

(nukleáció és rétegnövekedés) finomabb részleteinek a tanulmányozására lesz szükség. Ehhez kiterjedtebb felületi és szerkezeti vizsgálatokat tervezünk.

Az elektrokémiai módszer előnyeiről szólva meg kell említeni, hogy *multiréteges nanohuzalokat* csak ezzel az eljárással lehet készíteni. Ezeket 50–100 nm átmérőjű, közel hengeres üregeket tartalmazó porózus membránokba (üreges polikarbonát vagy alumínium-oxid fóliákba) választják le, amelyekben a multiréteges filmkénél nagyobb GMR-effektus figyelhető meg, ezért ezek az anyagok is intenzív kutatások tárgyát képezik.

A hazai kísérleti GMR-kutatásokkal kapcsolatban megemlítjük *Balogh Judit* és munkatársai (MTA SZFKI) tevékenységét, akik – a BME Fizikai Intézetével együttműködve – az elmúlt években párologtatással készült Fe- és Ag- vagy Cr-rétegekből álló multirétegeken és szendvicsszerkezeteken végzett mágnesesellenállásmérések eredményeiről jelentettek meg közleményeket [7]. A GMR-jelenséggel foglalkozó hazai elméleti tevékenység Szunyogh László (BME Fizikai Intézet) nevéhez köthető [5], aki kiterjedt nemzetközi együttműködésben mintegy tíz éve aktív és nemzetközileg elismert szereplője a multirétegek transzporttulajdonságainak elméleti számolására irányuló kutatásoknak.

Az FM/NM multirétegek mágneses tulajdonságainak kutatásában, különösen az AF-csatolással kapcsolatos jelenségek tisztázásában és az ennek vizsgálatára szolgáló magfizikai módszerek fejlesztésében az 1990-es évek közepétől aktív tevékenységet [8] fejt ki *Nagy Dénes Lajos* és *Bottyán László* csoportja (MTA Rézecske és Magfizikai Kutatóintézet), akik az elmúlt években üzembe helyezték az egyetlen hazai MBE-berendezést multirétegek előállítására. A vékony mágneses rétegek és multirétegek mágneses anizotropiájának és a rétegek közötti csatolásoknak az elméleti vizsgálatán dolgozik igen aktívan több mint tíz éve *Ujfalussy Balázs* (MTA SZFKI) [9].

Végezetül megemlítjük még, hogy *Menyhárd Miklós* és munkatársai (MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet) nemzetközi együttműködés keretében néhány évvel korábban GMR spinszelepek Auger-módszerrel, főleg mélységiösszetétel-profil analízissel végzett vizsgálatával kapcsolatos munkáikról számoltak be [10].

A spintronika területén Magyarországon a fentebb említett GMR- és multiréteg-kutatásokon kívül Szunyogh Lászlónak az alagutazó mágneses ellenállásra és az áram indukálta átmágnesezésre vonatkozó elméleti munkái [5], illetve *Mibály György* csoportjának (BME Fizikai Intézet) a mágneses félvezetőkkel kapcsolatos kísérleti tevékenysége említendő [11].

Végigtekintve a spintronikai kutatások viszonylag szerény hazai palettáján, nehéz elkerülni a párhuzam felismerését abban a tekintetben, hogy amiként évtizedekkel ezelőtt Magyarország erőteljesen elmaradt a mai elektronika alapját képező félvezető-kutatások terén, a hagyományos elektronikát felváltó spintronikai ipar háttérül szolgáló alapkutatásokba sem fektetünk be jelenleg kielégítő mértékben.

Irodalom

1. http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2007/index.html
2. Bakonyi I., Simon E., Péter L., *Fizikai Szemle* 58 (2008) 41.
3. Becsei T.: *Diplomamunka*. ELTE TTK, Budapest, 1996., lásd: <http://www.szfki.hu/~bakonyi/BecseiT-Diplmunka96.pdf>
4. Simon E.: *Diplomamunka*. ELTE TTK, Budapest, 2007., lásd: <http://www.szfki.hu/~bakonyi/SimonE-Diplmunka07.pdf>
5. <http://newton.phy.bme.hu/~szunyogh/gmrpubs.html>
6. <http://www.szfki.hu/~bakonyi/Bakonyi-MLandGMRpapers.pdf>
7. <http://www.szfki.hu/~baloghj/publist.html>
8. Publikációk: <http://nucssp.rmki.kfki.hu/>
MBE: Tanczikó F., Major M., Nagy D.L., *Fizikai Szemle* 57 (2007) 78–83.
9. <http://www.szfki.hu/~bu/publications.html>
10. <http://www.mfa.kfki.hu/~menyhadr/>
11. http://dept.phy.bme.hu/staff/mihaly/mihaly_publications.html

