

Hivatalos bírálói vélemény

DITRÓI FERENC: „Töltött részecske gyorsítók alkalmazása radioaktív izotópok előállítására, analitikai, orvostudományi és ipari célokra”

MTA doktori cím megszerzésére beadott értekezéséről

Az atommagfizika kísérleti módszereinek az elmúlt évtizedekben történt gyors és látványos fejlődése lehetőséget teremtett sok, a tudományos kutatás eredményeit a gyakorlatban felhasználó módszer kifejlesztésére is. Különösen sikert hoztak a kis és közepes energiájú részecskegyorsítók által előállított részecskenyalábok segítségével végrehajtható ipari, vagy orvosi célú mérési módszerek kidolgozása, illetve ilyen területeken alkalmazható radioaktív izotópok előállítása. A magfizikai kísérleti módszerek fejlesztése, kidolgozása teremtették meg annak az előfeltételét, hogy a gazdaság más területei komoly segítséget kaphassanak saját feladataik megoldásában a nukleáris technika alkalmazásával. Ez a terület a mögöttünk lévő néhány évtized alatt az élet fontos és ma már nélkülözhetetlen részévé vált. A felhasználási területek szélesek, és a műszaki gyakorlat legkülönbözőbb területeitől az orvosi gyakorlat diagnosztikai és terápiás módszereiig tart.

A kis és közepes energiájú részecskegyorsítókat alkalmazó nukleáris technika által kínált analitikai módszerek, vagy egyéb felhasználások elvi megértése általában nem nehéz feladat. Ugyanakkor e módszereket tényleges alkalmazni csak jól felkészült szakemberek tudják. A sikeres alkalmazásnak és fejlesztésnek ugyanis előfeltétele a magfizikai tudás magas szintje, a nukleáris technológia tényleges alkalmazása pontos gyakorlatának magabiztos ismerete éppúgy, mint a ténylegesen megoldandó feladat műszaki, vagy orvosi körülményeinek magabiztos áttekintése. Többször találkozhatunk olyan körülményekkel, amikor kiderül, hogy a szükséges magfizikai adatok rendelkezésre sem állnak, vagy a megoldandó feladatra máshol még sehol sem dolgoztak ki módszert. E sorok írója kísérleti magfizikusként nagyon jól tudja, hogy a nukleáris laboratóriumokban folyó munka szinte minden mozzanatában új és új nehézségek elé állíthatja a tényleges munkát végző szakembert. Rengeteg kísérleti tapasztalatra, sokszor komoly ötletességre van szükség egy-egy feladat megoldásához. Ráadásul mindezt a szakma szabályainak következetes betartása mellett kell végrehajtani, amelynek külön fontos része a sugárvédelem rendelkezéseinek szigorú követése is.

Az előbbiekből kiderül, hogy a nukleáris technikai módszerek a gyakorlati élet terén igen szerteágazó felhasználásra találhatnak. Azonban minden egyes alkalmazás egyedi mérés megtervezésére készíti a módszert alkalmazó szakembert. A tényleges probléma ismeretében meg kell tervezni a gyorsítóval történő besugárzás körülményeit. A gyorsítandó részecskét a feladat ismeretében meg kell választani a rendelkezésre álló lehetőségek közül. Optimalizálni kell a részecskenyaláb paramétereit, energiáját, intenzitását és a besugárzás időtartamát. A besugárzási kamrában, vagy ha onnan kivezetik a nyalábot, akkor a környékén megfelelően kell elhelyezni a besugárzandó tárgyat, alkatrészt, vagy mintát. Az ellenőrzött besugárzási körülmények között vagy egyszerre, vagy időben később aktivitásokat kell meghatározni. Ehhez az alkalmazott detektor tulajdonságainak, paramétereinek pontos ismeretére van szükség. A mérés körülményeit itt is esetenként kell meghatározni és az eredményeket kiértékelni. Ráadásul sokszor mindezt többszörösen kell végrehajtani, éppen a szóban forgó

vizsgálat céljainak elérése érdekében. Az esetek többségében ez komoly intellektuális erőfeszítést igényel a mérést végrehajtótól.

Összefoglalva: a nukleáris mérési módszerek felhasználása lényegesen gazdagítja és kiszélesíti a gyakorlati élet, elsősorban az ipari és orvosi alkalmazások lehetőségeit. Minden olyan kísérletes tevékenység, kutatás, amelyek ezeknek a módszereknek az elterjedéséhez vezet, vagy azokat segíti, méltán igényel figyelmet és elismerést a magfizika és egyéb érintett tudományok oldaláról egyaránt.

