

**X  
X  
V  
I  
I  
  
S  
I  
M  
P  
O  
Z  
I  
J  
U  
M  
DZZ  
SCG**

**XXVII SIMPOZIJUM  
DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA  
SRBIJE I CRNE GORE**



**DRUŠTVO ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA  
SRBIJE I CRNE GORE**

# ZBORNİK RADOVA

**XXVII SIMPOZIJUM DZZ SCG  
Vrnjačka Banja  
2-4. oktobar 2013.**

**Beograd  
2013.god.**

ZBORNİK RADOVA  
XXVII SIMPOZIJUM DZZ SCG  
2.10-4.10.2013.

Izdavači:

Institut za nuklearne nauke „Vinča“

Društvo za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore

Za izvršnog izdavača:

Dr Bojan Radak

Urednici:

Dr Olivera Ciraj-Bjelac

Dr Gordana Pantelić

ISBN 978-86-7306-115-3

© Institut za nuklearne nauke „Vinča“

Tehnička obrada: Arts Design

Štampa: Arts Design

Tiraž: 150 primeraka

Štampa završena septembra 2013.

XXVII SIMPOZIJUM DRUŠTVA  
ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA  
SRBIJE I CRNE GORE  
Vrnjačka Banja, od 2.10. do 4.10.2013. god.

Organizatori:

DRUŠTVO ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA SRBIJE I CRNE GORE

INSTITUT ZA NUKLEARNE NAUKE „VINČA“

Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine „Zaštita“

Organizacioni odbor

Predsednik: Olivera Ciraj-Bjelac

Članovi:

Milojko Kovačević

Maja Eremić-Savković

Vladimir Udovičić

Ištvan Bikit

Nevenka Antović

Dragoslav Nikezić

Vera Spasojević-Tišma

Snežana Dragović

Danijela Arandić

Đorđe Lazarević

Jelena Stanković

Predrag Božović

Redakcioni odbor:

Vladimir Udovičić

Vera Spasojević-Tišma

Goran Ristić

Gordana Joksić

Gordana Pantelić

Dragana Todorović

Dušan Mrđa

Ilija Plečaš

Ivana Vukanac

Marko Ninković

Miodrag Krmar

Nataša Lazarević

Olivera Ciraj Bjelac

Srboljub Stanković

*Organizaciju su pomogli:*

*Ministarstvo prosvete i nauke Republike Srbije*

*Institut za nuklearne nauke Vinča, Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine*

*Institut za nuklearne nauke Vinča, Spoljnotrgovinski promet*

*Knauf Zemun d.o.o.*

*Ovaj Zbornik je zbirka radova saopštenih na XXVII Simpozijumu Društva za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore koji je održan od 2.10. do 4.10.2013. godine u Vrnjčkoj Banji. Radovi su razvrstani po sekcijama. Iako su svi radovi u Zborniku recenzirani od strane Redakcionog odbora, za sve iznesene tvrdnje i rezultate odgovorni su sami autori.*

*Jugoslovensko društvo za zaštitu od zračenja osnovano je 1963. godine u Portorožu. Ovogodišnji Simpozijum je posebno značajan usled činjenice da Društvo obeležava izuzetan jubilej - 50 godina organizovane zaštite od zračenja na prostoru bivše Jugoslavije i ovom jubileju posvećujemo zasluženu pažnju tokom XXVII Simpozijuma Društva za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore. Simpozijum je nastavak pet decenija duge tradicije Društva za zaštitu od zračenja i mesto na kome kroz stručni program predočavamo svaki napredak u oblasti zaštite od zračenja, analiziramo dosadašnje rezultate i aktuelna dešavanja, razmenjujemo iskustva sa kolegama iz zemlje i regiona, ali i srećemo stare i upoznajemo nove prijatelje.*

*Organizacioni odbor se zahvaljuje autorima i koautorima naučnih i stručnih radova na doprinosu i uloženom trudu. Posebno se zahvaljujemo sponzorima koji su pomogli održavanje Simpozijuma i štampanje Zbornika.*

*Organizacioni odbor*

CIP - Каталогизација у публикацији  
Народна библиотека Србије, Београд

502:504.5]:539.16(082)

