

Köszönjük H.H. Coenennek e munka támogatását, valamint a jülichi kompakt ciklotron és a geeli Van de Graaff gyorsító munkatársainak a besugárzások elvégzését.

Irodalom

1. S.M. QAIM: *Recent developments in the study of isomeric cross sections* – Proceedings of the International Conference on Nuclear Data for Science and Technology (szerk. J.K. Dickens), American Nuclear Society Inc., LaGrange Park, 1994, p. 186
2. S.M. QAIM, A. MUSHTAQ, M. UHL: *Isomeric cross-section ratio for the formation of $^{73m,g}\text{Se}$ in various nuclear reactions* – Phys. Rev. C38 (1988) 645
3. S. SUDÁR, S.M. QAIM: *Isomeric cross-section ratio for the formation of $^{58m,g}\text{Co}$ in neutron, proton, deuteron and α -particle induced reactions in the energy region up to 25 MeV* – Phys. Rev. C53 (1996) 2885
4. B. STROHMAIER, M. FASSBENDER, S.M. QAIM: *Production cross sections of ground and isomeric states in the reaction system $^{93}\text{Nb}+\alpha$, $^{92}\text{Mo}+\alpha$ and $^{94,95}\text{Mo}+p$* – Phys. Rev. C56 (1997) 2654
5. I.-G. BIRN, B. STROHMAIER, H. FREIESLEBEN, S.M. QAIM: *Isomeric cross-section ratios for the formation of $^{75m,g}\text{Ge}$ in (n,p) , (n,α) and $(n,2n)$ reactions from 6 to 15 MeV* – Phys. Rev. C52 (1995) 2546
6. C.D. NESARAJA, S. SUDÁR, S.M. QAIM: *Cross sections for the formation of $^{60m,g}\text{Zn}$ and $^{71m,g}\text{Zn}$ in neutron induced reactions near their threshold: Effect of reaction channel on the isomeric cross section ratio* – Phys. Rev. C68 (2003) 024603
7. A. FESSLER, Z.B. ALFASSI, S.M. QAIM: *Excitation functions of ^3He -particle induced nuclear reactions on natural chromium: possibilities of production of ^{52}Fe , ^{53}Fe and ^{52}Mn for medical use* – Radiochim. Acta 65 (1994) 207
8. A.T.J. KLEIN, F. RÖSCH, S.M. QAIM: *Investigation of $^{50}\text{Cr}(d,n)^{51}\text{Mn}$ and $^{nat}\text{Cr}(p,x)^{51}\text{Mn}$ processes with respect to the production of the positron emitter ^{51}Mn* – Radiochim. Acta 88 (2000) 253
9. M.R. ZAMAN, S. SPELLERBERG, S.M. QAIM: *Production of ^{55}Co via the $^{54}\text{Fe}(d,n)$ -process and excitation functions of $^{54}\text{Fe}(d,t)^{53}\text{Fe}$ and $^{54}\text{Fe}(d,\alpha)^{52m}\text{Mn}$ reactions from threshold up to 13.8 MeV* – Radiochim. Acta 91 (2003) 105
10. A. FESSLER: *Activation cross sections and isomeric cross section ratios in neutron induced reactions on Cr-, Fe-, and Ni-isotopes in the energy range 9 to 21 MeV* – Jül-Report 3502, Forschungszentrum Jülich, 1998.
11. S.M. QAIM, G. STÖCKLIN: *A systematic investigation of (n,t) reactions at 14–15 MeV on medium and heavy mass nuclei* – J. Inorg. Nucl. Chem. 35 (1973) 19
12. S.M. QAIM, R. WÖLFLE: *Triton emission in the interactions of fast neutrons with nuclei* – Nucl. Phys. A295 (1978) 150
13. M. HERMAN, R. CAPOTE, B. CARLSON, P. OBLOZINSKY, M. SIN, A. TRKOV, V. ZERKIN: *EMPIRE-II, Nuclear Reaction Model Code, Version 2.19 (Lodi)* – International Atomic Energy Agency, Vienna, 2005. <http://www-nds.iaea.org/empire/index.html>
14. O. BERSILLON: *Un programme de modele optique spherique* – CEA-N-2277, Centre d'Etudes de Bruyères-le Châtel, 1981.
15. J. RAYNAL: *Notes on ECIS* – CEA-N-2772, Commissariat à l'Energie Atomique, 1994.
16. A.J. KONING, J.P. DELAROCHE: *Local and global nucleon optical models from 1 keV to 200 MeV* – Nuclear Physics A713 (2003) 231
17. L. MCFADDEN, G.R. SATCHLER: *Optical model analysis of the scattering of 24.7 MeV alpha particles* – Nucl. Phys. 84 (1966) 177
18. E. BÉTÁK, P. OBLOZINSKÝ – INDCC(SLK)001, IAEA, Vienna, 1993.

