

Ditró Ferenc

**Töltött részecske gyorsítók alkalmazása radioaktív izotópok előállítására,
analitikai, orvostudományi és ipari célokra**

Akadémiai doktori értekezés

Bírálat

A dolgozat szerkezete

A tartalomjegyzékben a dolgozatot öt elkülönülő fejezetre osztotta fel a jelölt. Arányait tekintve, az előszót követő „Bevezetés, a kutatások háttere” című fejezet 23 oldal terjedelmű. Ebben kerül bemutatásra a kutatásainak a háttere, melyben tárgyalja a nukleáris analitika megvalósításában kulcsszerepet játszó gyorsítót, a módszerben felhasznált magreakciókat prompt és késleltetett észlelés esetére. Az előbbi módszer család esetében szó esik a PIXE, RBS, NRA és a PIGE mibenlétéről, míg az utóbbinál a CPAA és a NAA módszerekről. A következő részben a módszerek felhasználásának részeként szó esik a radioaktív izotópok előállításáról, a magadatok meghatározásáról, a nyomjelzésről, a vékonyréteg aktivációról és ez utóbbi felhasználásáról a kopásvizsgálatokban.

A bevezetőt a „Saját vizsgálatok” című fejezet követi, melynek terjedelme 113 oldal. E fejezet első részében a töltött részecskés nukleáris analitika egy-egy felhasználási területét ismerteti. Ezek a következő alfejezetek: a csatornahatás vizsgálata kristályos anyagokban (18 oldal), az aktivációs analízis (8 oldal), a vékonyréteg aktiváció alkalmazásai (18 oldal) és a fejezet végére került orvosi célú radioaktív izotópok előállítása (5 oldal). Ez utóbbit megelőzi a leghosszabb alfejezet (64 oldal), amelyben a nyomjelzésre alkalmas magreakciók magfizikai adatainak kísérleti meghatározását mutatja be elsősorban a kopásvizsgálatokhoz használható radioaktív végtermékre koncentrálva. Ennek a fejezetnek a végére került az akár száz fóliát tartalmazó fólia csomagokban lassuló gerjesztő könnyű-ion energia bizonytalanságának leírása. Jobb lett volna ezt az első fejezetben tárgyalni, hiszen ez végig kérdéses maradt a bemutatott mérési eredmények ismertetése során.

E két fejezetet a két oldalas összefoglalás és 4. fejezetként a köszönetnyilvánítás zárja, összesen 146 oldal terjedelemben. Az utolsó 5. fejezet 278 hivatkozást tartalmaz a 162. oldallal bezárólag, amelyből 136-ban a szerzők között van a jelölt.

Részletes tartalmi és formai bírálat

11. oldal, 3. paragrafus: A hatáskeresztmetszet meghatározását adja ez a mondat: „Nagyságát a reakcióban kibocsátott részecskék és a bombázó részecskék és a bombázó nyaláb által lefedett atomok szorzatának hányadosa adja meg.” Mit jelent ez a mondat? Mi a szorzat és mi a hányados?

12. oldal, 4. ábra: A PIXE reakció jelölésére az $A(a, a \text{ e } X)A$ jelölés lenne a helyes, hiszen nem játszódik le magreakció. A 8. sorban a „aktinidák” az International Union of Pure and Applied

Chemistry (IUPAC) által nem támogatott régi megnevezés, helyette az aktinoidák elnevezést kell használni.

15. oldal, első paragrafus vége: „Az NRA módszer könnyű elemek mérésére **alkalmaz** nehéz mátrixban.” Az alkalmaz szó helyett, alkalmazható vagy alkalmas írandó.

16. oldal, első paragrafus: „Ezek közül sok megtalálható a fentebb is említett NAÜ adatbázisban [25].” a mondat egy adatbázisra hivatkozik, míg a megadott 25-ös hivatkozás egy Springer könyvre utal, ez a hivatkozás később újra megjelenik és ott a helyén is van. Valószínűleg az ezen az oldalon megjelenő NAÜ adatbázisról szóló mondat és 26-os hivatkozás tartozik ide és egy későbbi átrendezés miatt keveredett össze.

