

bekövetkező változások vizsgálata útján is tanulmányozható. Erre pedig a Mössbauer által felfedezett módszer – rendkívüli energiafelbontása miatt – igen nagy pontossággal nyújt lehetőséget.

Miután tisztában volt felfedezésének jelentőségével és az annak révén megnyíló új lehetőségekkel, eredményét Mössbauer lehetőleg „feltűnés nélkül” szeretne volna publikálni annak érdekében, hogy még riválisai előtt felderíthesse és kiaknázhassa a módszerben rejlő további lehetőségeket. Korábbi témavezetőjétől – ennek kapcsán – azt a tanácsot kapta, hogy eredményeit a *Naturwissenschaften* című folyóiratban, a Max Planck Társaság hetente megjelenő tudományos kiadványában közölje.<sup>16</sup> A német nyelven írt, alig egy hasáb terjedelmű cikk [2] 1958-as megjelenését követően azonban már az első héten 260-an jelezték Mössbauer számára, hogy szeretnének másolatot kapni a publikációból. Így bár Mössbauer az irídiummal elvégzett sikeres kísérletet követően azonnal lépéseket tett annak irányába, hogy módszerét az alkalmazások szempontjából legígéretesebb tulajdonságokkal rendelkező atommag, az 57-es tömegszámú vas atommag esetére is alkalmazza, az első <sup>57</sup>Fe Mössbauer-spektrum felvétele már mások nevéhez fűződik.  $\gamma$ -kvantumok visszalökődésmentes magrezonancia-abszorpciójára, illetve -emissziójára azonban az 1960-ban megjelenő kapcsolódó publikációk jelentős része már „Mössbauer-effektus” megjelöléssel utal.

Mössbauer módszere (mai nevén a Mössbauer-spektroszkópia) a kutatók előtt egy olyan új ablakot nyitott a természetre, amelyen keresztül egyes atommagok alacsony energiájú állapotainak tanulmányozására azelőtt soha nem látott részletességgel nyílt lehetőség. Az a

<sup>16</sup> Az 1913-ban alapított *Naturwissenschaften* egyike a legnagyobb presztízsű német nyelvű tudományos folyóiratoknak.

kísérlet pedig, amelynek során a <sup>57</sup>Fe Mössbauer-spektroszkópia módszerének segítségével Pound<sup>17</sup> és Rebka<sup>18</sup> sikerrel mutatta ki az Einstein-féle általános relativitáselmélet által megjósolt gravitációs vöröseltolódás jelenségét [11], világszerte felhívta a figyelmet a Mössbauer által felfedezett effektus jelentőségére.

Mössbauer a róla elnevezett effektus felfedezéséért 1961-ben elnyerte a fizikai Nobel-díjat: „for his researches concerning the resonance absorption of gamma radiation and his discovery in this connection of the effect which bears his name” [12].

## Irodalom

1. Mössbauer R. L.: Kernresonanzfluoreszenz von Gammastrahlung in Ir<sup>191</sup>. *Zeitschrift für Physik* 151 (1958) 124.
2. Mössbauer R. L.: Kernresonanzabsorption von Gammastrahlung in Ir<sup>191</sup>. *Die Naturwissenschaften* 45 (1958) 538.
3. Wood R. W., Moore J. H.: The Fluorescence and Absorption Spectra of Sodium Vapor. *Philosophical Magazine* 6 (1903) 362.
4. Kuhn W.: Scattering of Thorium C<sup>γ</sup>-radiation by Radium G and Ordinary Lead. *Philosophical Magazine* 8 (1929) 625.
5. Kuzmann E., Homonnay Z., Nagy S., Nomura K.: Mössbauer spectroscopy. In: Vértes A., Nagy S. Klencsár Z. (szerk.): *Handbook of Nuclear Chemistry*. Vol. 3, 109–187., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2003.
6. <http://www.nndc.bnl.gov/nudat2/>
7. Moon P. B.: Resonant Nuclear Scattering of Gamma-Rays: Theory and Preliminary Experiments. *Proceedings of the Physical Society A* 64 (1951) 76.
8. Malmfors K. G.: Nuclear resonance scattering of gamma-rays. *Arkiv för Fysik* 6/5 (1952) 49.
9. Lamb, W. E. Jr.: Capture of Neutrons by Atoms in a Crystal. *Physical Review* 55 (1939) 190.
10. Mössbauer R. L.: The discovery of the Mössbauer effect. *Hyperfine Interactions* 126 (2000) 1.
11. Pound R. V., Rebka G. A. Jr.: Apparent weight of photons. *Physical Review Letters* 4 (1960) 337.
12. [http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1961/](http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1961/)

<sup>17</sup> Robert Vivian Pound (1919) kanadai születésű amerikai fizikus.

<sup>18</sup> Glen Anderson Rebka amerikai fizikus.

## SZUPERNEHÉZ ELEMEK

Szupernehéz atommagok szintéziséhez és vizsgálatához alapvető érdekek fűződnek mind az atommagfizika, mind a kémia oldaláról. A legnehezebb atommagok olyan laboratóriumot alkotnak, ahol nagyon erős Coulomb-taszítás körülményei között vizsgálhatók a magszerkezet, bomlás és reakciók sajátosságai. Extrém körülmények között alaposabban megismerhetjük a magerők sajátosságait és teljesen váratlan jelenségek is felbukkanhatnak. Nyitott kérdés, hogy milyen rendszám- és tömegszámhatárig létezhetnek atommagok kötött állapotban.