614.875/.876(082)

539.16.04(082)

539.1.074/.08(082)

577.1:539.1(082)

ДРУШТВО за заштиту од зрачења Србије и Црне  
Горе (Београд). Симпозијум (27 ; 2013 ;  
Врњачка Бања)

Zbornik radova / XXVII simpozijum DZZ SCG  
[Društva za zaštitu od zračenja Srbije i Crne  
Gore], Vrnjačka Banja, 2-4. oktobar 2013. ;  
[organizatori] Društvo za zaštitu od zračenja  
Srbije i Crne Gore [i] [Institut za nuklearne  
nauke Vinča, Laboratorija za zaštitu od  
zračenja i zaštitu životne sredine "Zaštita"]  
; [urednik Olivera Ciraj-Bjelac, Gordana  
Pantelić]. - Beograd : Institut za nuklearne  
nauke "Vinča" : Društvo za zaštitu od  
zračenja Srbije i Crne Gore, 2013 (Beograd :  
Arts design). - 472, 4 str. : ilustr. ; 24 cm

Radovi na srp. i engl. jeziku. - Tekst ćir. i  
lat. - Tiraž 150. - Bibliografija uz svaki  
rad. - Abstracts. - Registar.

ISBN 978-86-7306-115-3

1. Друштво за заштиту од зрачења Србије и  
Црне Горе (Београд)

a) Заштита од јонизујућег зрачења -  
Зборници b) Животна средина - Загађење  
радиоактивним материјама - Зборници c)  
Радиоактивно зрачење - Штетно дејство -  
Зборници d) Нејонизујуће зрачење - Штетно  
дејство - Зборници e) Радиобиологија -  
Зборници f) Дозиметри - Зборници  
COBISS.SR-ID 201298188

# IZRAČUNAVANJE KOREKCIONIH FAKTORA ZA KOINCIDENTNO SUMIRANJE ZA $^{152}\text{Eu}$ -ZAPREMINSKI IZVORI

**Mirjana ĐURAŠEVIĆ, Aleksandar KANDIĆ, Ivana VUKANAC, Bojan ŠEŠLAK i Zoran MILOŠEVIĆ**

*Institut za Nuklearne Nauke "Vinča", Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija, mirad@vinca.rs*

## SADRŽAJ

*Učešćem u interkomparaciji organizovanoj od strane Gamaspektrometrijske radne grupe u okviru ICRM, već razvijeni teorijski model za potrebe rešavanja problema koincidentnog sumiranja primenjen je na zapreminske izvore. Analizirana je vrlo složena šema  $^{152}\text{Eu}$  i formiran sistem jednačina. Rešavanje tako formiranog sistema zahtevalo je uvođenje određenih aproksimacija. U radu su prikazani izračunati korekcionni faktori za geometriju cilindrične PVC kutijice i radionuklid  $^{152}\text{Eu}$  u kombinaciji sa bakrom i pleksiglasom kao apsorberom.*

## 1. Uvod

Teorijski model zasnovan na matricnom formalizmu, razvijen za potrebe rešavanja problema koincidentnog sumiranja X- i gama zračenja za radionuklide sa kompleksnom šemom raspada, prikazan je u već objavljenim radovima [1, 2, 3]. Ovaj model pruža mogućnost da se za dati radionuklid na osnovu šeme raspada odrede sve putanje raspada, svi mogući ishodi raspada i identifikuju sve moguće singl i sumacione energije. Na taj način moguće je formirati analitičke izraze za brzine brojanja u singl i sumacionim pikovima, kao i za totalnu brzinu brojanja. Nepoznate promenljive su efikasnosti detekcije (totalne i pik) i aktivnost posmatranog izvora, i određuju se rešavanjem datog sistema jednačina.

