

Hivatalos bírálói vélemény

GYÜRKY GYÖRGY: „Asztrofizikai jelentőségű befogási reakciók kísérleti vizsgálata”

MTA doktori cím megszerzésére beadott értekezéséről

Az atommagok tulajdonságainak megismerésére irányuló kutatások legfontosabb eleme a kísérletekben elérhető atommagok tulajdonságainak, szerkezetének és ütköztetésük közben lejátszódó folyamatoknak a vizsgálata és megértése volt. Az a hatalmas mennyiségű kísérleti adat, amelyet az ezzel foglalkozó fizikusok a magfizika több, mint száz éves fejlődése során összegyűjtöttek, alkalmas volt arra, hogy a természetben előforduló atommagok és az azoktól néhány nukleon távolságra lévő izotópok tulajdonságait, szerkezetét és széles energiatartományban lejátszódó kölcsönhatásait megértsük, rendszerezzük. A szisztematikus áttekintés során hatékony elméleti modelleket is felállítottak, amelyek lehetőséget nyújtottak arra, hogy olyan atommagok tulajdonságaira és olyan folyamatok valószínűségére is következtessünk, amelyek kísérletileg nem vizsgálhatók. Így a magreakciók során esetleg laboratóriumi mérésekben nem vizsgálható atommagok megismerése is lehetővé vált.

Ez a helyzet, amely az elmúlt évtizedekben, a mérési adatok mennyiségének jelentős bővülésével párhuzamosan fokozatosan alakult ki, olyan kérdések megválaszolásának kísérletét is lehetővé tette, amikor egész magtartományokba eső összes izotóp magreakcióira vonatkozó ismeretekre szükség lehet. Így váltak egyre fontosabbá és kerültek egyre inkább a modern magfizika fókuszába a nukleáris asztrofizika különböző kérdései. Ezek többek között az elemszintézis folyamataira vonatkoznak, vagyis a most megfigyelhető atommag-környezet, az izotópgyakoriság, az egyes atommagok eredetének kérdéseivel foglalkoznak. Mai nukleáris környezetünk az izotópszintézis folyamatain, legtöbbször sorozatos magreakcióin és a létrejött atommagok bomlásain keresztül alakult ki. Ha minden körülményt, reakcióvalószínűséget, magtulajdonságot ismernénk, akkor elvileg választ adhatnánk a minket körülvevő világ számos nyitott, a tudomány által eddig megnyugtatóan meg nem válaszolt kérdéseire.

A nukleáris asztrofizika eredményei több területen biztatóak. Úgy gondoljuk, hogy a kidolgozott elméleti modellek a magfizika eredményeinek felhasználásával sok átfogó problémát alapvetően helyesen közelítenek meg. Ugyanakkor az izotópok jelenleg megfigyelt összetételének kialakulásával kapcsolatban számos megválaszolatlan kérdés is felmerül. Így nyilvánvaló, hogy a kísérleti adatok sokszor hiányzanak és az elméleti úton származtatott adatok pedig esetleg jelentős hibákat hordoznak. A fő nehézséget az okozza, hogy a csillagokban, vagy más kozmikus térségben lejátszódó magfolyamatok olyan energiatartományban mennek végbe, amelyekre vonatkozólag a különleges kísérleti körülmények és követelmények miatt rendkívül nehéz megbízható méréseket elvégezni. Így a hatáskeresztmetszeteket sok helyen a magfizikai kísérletekben megszokottnál lényegesen alacsonyabb energiáknál kellene ismerni. Ugyanakkor azt is tudjuk, hogy a hatáskeresztmetszetek ebben az alacsony energiatartományban akár nagyságrendekkel is kisebbek lehetnek, mint a magasabb energiáknál. Ennek fizikai oka az, hogy a csillagokban, illetve a kozmikus környezetben lévő atommagok reakciói a Coulomb-gát alatti energiákon

történnek és a folyamatok a kis valószínűségű alagút-effektus révén mehetnek csak végbe. Ezeknek az adatoknak az ismerete azonban egy egész magtartományt figyelembe vevő részletesebb nukleáris asztrofizikai számításnál elkerülhetetlenek.