16. oldal, második paragrafus: “Mivel a PIGE módszer különösen az alacsony rendszámú elemekre érzékeny, mivel a Coulomb tasztítás legyőzésének feltétele a bombázó részecske és a céltárgy mag között ezekre teljesül, ezért gyakran használják az RBS illetve PIXE módszer kiegészítésére.” magyartalan mondat. Az első “Mivel” elhagyásával jobban hangzik.

17. oldal: A (8) képlet magyarázatában a mértékegység rendszer keveredik. A sűrűség kg/m^3 -ben van, míg a mol-tömeg grammban. A kettő hányadosa nagyságrendi tévedést eredményezhet, továbbá a hatáskeresztmetszet cm^2 -ben van, ami további torzulást okozhat a felhasználónak. Hol van a képletben a hatáskeresztmetszet és mit jelent a δ a Q előtt? Talán a delta a hiányolt hatáskeresztmetszet?

18. oldal, (9) képlet: Hol van a (9)-es egyenletben a hatáskeresztmetszet, amelyre a (10) képlet (átlagos hatáskeresztmetszet) utal? Hiányzik a mérési faktor is a képletből.

Véleményem szerint az aktiválási egyenletek rész fatálisan rosszul lett leírva a 17 - 19 oldalakon. A sokadszori nekifutásra a következő logikát látom a képletekben. A (8) képlet a gyorsító oldaláról írja le a besugárzott minta aktivitását a besugárzás végére, ha a képletben a deltát kicseréljük szigmára és rendbe rakjuk a dimenziókat. A (9) képlet pedig egy bárhogyan felaktivált minta gamma-spektroszkópiai méréséből számítja ki az aktivitást az aktiválás befejezésének a pillanatára. Mivel a (8) és (9) aktivitásoknak egyenlőnek kell lenni a kapott képletből egy ismeretlen értékét pl. a besugárzott tömeget $m = \rho \cdot s$ kifejezhetjük, ha analitikára akarjuk használni a képletet. Ebből az is következik, hogy a 19. oldalon a „Mivel a (9) egyenletben a hatáskeresztmetszet szerepel, ...” mondat valójában úgy helyes, ha (8) egyenletre hivatkozunk és a deltával jelölt hatáskeresztmetszetre vonatkoztatjuk a (10) egyenlet átlagos hatáskeresztmetszetét. Továbbá a 19. oldalon az első sorban is kicseréljük a (9) egyenletre történő hivatkozást a (8)-ra.

28. oldal: A 18. ábra leírásában a 48-as hivatkozás egy IAEA konferencia? Miért nem úgy lett hivatkozva?

A 29. oldalon az első paragrafusban mit jelent az „eltemetett aktivitás”?

30. oldalon az [57]-es hivatkozásnál nincs oldalszám vagy cikkszám.

31. oldal, 7. sor: A "...0.1% sz-g bizonytalansága pedig..." helyett „...0.1%, a szög bizonytalansága pedig...” kellene szerepeljen.

32. oldal első szakasz: „A csatornairányhoz közeledve a rezonancia jelenség már nem ugyanabban a mélységben játszódik le, és a hozzá tartozó jel egy sokkal szélesebb mélységi tartományból érkezik, tehát a visszaszórt részecskék is egy sokkal szélesebb mélységi tartományból érkezik. A csatornairányban jelentkező kisebb fékezőképesség miatt rezonanciacsúcs középpontját jelentő szórási események is mélyebbről érkezik, ami a csúcsot az alacsonyabb energiák felé tolja el.” Nem egészen értem a magyarázatot. Ezt kérem, hogy a válaszában szemléltető ábrával szíveskedjék elmagyarázni.

