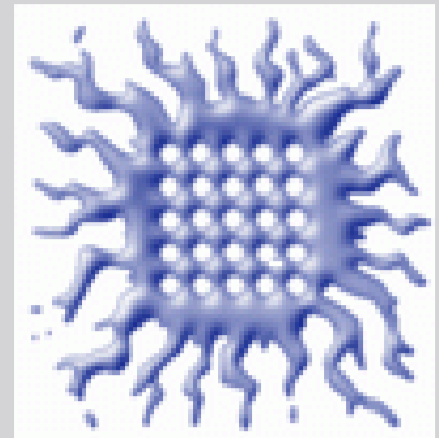


ODREĐIVANJE KOREKCIONIH FAKTORA ZA KOINCIDENTNO SUMIRANJE U SLUČAJU TAČKASTOG IZVORA ⁸⁸Y



Aleksandar Jevremović¹, Aleksandar Kandić¹, Mirjana Đurašević¹, Ivana Vukanac¹, Bojan Šešlak¹, Zoran Milošević¹ i Jovan Puzović².

¹ Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Laboratorija za nuklearnu i plazma fiziku, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija.

² Univerzitet u Beogradu, Fizički fakultet, Beograd, Srbija.

Email: ajevremovic@vinca.rs

UVOD

Efekat koincidentnog sumiranja se dešava kada se pri raspadu radionuklida, kaskadno emituje dva ili više gama fotona u vremenskom intervalu koji je znatno manji od vremena razlaganja detektorskog sistema/spektrometra. Tada postoji verovatnoća da će ovi fotoni biti detektovani kao jedan događaj, čija će energija odgovarati sumi njihovih pojedinačnih energija. Efekat koincidentnog sumiranja gama fotona na ovaj način dovodi do gubitka odbroja ispod fotopikova, što ima za posledicu povećanje odbroja ispod sumacionog fotopika. Određivanje korekcija za efekat koincidentnih sumacija u gama spektrometriji je bio tema mnogih značajnih publikacija [1, 2, 3, 4], s tim što je u protekle dve decenije rešavanje ovog problema dobilo novu dimenziju uvođenjem Monte-Karlo metoda [5, 6]. Za potrebe ovog istraživanja na poluprovodničkom HPGe spektrometru meren je tačkasti izvor ⁸⁸Y aksijalno postavljen na 9 različitih rastojanja u odnosu na detektor. Na osnovu ovih merenja dobijene su eksperimentalne vrednosti koje su korišćene za izračunavanje korekcionih faktora. U ovom radu je prikazano poređenje vrednosti korekcionih faktora izračunatih Monte-Karlo simulacijom pomoću softverskog paketa GESPECOR v4.2. (Germanium Spectrometry Correction Factors) i eksperimentalno dobijenih vrednosti.

ODREĐIVANJE KOREKCIONIH FAKTORA U SLUČAJU ⁸⁸Y

Radionuklid ⁸⁸Y ima relativno jednostavnu šemu raspada. ⁸⁸Y se raspada u pobuđena stanja ⁸⁸Sr na dva načina: elektronskim zahvatom i pozitronskim raspadom, koji se može zanemariti. Pri raspadu se emituju tri gama fotona energija $E_1=898,047$ keV (93,7 %), $E_2=1836,09$ keV (99,346 %) i $E_3=2734,137$ keV (0,608 %) [7]. Radi potrebe izračunavanja korekcionih faktora formiran je sledeći sistem jednačina:

$$N_1 = A \cdot p_1 \cdot \varepsilon_1 \cdot (1 - p_2 \cdot \varepsilon_{12}), \quad (1)$$

$$N_2 = A \cdot p_2 \cdot \varepsilon_2 \cdot (1 - p_1 \cdot \varepsilon_{11}), \quad (2)$$

$$N_3 = A \cdot (p_3 \cdot \varepsilon_3 + p_1 \cdot \varepsilon_1 \cdot p_2 \cdot \varepsilon_2), \quad (3)$$

$$T = A \cdot (p_1 \cdot \varepsilon_{11} + p_2 \cdot \varepsilon_{12} - 2 \cdot p_1 \cdot \varepsilon_{11} \cdot p_2 \cdot \varepsilon_{12}), \quad (4)$$

gde su:

N_1, N_2 i N_3 – neto odbroji ispod fotopikova koji odgovaraju energijama E_1, E_2 i E_3 ,

T – totalni odbroj celog spektra,

A – aktivnost izvora,

p_1, p_2 i p_3 – prinosi fotopikova koji odgovaraju energijama E_1, E_2 i E_3 ,

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ i ε_3 – efikasnosti fotopikova koje odgovaraju energijama E_1, E_2 i E_3 i

$\varepsilon_{11}, \varepsilon_{12}$ i ε_{13} – totalne efikasnosti koje odgovaraju energijama E_1, E_2 i E_3 .

Jednačina (3) se pokazala kao nestabilna pa je sistem formiran od jednačina (1), (2) i (4), tako da je dobijeno tri jednačine sa četiri nepoznate. Rešavanje sistema jednačina je urađeno uvođenjem sledeće aproksimacije: $\varepsilon_{11}/\varepsilon_1 = k^{1/2} \cdot E_1 + 1$ i $\varepsilon_{12}/\varepsilon_2 = k^{1/2} \cdot E_2 + 1$, gde je k odnos totalne efikasnosti i efikasnosti fotopika. Za rešavanje ovog sistema jednačina korišćen je softverski paket Matematika v.5.0 (Wolfram Research Company).