A nehezebb nukleonok szintézisének megértéséhez más jellegű modellek bemenő adatait kell ismernünk. Itt is igaz, hogy meglehetősen hiányosak a kísérleti adatok: elsősorban olyan folyamatokra vonatkozó paramétereket kellene ismernünk, amelyek kis valószínűséggel mennek csak végbe, hatáskeresztmetszetük sokszor igen kicsi.

Összefoglalva: a nukleáris asztrofizika fejlődésében ma meghatározó szerepet kapnak az eddig bármilyen okból hiányzó, megfelelő magfizikai adatok meghatározása. Ezeknek az adatoknak az ismerete nélkül nem remélhető, hogy a jelenlegi, sok kérdésben egyáltalán nem megnyugtató válaszokat adó tudományterület érdemben előbbre jut. Ugyanakkor világosan kell látni azt, hogy a hiányzó, kísérletileg leellenőrzött magfizikai adatokat a mai magfizika a legnagyobb erőfeszítéssel tudja csak meghatározni. Ezért az ezzel foglalkozó eredményes kísérletek a mai magfizika élvonalába tartoznak.

Gyürky György az MTA doktori cím elnyerésére készített doktori értekezésében több, a nukleáris asztrofizikában fontos kísérleti adatok meghatározásával foglalkozik. A dolgozat három, módszertanilag és a tényleges kísérleti munka jellegét tekintve is eltérő fejezetből áll. Ezeket a fejezeteket az rendezi egységbe, hogy a munka célja mindhárom esetben ugyanaz, az asztrofizikában fontos adatok mérése. Így a disszertáció első részében a jelölt az elméletileg nagy fontosságú ${}^3\text{He}(\alpha, \gamma){}^7\text{Be}$ reakció nemzetközi együttműködésben végzett kísérleti vizsgálatát mutatja be. A kutatások második része egy sor, kiválasztott proton- és α -befogási reakció hatáskeresztmetszetének meghatározásával foglalkozik, míg a harmadik pedig aktivációs úton előállított izotópok felezési idejét határozza meg. Ez utóbbi két mérőssorozatot a pályázó munkahelye, az Atommag Kutatóintézet (Atomki) gyorsítóinál végezte el. A jelölt a kutatások során a kísérleti lehetőségek mérlegelésével figyelemre méltó céltudatossággal választja ki mind a vizsgálandó magreakciót, mind az alkalmazott kísérleti módszert. **Gyürky György kutatásai világszinten úttörők, időszerűek, célkitűzésük megfelel a kor kívánalmainak, felhasznált kísérleti módszerei az élvonalbeli tudomány mércéjével mérve korszerűek.**

Gyürky György MTA doktori értekezése 116 oldalas. A „Bevezetés” általános áttekintést ad az elvégzett munka céljáról, az alkalmazott módszerekről és bemutatja a szerző szerepét a dolgozatban leírt tudományos kutatások tényleges elvégzésében. Ebben a részben egyenkénti elemzésben hangsúlyozza, hogy a munkát minden esetben munkacsoportban végezte, és a dolgozatban csak olyan kísérleteket és eredményeket ismertetett, amelyek elvégzésében illetve megszerzésében vezető szerepe volt. — A következő „ ${}^3\text{He}(\alpha, \gamma){}^7\text{Be}$ reakció kísérleti vizsgálata” fejezet előbb a vizsgált reakció asztrofizikai jelentőségével foglalkozik, majd a fenti reakció kísérleti vizsgálatának eddig alkalmazott módszereit ismerteti. A harmadik fejezet leírja a reakció vizsgálatát a LUNA együttműködés keretében. A kísérleti módszer elemzése kitér a méréseknél alkalmazott eljárásokra, amelyek közül a ${}^3\text{He}$ gáz-céltárgy minden részletre kiterjedő gondos felépítése külön figyelmet érdemel. Az alfejezetet a mérési adatok kiértékelésének ismertetése és az ERNA tömegszeparátorral végrehajtott vizsgálatának leírása zárja. — Ezt a fejezetet követi „Az asztrofizikai p-folyamat kísérleti vizsgálata” című fejezet. Ebben előbb a nehéz elemek szintézise folyamatainak alapjait ismerteti különös tekintettel a p-folyamat értelmezéséhez szükséges magfizikai adatokra. Ezután huszonegy, a nehéz elemek keletkezése szempontjából fontos protonokkal, illetve α -részecskékkel kiváltott magreakciók 1-4, illetve 5-10 MeV energiatartományba eső hatáskeresztmetszeteinek kísérleti meghatározását ismerteti. Az eredményeket statisztikus-modell számításokkal veti össze és ezekből asztrofizikai következtetéseket von le. — A jelölt munkáját leíró fejezetek közül a