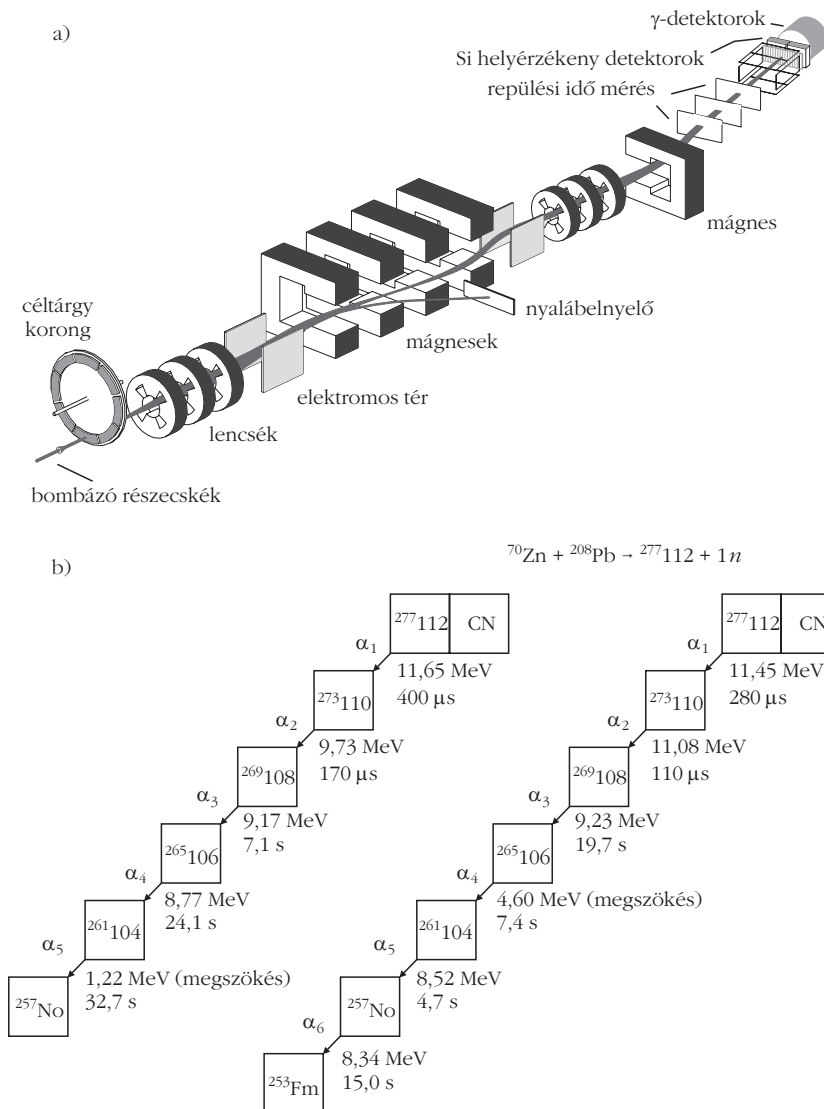
Az egyszerű folyadékcseppmodellre alapozott számítások szerint az atommagok stabilitása a  $Z = 100$ – $106$  rendszám körül megszűnik, mivel a protonok közötti hosszú hatótávolságú Coulomb-taszítás ekkor felülmúlja a nukleonok közötti vonzó, rövid hatótávolságú erős kölcsönhatást. Extra stabilitás származ-

hat azonban héjlezárodások miatt. A makroszkopikus-mikroszkopikus modellek (pl. a véges hatótávolságú cseppmodell, a FRDM [1])  $Z = 114$ ,  $N = 184$ -nál (a)héjlezárodásokat jeleznek. Önkonzisztens átlagtérszámítások is végezhetők, mind nem-relativisztikus, mind relativisztikus közelítésben. A legtöbb nem-relativisztikus átlagtérszámítás  $Z = 124$  vagy  $126$ ,  $N = 184$  esetében, a relativisztikus  $Z = 120$ ,  $N = 172$  körül széles tartományban héjstabilizációs hatást jelez.

## A transzurán és szupernehéz elemek előállítása

A <sup>93</sup>Np-tól a <sup>98</sup>Cf-ig terjedő transzurán elemek, valamint a <sup>101</sup>Md felfedezése (n,γ), illetve (α,n) reakciók segítségével történt. A vizsgálatokhoz nehéz aktinida céltárgyakat használtak, amelyek többségét reaktor-

Fényes Tibor  
MTA ATOMKI, Debrecen



1. ábra. a) A SHIP-94 berendezés távoli transzurán elemek előállítására és vizsgálatára. [2] alapján. b) A  $^{277}_{112}\text{CN}$  izotóp azonosítása  $\alpha$ -bomlásláncon keresztül. Az ábrán az észlelt  $\alpha$ -részecske energiák és az élettartamok is fel vannak tüntetve (nem a felezési idők!). Az élettartamok ingadozása a bomlás statisztikus jellegéből következik, az  $\alpha$ -részecske energiák kis különbözősége az  $\alpha$ -bomlás komplex jellegére utal. CN közbenső atommagot jelöl, a „megszökés” pedig azt jelenti, hogy az  $\alpha$ -részecske energiájának csak egy részét adta le a detektorban. A  $^{273}_{110}$  atommagnak két izomer állapota van; itt az  $\alpha$ -részecske energiákban és élettartamokban nagyok a különbségek a két bomlásláncon. [3] alapján.

ban állították elő intenzív neutronbesugárással. Az  $^{99}_{51}\text{Es}$  és  $^{100}_{80}\text{Fm}$  elemeket először a *termonukleáris robbanás maradványaiban* sikerült azonosítani.