Ditrói Ferenc az MTA doktori cím elnyerésére készített doktori értekezésében kiterjedt, kis- és közepes energiájú részecskegyorsítók alkalmazásával végrehajtott alkalmazott nukleáris technikai munkáiról számol be, valamint több, a nukleáris technikák alkalmazásánál felmerülő kísérleti adat, elsősorban hatáskeresztmetszetek meghatározásával foglalkozik. Különbféle, gyakorlati problémákat is megoldó kísérleti munkáiban közös az, hogy minden eredménye illeszkedik a nukleáris technika ipari-orvosi alkalmazását elősegítő részletes ismeretanyag bővítéséhez. A jelölt kutatómunkája szorosan illeszkedett munkahelye, az ATOMKI kutatási lehetőségeihez, célkitűzéseivel és tudományos programjához. A dolgozatban közölt nagyszámú adatban jelentkező eredményei komolyan bővítik az atommagok viselkedésével kapcsolatos általános ismereteket is. A doktori értekezésben összefoglalt mérések, kísérleti eredmények hosszú évek alatt kitartó szorgalommal elvégzett színvonalas kutatómunkát mutatnak be.

Ditrói Ferenc kísérleti munkáit elsősorban hazai intézménye, az Atommag Kutatóintézet (ATOMKI) gyorsítóinál, az ország első ciklotronjánál és az Intézet Van de Graaff gyorsítójánál végezte el. A jelölt ezen kívül számos mérést nemzetközi együttműködésben más intézmények gyorsítóinál, különböző együttműködések, ösztöndíjak és pályázatok keretében hajtott végre. Így a dolgozatban a szerző eredményeket közöl a frankfurti, a belga brüsszeli, a leuveni, a japán sendai és tokiói gyorsítóknál végrehajtott méréseiről is. A kutatások során a kísérleti lehetőségek mérlegelésével céltudatosan választja ki mind a vizsgálandó magreakciót, mind az alkalmazott kísérleti módszert. **Ditrói Ferenc kutatásai és eredményei nemzetközi szinten figyelemre méltóak, a technikai fejlődéssel lépést tartva időszerűek, célkitűzésük megfelel a gyakorlati igények kívánalmainak, alkalmazott kísérleti módszerei a modern világ mércéjével mérve korszerűek.**

Az összesen 162 oldalas dolgozat két, módszertanilag és a tényleges tartalom jellegét tekintve is eltérő fejezetből áll. A disszertáció első része a „Bevezetés, a kutatások háttere”. Ebben a jelölt a kutatások elvi vonatkozásait foglalja össze, alkalmazott nukleáris technikai módszerek hátterét mutatja be. A dolgozat második része a „Saját vizsgálatok” címet viseli. Ez egy sor, kiválasztott vizsgálat egyedi leírásával foglalkozik. - Maga a fejezet a jelöltnak mintegy két évtizedes, főleg nemzetközi együttműködésben az egykristályok csatornahatásának felhasználásával végzett anyagszerkezet vizsgálatainak ismertetésével kezdődik. Ezután áttér néhány, a töltött-részecske aktivációs technikával végrehajtott, részben kísérletileg több szempontból ötletesnek, innovatívnak nevezhető, motorolajokat, alumínium termékeket és üvegek zárványait, hibáit értékelő vizsgálatok leírására. A fejezet harmadik részében a szerző olyan méréseiről számol be, amelyeket vékonyréteg aktivációval hajtott végre. A negyedik alfejezet, a dolgozat legterjedelmesebb része, azoknak a magfizikai adatoknak a meghatározásával foglalkozik, amelyekkel nyomjelzésre használható radioizotópokat állítanak elő. Itt elsősorban számos hatáskeresztmetszet meghatározásáról van szó, sorra ^3He , α -részecske, deuteron és proton nyalábok gerjesztésével a jelöltnak a különböző gyorsítóknál rendelkezésre álló néhány MeV-től mintegy 70 MeV-ig terjedő energiatartományban. A fejezetet a jelölt a diagnosztikai és terápiás célokra egyaránt alkalmazható (teranosztikus) tulajdonságú $^{117\text{m}}\text{Sn}$ radioizotópra vonatkozó eredményeinek

bemutatásával fejezi be. A dolgozatot az *Összefoglalás*, a *Köszönetnyilvánítás* és a *Hivatkozások* felsorolása zárja. – Feltűnő és a jelen sorok írója erősen hiányolja is, hogy a dolgozatban nincsen angol nyelvű összefoglaló.