2.1.2 alfejezetben az „átlagos **energia** sűrűség” helyett, átlagos **elektron** sűrűség kellene legyen.

33. oldal: (20) képletben mit jelent a „ $k\nu$ ” felső integrálási határ?

34. oldal: „A Muffin-tin... $\rho_i=f(r)r^{2(n^*-1)}$ függvényben mi a „i” index jelentése?

37. oldal a 25. ábra alatti szakasz: Az $\alpha=\alpha(\rho,E)$ hogyan származtatható a (20) egyenletből?

39. oldal: Érdekes lenne tudni, hogy mekkora kristályrácsot kellett figyelembe venni a $8.3\ \mu\text{m}$ és a $19.7\ \mu\text{m}$ vastag Si kristály szimulációjához. Válaszában kérem erre is térjen ki.

40. oldal, második paragrafus közepe: „A vizsgálandó minta GaAs kristály volt, amelyet 2 MeV-es szén ionokkal implantáltak random irányban $2.6\ 10^{-14}/\text{cm}^2$ ion fluxussal.” A megadott $2.6\ 10^{-14}$ mennyiség fluens és nem fluxus, továbbá nagyon kicsinek tűnik.

42. oldal: A (25) képletben mi a „q” és a „ γ ” változók jelentése?

„... a (25) egyenlet átmegy a jól ismert szórási formulába az integrál átlagát véve [77].” Mit nevezünk az integrál átlagának?

Hová tűnt a (26) és (27) egyenletből a q változó?

43. oldal: A (30) egyenletnek mennyi a szabadsági foka? Mennyi a korreláció mértéke a szomszédos $C2_{ik}$ -k között?

45 oldal: A 2.1.4 címben jobb lett volna a Csatornahatás szót használni.

46. oldal: Mit jelöl a k szám a (34) képletben?

48. oldal: Mi az oka a 37. és 38. ábrákon a szisztematikus ($2\ \sigma$) eltérésnek a mért és számított értékek között?

59. oldal: Mi a „BN2 Scint.”, a „BN2 Scint+PCA” és a „BN2 HpGe” jelentése?

Utolsó sor, „köztem” helyett talán „közöltem”.

63. oldal: „A 54. ábrán látható, hogy az **0.5 cm² átmérőjű** nyaláb az implantációs fólián szóródott,...” A 0.5 átmérő vagy felület? **az** helyett **a**-t kellene használni!

65. oldal: Az 56. ábra felirata eltakarja a tengelyfeliratot.

74. oldal: „**Az** 66. ábrán látható és a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ) EXFOR töltött részecske indukált magreakció adatbázisában [115] **van rögzítve.**” **Az** helyett **A**-t kell használni és

a mondat is magyartalan "... adatbázisában [115] van rögzítve" helyett jobban hangzik a "... adatbázisában [115] rögzítették."

75. oldal: „Az 67. ábrán” két sorral lejjebb „Az 66. és az 67. ábrából látszik”, az „az”-ok helyett „a”-t kellett volna írni. Az oldalon, összesen 4 helyen is rosszul írta a névelőt.

78. oldal: A 70. ábrára nincs hivatkozás csak a 68. oldalon. Az egyértelműség miatt jobb lett volna e helyütt is hivatkozni a 70. ábrára. A 71. ábra feliratai nehezen olvashatók.

81. oldal: „A besugárzás még számos egyéb radioizotópot is eredményezett mint a $^{51,49}\text{Cr}$ és a $^{48,47,46,44\text{m},43}\text{Sc}$ amelyekre adtam meg új eredményeket [123].” Sokkal magyarosabb így, „A besugárzás még $^{51,49}\text{Cr}$ és $^{48,47,46,44\text{m},43}\text{Sc}$ radioizotópokat is létrehozta, amelyekre új eredményeket határoztam meg [123].”