A további szupernehéz elemek előállításához már nehézion-reakciókat kellett felhasználni. A  $^{102}_{84}\text{No}$ -tól a  $^{106}_{82}\text{Sg}$ -ig terjedő öt transzurán elemet „forró” fúziós reakcióval szintetizálták. Ezekben az azonosított atommag az erősen gerjesztett közbenső atommagból több neutron kibocsátása után állt elő, például a  $^{263}_{82}\text{Sg}$  a  $^{249}_{98}\text{Cf}(^{18}\text{O},4n)^{263}\text{Sg}$  reakcióból.

Mivel az erősen gerjesztett közbenső atommagban a hasadás valószínűsége nagy, a további elemek előállításához célszerű volt „hideg” fúziós reakciókat használni. Ezeknél zárt (vagy közel zárt) héjakkal rendelkező céltárgymagokból indulnak ki (pl. a  $^{82}_{82}\text{Pb}_{126}$  vagy  $^{83}_{83}\text{Bi}_{126}$  atommagokból), mivel így a nehéz-

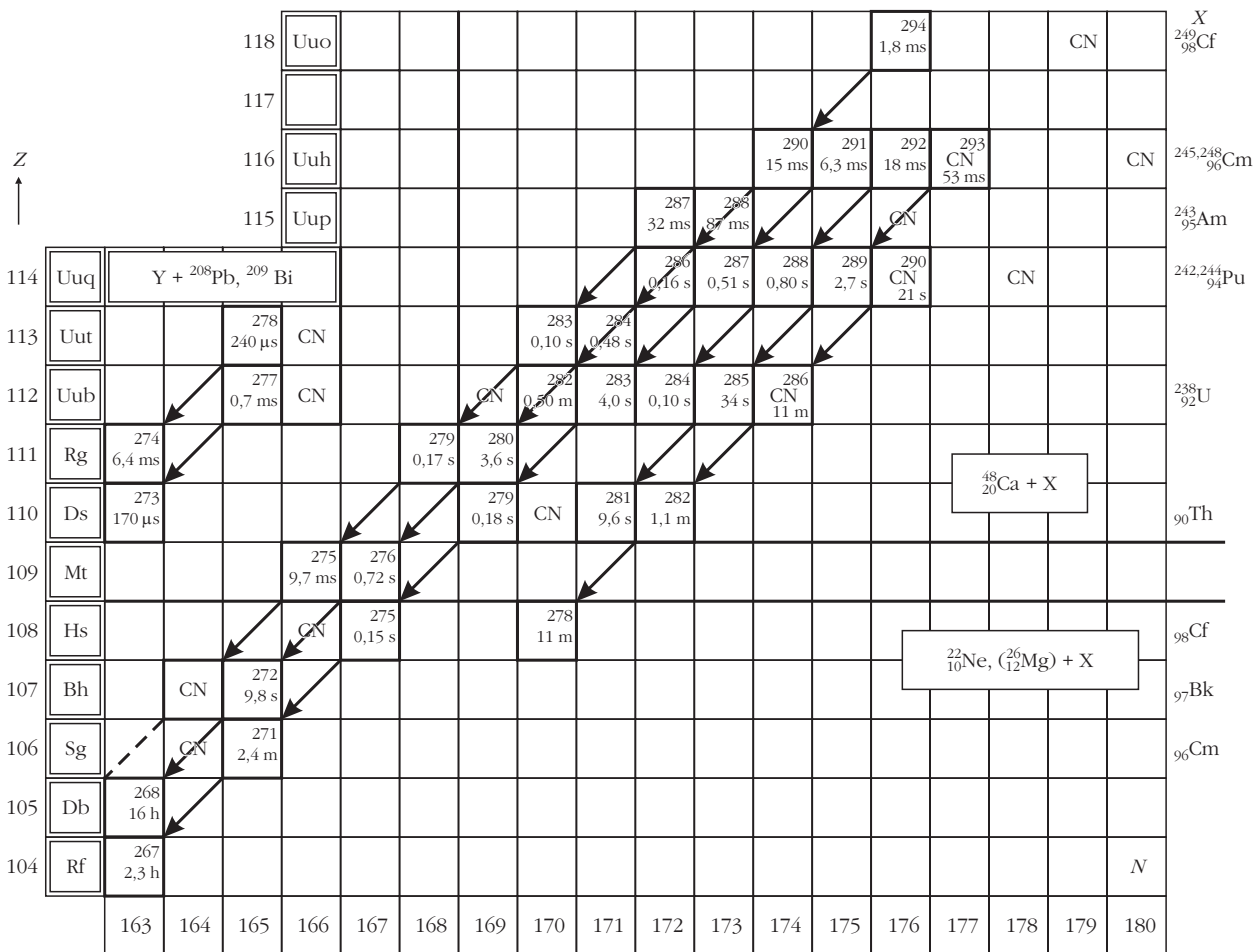
ion-reakciók viszonylag kis gerjesztési energiájú közbenső atommaghoz vezetnek. Neutron kibocsátása után a végtermék  $\alpha$ -emisszióval bomlik és az  $\alpha$ -bomláslánc lehetőséget ad a termék azonosítására. Így sikerült azonosítani hat új elemet a  $^{107}_{83}\text{Bh}$ -tól a 112-es rendszámúig (Uub, ununbium). Az elemek előállításához az 1.a ábrán látható berendezést használták a darmstadti GSI (Gesellschaft für Schwerionenforschung) laboratóriumában, Németországban. A bombázó nehézionnyaláb egy forgatható korongon lévő céltárgyra esik, ami a bombázó nyaláb időszerekezetével szinkronban forog. A fókuszáló lencsék után a nehézionnyaláb és a céltárgyból kiütött reakciótermékek egy elektromos és mágneses tereket tartalmazó sebességszűrőbe kerülnek. Mivel a termékek sebessége jóval kisebb, mint a bombázó részecskéké, a nyaláb elkülöníthető.

