműködések belső rendszerét és felépítését közvetlenül ismerve számomra **Szalóki Imre** meghatározó szerepének egyértelmű bizonyítékát jelenti. **Így megállapítom, hogy Szalóki Imre doktori értekezésében ismertetett új tudományos eredmények hitelesek és bizonyossággal olyan eredményeket tartalmaz, amelyek elérésében a szerzőnek döntő szerepe volt.**

A következőkben előbb bíráló megjegyzéseimet, majd kérdéseimet foglalom össze.

1. **Szalóki Imre** dolgozatában a röntgenspektrometria anyagvizsgálási módszerek elterjedése szempontjából fontos, több különböző mintán, anyagon a hazai laboratóriumi háttér mellett más országok laboratóriumaiban, eltérő időpontokban végrehajtott kísérletei eredményeit mutatja be. Egy ilyen komplex, nyilvánvalóan számos külső megkeresés és célkitűzés miatt is folyamatosan alakuló, feladatról-feladatra változó körülményekre is tekintettel nehezen egységbe rendezhető kutatási program eredményei bemutatásánál fontos az, hogy az olvasó már a dolgozat elején megismerhesse a világosan megfogalmazott célkitűzéseket és szerkesztési szempontokat. A szerző ugyan a dolgozat első és második „*A kutatómunka előzményei és célkitűzései*”, illetve az „*Emissziós röntgenspektrometria vizsgálati módszerei és eszközei*” című fejezeteit ennek a szolgálatába állítja, mégis az olvasó számára nem rajzolódna ki a kísérleti eredmények hasznát egységes keretbe rendező szakmai szempontok. Megítélésem szerint a disszertáció színvonalát emelte volna, ha a szerző rövid bevezető után külön fejezetben áttekintette volna kutatásai eredményeit hasznosítani tudó gyakorlati módszerek fő vonásait, ezek egymáshoz való kapcsolatait, az eredmények bemutatási és rendszerezési szempontjait. — Ez a megjegyzés érinti a dolgozat szerkezetét is, hiszen egy ilyen összefoglaló fejezet hiányában az egymástól távoli, szakmailag laza kapcsolatban lévő eredmény bemutatására csak a több fejezetet alkalmazó szerkesztési megoldás maradt. Ez a szerkesztés pedig nem segítette a kutatómunka egységes szellemiségének bemutatását, amely ilyen szerteágazó elméleti és kísérleti elemek ismertetésénél segíthette volna a dolgozat értékelését.
2. A disszertációban leírt számos eredmény értékét jelenti az, hogy a vizsgált anyagokhoz bemutatja az elemösszetételt és a meghatározott koncentrációkat. A dolgok jellegéből adódik azonban az, hogy a koncentrációk bizonytalanságait csak korlátozottan, feltételekkel lehet megállapítani. Ráadásul a bizonytalanságok a különböző típusú mintákra (átlagosan alacsony vagy magasabb rendszámok stb.) másnak és másnak adódnak. Kérem a jelöltet, hogy a dolgozat nyilvános vitáján foglalja össze az eredmények bizonytalansága meghatározásánál alkalmazott elveit és ténylegesen alkalmazott módszereit! — Helyesnek tartanám, ha a dolgozat védésén a dolgozatban szereplő – mondjuk általa kiválasztott – két kísérleti munkájánál a jelölt végig menne a legfontosabb paramétereket terhelő bizonytalanságokon és így mutatná be módszerei alkalmazásának megbízhatóságát.
3. A bíráló nagy érdeklődéssel olvasta a 7. fejezetben ismertetett, az „*Ólom kioldódása kerámiák mázából*” című fejezetet és több kérdése is van ehhez. – Milyen elvek alapján válogatták össze a megvizsgált 78 mintát? Szerepet játszott-e itt már az, hogy csak ólom típusú kerámiát szándékoztak vizsgálni? Azt írja, hogy a minták 8 egyedi jellegű fazekastechnológiával készültek. Miben tértek el ezek a módszerek egymástól? Egy-egy minta esetén volt-e különbség az ólomtartalomban attól függően, hogy milyen színű volt a máz? Milyen pontossággal lehetett megbecsülni az ólom koncentrációját az egyes mintákban? A disszertáció említi, hogy a máz vastagságát is megbecsülték. Mekkora vastagságértékek között változott a 78 kiválasztott mintára vonatkozólag a máz vastagságának értéke? – A 7.2.3. ábra a) részében ön típusú máz röntgenspektruma látható. Ezeket is vizsgálták-e esetleg az ön kioldódására? Ha igen, milyen eredményeket kaptak összehasonlítva az ólomhoz képest? Ugyanolyan volt-e a minták kioldódásának időbeli függése? Milyen fő alkotóelemek látszanak még ebben a típusú mázban?
4. A disszertáció 8. fejezetének első része ismerteti a szinkrotronsugárzással a *dafnia magna* (DM – nagy vízibolha) szervezetében lévő $Z > 19$ kémiai elemek eloszlásának