91. oldal: a 86. ábrán illesztést vagy illeszkedést láthatunk? Ha jól értem, akkor a vonalak fix, a korábbi adatokhoz illesztéssel nyert ajánlott görbék? A jelen munkából nyert mérési pontokat pedig úgy lehetett hozzájuk illeszteni, hogy a nyalábáram monitor értékét és az energiát 5%-kon belül kellett módosítani?

Az eljárással kapcsolatos kérdéseim: Volt-e rendszer az energia pontonkénti állításában vagy elég volt mindegyiket ugyanolyan értékkel megváltoztatni? A monitor érték korreláltan volt-e változtatva, azaz minden pontra ugyan annyi volt?

92. oldal: Szöveghiba. „... ellentmondásosak, ezért **használtam** vékonyréteg aktivációra nem javasolt.” A használtam szó helyett talán **használata**?

93. és 94. oldal: A 88. és 89. ábrák alig olvashatók. Különösen a 89-es.

102. oldal: A 98-as ábrán hiányzik a piros körök és a vonalak magyarázata.

103. oldal: Általában szép sima görbével leírható mérési eredményeket láthattunk a dolgozatban. Mi a magyarázata, hogy a 100. ábrán össze-vissza szórnak a mérés pontok?

119. oldal: A 119. ábra függőleges tengely felirata rácsúszott a skálafeliratra. Mit jelent az ábrán az Os-158 EOB felirat?

Általános megjegyzéseim a külalakra és az olvasmányosságra vonatkozólag:

- A képletek végéről hiányoznak az írásjelek (, . stb.). „Ahol” és „ahol” segítségével magyaráz változókat vegyesen ld. 33. oldal 17-20 képletek. A mondatok jelentős részénél hiányoznak a vessző írásjelek.

- Az ábrák és képek igen vegyes minőségűek. Sok nem is olvasható, így nehéz kitalálni, hogy melyik a jelölt munkája vagy azt, hogy melyik munkában kaptak jelentősen eltérő vagy szóró adatokat.

- A mondat szerkesztéseket időnként nehéz megérteni, esetenként magyartalan mondatokat is találtam. A hatáskeresztmetszet mérések leírása sablonos a jelen szerkezetben. Lehet, hogy általánosabb leírást kellett volna adni és csak ott magyarázni ahol indokolt.

A dolgozatban leírt kísérleti és kutatás-fejlesztési munkák összefoglalása

A Bevezetés, a kutatások háttére fejezet viszonylag kevés képlet használatával vezeti be az olvasót a gyorsítós nukleáris anyagvizsgálati módszerek széles körébe, amellyel a jelölt pályafutása során foglalkozott.

A Saját vizsgálatok fejezet első részében az ATOMKI Van de Graaff gyorsítóján szerzett analitikai ismereteinek felhasználásával – egy Humboldt ösztöndíj keretében – a frankfurti J.W. Goethe egyetemén kezdett el foglalkozni csatornahatás jelenségével. Ebben a részben a csatornahatás vizsgálatában elért eredményeit mutatja be. Sajnálatos módon a csatornahatás történeti előzményeiről csak keveset tudhatunk meg, de a bevezetőben jól érthetően mutatja be a jelenség lényegét. A Goethe egyetemen a vizsgálatokhoz szükséges összes berendezés rendelkezésre állt. A kísérletek értelmezéséhez kifejlesztet egy Monte Carlo módszeren alapuló „Materials Analysis by Ion Channeling (MABIC)” nevű programcsomagot, Lindhard és Zigler munkáinak figyelembevételével az elektron eloszlástól függő egyrészecskés és kollektív gerjesztéseken keresztül modellezi az ionok fékeződését. Az elméletet több kísérlet értelmezésével validálta. A csatornahatás jelenségét kombinálta a magreakciókkal, mely módszer különösen alkalmas ppm szintű szennyezés kimutatására Si és GaAs kristályokban. A módszerrel GaAs kristályba implantált szénatomok hőkezelés hatására történő átrendeződését vizsgálta és modellezte a MABIC programmal. Sikerül meghatároznia a szénatomok átrendeződését GaAs kristályban, két dimenziós modellben ábrázolva a sűrűségeloszlásukat, különböző hosszúságú 500 °C hőkezelés hatására.