Az észlelőrendszer két repülési időt mérő detektorból, az alfa-részecskék energiáját mérő helyérzékeny Si-detektorokból, valamint  $\gamma$ -detektorokból áll. Az új elemeket rendszám és neutronszám szerint azonosítják, amelyek már ismert atommagokat is tartalmaznak.

A 1.b ábrán a  $^{277}_{112}\text{CN}$  új elem, illetve atommag azonosításához vezető két  $\alpha$ -bomláslánc látható. Minden eseményt egyedi bomlásként regisztráltak. A kísérlet rendkívüli nehézségét jelzi, hogy a  $^{70}_{30}\text{Zn} + ^{208}_{82}\text{Pb} \rightarrow ^{277}_{112}\text{CN} + 1n$  reakció hatáskeresztmetszete csak 1 pb (azaz  $10^{-36} \text{ cm}^2$ ) körül van; mintegy két esemény regisztrálható 24 óras besugárázás során.

A japán RIKEN programban  $^{70}_{30}\text{Zn} + ^{209}_{83}\text{Bi} \rightarrow ^{278}_{113}\text{Uut} + 1n$  hideg fúziós reakcióval sikerült a  $Z = 113$ -as, ununtrium (Uut) elem 278 tömegszámú izotópját is előállítani; az  $\alpha$ -bomláslánc ismert Bh és Db izotópokhoz vezetett.

A szupernehéz elemek előállításában áttörő sikert eredményezett a  $^{48}_{20}\text{Ca}_{28} + \text{aktinida}$  céltárgy forró fúziós reakció használata. A  $^{48}\text{Ca}$  erősen neutrontöbbletes és kétszeresen mágikus atommag, amivel a  $^{90}_{90}\text{Th}$  –  $^{98}_{98}\text{Cf}$  elemek hosszú felezési idejű izotópjait bombázva sikerült előállítani a  $Z = 114$  (Uuq, ununquadium),  $Z = 115$  (Uup, ununpentium),  $Z = 116$  (Uuh, ununhexium) és  $Z = 118$  (Uuo, ununoctium) elemek különböző izotópjait (2. ábra). Az előállítási hatáskeresztmetszete a 114, 116 rendszámú elemekre néhány pb nagyságrendben vannak; a 35–50 MeV-re gerjesztett közbenső atommagból 3–5 neutron lép ki.



2. ábra. Az ismert izotópok a  $Z > 103$ ,  $N > 162$  tartományban. Az izotópokat vastag keret jelöli a  $Z$  rendszám,  $N$  neutronszám síkban. Az  $Y + {}^{208}\text{Pb}$ ,  ${}^{209}\text{Bi}$  hideg, valamint a  ${}^{48}\text{Ca} + X$  és  ${}^{22}\text{Ne}$ ,  ${}^{26}\text{Mg} + X$  forró összeolvadási reakciók közbenső atommagjait CN betűk jelzik. A nyilak az  $\alpha$ -bomlás irányát mutatják. [4] alapján, kiegészítve az újabb adatokkal.

A párolgási reakció termékeit a dubnai gáztöltésű szeparátorral (vagy a sebességszűrő VASSILISSA berendezéssel) választották el egymástól és a nyalábtól. A munka Dubna, Egyesített Atommagkutató Intézet – Lawrence Livermore Nemzeti Laboratórium, illetve Dubna – GSI együttműködésben folyt a dubnai U-400 nehézion-gyorsítón. A  $Z = 114$ – $118$  elemek bomlás-láncai nem vezettek már ismert izotópokhoz, ezért azonosításukhoz további mérések voltak szükségesek: gerjesztési függvények felvétele keresztező reakciókból, kémiai azonosítások stb.

A dubnai gáztöltésű szeparátor vázlatrajza a 3.a ábrán látható. A céltárgyból kilépő részecskék (céltárgyszerűek és a fúziós-párolgási reakció termékei) átlagtöltésre tesznek szert a fékező  $\text{H}_2$  gázban. A dipólmágnes eltéríti mind a bombázó részecskéket, mind a reakciótermékeket a

$$\langle Br \rangle = \frac{mv}{\langle q \rangle}$$

képlet szerint, ahol  $\langle Br \rangle$  az átlagos mágneses merevség,  $m$  a részecske tömege,  $v$  a sebessége,  $\langle q \rangle$  az ion átlagos töltése. A  $\langle Br \rangle$  értékek  $\text{H}_2$  gázban különbözők lesznek a bombázó részecskékre, a céltárgyszerű és fúziós párolgási termékekre. Így  $>10^{16}$  rendű háttér-