NEUTRONAKTIVÁCIÓS ANALÍZIS 5 Ci (185 GBq) Am–Be NEUTRONFORRÁSSAL

Sunday A. Jonah
Energetikai Kutató és Oktató Központ (CERT),
Ahmadu Bello Egyetem, Zaira, Nigéria

CERT-ben (Zaria, Nigéria) egy 185 GBq aktivitású, Am–Be neutronforrást telepítettek. A forrást paraffinmoderátorral vették körül, hogy termikus neutronaktivációs analízis (TNAA) céljaira használható legyen [1]. A neutronforrást mangánkoncentrációjának neutronaktivációs analízissel történő meghatározására használták mangán-érceben, valamint alumíniumkoncentrációjának meghatározására bauxitban [2, 3]. A berendezés besugárzó csatornájában lévő viszonylag magas gyorsneutronhányad miatt külön módszert kellett kidolgoznunk az Al/Si tömegarány alumino-szilikátokban történő meghatározására [4]. Annak érdekében, hogy a gyorsneutronos aktivációs analízishez viszonylag kis aktivitású izotópos neutronforrást lehessen használni, szükséges a gyorsneutronfluxus ismerete a szabad, árnyékolatlan forrás közelében [5]. Ez igazolja, hogy meg kellett határozniuk berendezésünk jellemzőit az Al, Fe és Si ásványokból, valamint koncentrátumokból gyorsneutronaktivációs analízissel történő kimutatásához. Ezek az elemek a könnyű és közepes atommagok azon csoportjához tartoznak, ahol az (n,p) reakciók mennek végbe a

legkönnyebben – összehasonlítva az (n,α) és $(n,2n)$ reakciókkal – az Am–Be forrásból származó gyorsneutronos NAA esetén, mivel ennek a reakciónak viszonylag kicsi az energiaküszöbe. A gyorsneutronos NAA módszer fő előnye, hogy nem érzékeny a szóródott neutronokra, így folyamatos aktivációs analízisre és folyamat-szabályozásra is alkalmas a bányaiiparban.

Ezért ebben a munkában a CERT moderálatlan forrásával történő gyorsneutronos NAA módszer analitikai lehetőségeit vizsgáltuk. Az abszolút neutronfluxust aktivációs technikával, az $^{115}\text{In}(n,n')^{115m}\text{In}$ reakció segítségével határoztuk meg. Ezt követően az Al, Fe, és Si kimutatási határát számítottuk ki moderálatlan forrással, szórásmentes környezetben.

Eszközök és módszerek

A CERT eredeti kísérleti elrendezése paraffinba ágyazott 185 GBq aktivitású, 3,0 cm átmérőjű, 4,8 cm hosszúságú, henger alakú Am–Be neutronforrásból áll. A forrásérség $1,29 \cdot 10^7$ n/s lehetővé tette a kísérleti elrendezés olyan módosítását, hogy gyorsneutron-besugárzást lehessen végrehajtani a paraffinmoderátor nélkül, szórásmen-

Csikai Gyulának ajánlva 75. születésnapja alkalmából 2005-ben, amely egyben a Fizika Éve is. Fordította Sükösd Csaba.

1. táblázat

Magreakciók és nukleáris adatok a fluxusmonitorokra, valamint a kísérletben használt mintákra

Magreakció	Izotóparány (%)	Felezési idő	γ -energia (keV)	γ -elágazási arány (%)
$^{115}\text{In}(n,\gamma)^{116m}\text{In}$	95,7	4,49 h	336,2	45,0
$^{115}\text{In}(n,n')^{115m}\text{In}$	95,7	54,12 m	416,9 1093,5 1293,5	29,2 56,2 84,4
$^{23}\text{Na}(n,p)^{23}\text{Ne}$	100,0	37,60 s	440,0	33,0
$^{27}\text{Al}(n,p)^{27}\text{Mg}$	100,0	9,46 m	843,7 1014,4	72,0 28,0
$^{28}\text{Si}(n,p)^{28}\text{Al}$	92,2	2,23 m	1779,0	100,0
$^{56}\text{Fe}(n,p)^{56}\text{Mn}$	91,8	2,58 h	846,7	98,9

2. táblázat

Gyorsneutron-aktivációs analízissel való kimutathatósági határok

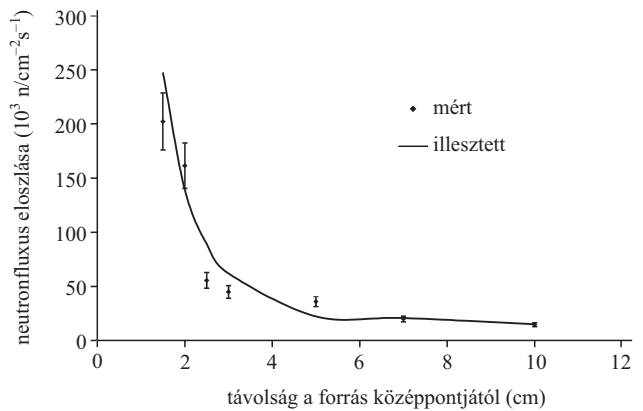
Céltárgyizotóp	Hatáskeresztmetszet* (mb)	Kimutathatósági határ (mg)
^{27}Al	37±5	2,0
^{28}Si	64±13	8,0
^{56}Fe	13±4	13,0