megállapítása céljából végzett 2D/3D mikroanalitikai vizsgálatok látványos eredményeit. Maga a vizsgált szerkezet a 8.1.1. ábra szerint 2-3 mm-es lineáris méretű és ez a kép egy egyeden végrehajtott vizsgálatok eredményeit mutatja. Volt-e utalás arra, hogy víztartalom eltávolítására végrehajtott a preparációs eljárás alatt a kémiai elemek szerkezetben való eloszlása változatlan maradt-e? Hiszen később említi, hogy bizonyos egyedeken a mérésekre való preparáció során zsugorodás történt? A 8.1.1. ábra aláírásából nem világos, hogy az ábra bal oldala nem-szennyezett, vagy Zn-et tartalmazó tápanyaggal előkészített egyedre vonatkozó eredményeket mutat-e be? A 69. oldalon azt írja, hogy „*az egyes mérési pontokhoz a Ca, Fe és Zn elemekre kiszámítottuk a koncentráció félempirikus kalibrációját az elemi érzékenység (3.1.13) egyenlet szerinti közelítő meghatározásával*”. Mekkora értékeket kaptak a koncentrációkra? – A 8.2.1. ábra ismét egy DM egyedre vonatkozó mérésből származó eredményeket mutat. Az ábra (a) részén Cu-ra vonatkozó eredmények láthatók. Miért nem láthatóak a Cu-ra vonatkozó eredmények a 8.1.1. ábrán? Vagy esetleg téves a Cu jelölés ez utóbbi ábrán? – Kérem a jelöltet, hogy a védésen röviden mutassa be a DM szerkezetre vonatkozó, szinkrotron sugarakkal végrehajtott méréseit a lényeges eredmények hangsúlyozásával!

Részletes megjegyzéseim, kérdéseim a következők.

- A jelölt a 18. oldalon írja, hogy a röntgenemissziós elemzés több típusára létrehozott egy-egy megoldó algoritmust és szoftvert PASCAL programozási környezetben. Kérem, sorolja fel, hogy ténylegesen mely típusokra hozott létre megoldó algoritmust és szoftvert!
- A 3.1.1. ábráról azt írja, hogy a detektor és a szilícium kristály között 5 mm ólom és 3 mm alumínium árnyékolás helyezkedik el. Kérem, hogy egészítse ki az ábrát úgy, hogy az árnyékolás elhelyezését is lehessen látni!
- Miért nem jelenik meg a 3.4.1. ábra (a) részében az Ag-K α vonal a 25 kV-os anódfeszültséghez tartozó görbén?
- Ismertesse egy példát is bemutatva, hogy mit jelent a 25 oldalon a TXRF eljárásnál említett belső standard módszer!
- A 3.5.3. ábrán a bemutatott mért és számított Si-K $\alpha\beta$ görbék a szög függvényében szépen egyeznek ~ 0,2 fokig. A nagyobb szögekhez tartozó utolsó két pontban eltérés látható. Érdekelne, hogy hogyan néz ki az egyezés még egy kicsit nagyobb, pl. 0,3 fok körül.
- Az amazóniai aeroszol részecskék részecskeosztályi gyakorisága jelentősen változott a mintavétel mintegy három hetes, a dolgozatban a 4.3.1. ábrán megjelölt időszakában. A részecskék feltehetően az időjárási viszonyoknak megfelelően Afrikából kerültek a brazil megfigyelési helyre. A 4.3.2. (a) ábra bemutat egy feltételezhető részecskesodródási trajektóriát is. Nehéz elképzelni, hogy az aeroszolak többsége ilyen szorosan vett utat követett. Honnan vette ezeket a számításokat és mennyire tartja ezeket megbízhatóknak?
- Nem értem, hogy az 5.1.5. ábra (b) részére tekintettel miért mondja, hogy a besugárzott mintadarab teljes egészében elbomlott. Az ábra szerint a minta változott ugyan, azonban teljesen nem bomlott el.
- Az 5.2.1. és az 5.2.2. táblázatok azt mutatják, hogy a Be, Al, Si és Ag mintahordozók esetén külön-külön meghatározott részecskeosztályba eső aeroszoloknál az elemek