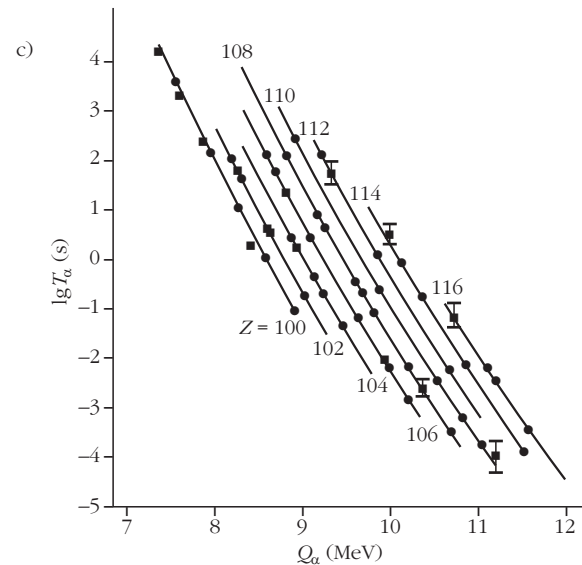
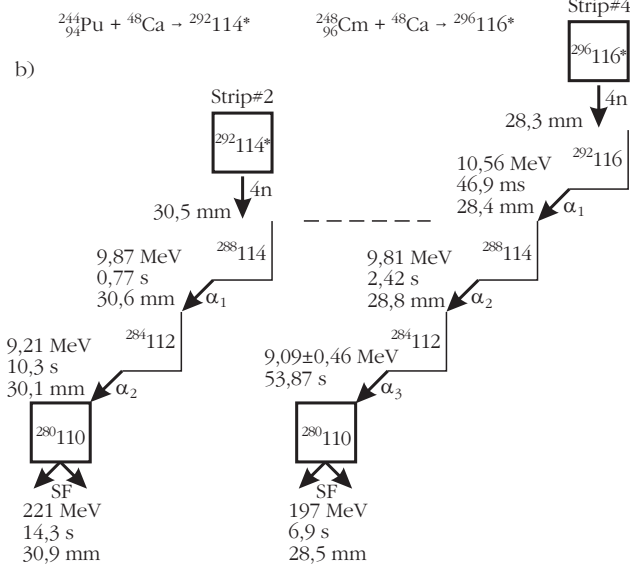
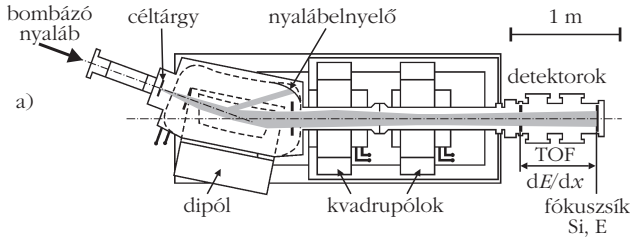
lenyomás érhető el a bombázó nyalábra és  $>10^5$  rendű a nem teljes fúzió reakciótermékeire. Repülési idő mérésével meghatározták a részecskék sebességét, a  $v$ -t. A  $\langle q \rangle$  átlagtöltés az ion rendszámával ( $Z$ ) a következő összefüggésben van:

$$\langle q \rangle \approx v Z^\alpha,$$

ahol  $\alpha$  kísérletileg meghatározható. (Ez az összefüggés a  $\langle q \rangle / Z < 0,3$  tartományban érvényes, de más tartományokban is van ismert összefüggés a  $\langle q \rangle$  és  $Z$  között.) A  $dE/dx$  mérés a rendszám meghatározásához szükséges. Mérik a céltárgyból kilökött reakciótermék teljes energiáját is. Így végső fokon meghatározható a reakciótermék rendszáma és tömege. A rendszer gyűjtési határfoka a reakciótermékekre nagy (elérheti a 30–60%-ot), viszonylag egyszerű, hátránya a viszonylag alacsony tömegszelektivitás.

A 3.b ábrán a  ${}^{244}\text{Pu} + {}^{48}\text{Ca} \rightarrow {}^{288}114 + 4n$ , illetve  ${}^{248}\text{Cm} + {}^{48}\text{Ca} \rightarrow {}^{292}116 + 4n$  reakciók jellemző bomlás-láncai láthatók. A szaggatott vonallal jelzett egyenes alatti bomláslánc látható akkor, ha a bombázó nyalábot lekapcsolták.

A páros-páros magok megengedett átmeneteinél a  $Q_\alpha$  bomlásenergia és a  $T_\alpha$  felezési idő között a Geiger-Nuttall-relációnak megfelelő összefüggés áll fenn. Ez



3. ábra. a) A dubnai gáztöltésű szeparátor vázlatrajza. b) A  $^{288}114$  és  $^{292}116$  szupernehéz izotópok észlelt  $\alpha$ -bomlásláncai. Az  $\alpha$ -bomlást jelző nyilak mellett az  $\alpha$ -részecske energiái, élettartamok (amelyek statisztikus ingadozást követnek), valamint a sávdetektor helye (mm-ben) vannak feltüntetve. c) A számolt (görbék) és kísérletileg mért (pontok hibákkal)  $\alpha$ -bomlási energia ( $Q_\alpha$ ) –  $\lg T_{1/2}$  összefüggések páros-páros izotópokra, a  $Z \geq 100$  tartományban. A négyzetekkel jelölt adatokat  $^{48}\text{Ca} + ^{244}\text{Pu}$ , illetve  $^{48}\text{Ca} + ^{248}\text{Cm}$  reakciókból nyerték. [5] alapján.

szigorúan teljesül mind a 60 atommagnál, amelyekre adatok vannak a  $^{208}\text{Pb}$  fölött. A 3.c ábra szerint a kísérleti adatok jól illeszkednek a számított értékekhez.