MÁGIKUS SZÁMOK, NEMES ATOMMAGOK

Elekes Zoltán
MTA ATOMKI, Debrecen

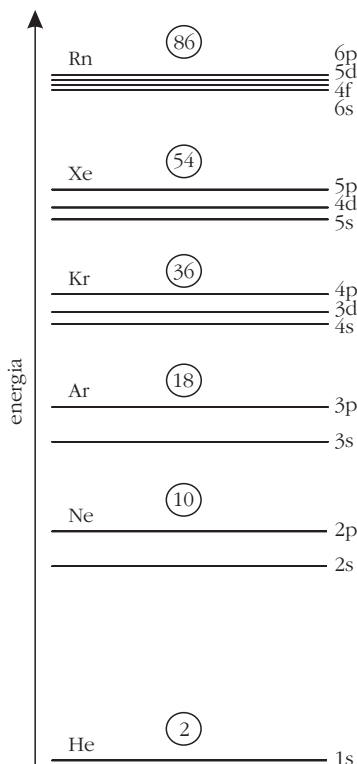
Az atomok szerkezetének megértésében és viselkedésük magyarázatában alapvető jelentőségű volt az atomok héjmodelljének a megalkotása az 1910-es, 1920-as években. Ma már tudjuk, hogy az atomot egy kicsiny, pozitív töltésű atommag és a körülötte lévő elektronok alkotják. Az atommag és az elektronok közötti egyszerű, vonzó kölcsönhatás tartja egyben az atomot és ennek a kölcsönhatásnak a felhasználásával, kvantumelméleti számolások alapján azt is megtanultuk, hogy az elektronok energetikailag jól

meghatározott, héjakba rendeződő pályákon helyezkedhetnek el adott valószínűséggel, amint ez az *1. ábrán* is látható. Az elektronhéjak közötti nagy energiakülönbségek miatt különlegesen stabil, 2, 10, 18, 36, 54 vagy 86 elektronszámmal, azaz zárt héjjal rendelkező atomok jönnek létre, melyeket nemesgázoknak nevezünk. Ezek az atomok nagyon kis valószínűséggel lépnek reakcióba más anyagokkal, nehezen alakítanak ki kötést atomokkal és gerjeszteni sem könnyű őket.

Az atommagok tekintetében hasonló jelenségeket figyelhetünk meg. Az 1940-es években *Maria Goepfert-Mayer* (*2. ábra*), aki 1963-ban – második nőként a világon – fizikai Nobel-díjat kapott, *Teller Edével* (*2. ábra*) dolgozott együtt Chicagóban. Teller ösztönzé-

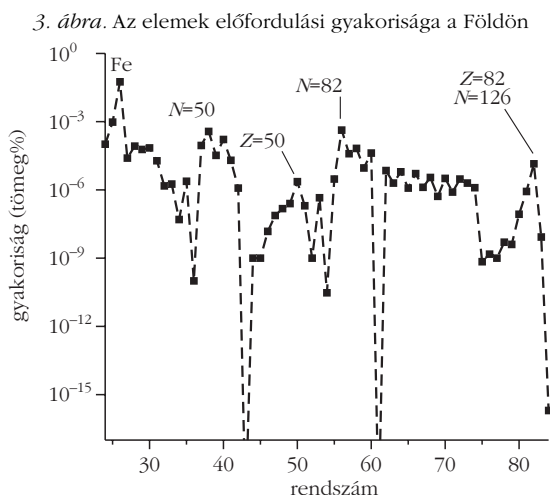
Elhangzott a 2007. évi Fizikus Vándorgyűlésen.

Kutatásainkat támogatja az OTKA (F60348, T68801) és a RIKEN-ATOMKI közötti hivatalos együttműködés. A szerzőt tevékenysége során a Bolyai-ösztöndíj is segíti.



1. ábra. Az atomok sematikus energiaszintjei

sére a kémiai elemek keletkezésének mechanizmusával kezdett foglalkozni, amihez az elemek előfordulási gyakoriságát és azok relatív izotópeloszlását vizsgálta behatóan. Az adatokból már korábban kiderült, hogy a könnyű és nehéz elemek keletkezésének folyamata egymástól jelentősen eltér; Goepfert-Mayer a nehéz elemekre ($Z \geq 34$) koncentrált és forradalmi eredményekre jutott. Meglehető szabályszerűségeket fedezett fel és arra jött rá, hogy bizonyos neutron-, illetve protonszámmal rendelkező elemek különleges jelentőségűek. Ahogyan ez például a 3. ábrán is látszik az $N = 50, 82, 126$ neutront és/vagy $Z = 50, 82$ protont tartalmazó elemek gyakoribbak, mint a környezetükben lévő más elemek. További kísérleti adatok (például neutronbefogási hatáskeresztmetszetek) is arra utaltak, hogy az említett neutron- és protonszá-