Ditrói Ferenc 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 gondos kivitelű. Kivételt ezen a téren a dolgozatban szereplő néhány ábra képez, amelyek minősége nem éri el az elvárható színvonalat. Ezekre később néhány esetben a Bírálótanács visszatérünk.

Ditrói Ferenc doktori értekezésében a következő, véleményem szerint új, eredeti tudományos eredményeiről számol be:

1. A pályázó figyelemre méltó eredményeket ért el a nukleáris csatornahatás vizsgálata területén. Egyrészt meghatározta a szilícium és a gallium-arszenid kristályokban a csatornairányokban fellépő energiaveszteséget. Kidolgozott egy energiaveszteség modellt, amelynek helyességéről kísérletileg is meggyőződött. Másrészt a csatornahatás és a nukleáris reakció analízis (NRA) módszer együttes vizsgálatával meghatározta a gallium-arszenid kristály szennyezőit, a szennyezések elhelyezkedését és azok hőkezelések hatására mutatott elmozdulását. A kísérleteket eredményesen szimulálta is. Harmadrészt pedig meghatározta a Si és GaAs kristályokban a csatornahatás jelenségét a debreceni ciklotron nagyobb energiáin is. Az eredményekből a csatornagödör mélységének és szélességének energiával történő, eddig kevésbé ismert változására következtetett.
2. A töltött részecske aktivációs analízis alkalmazás céljaira modern mérőhelyet fejlesztett ki, amely lehetővé tette a vákuumból kihozott nyalábbal történő besugárzást is. Az eszközcsoporthoz motorolajok nyomelem-tartalmát vizsgálta részletesen különböző körülmények figyelembe vételével. Ugyanezen a rendszeren kidolgozta a nagytisztaságú alumínium, illetve gallium termékek nyomelem vizsgálatát, elsősorban a gyakorlatban a legtöbb nehézséget okozó oxigénre figyelve. Egy másik fontos alkalmazásként a jelölt meghatározta szilárd üvegminták hibáinak környezetében a nyomelem összetételt. Érdekes eredményekre jutott a nyomelem összetétel változása és a hibák előfordulása közötti összefüggéssel kapcsolatban.
3. A jelölt új eredményeket ért el a vékonyréteg aktiváció területén. Többek között meghatározta a kiváló nyomjelzőnek bizonyult ^7Be izotóp magfizikai jellemzőit, több reakció vizsgálatával megbízható hatáskeresztmetszet értékeket kapott egy sor, erre az izotópra vezető reakciónál. Figyelemre méltó új eredménynek tekintem, hogy a jelölt a szabadforgalmi szint alatti aktivitások alkalmazásának lehetőségének bizonyításával gyakorlati javaslatot tett a nyomjelzési aktivitással kapcsolatos munkák jelentős egyszerűsítésére.
4. A jelölt új eredményekként nagyszámú atommagon meghatározta egy sor töltött részecskékkel létrehozott magreakció hatáskeresztmetszeteit, a legtöbbször azok energiamenetét és egyéb tulajdonságait is. A vizsgálatokat ^3He , α , deuteron és proton nyalábokkal végezte el. A szisztematikus vizsgálatok eredményeképpen a jelölt ^3He esetében titánon, vason, platinán, ónon és vanádiumon, α részecskénél nióbiumon, vason tantálon és molibdénen, deuteronnál nióbiumnál, cirkóniumnál, cinknél, platinánál, ezüstenél, erbiumnál, ólomnál, vasnál, kobaltnál, mangánál, ónnál, vanádiumnál és indiumnál, míg protonnál platinánál, molibdénnél, tantálon, cinknél, irídiumnál, ezüstenél, vasnál, ónnál, kadmiumnál, nióbiumnál, kobaltnál,

cirkóniumnál, mangánnál, antimonnál, vanádiumnál és indiumnál kapott új eredményeket. A nagyszámú hatáskeresztmetszet adatot nemzetközi adatbázisokba töltötték fel.

5. A jelölt dúsitott ^{116}Cd céltárgyat használva meghatározta a diagnosztikai és terápiás célokra egyaránt alkalmazható, ezért fontos $^{117\text{m}}\text{Sn}$ radioizotóp előállítására vezető magreakciók hatáskeresztmetszetét az 50 MeV-ig terjedő energiatartományban. Emellett részletesen tárgyalta a lehetséges szennyezők szerepét és elkerülésük lehetőségét a végtermékben.