Később vizsgálatait nagyobb energiák felé is kiterjesztette az ATOMKI ciklotronjának segítségével. Ehhez a meglévő RBS mintakamrába egy goniométert szerelt be. A berendezésen Si egykristályon alfa- és protonnyalábokkal mérte és számítással hasonlította össze a kritikus szög, csatornagödör félértékszélességének és a minimum hozam energiafüggését. Megállapította, hogy ezek néhány MeV energia felett alig változnak.

Kísérleti munkáját később az ATOMKI ciklotronnal végezhető aktivációs analitika kialakítására koncentrált. Létrehozott egy mintakamrát, amely részecske, Röntgen- és gamma-sugárzás mérésére alkalmas detektorok befogadására alkalmas. A kamrát egy a nyaláb levegőre hozására is alkalmas egységgel is kiegészítette.

A töltött részecskés aktivációs analízis használatára több példát mutatott be, amelyekben számos ipari kérdést oldott meg. E vizsgálatok keretében motorolajokba a használat során bekerült anyagok mennyiségét határozta meg. Alumínium és gallium termékek felületi és térfogati oxigén tartalmának meghatározására dolgozott ki eljárást. Üvegipari termékben előforduló zárványok és hibák analízisét másodlagos neutron, proton és deuteron aktiválással oldotta meg.

A dolgozat hátralevő részében főként a vékonyréteg aktiváció (angolul Thin Layer Activation, TLA) kísérleti technika kutatás-fejlesztésével és alkalmazásaival foglalkozik. Ehhez az indulás során felmérte az akkor még létező ipari kutatók igényeit. Miután ezt a jelölt sikeresen megoldotta, elkezdett foglalkozni a TLA kutatásokkal. Kutatásait először a jól kimért hatáskeresztmetszetű, vas, réz stb. anyagokon kezdte kihozott nyalábbal. A vizsgálatait kopás, korrózió vagy eróziós folyamatoknak kitett alkatrészekre összpontosította. Elsőként bór-nitrid és gyémánt alapú szerszámok kopását vizsgálta protonreakcióval létrehozott ^7Be és ^{56}Co radioaktív

izotópok segítségével. A kopás mértékét kalibrációs görbével lehet meghatározni a direkt mérésekben. Pontosabb eredményt lehet kapni az ún. indirekt méréssel, amikor a mintáról levált aktivitást mérik a hűtőfolyadékban vagy kenőanyagban.

Külön alfejezet szó a TLA módszer azon válfajáról, amikor a minta anyaga nem vagy nem jól aktiválható az adott maximális gyorsító energia mellett. Erre az estre dolgozta ki ún. másodlagos implantáció módszerét, amellyel kívülről a vizsgált anyagba implantált izotópokkal aktiválta fel a mintát. A legjobban használhatónak a ${}^{\text{nat}}\text{Be}({}^3\text{He},\alpha\text{n}){}^7\text{Be}$ reakciót találta. Megadta erre a reakcióra a kilökődött aktivitás energiafüggését azonos ${}^3\text{He}$ fluensre. Aktivációs módszerrel mérte a kilökődés szögeloszlását is. A módszer kidolgozása után alkalmazta azt nagy és görbült felületű mintákra másodlagos aktiválására. A minta nyalábátmérőnél nagyobb felületének az aktiválását a minta mozgatásával oldotta meg.