3. ábra. Az elemek előfordulási gyakorisága a Földön



2. ábra. Maria Goepfert-Mayer és Teller Ede

mok valamiért kitüntetettek. Amikor Goepfert-Mayer a kollégáival megosztotta megfigyeléseit, Wigner Jenő (4. ábra), aki akkoriban már elismert tudós volt, kicsit szkeptikusan mágikusnak nevezte a jelenségeket, amiket a kor népszerű atommagmodelljével, a folyadékcseppmodellel nem lehetett értelmezni. Így Wigner lett a névadója a fenti különleges számoknak, amiket ma már csak mágikus számokként emlegetünk. Goepfert-Mayer, és tőle teljesen függetlenül Hans Jensen, hamar megadták ezen számok értelmezését is, amivel rendkívül sikeres útjára bocsátották az atommagok héjmodelljét [1–2].

Az atommagok héjmodellje

Az atommagok és az atomok héjmodellje ugyan sok hasonlóságot mutat egymással, azonban alapvető különbségeket is megfigyelhetünk. Az atommagban a nukleonok, a közöttük fellépő erők hatására, egy effektív potenciálgödört alakítanak ki, amelyben azután bizonyos pályákon, egymástól függetlenül mozognak, tehát nincs egy vonzó objektum a központban, mint az atomok héjmodellje esetén. A másik fontos eltérés a két modell között, hogy az atommagban a protonok és a neutronok nagyon közel helyezkednek el egymáshoz képest, ezért nehezen tudjuk elképzelni, hogy hogyan keringhetnek ütközés nélkül. A választ a kvantummechanika és a Pauli-elv adja, ami szerint két fermion nem lehet azonos kvantumállapotban.

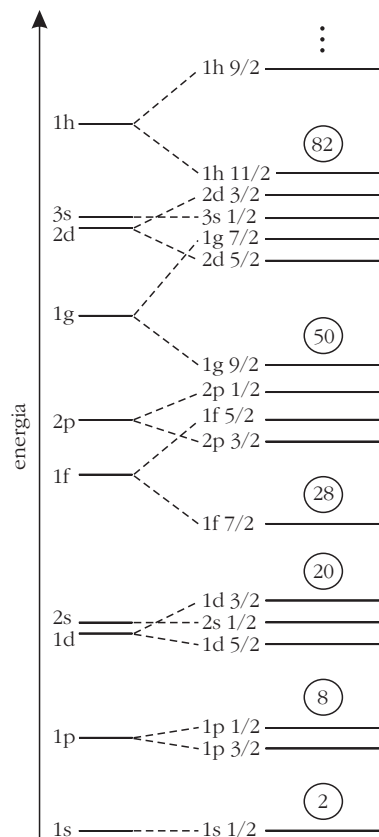
4. ábra. Wigner Jenő és John Schiffer



Az atommagban a pályák (más néven egyrészecske-állapotok) energetikai elhelyezkedését nagyrészt az effektív potenciálgödör határozza meg, ezért annak helyes megválasztása rendkívül lényeges. Ha a harmonikusoszillátor-potenciált vesszük alapul, még messze járunk a megoldástól, de ezt kombinálva azzal a megfontolással, hogy azok a nukleonok, amelyek körülvesznek mások, nem állnak nettó erőhatás alatt, már óriási lépést tehetünk a valóság felé. Technikailag ezt például úgy tudjuk megtenni, ha a potenciálban egy, a pálya-impulzummomentummal négyzetesen arányos tagot is figyelembe veszünk. Az így kialakuló pályák pozícióját a 5. ábra bal oldalán láthatjuk. A pályák héjakba rendeződnek, a mágikus számok pedig megmutatkoznak. Az első három mágikus szám helyesen adódik 2-nél, 8-nál és 20-nál, azonban a többi (28, 50, 82, 126) Goeppert-Mayer és Jensen tudta elsőként megmagyarázni a spin-pálya kölcsönhatás bevezetésével, amihez tartozó egyrészecskespektrum a 5. ábra jobb oldalán figyelhető meg. Fontos megemlíteni, hogy az átlagpotenciál alakján kívül a pályák energiáját és sorrendjét a magban lévő nukleonok száma kismértékben módosítja, és a zárt héjakon túl lévő valencianukleonok között ható úgynevezett maradék-kölcsönhatás drasztikus változásokat okozhat.