Razvijeni teoretski model uspešno je primenjen na raspad radionuklida  $^{139}\text{Ce}$ ,  $^{57}\text{Co}$  [1],  $^{133}\text{Ba}$  [2] i  $^{75}\text{Se}$  [3], ali samo za tačkaste izvore. Ideja je bila da se isti model primeni i potvrdi i za zapreminske izvore, što je realizovano u okviru interkomparacije organizovane od strane Gamaspektrometrijske radne grupe u okviru ICRM (International Committee for Radionuclide Metrology). Interkomparacija je organizovana sa ciljem da se odrede korekcionni faktori za koincidentno sumiranje za radionuklide  $^{152}\text{Eu}$  i  $^{134}\text{Cs}$  za tri različite geometrije cilindričnih kutijica u kombinaciji sa različitim apsorberima (Milar, bakar i pleksiglas) [4].

U ovom radu biće prikazani korekcionni faktori dobijeni za geometriju cilindrične PVC kutijice i za radionuklid  $^{152}\text{Eu}$  u kombinaciji sa bakrom i pleksiglasom kao apsorberom.

## 2. Teorijski model primenjen na $^{152}\text{Eu}$

Od organizatora interkomparacije dobili smo sve neophodne ulazne podatke za postavljanje potrebnog sistema jednačina. U slučaju primene teorijskog modela zasnovanog na matricnom formalizmu, potrebni ulazni podaci bili su snimljeni spektri izvora i šema raspada sa svim neophodnim podacima za radionuklid  $^{152}\text{Eu}$  [5].

$^{152}\text{Eu}$  raspada se elektronskim zahvatom (72.1 %) i beta plus raspadom (0.027 %) u  $^{152}\text{Sm}$  i beta minus raspadom (27.9 %) u  $^{152}\text{Gm}$ . Pri analizi datih spektara razmatrana su dva modela raspada, dok je pozitronski raspad zanemaren. Za svaki od njih određeni su svi parametri koje nam uspostavljeni model omogućava.

Tako je za raspad  $^{152}\text{Sm}$  određeno:

- broj prelaza – 90
- broj koraka u putanji raspada može biti do 9, pri čemu su uzete u obzir samo putanje raspada do 5 koraka (sve putanje raspada sa više od 5 koraka imaju veoma malu verovatnoću raspada)
- broj ishoda raspada – 79 551
- broj svih mogućih energija (singl i sumacionih) – 1 354



Za raspad  $^{152}\text{Gd}$  određeno je sledeće:

- broj prelaza – 41
- broj koraka u putanji raspada može biti do 6, pri čemu su uzete u obzir samo putanje raspada do 5 koraka (sve putanje raspada sa više od 5 koraka imaju veoma malu verovatnoću raspada)
- broj ishoda raspada – 6 425
- broj svih mogućih energija (singl i sumacionih) – 550.

Na osnovu teorijskog modela formirane su jednačine za sve moguće energije, kao i jednačina za totalnu brzinu brojanja. U početnom obliku ove jednačine bile su veoma komplikovane i imale su veliki broj sabiraka (npr. jednačina za totalnu brzinu brojanja imala je 198 sabiraka, dok je jednačina za energiju 40 keV imala 825 članova). Bilo je neophodno uvesti određene aproksimacije.

U prvom koraku pretpostavili smo oblik krive efikasnosti. Na osnovu toga određeni su sabirci koji se mogu zanemariti (to su oni sabirci čiji je doprinos manji od 0.1 % u odnosu na najdominantnije). Tako određeni sabirci izbačeni su iz jednačina, a same jednačine su umnogome pojednostavljene.

Drugi korak je podrazumevao aproksimaciju krive efikasnosti step funkcijom (uključujući  $K_{\alpha}$  i  $K_{\beta}$  fotone samarijuma čije su energije 40 keV i 46 keV, respektivno). Za određivanje step funkcije korišćen je metod najmanjeg kvadrata, pri čemu je ostatak definisan kao razlika između teorijskog izraza i eksperimentalne vrednosti za brzinu brojanja.

Na taj način formiran je sistem jednačina koji se mogao numerički rešiti, a kao rešenja dobijene su korigovane efikasnosti u piku.

Korekcionni faktori za koincidentno sumiranje predstavljaju odnos nekorigovane i korigovane efikasnosti u piku.

Svi proračuni rađeni su korišćenjem matematičkog programa Matematika 5.2 (Wolfram Research Company).