harmadik fejezetben három alapállapotra és két izomérállapotra vonatkozó felezési-ideő méréseit írja le. A mérések hibái minden esetben lényegesen kisebbek, mint az eddig a szakirodalomban megjelent hasonló méréseké.

A mintegy 9 oldalas „Összefoglalás”-ban a dolgozatban közölt nagyszámú, különböző atommagokra vonatkozó mérései eredményei áttekintését és értelmezését adja meg a szerző. – A dolgozatot az angol nyelvű összefoglalás („Summary”), „Köszönetnyilvánítás” és „Irodalom” zárja. A pályázó a dolgozat legvégén, a három érdemi fejezethez külön-külön részletezve közli a dolgozathoz kapcsolódó saját közleményeit.

Gyürky György 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, az abban szereplő ábrák minősége színvonalas.

Gyürky György doktori értekezésében a következő, véleményem szerint új, eredeti tudományos eredményeiről számol be:

1. A pályázó a LUNA (Laboratory for Underground Nuclear Astrophysics) nemzetközi együttműködésben csillagok hidrogénégetési folyamatai és az elemszintézis szempontjából egyaránt fontos ${}^3\text{He}(\alpha,\gamma){}^7\text{Be}$ reakció hatáskeresztmetszetét két különböző kísérleti módszerrel meghatározta a minden korábbi mérési munkánál alacsonyabb 93-170 keV energiatartományban több pontban mintegy 5%-os hibával. Az aktivációs módszerrel és a direkt γ -sugárzás detektálásán alapuló módszerrel mért eredményei hibahatáron belül megegyeznek. Az eddigieknél lényegesen pontosabb új eredmények segítségével fontos asztrofizikai következtetésekre jutott, eddigi vélekedéseket pontosított.

Ugyanezt a reakciót vizsgálták az ERNA (European Recoil Separator for Nuclear Astrophysics) nemzetközi együttműködésben a magasabb, 700-2500 keV energiatartományban több, mint 30 pontban. A kis hibával meghatározott eredmények érdemi hatással vannak az asztrofizikai tartományra történő extrapolációra.

2. A jelölt összesen nyolc protonnal indukált magreakció kísérleti vizsgálatával három stroncium (${}^{84}\text{Sr}$, ${}^{86}\text{Sr}$ és ${}^{87}\text{Sr}$), két-két szelén (${}^{74}\text{Se}$ és ${}^{76}\text{Se}$) és kadmium (${}^{106}\text{Cd}$ és ${}^{108}\text{Cd}$) izotóp protonbefogási, illetve egy esetben (p,n) reakció hatáskeresztmetszetét meghatározta több energiaértéknél az 1,5-4,7 MeV proton energiatartományban. Az eredmények újak a szakirodalomban és szükségesek a p-folyamat elméleti számításai szempontjából.
3. A pályázó több középnehéz és nehéz mag izotópján (${}^{64}\text{Zn}$, ${}^{106}\text{Cd}$, az ${}^{113}\text{In}$, a ${}^{130}\text{Ba}$, a ${}^{132}\text{Ba}$ és az ${}^{151}\text{Eu}$) esetenként több bombázó energián megmérte α -részecskék által kiváltott reakciók hatáskeresztmetszetét. A vizsgált reakciók a sugárzásos befogás, az (α ,n) és (α ,p) reakciócsatornák voltak, a bombázó α -részecskék energiája 8,1 és 17 MeV értékek közé esett. Az eredményeket izotóponként elemezte.
4. A jelölt kis hibával meghatározta összesen öt középnehéz mag alap (${}^{66}\text{Ga}$, ${}^{109}\text{In}$ és ${}^{110}\text{Sn}$), illetve izomérállapotának (${}^{133}\text{Ce}^{\text{m}}$ és ${}^{154}\text{Tb}^{\text{m}}$) korábban lényegesen nagyobb hibákkal meghatározott felezési idejét.