koncentrációi jelentős szórást mutatnak. Milyen következtetést lehet levonni ezekből az eredményekből?

- Mekkora a 6.1.1. ábrán látható berendezés tényleges mérete?
- Az 51. oldal tetején írja, hogy a Cu-K α fotonok intenzitását a 6.4.1. függvényekkel lehet megadni. Ilyen számú függvényt nem találtam a dolgozatban.
- Milyen a platina-fantom mérési összeállítás tényleges mérete? A vízben és a levegőben mért fehérspektrumok tényleges arányát mutatja a 7.1.1. belső ábrája?
- A μ XRF-CT vizsgálatok kísérleti összeállításáról az ID13 nyalábcatornánál készült és a disszertációban bemutatott 7.3.1.1. fénykép meglehetősen zsúfolt, további magyarázat nélkül nem érthető. Mit látunk az ábrán?
- A 73. oldalon megjegyzi, hogy biológiai szempontból fontos az az eredmény, hogy a Zn felhalmozódása a petékben jóval nagyobb volt, mint más típusú testszövetekben. Miért van ennek jelentősége és milyen következtetést lehet ebből levonni?
- A 8.4.1.1. ábra bemutatja a K, Mn, Fe, Cu, Zn és As eloszlását az uborka gyökerében. Mi lehet az oka, hogy a rendszámában közeli elemek koncentrációjában ilyen nagy eltérések vannak?
- Mennyire volt hatékony a szerző által kifejlesztett MAXRF-Raman spektrométer a gyakorlati felhasználás során? Ismertessen néhány olyan feladatot, amelyet ezzel a berendezéssel oldott meg!

Összefoglalva:

Az előbbi bíráló megjegyzéseim, kérdéseim nem befolyásolják azt a megállapítást, hogy SZALÓKI IMRE az élvonalbeli alkalmazott sugárzásos technika, az emissziós röntgenspektrometria időszerű témáiban komoly elméleti felkészültségről és többször figyelemre méltó kísérletes ügyességről tanúbizonyságot téve saját maga által kifejlesztett, korszerű eljárásokkal eredeti új tudományos és a gyakorlatban alkalmazható – elsősorban módszertani – eredményeket ért el. A szakmai sikereiben a jelölt vezető szerepét bizonyítottnak látom. A dolgozatban leírt eredmények hitelesek, azok nemzetközi fórumokon való nyilvánosságra hozatala 30 nemzetközi szakfolyóiratban megjelent publikációban megtörtént. A jelölt eredményei alkalmasak arra, hogy azok alapján szerző dolgozatát nyilvános vitára bocsátsák.

Mindezek alapján a színvonalas, az emissziós röntgenspektrometriára vonatkozó elméleti és kísérleti munka iránti elismerésemet is kifejező szakmai meggyőződéssel javaslom

SZALÓKI IMRE

MTA doktori értekezése nyilvános vitájának kitűzését.

Budapest, 2022. november 29.

Kiss Ádám
a fizikai tudomány doktora