Ditrói Ferenc doktori értekezésében tudományosan figyelemre méltó, a nukleáris technikákat gyakorlatilag alkalmazó közösség érdeklődésre számot tartó, magas színvonalú és komoly kísérleti felkészültségről bizonyítást tevő vizsgálatait foglalja össze. A kutatásokat hazai munkahelyén, az ATOMKI-ban, illetve nemzetközi együttműködésben végezte összességében több mint 25 év alatt. A 65, túlnyomó többségében nemzetközi szakfolyóiratban a dolgozatban leírt témákból megjelent közlemények közül 30-nak ő a főszerzője. Ez a mai tudományos együttműködések belső rendszerét, felépítését közvetlenül ismerve Ditrói Ferenc meghatározó szerepének egyértelmű bizonyítéka. **Így megállapítom, hogy Ditrói Ferenc 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. Ditrói Ferenc dolgozatában a nukleáris technikát alkalmazó módszerek elterjedése szempontjából fontos, több különböző atommagon, a hazai laboratóriumi háttér mellett más országok laboratóriumaiban, eltérő időpontokban végrehajtott kísérletei eredményeit mutatja be. Egy ilyen komplex, nyilvánvalóan számos külső megkeresés 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, „Bevezetés, a kutatások háttere” fejezetét ennek a szolgálatába állítja, mégis az olvasó számára nem rajzolódik ki a kísérleti eredmények hasznát egységes keretbe rendező szakmai szempontok ismertetése. A dolgozat javulását jelentette volna, ha a jelölt 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 a megfelelő áttekintő részek a „Saját vizsgálatok” érdemi rész alfejezeteinek részeivé váltak. Ez a szerkesztés nem segítette a kutatómunka egységes szellemiségének bemutatását, amely egy ilyen szerteágazó kísérleti munkák ismertetésénél segíthette volna a dolgozat értékelését.
2. A disszertációban leírt számos kísérleti eredmény értékét jelenti az, hogy a megkapott mérési adatokat minden esetben összehasonlítja a korábban mások által kísérletileg meghatározott értékekkel és bemutatja mérései hibáját is. A meghatározott hiba általában kisebb (több esetben jelentősen kisebb), mint a korábban az azonos reakciókra vonatkozó méréseké. A kísérleteket részletesen átgondolva kitűnik, hogy ezeknek az elvégzése mekkora mérési ügyességet követelt meg. Sok kísérlet elvégzése is bizonyosan nagy körültekintést igényelt. Azonban a szerző egyetlen esetben sem elemzi a hibák meghatározását. Így

felmerül a kérdés, hogy a változó, egyedi kísérleti feltételek mellett a jelölt valóban helyesen állapította-e meg a dolgozatban megadott hibát. Kérem a jelöltet, hogy a dolgozat nyilvános vitáján foglalja össze a kísérleti adatok hibája meghatározásánál alkalmazott elveket és ténylegesen alkalmazott módszereket! — Helyesnek tartanám, ha a dolgozat védésénél a kísérleti munkája egy-egy típusánál a jelölt végigmenne a legfontosabb paramétereket terhelő bizonytalanságokon és ismertetné, hogy ezeknek a paramétereknek a hibáját hogyan határozta meg, valamint ezek hogyan hatottak az eredménynél megadott hibákra.

3. A jelölt dolgozatában közölt nagyszámú hatáskeresztmetszet adatot a rendelkezésre álló magreakció-modell kódok eredményeivel hasonlította össze. Ezeket a modelleket azonban nem sorolja fel és nem foglalja össze azt sem, hogy azok pontosan mire vonatkoznak. Ráadásul az ilyen jellegű modellszámítások részleteiben kevésbé jártas olvasónak talán szükséges lett volna néhány tájékoztató megjegyzés az egyes kódok sikerterületeivel, alkalmazásával kapcsolatban. E számítások eredményei sokszor jól leírják eredményeit, néhányszor azonban az egyezések rossznak mondhatók. Kérem a jelöltet, hogy foglalja össze, hogy
 - a) Milyen elméleti háttérű kódokat alkalmazott ebben a munkában? Milyen egyezéseket és milyen eltéréseket talált az elméleti hatáskeresztmetszet adatok és a kísérleti eredmények között?
 - b) Áttekintve munkájának ezeket az eredményeit, kérem a jelöltet, foglalja össze, hogy milyen tanulságokat lehetett levonni az elméleti modellek teljesítőképességére vonatkozólag az eredmények elemzésének ebből a részéből!
4. A doktori disszertációval kapcsolatos általánosan bíráló megjegyzéseimhez tartoznak a nagyszámú ábra nem elhanyagolható részével kapcsolatos kifogásaim. Bár a dolgozatban közölt összesen 144 ábra nagyobb része jó minőségű és megfelel az elvárható követelményeknek, több azonban szinte értékelhetetlen és gyenge minőségű. Eleve zavaró, hogy az ábrák közül sok angol feliratokkal került a magyar nyelvű dolgozatba. Ilyen például - több másik mellett - a 3, a 17., vagy a 128. ábra. - Több ábrán a feliratok mérete olyan apró betűs, hogy nagyító nélkül nem lehet elolvasni. Erre példa a 88. ábra. – Több esetben zavaró, hogy a kísérleti körülményeket ábrázoló ábrákról hiányzik a tájékoztatást segítő méret. Erre több más mellett példa az egyébként jó minőségű 52. ábra, ahol az olvasó nem tudja, hogy mi mekkora. – Megjegyzem, hogy mindezen bírálatokat csekély további munkával elkerülhette volna a jelölt.