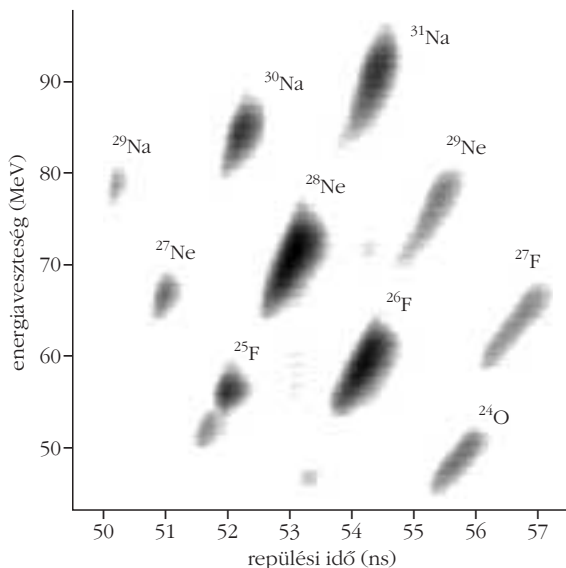
Atomfizika radioaktív ionnyalábokkal

Az évek során számos kísérlet bizonyította a héjmodell helyességét és kiváló alkalmazhatóságát, azonban sokáig csak olyan atommagokat tudtak bevinni a vizsgálatokba, amelyek a β -stabilitási sávhoz közel helyezkednek el az izotóptérképen. Azonban az utóbbi 10–15 évben, a radioaktív ionnyalábok megjelenésével, új korszak nyílt a magszerkezet-kutatások területén. Segítségükkel azt a, már a héjmodell születésekor felmerült kérdést is tanulmányozhatjuk, hogy mi történik az egyrészecske-állapotokkal és következésképpen a mágikus számokkal az extrém neutron-proton aránnyal rendelkező instabil atommagokban. Éppen egy magyar származású kutató, *John Schiffer* (4. ábra) és kollégái tettek jelentős előrelépést ebben a témában. Arról számoltak be, hogy az ónizotópok tömegének (neutronszámának) növekedésével a spin-pálya kölcsönhatás gyengül, ami a mágikus számok megváltozásához vezet. Azonban a helyzet nem ilyen egyértelmű, amit a ^{42}Si atommag esete is mutat. A kísérleteket végző két csoport közül az egyik arra a közvetett eredményre jutott, hogy az $N=28$ -as neutronszám mágikus marad a stabilitási sávtól távol, melyet a másik csoport hamar megcáfolt. Az ATOMKI munkatársai az utóbbi években a Japánban található Fizikai és Kémiai Kutatóintézetben (RIKEN) végeztek hasonló jellegű kísérleteket a könnyű atommagok tartományában, amiről már olvashattak az érdeklődők a *Fizikai Szemlében* [3], ezért elsősorban a kísérleti aspektusok bemutatására kerül sor a továbbiakban.



5. ábra. Az atommagok nukleonjainak egyrészecske-energia állapottai a baloldalon csak a pálya-impulzummomentumot, a jobboldalon pedig a spin-pálya kölcsönhatást is tartalmazó potenciálgödörben.

A japán gyorsítókomplexumban a radioaktív ionnyalábok előállításának első lépéseként a vizsgálni kívánt izotóphoz közeli, de annál nehezebb tömegű, stabil atommagok nyalábját hozzuk létre viszonylag nagy energián (~100 MeV/nukleon) ciklotronok vagy lineáris gyorsítók és ciklotronok egymás után kapcsolásával. Ezt a nyalábot megfelelően megválasztott, úgynevezett elsődleges céltárggyal (általában berillium vagy tantál) ütköztetjük, ahol az ionnyalábban található atommagok szétrohadnak, változatos tömegű és neutron-proton arányú fragmentumokat létrehozva. A vizsgálandó izotóp általában alacsony gyakorisággal keletkezik, ezért az ionnyaláb tisztítására van szükség. Ezt egy mágneses szeparátorral tesszük meg, ám még az így rendelkezésünkre álló radioaktív ionnyaláb sem lesz tökéletesen egynemű, így a benne lévő atommagfajtákat azonosítani kell. Ezt az energia-vesztés-repülési idő technikával hajtjuk végre. Mivel az ionnyalábunk nagy energiával rendelkezik, áthaladva valamilyen ~mm vastagságú anyagon, csak kevés energiát veszít és kicsit szóródik, ami a mérést nem zavarja, azonban feldolgozható minőségű jel keletkezik. Így a repülési időt egymástól néhány méter távolságban elhelyezett jó időfelbontással rendelkező, gyors plasztiksztillátorokkal, az energia-vesztésedet pedig kitűnő energiafeloldású szilícium-detektorokkal remekül meg lehet határozni. Mivel a nyalábot alkotó ionok repülési ideje és energiavesztése más-más összefüggésben van a tömegükkel,



6. ábra. Ionnyalábfajta-azonosítás energiavesztés és repülési idő mérésének segítségével

töltésükkel és sebességükkel, ha egymás függvényében ábrázoljuk őket, akkor az egyes ionnyalábfajták élesen elkülönülnek egymástól, ahogyan ez az egyik kísérletünk ionnyaláb-azonosítási ábráján is látszik (6. ábra). Ezt a radioaktív ionnyalábot fókuszáló mágnesek felhasználásával a másodlagos céltárgyra vezetjük, amelyet úgy választunk meg, hogy a számunkra érdekes radioaktív izotóp vizsgálandó tulajdonságának megfelelő legyen. A céltárgyat változatos reakciótermékek (elektromágneses sugárzás, a beeső nyaláb ionjainak tömegéhez közel álló és könnyű ionok, neutron) hagyják el, mivel számos különböző folyamat játszódik le benne. Ezeket a céltárgy köré és után épített, jól szegmentált, nagy határfokú detektorrendszerekkel figyeljük meg és azonosítjuk.