A TLA módszer felhasználására két ipari példát ismertetett. Az egyik Al-Si-Cu ötvözet tribológiai vizsgálata, amelyben a leoptimálisabbnak ${}^{\text{nat}}\text{Cu}(p,x){}^{65}\text{Zn}$ reakciót találta. Kedvezőbb fajlagos aktivitás elérésre a mintát 15° -os szögben sugározta be protonnyalábbal. A hengerfal és a dugattyúgyűrű egy-egy kivágott darabját a tribométerbe helyezve a kopásvizsgálatra az indirekt módszert használta. Az aktivitásméréshez a keringetett kenőanyagba bekerül aktivitást lyukdetektorral mérte. A másik példa acélminták koptatása volt a tű-diszken technikával. Ebben a kísérletben szabadforgalmi szint alatti mennyiségűre aktiválta a teszt acélgolyót, amelyet nem engedett forogni. A Wiener neustadti ACzT laboratórium tribométerében a koptató anyag a golyó anyagával egyező acél volt, a felület kenéséhez jó minőségű kenő anyagot használt. A golyó a koptatott felülethez képes 1 mm elmozdulást végett 50 Hz frekvenciával. Egy megismételt kísérletben a kitérés 0.5 mm volt 100 Hz frekvenciával. A mérés szerint a lekopott anyag kopási sebessége 2.5 szer nagyobb volt az első esetben. Mérte és értelmezte a koptató felületre lerakódott anyag mennyiségét is.

E rész utolsó alfejezetében bemutatta a szabadforgalmi szintű aktiválással végzett TLA részleteit. Használatára az előző szakasz adott példát.

Az utolsó és leghosszabb fejezetben a jelölt a vékonyréteg aktivációs analitikához szükséges hatáskeresztmetszetek méréseit mutatta be. A mérésekhez a vizsgált elem fóliáiból, hátlapokból és a kalibrációhoz szüksége monitorfóliákból állította össze. E fóliacsomagokban a fóliák száma elérhette a 100-at is. A részletes ismertetésre itt nincs hely, ezért csak a mérések leglényegesebb adatairól szólnék. Első helyen emelte ki a már ismertetet ${}^7\text{Be}$ nyomjelzőre vonatkozó méréseit. Ezt követően az aktivációhoz használt aktiváló bombázórészecske típusa szerint csoportosította a méréseket. Sorrendben: ${}^3\text{He}$ (Ti, Fe, Pt, Sn, V), ${}^4\text{He}$ (Nb, Fe, Ta, Mo), deutérium (Nb, Zr, Zn, Pt, Ag, Er, Pb, Fe, Co, Sn, V, In, egyéb), proton (Pt, Mo, Ta, Zn, Ir, Ag, Fe, Sn, Cd, Nb, Co, Zr, Mn, Sb, V, In, egyéb). E mérések egy részében a debreceni ATOMKI ciklotronját használta, azonban leggyakrabban külföldi együttműködésben nagyobb energiájú ciklotront használt a mérésekhez. A következő ciklotronokon mért: brüsszeli Szabadegyetem (VUB) CGR-560 ciklotronja, turkui egyetem MGC-20E ciklotronja, sendai Tohoku Egyetem (40 MeV) és a Louvain la Neuve (LLN) laboratórium (50 MeV) ciklotronja. Az egyes elemek vizsgálatánál ismerteteti a mérési körülményeket, a kiértékelésből kapott hatáskeresztmetszetet, a vékonyréteg aktivációhoz fontos specifikus aktivitás görbéket mérőleges és 15° -os besugárzásra. A hatáskeresztmetszeteket összehasonlítja adatbázisokban megadott kísérleti eredményekkel és magreakciómodell számításokkal, melyek közül időnként saját számítást is megad a Talys kóddal.

Tárgyalja a fóliacsomagban lassuló besugárzó ionok energia bizonytalanság változását a vastagság függvényében.

A 2. fejezet végén röviden tárgyalja az orvosi célú izotóp gyártáshoz végzett munkáját. Ebből a ^{117m}Sn un. teranosztikus (terápiás és diagnosztikai célra egyaránt alkalmas izotóp) meta stabil állapotú izotópot kiemelve mutatja be a $^{116}\text{Cd}(\alpha,3n)^{117m}\text{Sn}$ és a $^{nat}\text{Cd}(\alpha,x)^{117m}\text{Sn}$ magreakció méréseit.