Részletes megjegyzéseim, kérdéseim a következők.

- A 23. oldalon szereplő Bohr-sugár nagyságrendje 10^{-9} m.
- A 14. ábrán nincs méret és a goniométer is nehezen képzelhető el.
- A 17. ábra kevésbé érthető.
- Mit ábrázol a 18. ábra? Mi van az ábra jobb oldalán a „*tipikus lineáris kalibrációs görbét*” bemutató ábra tengelyein?
- A 20. angol nyelvű ábra alig olvasható feliratokat tartalmaz. Mi a méret? (Aláírásban pedig helyesen *kamra*.)

- Mit jelent a 32 oldalon, hogy a „...csatorna közeli irányokban mozgó ionok ...egy alacsonyabb elektronsűrűséggel találkoznak, mint az amorf anyagban...tapasztalható átlagos energia sűrűség”?
- Mi a 26 ábrán bemutatott összehasonlításban a 240 keV energia körüli eltérés oka?
- 40. oldalon az ion-fluxus nagyságrendje nyilván nem $10^{-14}/\text{cm}^2$.
- A 39. ábra alig olvasható. - A 40. ábrán nincsen méret, a feliratok is torlódnak.
- 54. oldal: mi volt a ciklotron másodlagos neutronforrása?
- Mit jelent a NAÜ CRP programja?
- A 46. ábrán nincsen méret.
- Milyen fitet jelent a 74. ábrán bemutatott görbe?
- Mit jelentenek a zöld görbék a 98. és a 99. ábrákon?
- A 107. ábra rossz minőségű, nem olvasható.
- Hogyan kell értelmezni a 111. oldalon, hogy 24 mm vastagságú homogén aktivitású réteg keletkezett?
- A 119. ábrán torlódnak a feliratok.
- Mit jelentenek a 123. ábra színes görbéi?
- A 128. ábra mérései alig láthatók, egymástól alig választhatók el. A szerző adatai úgy 30 MeV felett jelentősen (logaritmikus az ábra) eltérnek a többi mérési adattól. Mi ennek az oka?
- Mit jelent a 135. ábrán a szaggatott piros görbe?

Összefoglalva:

Az előbbi bíráló megjegyzéseim, kérdéseim nem befolyásolják azt a megállapításomat, hogy DITRÓI FERENC az élvonalbeli alkalmazott nukleáris technika időszerű témáiban, többször figyelemre méltó kísérletes ügyességről tanúbizonyságot téve saját maga által is kifejlesztett, korszerű kísérleti eljárásokkal eredeti új tudományos és a gyakorlatban alkalmazható eredményeket ért el. A szakmai sikerekben a jelölt vezető szerepét bizonyítottanak látom. A dolgozatban leírt eredmények hitelesek, azok nemzetközi fórumokon való nyilvánosságra hozatala 65, túlnyomó többségében nemzetközi szakfolyóiratban megjelent publikációban megtörtént. Jelölt eredményei alkalmasak arra, hogy azok alapján szerző munkáját nyilvános vitára bocsássák.

Mindezek alapján a színvonalas kísérleti munka iránti elismerésemet is kifejező szakmai meggyőződéssel javaslom

DITRÓI FERENC

MTA doktori értekezése nyilvános vitájának kitűzését.

Budapest, 2018. szeptember 24.

Kiss Ádám
a fizikai tudomány doktora