Az $N = 20$ -as neutronszám mágikusságának vizsgálata

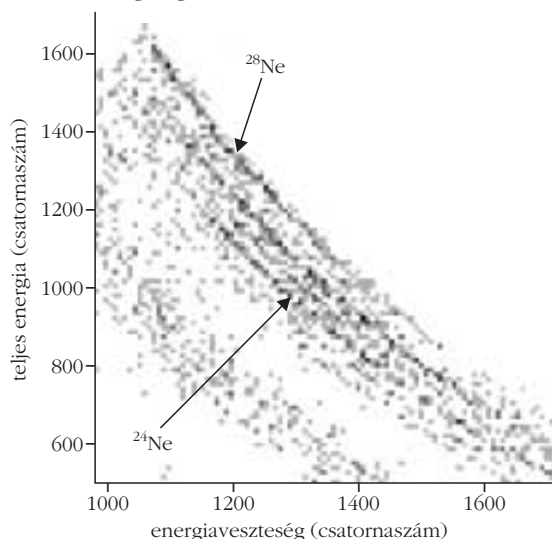
A RIKEN kutatóintézetben az ATOMKI kutatóinak javaslatára számos kísérlet valósult meg a japán kollégák segítőkész együttműködésének köszönhetően. Ezek közül kettőnek kifejezetten a 20-as neutronszám mágikusságának a tanulmányozása volt a célja. Egy atommagban az egyrészeske-állapotok határozzák meg a kialakuló gerjesztett állapotok tulajdonságait (energia, spin, paritás). Ezeket mérve, közvetlenül, vagy megfelelő elméleti számolások segítségével következtetéseket tehetünk a héjközök nagyságára és következésképpen a mágikus számokra is. A ^{27}Ne és az ^{23}O atommagok alapállapotú és alacsonyan fekvő gerjesztett állapotú tulajdonságainak kialakulásában az $N = 20$ -as héjközhez közeli egyrészeske-állapotok játszanak szerepet. Ezért feltérképeztük (1) a ^{27}Ne atommag alacsonyan fekvő, gerjesztett állapotait neutron-kilökési reakcióban és meghatároztuk (2) az ^{23}O atommag neutron egyrészeske-állapotait részecske-átadási reakció segítségével.

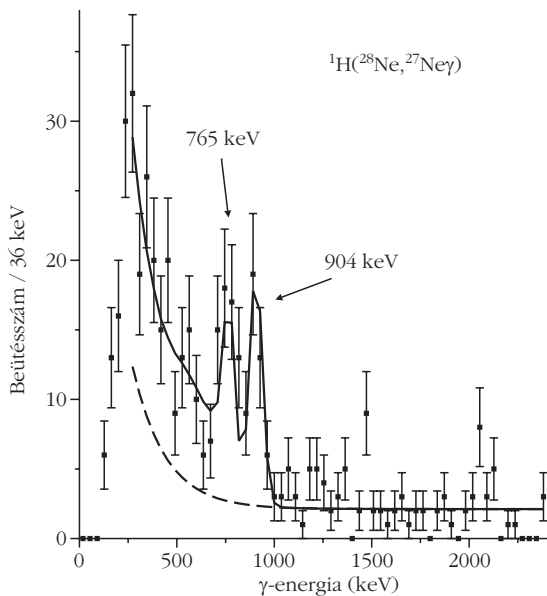
A ^{27}Ne atommag esete

A héjmodell alapjai egyszerűen megérthetőek, azonban ha konkrét előrejelzésre kerül a sor, mint például a fenti gerjesztett állapotok pozíciójának meghatározása, már rendkívül bonyolulttá válik a helyzet. Egyszerűsítésekre, a számítások során különböző technikák felhasználására van szükség, ezért sokfajta héjmodell-jóslattal találkozhatunk. A ^{27}Ne atommagnál nagyon szerencsés a helyzet, ugyanis az $N = 20$ -as neutronszám mágikusságának kérdése egyszerűen arra redukálódik, hogy hány kötött, gerjesztett állapota van a magnak. Ebben a nuklidtartományban, az elérhető elméleti számolások közül az egyik (megőrizve a 20-as mágikusságot) egy, a másik pedig (a 20-as mágikusság feláldozása árán) három ilyen állapotot jósol. Ezért megvizsgáltuk a ^{27}Ne atommag szerkezetét ilyen szempontból.