Gyürky György doktori értekezésében tudományosan fontos, korszerű témájú és a mag- és asztrfizikus közösség érdeklődésre számot tartó, magas színvonalú és komoly kísérleti felkészültségről bizonyosságot tevő vizsgálatait foglalja össze. A kutatásokat az Atomki csoportjának segítségével nemzetközi együttműködésben, illetve hazai munkahelyén, az

Atomkiban végezte. A 27, többségében vezető nemzetközi szakfolyóiratban a dolgozatban leírt témából megjelent közlemények közül 9-nek ő a főszerzője. Ez a mai tudományos együttműködések belső rendszerét, felépítését közvetlenül ismerve Gyürky György kiemelkedő, meghatározó szerepének egyértelmű bizonyítéka. **Így megállapítom, hogy Gyürky György 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. Gyürky György dolgozatában az asztrofizika fejlődése szempontjából fontos, több különböző atommagon, különböző laboratóriumban, eltérő időpontokban végrehajtott kísérletei eredményeit és azok értékelését mutatja be. Egy ilyen komplex, valószínűleg számos kényszer miatt is alakuló, a metodikai különbségekre is tekintettel nehezen összefogható 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” fejezetét ennek a szolgálatába állítja, mégis az olvasó számára nem rajzolódik ki a kísérleti eredmények hasznát egységes keretbe rendező asztrofizikai szempontok ismertetése. A dolgozat javulását jelentette volna, ha a jelölt rövid bevezető után külön fejezetben összefoglalta volna kutatásai eredményeit hasznosítani tudó elméleti kép fő vonásait, a bemutatási és, rendszerezési szempontjait. — A megjegyzés érinti a dolgozat szerkezetét is, hiszen egy ilyen összefoglaló fejezet hiányában a megfelelő áttekintő részek az egyes alfejezetek részeivé váltak. Ez a szerkesztés nem segítette a kutatómunka egységes szellemiségének bemutatását.
2. A disszertációban leírt kísérletek érdemi eredményét jelenti az, hogy a meghatározott hiba általában kicsi, kisebb (többször sokkal kisebb), mint a korábban az azonos reakcióra vonatkozó méréseké. A kísérleteket részletesen átgondolva kitűnik, hogy ezeknek az elvégzése mekkora mérési ügyességet követel meg. A ${}^3\text{He}(\alpha,\gamma){}^7\text{Be}$ reakció vizsgálatához elkészített gáz-céltárgyat például a mai kísérleti kultúra szép példájának lehet tekinteni. A többi mérés elvégzése is nagy körülményt igényel. Ilyen körülmények között felmerül az a kérdés, hogy ilyen bonyolult kísérleti feltételek mellett a szerző valóban helyesen állapította-e meg a megadott hibát. Kérem a jelöltet, hogy a dolgozat nyilvános vitáján foglalja össze a kísérleti adatok hibája meghatározásánál alkalmazott elveket! — Az értékelés szempontjából különösen érdekesnek tartom, hogy a dolgozatban fontos szerepet játszó ${}^3\text{He}(\alpha,\gamma){}^7\text{Be}$ reakció hatáskeresztmetszetének megadott alacsony hibája részletesen milyen komponensekből tevődik össze?
3. Az eredmények bemutatásánál a szerző a protonok és α -részecskék által kiváltott magreakciókra vonatkozó eredményeinél utal rájuk és be is mutat elméleti számításokat, összehasonlításokat. A dolgozataból azonban nem derül ki minden esetben, hogy hogyan jutott ezekhez az eredményekhez és azoknak milyen tudományos relevanciájuk lehet. Ráadásul az ilyen jellegű modellszámítások részleteiben kevésbé jártas olvasónak talán szükséges lett volna néhány tájékoztató megjegyzés az egyes kódok sikerterületeivel, alkalmazásával kapcsolatban. Tervezi-e a szerző ezen elemzések további elmélyítését saját eredményeivel kapcsolatban?

Részletes megjegyzéseim, kérdéseim a következők.

- A 8. ábrán látható a LUNA együttműködésben alkalmazott gáz-céltárgy vázlata.