A dubnai mérések igazolták a  $Z = 114$  és  $N = 184$  körül elméletileg várt stabilitási „sziget” létét. Az új,  $Z = 112, 113, 114, 115, 116$  izotópok felezési ideje általában

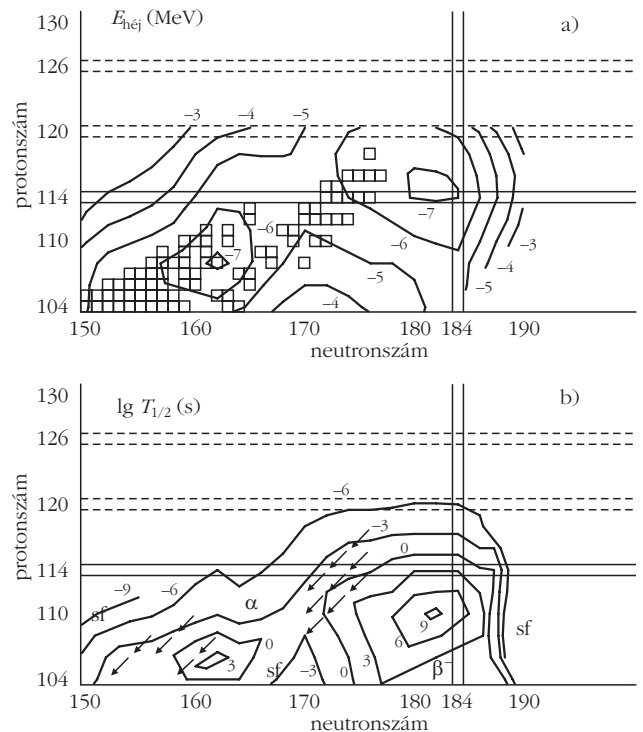
nő a neutronszám növekedésével, és az előállítási hatétkeresztmetszetek  $Z = 110$  felett egészen  $Z = 118$ -ig meglehetősen állandó, pb szinten vannak a  $^{48}\text{Ca}$  + aktinida céltergyszek összeolvadási és  $3n, 4n, 5n$  párolgási csatornáira. A 4.a ábra mutatja a számított héjkorrekciós energiákat a  $Z > 103$  elemekre, míg a 4.b ábrán az uralkodó bomlásmódra számított átlagos felezési idők láthatók, páros-páros atommagokra. (A Sztrutyinszkij-féle héjkorrekciós módszer szerint az atommag teljes energiája a héjenergia ( $E_{\text{héj}}$ ), a folyadékcsepp- és kinetikus energiák összegeként számítható, lásd [1]-ben.)

A forró fúziós reakciók egy másik csoportjában  $^{22}\text{Ne}$  és  $^{26}\text{Mg}$  ionokkal  $^{96}\text{Cm}, ^{97}\text{Bk}, ^{98}\text{Cf}$  céltergyszeket bombázva erősen neutrontöbbletes Sg, Bh, Hs izotópokat sikerült előállítani. A felezési idők elég nagyok ahhoz, hogy a kémiai sajátágaikat is vizsgálni lehessen.

## A szupernehéz atommagok szerkezetének és bomlásának vizsgálata

Az előzőekben bemutatott  $\alpha$ -sugárzási vizsgálatok viszonylag kevés információt szolgáltatnak a szupernehéz atommagok szerkezetére. Az  $\alpha$ -bomlás hasonló egyrészesecskes szerkezetű nívók között történik, szelektíven.

4. ábra. a) Számított  $E_{\text{héj}}$  héjkorrekciós energia a  $Z$  rendszám,  $N$  neutronszám síkban. A négyzetek az ismert vagy vizsgálat alatt álló atommagokat mutatják. A makroszkopikus-mikroszkopikus modell alapján számolt értékek két minimumot mutatnak: a deformált magokra  $Z = 108, N = 162$ -nél, a gömbszerű magokra  $Z = 114, N = 184$ -nél. [6] alapján. Az önkonzisztens Hartree-Fock-Bogoljubov-számítások, valamint a relativisztikus átlagtérmodellek gömbszerű magokra héjakat jeleznek  $Z = 114, 120$  és  $126$ -nál (szaggatott vonallal jelölve) és  $N = 184$  vagy  $172$ -nél. b) Uralkodó  $\alpha$ - és  $\beta$ -bomlásra, valamint spontán hasadásra (sf) vonatkozó átlagos felezési idők ( $T_{1/2}$ ) páros-páros atommagokra. A bomlásláncok a jelenleg ismert vagy vizsgálat alatt álló atommagokat mutatják. [4] alapján.



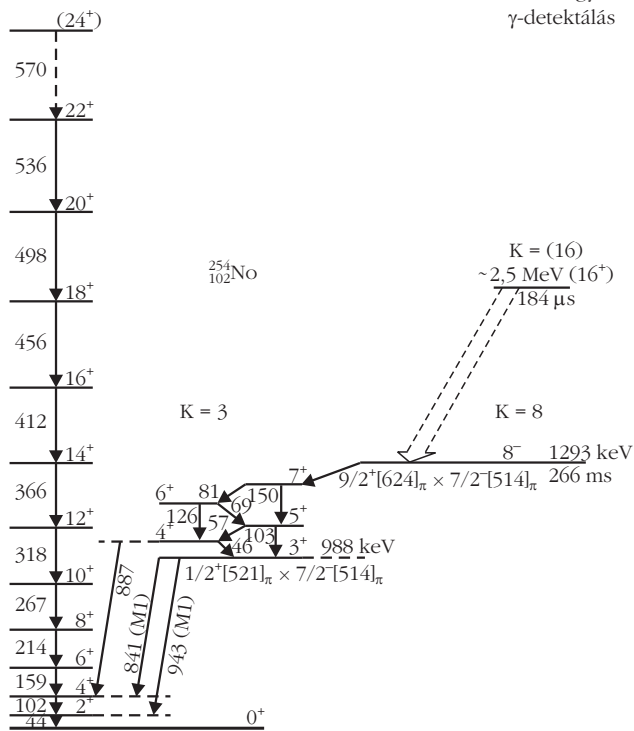
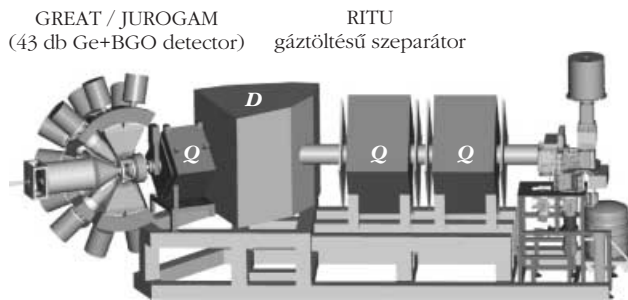
Sokkal hatékonyabb módszer a szupernehéz atommagok szerkezetének vizsgálatára az „in-beam”, azaz a nyalámban végzett  $\gamma$ -spektroszkópia. A mérés elve az, hogy a vizsgálni kívánt reakcióterméket elválasztják a bombázó nyalábtól, valamint a többi nem kívánt hasadási és egyéb reakcióterméktől, majd a szeparátor fókuszsíkjában azonosítják. A prompt  $\gamma$ -sugárzást a céltárgy mellett mérik, de csak a vizsgált atommag fókusz-síkba érkezésével korreláltan, kihasználva a jellemző repülési időt. A módszert sikeresen alkalmazták már olyan esetekben is, amikor a vizsgálni kívánt atommagra a hatáskeresztmetszet mindössze  $\geq 20$  nb volt.