Ehhez radioaktív ^{28}Ne ionnyalábot állítottunk elő úgy, hogy stabil ^{40}Ar ionokat lőttünk 94 MeV/nukleon energiával 0,5 cm vastag ^{181}Ta céltárgyra. Miután megtisztítottuk az ionnyalábot a nem kívánt részekről, a 6. ábrán látható izotópok maradtak a radioaktív ionnyalábban. Ezt a nyalábot a másodlagos, folyékonyhidrogén-céltárgyra vezettük. Itt többek között neutronkilökési reakciók is lezajlottak, amelynek során ^{27}Ne atommagok keletkeztek gerjesztett állapotban is. Az alapállapotba történő átmenetek során γ -fotonokat bocsátottak ki, amit egy, a céltárgy köré helyezett, 146 darab NaI(Tl) szcintillátorból álló rendszerrel detektáltunk. Mivel a folyékonyhidrogén-céltárgyban számos más izotóp is keletkezett különböző reakciók termékeként, a kirepülő részecskéket is azonosítani kellett, amit energiavesztés (ΔE) és teljes energia (E) méréssel, a céltárgy után elhelyezett szilíciumdetektorok felhasználásával végeztünk el. Az azonosítás alapja itt is az volt, hogy az említett mennyiségek máshogyan függnek az izotópok tömegétől, töltésétől és sebességétől. A 7. ábrán szépen elkülönülnek az átlós, enyhén ívelt vonalak, amelyek az egyes neon izotópoknak felelnek meg.

7. ábra. Reakciótermék-azonosítás energiavesztés és teljes energia mérésének segítségével





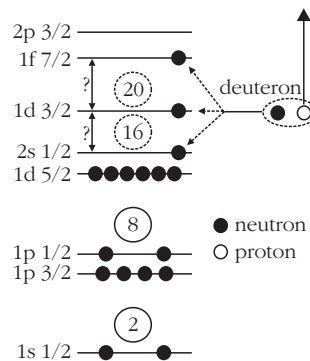
8. ábra. Az ${}^1\text{H}({}^{28}\text{Ne}, {}^{27}\text{Ne})\gamma$ reakcióból származó Doppler-korrigált γ -spektrum

A reakció bemenő és kimenő csatornáját így rögzítve, meghatároztuk a ${}^{27}\text{Ne}$ atommaghoz tartozó γ -spektrumot, amit a 8. ábrán láthatunk. Mivel a gerjesztett ionok a fénysebességnek körülbelül a 30%-ával haladtak, a Doppler-hatás miatt a spektrum torzult és korrekciót kellett végezni a detektorok pozíciójának ismeretében. Ezek után már tisztán látszott két csúcs 765 keV és 904 keV energiánál, amelyek a ${}^{27}\text{Ne}$ atommag két gerjesztett állapotának felelnek meg. Ezt az elméleti előrejelzésekkel összevetve, azt a következtetést vontuk le, hogy az $N = 20$ -as neutronszám mágiakussága eltűnik a stabilitási sávától távol.

A ${}^{23}\text{O}$ atommag esete

A fenti kísérlet értelmezése során nagy mértékben támaszkodtunk az elméleti számításokra, és ennek alapján állapítottuk meg a mágiakusság megváltozását. Azonban nem zárható ki olyan elméleti leírás megalkotása, amely magyarázatot ad a ${}^{27}\text{Ne}$ atommagnál tapasztalt kísérleti eredményekre az $N = 20$ -as mágiakusság megőrzésével. Ezért közvetlen bizonyítékra van szükségünk az $N = 20$ -as héjköz lecsökkenésére, amit az egyrészecske-állapotok pozíciójának mérésével szolgáltatathatunk. Emiatt megvizsgáltuk a ${}^{23}\text{O}$ atommagot.

Ehhez ${}^{22}\text{O}$ radioaktív ionnyalábot hoztunk létre hasonlóan az előbbi esethez. Ugyanolyan stabil nyalábbal dolgoztunk, mint a ${}^{27}\text{Ne}$ -nél, de itt 0,3 cm vastag ${}^9\text{Be}$ elsődleges céltárgyat használtunk a maximális nyalábtintenzitás elérése érdekében. Ezt egy 30 mg/cm² vastag deuterizált polietilén másodlagos céltárgynak ütköztettük, ahol lezajlott a számunkra érdekes reakció az ${}^{22}\text{O}$ és ${}^2\text{H}$ atommagok között. Az ${}^{22}\text{O}$ izotóp neutron-egyrészecskeállapotai az $1d_{5/2}$ -ig teljesen betöltöttek (9. ábra). A lazán kötött deuteronban lévő neutron a reakcióban az $1d_{5/2}$ állapot fölött elhelyezkedő valamelyik pályára épült be, létrehozva az ${}^{23}\text{O}$ atommag alapállapotát vagy gerjesztett állapotait, egy pro-