- Milyen szerepe volt a szerzőnek a céltárgy-cella megtervezésében?
- Milyen szennyezéseket tartalmazott a felhasznált ^3He és vizsgálták-e, hogy e szennyezéseknek milyen zavaró szerepük volt?
- Mennyire voltak állandóak a nyomás és a hőmérsékletadatok, illetve azokat milyen pontossággal mérték?
- A céltárgy-magok meghatározását a kamra és a gáz mért adatainak figyelembe vételével számolta. Végzett-e olyan vizsgálatot, hogy a kamra nyomásának kismértékű, mondjuk 0,8 mbarra való növelésével ellenőrizte, hogy ugyanazt az eljárást alkalmazva azonos hatáskeresztmetszeteket kapott?
- Hogyan függött a lokális gázmelegedési hatás a nyaláb intenzitásától? Tekintettel arra, hogy különböző energiájú nyalábokkal dolgozott, feltételezhető, hogy az intenzitás nem volt mindig pontosan egyforma.
 - Feltehetően a gázcellában disszipálódott a 9. ábra jobb oldalának abszcisszáján lévő „disszipált teljesítmény”. Ezt kísérletileg hogyan és milyen hibával határozta meg?
 - Az ábrán lévő szaggatott vonal valószínűleg nem a lineáris illesztés eredménye, mert sokkal több hasonló hibájú mérési pont van a vonal felett, mint alatta.
 - Kérem, hogy foglalja össze egy áttekintésben, hogy a lokális gázmelegedési hatás milyen korrekciókat tett szükségessé!
- Milyen volt a felépítése az ERNA kísérletekben alkalmazott gáz-céltárgynak? Melyek voltak ebben a mérésben a mérési hibák fő forrásai?
- Az 5. táblázat tartalmazza az aktivációs méréseknél használt céltárgyak készítésének jellemzőit, a vastagságmérés módszereit. Milyen pontosan határozta meg a céltárgyak vastagságát?
 - Mennyire voltak homogén vastagságúak a céltárgyak? Változhatott-e a vastagság a besugárzások alatt?
 - Ellenőrizte-e a jelölt a céltárgy vastagságának esetleges változását egy hosszú (mondjuk egy-két napos) magas intenzitású besugárzás után?
 - Az 55. oldalon szerepel, hogy a biztonságos nyalábinszenzitást ellenőrző mérésekkel választották ki. Mi volt ezeknél a méréseknél „biztonságos” nyalábsűrűség kritériuma?
- A 61. oldalon bemutatott 25. ábra spektruma (ezt a példa kedvéért mutatja be) számos, a kiértékelés szempontjából érdektelen csúcsot, részletet tartalmaz. Kiértékelte-e ezeket a spektrumrészeket is? Még jól ismert reakciók esetén is ez érdekes lehetne, hiszen a szakirodalomban ismert hatáskeresztmetszetekkel való egyezés erősítené a jelen mérések megbízhatóságát, illetve nem egyezés esetén észre nem vett szisztematikus hibára utalhatna.
- Melyek voltak felezési idők mérésének legfontosabb hibalehetőségei? Milyen elemeket tartalmazott a megadott, általában igen alacsony hiba?

Összefoglalva:

Az előbbi bíráló megjegyzéseim, kérdéseim nem befolyásolják azt a megállapításomat, hogy GYÜRKY GYÖRGY az élvonalbeli magfizika időszakos témájában, többször figyelemre méltó kísérletes ügyességről tanúbizonyságot téve saját maga által

kifejlesztett, korszerű kísérleti módszerekkel jelentős, eredeti új tudományos eredményeket ért el. A tudományos sikerben a jelölt vezető szerepét bizonyítottnak látom. A dolgozatban leírt eredmények hitelesek, azok nemzetközi fórumokon való nyilvánosságra hozatala 27 vezető folyóiratban megjelent publikációban (amelyek közül csupán 5 konferenciacikk) megtörtént. Jelölt eredményei alkalmasak arra, hogy az azokat összefoglaló disszertáció megvédése után a szerző megkapja az MTA doktora címet.

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

GYÜRKY GYÖRGY

doktori értekezésének elfogadását és a nyilvános vita kitűzését.

Budapest, 2013. szeptember 23.

Kiss Ádám
a fizikai tudomány doktora