* Mért hatáskeresztmetszet-értékek [4] alapján

tes környezetben, sugárvédő betontömbök mögött. Ebben az elrendezésben a forrás neutronkibocsátásának radiális anizotrópiáját hat indium monitorfólia fajlagos aktivitásának mérésével határoztuk meg, amelyeket szoroson a forrás görbült felületére tekintünk. Hasonlóképpen, a gyorsneutronfluxusnak a forrás középpontjától való távolságfüggését 1 mm vastag, 15 mm × 10 mm méretű indiumfóliákkal határoztuk meg, amelyeket különböző távolságokra helyeztünk. Minden méréshez fluxusmonitorként nagy tisztaságú, a Goodfellow Metals cégtől beszerzett fémfóliákat használtunk.

A keletkezett radionuklidok aktivitását számítógépes sokcsatornás analízatorhoz csatlakoztatott 7,6 cm × 7,6 cm NaI(Tl) detektorral mértük meg. A teljesenergiacsúcs hatásfokgörbét 120–1860 keV energiatartományban sugárzó standard gamma-források segítségével határoztuk meg, több különböző forrás–detektor geomet-

2. ábra. A 35 000 diákot képző, Nigéria legnagyobb Egyeteme, a zariai Ahmadu Bello bejárata és kampusza



1. ábra. Gyors neutronok eloszlása a 185 GBq aktivitású Am–Be forrás közelében

riára. A fluxusmonitorok helyén lévő neutronfluxust az $^{115}\text{In}(n,n')^{115m}\text{In}$ reakció alapján számítottuk ki. A számításokhoz az Am–Be forrás neutronspektrumára átlagolt 307,2±2,2 mb hatáskeresztmetszetet használtuk, a szakirodalom ajánlása szerint [6]. Az 1. táblázatban látható minták és fluxusmonitorok bomlási adatait az Izotóptáblázatból [7] vettük.

Eredmények és diszkusszió

A hengerfelületre tekert fluxusmonitorok aktivitáseloszlása azt mutatja, hogy a forrás izotróp módon bocsátja ki a neutronokat. A különböző besugárzási helyeken korábban tapasztalt termikus fluxus egyenlenségei [2] a paraffinmoderátor hibáinak tulajdoníthatók. Az 1. ábrán a gyorsneutronok fluxusának a forrástól mért távolság függvényében való változását ábrázoltuk. Mint látható, 5 cm távolságtól már a gyorsneutronfluxus jól közelíthető az inverz távolságnégyzetes törvénnyel. A közelebbi tartományban az eltérést a forrás aktív tartományának kiterjedtsége (nem pontszerű volta) okozza.

A mért neutronfluxusok, valamint a spektrumra átlagolt hatáskeresztmetszetek [4] alapján az Al-, Si- és Fe-ra kiszámított kimutathatósági határokat a 2. táblázat tartalmazza. Ezekhez feltételeztük, hogy a minta a forrással azonos geometriájú hengeres tartóban van, $(1,14 \pm 0,07) \cdot 10^5 \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ értékű, térfogatra átlagolt gyorsneutronfluxusban. Ez a kísérleti elrendezés olyan ásványok és ércek analízisére alkalmas, amelyekben a fent említett elemek a fő komponensek.

Irodalom

1. A. ONOJAH – Unpublished Ph.D. Thesis, A.B.U., Zaria, 1995
2. A. ONOJAH, I.M. UMAR, I.I. FUNTUA, S.B. ELEGBA, H.A. DAS – J. Radioanal. Nucl. Chem. Lett. 201 (1995) 25
3. Y. IDRIS, I.I. FUNTUA, I.M. UMAR, S.B. ELEGBA – Appl. Radiat. Isot. 49 (1998) 41
4. S.A. JONAH, M.O.A. OLADIPO, I.M. UMAR, N. RABIU, Y.U. IDRIS, I.Y. ZAKARI – J. Radioanal. Nucl. Chem. 262/2 (2004) 501–504
5. J. HOSTE: *Isotopic neutron sources for neutron activation analysis – User's Manual*, IAEA-TECDOC-456, IAEA, Vienna, 1988.
6. C. DUNJUI: *Evaluation of the $^{115}\text{In}(n,n')^{115m}\text{In}$ reaction cross section* – Report INDC (CRP)-024, IAEA, Vienna, 1991.
7. *Table of Isotopes* – szerk.: C.M. Lederer, V.S. Virginia – 7. kiadás, John Wiley, New York, 1987.