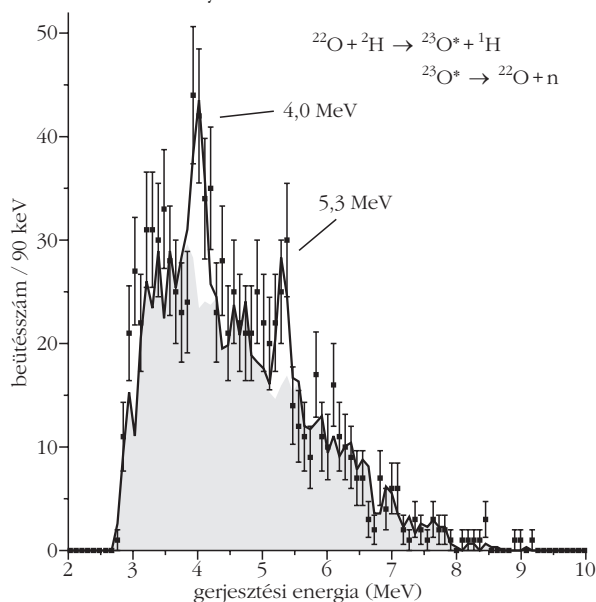


9. ábra. A céltárgyat alkotó deuteronok reakcióba lépnek a bombázó ${}^{22}\text{O}$ izotópokkal. A deuteron szétesik, neutronja beépül valamelyik neutronpályára, a proton pedig reakciótermékként távozik. Így létrejön az ${}^{23}\text{O}$ alapállapota vagy valamelyik gerjesztett állapota. A gerjesztett állapotok energiáját mérve, különbségük megadja az egyrészecske-állapotok közötti energiáriséket, amiből a 16-os és 20-as neutronszám mágiakusságára következtethetünk.

ton pedig eltávozott. Így közvetlenül letapogatható volt a neutron-egyrészecskespektrum és meghatározható az $N = 20$ -as és $N = 16$ -os héjköz is. Korábbi mérésekből ismert, hogy az ${}^{23}\text{O}$ atommagnak kizárólag az alapállapota kötött, ezért a létrejövő gerjesztett állapotok azonnal elbomlottak, így reakciótermékként egy proton, egy neutront és egy ${}^{22}\text{O}$ -t kaptunk. Emellett persze más zavaró reakciók is lejátszódtak a céltárgyban, ezért hasonlóan az előző esethez, a reakciócsatornát megfelelően definiálni kellett. A nyalábszerű ionokat megint ΔE - E módszerrel azonosítottuk, egyúttal megmérve energiájukat és becsapódási helyüket. A neutronok energiáját és kirepülési irányát egy szegmentált, plasztikszcintillátor-rudakból álló, míg a protonokat egy ATOMKI-RIKEN közös fejlesztésű, CsI(Tl) kristályokból épített rendszerrel detektáltuk.

Az ${}^{23}\text{O}$ atommag gerjesztésienergia-spektrumát, mely a 10. ábrán látható, a ${}^{23}\text{O}$ bomlásakor kirepülő neutron és ${}^{22}\text{O}$ izotóp impulzusvektorából rekonstru-

10. ábra. Az ${}^{23}\text{O}$ atommag gerjesztésienergia-spektruma, amelyet a háttérspektrum (szürkén árnyékolt) és Gauss-függvények összegével illesztettünk. Ezt folytonos vonallal ábrázoltuk.



áltuk. Két csúcst figyelünk meg 4 MeV-nél és 5,3 MeV-nél. Az ^{23}O alapállapotát a neutron $s_{1/2}$ pályával azonosították korábban, ezért a kísérleti, alacsonyabb energiás csúcst nagy biztonsággal a neutron $d_{3/2}$ pályához köthetjük. Az 5,3 MeV-es csúcs természetéről ugyan nem tudunk egyértelműen nyilatkozni, de biztosan az $N = 20$ -as héjközön túl található, valamelyik neutronpályához ($f_{7/2}$, $p_{3/2}$) rendelhető. Ez azt jelenti, hogy kialakult egy nagy, körülbelül 4 MeV-es $N = 16$ -os héjköz, míg az $N = 20$ -as 1,3 MeV-esre csökkent, azaz a 20-as szám helyett a stabilitási sávtól távol a 16-ost találtuk mágikusnak. A kísérleti eredmények nem függenek az elméleti számolásoktól, azonban ha összehasonlítást végzünk velük, arra jutunk, hogy létezik olyan héjmodell, melynek jóslatai összevágának a megfigyeléseinkkel. A modell részletes leírása nélkül annyit érdemes megjegyezni róla, hogy olyan mechanizmust nyújt a mágikus számok megváltozására, amely képes mind az extrém neutrontöbbletes, mind pedig a stabilitási sávban elhelyezkedő atommagok tulajdonságainak megmagyarázására, és az izotóptérkép nehezebb tartományára is ad jóslatokat.