GESPECOR

GESPECOR je softverski paket koji pruža mogućnost direktnog izračunavanja korekcionih faktora za efekat koincidentnih sumacija, koristeći Monte-Karlo simulacioni metod [8]. Metod se zasniva na simulaciji prolaska velikog broja fotona kroz određeni medijum. U simulaciju mogu biti uključene interakcije fotona u uzorku, detektoru ili nekom drugom relevantnom sloju. Radi proračuna korekcionih faktora, u simulaciji su definisani parametri detektorskog sistema i radioaktivnog izvora ⁸⁸Y, koji su se odnosili na njihovu geometriju, tip detektora (HPGe) kao i materijal od koga su napravljeni.

DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Korekcionni faktori dobijeni eksperimentalno i Monte-Karlo simulacijom, imaju najveće vrednosti u kontakt geometriji, s obzirom da je na ovoj poziciji vrednost prostornog ugla pod kojim detektor vidi izvor najveća. Relativna merna nesigurnost za Monte-Karlo simulaciju je dobijena variranjem ulaznih parametara simulacije i ona za energije 898 keV i 1836 keV iznosi manje od 0,7 % i 0,8 %, respektivno, dok relativna merna nesigurnost za eksperimentalno dobijene korekzione faktore iznosi 1 % u oba slučaja. Na osnovu prikazanih rezultata za korekzione faktore, ustanovljeno je da se međusobno dobijene vrednosti razlikuju do 3% iz čega se može izvesti zaključak da su vrednosti korekcionih faktora dobijenih Monte-Karlo simulacijom u dobroj usaglašenosti sa eksperimentalno dobijenim vrednostima.

LITERATURA

- [1] D. S. Andreev, K. I. Erokhina, V. S. Zvonov, I. Kh. Lemberg; Consideration of cascade transitions in determining the absolute yield of gamma rays, (English translation); Prib. Tekh. Éksp. N°5, (1972), 63-65 - UDC 539-108
- [2] K. Debertin and R. G. Helmer; Gamma and X- ray spectrometry with Semiconductor detectors. North-Holland, Amsterdam; 1988
- [3] T. M. Semkow, G. Mehmood, P. Parekh, M. Virgil; Coincidence summing in gamma-ray spectroscopy, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A 290, (1990) 437- 444
- [4] G. Anil Kumar, I. Mazumdar, D.A. Gothe, Efficiency calibration and coincidence summing correction for large arrays of NaI(Tl) detectors in soccer-ball and castle geometries; Nucl. Instrum. Meth. A 611, (2009), 76-83.
- [5] O.Sima, D. Arnold; Accurate computation of coincidence summing corrections in low level gamma-ray spectrometry; Appl. Radiat. Isot. 53 (2000) 51-56
- [6] D. Arnold, O. Sima; Total versus effective total efficiency in the computation of coincidence summing corrections in gamma-ray spectrometry of volume sources; J. Radional. Nucl. Ch. 248 (2001) 365-370
- [7] Laboratoire National Henri Becquerel, Tables of evaluated data and comments on evaluation, www.nucleide.org/ddep_wg
- [8] Gespecor v.4.2-manual

EKSPERIMENTALNA POSTAVKA I REZULTATI

Za detekciju gama zračenja je korišćen poluprovodnički HPGe detektor, p-tipa, GEM30-70, Ortec, sa pratećom elektronikom. Detektor ima relativnu efikasnost od 35,5 % i rezoluciju 1,66 keV na 1332 keV (⁶⁰Co). Detektor se nalazi u olovnoj zaštiti debljine 10 cm, domaće proizvodnje.

Radioaktivni tačkasti standard ⁸⁸Y proizveden u Czech Metrology Institute (aktivnost na referentni datum 31. 01. 2017. bila je 8388 Bq), meren je na centralnoj osi detektora na devet različitih rastojanja od kape detektora, kao što je prikazano u Tabeli 1. Obrada snimljenih spektara obavljena je korišćenjem programa Genie2000, Canberra. Vreme merenja je išlo od 2000 s do 100000 s, u zavisnosti od toga na kojoj poziciji se nalazio izvor. U Tabeli 1 su prikazane vrednosti izračunatih korekcionih faktora u slučaju ⁸⁸Y, za energije od 898 keV i 1836 keV, dobijenih eksperimentalno (K_{1E} i K_{2E}) i Monte-Karlo simulacijom (K_{1G} i K_{2G}), kao i odstupanja vrednosti korekcionih faktora dobijenih eksperimentalno od vrednosti dobijenih Monte-Karlo simulacijom (ΔK_1 i ΔK_2).

Tabela 1: Vrednosti korekcionih faktora za efekat koincidentnih sumacija za ⁸⁸Y, dobijenih eksperimentalno i pomoću GESPECOR-a.

Rastojanje [cm]	K_{1E}	K_{1G}	ΔK_1 [%]	K_{2E}	K_{2G}	ΔK_2 [%]
0	1,23182	1,20156	2,52	1,22986	1,24006	-0,90
1,6	1,12558	1,10192	2,15	1,12215	1,11827	0,35
2,4	1,08669	1,06984	1,58	1,08350	1,08029	0,30
3,2	1,06516	1,05050	1,40	1,06195	1,05787	0,39
4	1,05050	1,03756	1,25	1,04774	1,04396	0,36
4,8	1,04020	1,02995	1,00	1,03776	1,03386	0,38
5,6	1,03254	1,02478	0,76	1,03039	1,02696	0,33
6,4	1,02741	1,02008	0,72	1,02543	1,02231	0,30
7,2	1,02366	1,01705	0,65	1,02189	1,01878	0,30