Egy másik, hatékony magszerkezet vizsgálati módszer a szeparátor fókuszsíkjában való mérés az  $\alpha$ -bombást követően. Ennél a prompt sugárzást nem detektálják, így a háttérterhelés jóval kisebb. A mérések néhány pb előállítási hatáskeresztmetszetek esetén is sikerrel elvégezhetőek, intenzív bombázó nyalábok mellett. A reakcióterméket Si sávdetektorba implantálják, ami nagy hatásfokú detektálást biztosít az  $\alpha$ -,  $p$ -, konverziós elektron- és röntgensugárzásokra. A berendezés kiegészítő fejlett  $\gamma$ -spektroszkópiai mérőberendezésekkel is.

Mind a bombázó nyalámban, mind a tömegszeparátor fókuszsíkjában való mérést lehetővé teszi a Jyväskyläben létrehozott mérőrendszer, amelynek vázlatos rajza az 5. ábrán látható.

A jyväskylai ciklotronból kihozott nehézionnyalábot a vizsgálatához felhasználandó céltárgyra vezetik és a fellépő  $\gamma$ -sugárzást a besugárzás alatt Ge-detektorokkal regisztrálják. A céltárgyból kirepülő részecskéket a RITU gáztöltéses tömegszeparátorban elválasztják a bombázó nyalábtól és a nem kívánt reakciótermékektől, majd a fókuszsíkban azonosítják. (Az azonosítás elvét az előzőekben ismertettük a dubnai gáztöltéses szeparátor kapcsán, 3.a ábra.) A fókuszsíkba helyezett GREAT ( $\gamma$  recoil electron  $\alpha$  tagging) spektrométer mozaikszerűen elhelyezett, nagyszámú kétoldalas Si sávdetektort tartalmaz, ezekbe implantálják a reakciótermékeket. A sávdetektorokat Si diódák veszik körül, amelyek a megszökö  $\alpha$ -részecskék és konverziós elektronok vizsgálatára szolgálnak. Közvetlen közelükben szegmentált planár Ge-detektorok biztosítják a röntgen- és lágy  $\gamma$ -sugárzás, valamint a nagyenergiájú  $\beta$ -részecskék detektálását. Végül a kamrán kívül nagy térfogatú szegmentált löhere alakú Ge detektorral vagy a JUROGAM spektrométerrel vizsgálják a kemény  $\gamma$ -sugárzást. A rendszer lényeges eleme, hogy minden adatot, minden detektorról csak 10 ns-os időszűrővel vesznek fel. Adatfeldolgozást csak a logikai időjellel szűrt analóg (energia) jelekre végeznek.

A rendszer segítségével sikerült részleteiben felépíteni a  $^{254}\text{No}_{152}$  nívórendszerét, amit a 5.b ábra mutat be. A rotációs sáv jelenléte nagy deformációt ( $\beta \sim 0,3$ ) jelez. A  $\gamma$ -sugárzás intenzitásarányaiból sikerült egyértelműen meghatározni a  $3^+$  állapot két-kvázirészecskés konfigurációját, amit a Nilsson-sémában bevett módon jelöltek [1]. A nívók konfigurációjának meghatározása fontos, mivel például a  $2f_{5/2}$  és  $2f_{7/2}$  nívópartnerek információt adnak a spin-pálya kölcsönhatásra. Ez szabja meg a  $Z = 114$ -nél várható nívórés nagysá-



5. ábra. Fölül: RITU (recoil ion transport unit) gáztöltéses szeparátor a JYFL (Jyväskylä, Finnország) laboratóriumban. A céltárgyat az in-beam méréseknél használt Ge  $\gamma$ -detektorok figyelik. A reakciótermékeket QQDQ (Q kvadrupól, D dipól) mágnesrendszerrel juttatják el a szeparátor fókuszsíkjába. A fókuszsíkban a GREAT és JUROGAM fejlett  $\gamma$ -spektrométerekkel sokoldalú magszerkezeti vizsgálatok végezhetőek. [7] alapján. Alul: a fenti berendezésekkel meghatározott  $^{254}\text{No}$  nívóséma. [8] alapján.

gát, és így elősegíti a szupernehéz elemek várható héjszerkezetének előrejelzését. Ilyen jellegű vizsgálatok igen hasznos információt szolgáltatnak az egyrészecskés és kollektív állapotokra, a rotációs állapotok hasadással szembeni ellenálló képességére stb. Lásd a [9] összefoglaló közleményt.