Összefoglaló véleményem a dolgozatról

Ditrói Ferenc doktori dolgozata egy hosszú kutatói és fejlesztői munkát mutat be, amely munkák mindegyike gyorsítóhoz kapcsolódik. A dolgozat első részében a PhD-je után végzett anyagszerkezeti kutatását mutatja be, amelyben a csatornahatás módszerét alkalmazta. Ezt a töltötttrészecske reakcióval létrehozott aktivációs analitikai és vékonyréteg aktivációs kutatásai követik. A legterjedelmesebb munkáját a vékonyréteg aktivációra koncentrált hatáskeresztmetszet méréseinek bemutatásával zárja. A leírásból kitűnik, hogy egy szisztematikus, sok fejlesztési, kísérleti és elemzési munkával végzett hatalmas anyagot mutatott be. Kiemelendő, hogy a munkájának jelentős részét nemzetközi együttműködésben végezte. Eredményeinek közzétételében fontos szerepet töltött be a Nemzetközi Atomenergia Ügynökséggel való együttműködése is. Eredményei szerepelnek az Ügynökség adatbázisaiban, amelyet bárki elérhet. Az EXFOR adatbázisban 142 cikk alapján, 1605 alpont és 1546 adatsorozat szerepel. Az 1564 adatsorozat zöme egy adott reakció hatáskeresztmetszet mérési eredményét adja meg.

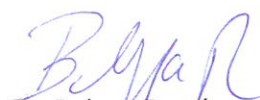
A dicséret mellett azonban néhány kritikát is közzétennék. Hiányoltam a kiértékelési eljárások leírását. Különösen fontos lett volna megtudni, hogy milyen hibák terhelik az általa megadott mérési adatok hibáit. A dolgozatban számos magyartalan, nehezen érthető mondat találok. Az ábrák minősége igen vegyes, a nehezen olvasható és csúnya ábrák mellett voltak kifogástalanok is.

E kritikai gondolatok ellenére a dolgozat alapján javaslom a védés kitűzését. A dolgozatban leírt tudományos eredményeket elegendőnek tartom az MTA doktora cím megszerzéséhez.

Tézispontok

A téziseit 5 pontban gyűjtötte össze. A tézispontokhoz 65 cikkét adta meg. A 4.3 (Deuteron-gerjesztett reakciók) hivatkozáslistájában a DF-45-ös kétszer szerepel. A 4.4 (Proton-gerjesztett reakciók) listájában a DF-47-es hiányzik, a DF-27-es pedig a ^3He -as reakcióhoz tartozik, és ott meg is van. A tézispontok jó összefoglalását adják a disszertációban közölt új vagy pontosított eredményeinek, kitartó és eredményes kutatás-fejlesztési munkájának. A tézispontok és alpontok súlya nincs mindig arányban az elvégzett munkával. Pl. a 3.5 tézispontot nem tartom összevethetőnek a többiben elvégzett munkával, de értékes abból a szempontból, hogy tetszőleges a tribológiai kísérletre jól berendezkedet helyen, például vállalatok kutatólaboratóriumában is elvégezhetővé teszi a mérést.

Budapest, 2018 július 15


Dr. Belgia Tamás

Hivatalos bírálói nyilatkozat

DITRÓI FERENC

Töltöttreszecske gyorsítók alkalmazása radioaktív izotópok előállítására,
analitikai, orvostudományi és ipari célokra

című doktori munkájáról.

A doktori munka tudományos eredményeit elegendőnek tartom az MTA doktora cím
megszerzéséhez, a nyilvános védés kitűzését javasolom:

igen

nem

Dátum: 2018 július 17.


.....
BELGYA TAMÁS