Összefoglalás és kitekintés

Az ismertett kutatások önmagukban, a magszerkezet tanulmányozása szempontjából is érdekesek, hisz segítségükkel jobban megismerhetjük az atommagok felépítését. Azonban szorosan kapcsolódnak Goepert-Mayer kezdeti, az elemek keletkezését boncolga-

tó vizsgálataihoz is, ugyanis az úgynevezett asztrofizikai r-folyamatban (rapid = gyors), amelynek segítségével a nehéz elemek jönnek létre (az s-folyamat és p-folyamat mellett), sok neutrongazdag atommag vesz részt. A mágikus atommagok, mint stabilitási szigetek a környezetükben lévő más izotópokhoz képest, szabályozzák ezt a folyamatot, ezért elhelyezkedésük az izotóptérképen alapvető. Ugyan az r-folyamatban a lényeges szerepet az 50-es és a fölötti mágikusság lehetséges megváltozása játssza, az alacsonyabb tartományban kapott eredmények, ahogy azt láthattuk, olyan elméleti paradigmát nyújthatnak, ami igaz nehezebb atommagoknál is, így a kísérletezők fontos előrejelzéseket kaphatnak.

A RIKEN kutatóintézetben 2007 tavaszán először szolgáltatott ionnyalábot a Radioaktív Ionnyalábgépgyár (RIBF), amely új korszakot nyit az atommagfizika és alkalmazásai területén. Segítségével a nehéz atommagok tartományában is elérhetjük, vagy megközelíthetjük a neutronelhullatási-vonalat, amelyen túl már az atommagok alapállapota sem kötött, és ha nem is sétálhatunk végig, de legalább néhány lépést tehetünk az r-folyamat által, a neutrongazdag atommagok között vágott ösvényen.

Irodalom

1. Fényes T. in *Atommagfizika* (ed. Fényes T.) Kossuth Egyetemi Kiadó (2005) 227.
2. Macintosh R., Al-Khalili J., Jonson B., Pena T. in *Az atommag. Utazás az anyag szívébe*. Akadémiai Kiadó (2003) 70.
3. Dombrádi Zs.: A héjszerkezet átrendeződése egzotikus atommagokban. *Fizikai Szemle* 57 (2007) 221.

ATOMERŐMŰVEK ÜZEMIDŐ-HOSSZABBÍTÁSA

Trampus Péter
Trampus Mérnökiroda

A polgári célú atomerőművek üzembe állításának csúcsidezőszaka a múlt század hetvenes és nyolcvanas éveinek a fordulóján volt, amikor 20–30 atomerőművet helyeztek üzembe évente. Ezt követően az atomerőmű-építkezések üteme jelentősen visszaesett és az elmúlt egymásfél évtizedben a hangsúly az új atomerőművek építéséről a jelenleg üzemelő atomerőművek minél hatékonyabb kihasználására került. Ez utóbbit élettartam-gazdálkodásnak nevezzük. Az élettartam-gazdálkodás elsősorban az üzemidő meghosszabbítását és a teljesítmény növelését jelenti. Gazdasági szempontból mindkét megoldás ígéretes, mivel rövid távon csökkenti az új erőművek építésének igényét.

Élettartam-gazdálkodás alatt – definíciószerűen – az atomerőmű tulajdonosának azokat a tudatos és összehangolt gazdasági és műszaki intézkedéseit értjük, amelyekkel az atomerőmű termelési célkitűzése – a nukleáris biztonság megkövetelt szintjének betartása mellett – teljesíthető; az atomerőmű rendszereinek és berendezéseinek üzemeltetése és karbantartása, illetve üzemideje optimalizálható. Mindezek eredmé-

nyeként az erőmű teljes üzemideje alatti nyereség maximálható [1]. Az atomerőművek élettartam-gazdálkodása a mérnöki tevékenység önálló, multi-diszciplináris területévé fejlődött, amit közgazdasági ismeretek alkalmazása tesz teljessé. A definícióból érzékelhető, hogy az élettartam-gazdálkodás fő hajtóereje a minél nagyobb nyereség elérése. Az eredményes élettartam-gazdálkodás megvalósításának alapvető feltétele az idejében elkezdett, célirányos műszaki-tudományos tevékenység.

Élettartam és üzemidő

Egy atomerőmű élettartama magában foglalja mindazokat az időszakokat, amelyek során az atomerőművel kapcsolatosan pénzügyi kötelezettségek jelentkezték vagy jelentkezni fognak (*1. ábra*). A tervezett üzemidő az atomerőmű minimális üzemideje, aminek meghatározásakor a tervező szabvány szerinti anyagtulajdonságok, feltételezett anyagfolytonossági hiá-