## A kutatások fejlődési irányai

A bombázó nyalábok intenzitásának növelésével lehetőség nyílik *Coulomb-gerjesztés vizsgálatára* is. Ez megvalósítható például úgy, hogy a vizsgálni kívánt reakcióterméket egy nagy rendszámú fólián át ejtik be az implantáló detektorba és figyelik a fellépő  $\gamma$ -sugárzás spektrumát.

Stabil ionokra a jelenleg elérhető nyalábinszint  $\sim 1$  részecske  $\mu\text{A}$ . Nagy intenzitású (néhányszor tíz  $\mu\text{A}$ -

es) stabil részecskenyalábok alkalmazásával a jövőben lehetőség nyílik a *gerjesztési függvények és mag szerkezet részletes vizsgálatára*, új izotópok felfedezésére. Lendületet adhat a vizsgálatoknak radioaktív bombázó nyalábok alkalmazása is. Ezek intenzitása ugyan kisebb, mint a stabil nyaláboké, de lehetővé teszi az  $N = 184$  neutronhéj megközelítését a  $Z \sim 116$ -nál könnyebb elemeknél is.

A stabilitási sziget közelében a felezési idők viszonylag nagyok (a számítások szerint  $\mu\text{s}$ -tól évekig terjedhet), ami lehetőséget ad a *legkülönbözőbb kísérleti módszerek* alkalmazására. Elkezdődhetnek a *precíziós tömegmérések ioncsapdákból, magnyomaték-mérések* (pl. hasadó izomereknél), folytathatók a kémiai és atomfizikai kutatások. Kívánatos lenne, hogy a  $^{108}\text{Hs}$  feletti elemeket is el lehessen helyezni a periódusos rendszerben kémiai tulajdonságaik alapján.

## Összefoglalás

A  $^{48}\text{Ca}$  + aktinida fúziós – párolgási reakció segítségével már a  $Z = 114, 115, 116$  és  $118$  rendszámú elemek izotópjait is sikerült szintetizálni. A  $Z = 114$  rend-

szám és  $N = 184$  neutronszám körül fellépő (al)héjlezáródások megnövelik a szupernehéz atommagok stabilitását.

A bombázó nehézionnyalábok intenzitásának növelésével remény van arra, hogy a szupernehéz atommagoknál is lehessen precíziós tömeg-, magnyomaték- és magspektroszkópiai méréseket végezni.

A stabilitási sziget közelében az izotópok nagy felezési ideje már atomfizikai és kémiai vizsgálatokat is lehetővé tesz.

## Irodalom

1. Fényes T. (szerk.): *Atommagfizika*. Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen, 2005.
2. Münzenberg G. és mts., *Nucl. Instr. Meth.* 161 (1979) 65. Hofmann S., *GSI Preprint – 98–16* (1998)
3. Hofmann S. és mts., *Z. Phys. A* 354 (1996) 229.
4. Hofmann S., Münzenberg G., Schädel M., *Nucl. Phys. News* 14 (2004) No. 4, 5.
5. Oganessian Yu. Ts. és mts., *CERN Cour.* (2001) October, 25.
6. Cwiok S., Nazarewicz W., Heenen P. H., *Phys. Rev. Lett.* 83 (1999) 1108. Smolanczuk R., *Phys. Rev. Lett.* 83 (1999) 4705.
7. Julin R., Dendooven P., *Nucl. Phys. News* 10 (2000) No. 3, 4.
8. Herzberg R.-D. és mts., *Nature* (2006) 896.
9. Leino M., Hessberger F. P., *Annu. Rev. Nucl. Part. Sci.* 54 (2004) 175.

# AZ ELTÚNT SZIMMETRIA NYOMÁBAN

– a 2008. évi fizikai Nobel-díj

Trócsányi Zoltán  
Debreceni Egyetem és MTA ATOMKI

*Vegyítsed ennyvel, vagy kőporban főzd,  
Bocsásd rá sáskák falánk badát,  
Fő elv lebegjen szemed előtt  
Ne bontsd meg a szimmetriát!*

Lewis Carroll

## Szimmetria a szépség alapja

A Lewis Carrolltól származó idézet mutatja, hogy életünkben lényeges szerepet játszanak a szimmetriák. Klasszikus építészeti példaként szimmetrikus épületeket kedveltek tervezni. Nem véletlenül: a szimmetrikus alakzatokat szépnek látjuk. Például a szépségkirálynők arca szinte tökéletes jobb-bal (tükrözés-) szimmetriát mutat, az aszimmetrikus arcokat pedig nem találjuk szépnek (*1. ábra*). A szimmetrikus alakot tökéletesebbnek gondoljuk, leírásuk egyszerűbb, könnyebben megjegyezhető, mint a kevésbé szimmetrikusé. Például a gömb nagyfokú térbeli szimmetriával rendelkezik, meghatározásához egyetlen adat, a sugara elegendő.

1. ábra. Az aszimmetrikus arcból (középen) képzett szimmetrikus arcok (balra és jobbra) harmonikusabb, szebb benyomást keltenek, mint az eredeti.



## Szimmetria a fizikában

A fizika fejlődése szempontjából lényeges felismerés volt, hogy sok jelenség szimmetrikus valamilyen értelemben, ami erősen megszorítja a jelenséget leíró elmélet alakját. Például, ha filmre vesszük két golyó rugalmas ütközését, majd visszafelé lejátszunk, akkor semmi különöset nem veszünk észre, ami azt jelenti, hogy a ru-