### 3. Vrednosti dobijenih korekcionnih faktora

Korekcionni faktori za koincidentno sumiranje računati su za  $^{152}\text{Eu}$  u geometriji cilindrične PVC kutijice i to na tri rastojanja od detektora:

- kutijica je postavljena na rastojanju od 10 cm iznad detektora,
- kutijica na detektoru, pri čemu je između kutijice i detektora apsorber od bakra i
- kutijica u kombinaciji sa bakrom i pleksiglasom kao apsorberom na detektoru, pri čemu je između kutijice i detektora apsorber od pleksiglasa (Slika 1)



Slika 1. Geometrija plastične cilindrične kutijice sa apsorberom od pleksiglasa

Zapreminski izvori pripremljeni od 2M HCl mereni su na spektrometarskom sistemu koji je sadržao HPGe detektor n-tipa. Svi spektri analizirani su softverom ANGES verzija 1.0, koji je izuzetno pouzdan pri dekonvoluciji spektara.

U Tabeli 1 prikazane su dobijene vrednosti korekcionih faktora za koincidentno sumiranje za  $^{152}\text{Eu}$  zajedno sa apsolutnom mernom nesigurnošću.

**Tabela 1. Dobijene vrednosti korekcionih faktora za  $^{152}\text{Eu}$  i geometriju cilindrične plastične kutijice**

| Energija (keV) | Korekcionni faktori na 10 cm | Apsolutna merna nesigurnost | Korekcionni faktori za bakar | Apsolutna merna nesigurnost | Korekcionni faktori za pleksiglas | Apsolutna merna nesigurnost |
|----------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| 121.8          | 1.017                        | 0.005                       | 1.083                        | 0.002                       | 1.166                             | 0.009                       |
| 244.7          | 1.022                        | 0.009                       | 1.115                        | 0.005                       | 1.247                             | 0.006                       |
| 344.3          | 1.008                        | 0.003                       | 1.054                        | 0.002                       | 1.061                             | 0.007                       |
| 411.1          | 1.017                        | 0.010                       | 1.135                        | 0.002                       | 1.152                             | 0.012                       |
| 444.0          | 1.022                        | 0.002                       | 1.106                        | 0.002                       | 1.220                             | 0.002                       |
| 564.0          | 0.949                        | 0.006                       | 1.023                        | 0.004                       | 1.126                             | 0.004                       |
| 688.6          | 1.014                        | 0.007                       | 1.034                        | 0.004                       | 1.152                             | 0.019                       |
| 778.9          | 1.011                        | 0.007                       | 1.080                        | 0.009                       | 1.092                             | 0.002                       |
| 867.4          | 1.026                        | 0.001                       | 1.135                        | 0.004                       | 1.286                             | 0.036                       |
| 964.1          | 1.005                        | 0.016                       | 1.041                        | 0.008                       | 1.160                             | 0.015                       |
| 1085.8         | 1.003                        | 0.015                       | 0.975                        | 0.003                       | 1.032                             | 0.002                       |
| 1089.7         | 1.010                        | 0.010                       | 1.073                        | 0.011                       | 1.085                             | 0.003                       |
| 1112.1         | 1.013                        | 0.008                       | 1.032                        | 0.004                       | 1.149                             | 0.019                       |
| 1212.9         | 1.026                        | 0.001                       | 1.132                        | 0.005                       | 1.280                             | 0.036                       |
| 1299.1         | 1.011                        | 0.006                       | 1.080                        | 0.009                       | 1.093                             | 0.001                       |
| 1408.0         | 1.014                        | 0.007                       | 1.038                        | 0.004                       | 1.156                             | 0.020                       |

Ukupna merna nesigurnost obuhvata statističku mernu nesigurnost i mernu nesigurnost matematičkog modela. Merna nesigurnost dobijena variranjem ulaznih podataka u okviru statističke merne nesigurnosti manja je od 0.1 %. Merna nesigurnost matematičkog modela uglavnom potiče od nesigurnosti unetih ulaznih podataka posledica nedovoljno relevantnih ulaznih podataka.

#### 4. Zaključak

U radu su date vrednosti izračunatih korekcionih faktora za  $^{152}\text{Eu}$  u zapreminskom izvoru. Dobijene vrednosti korekcionih faktora potvrdile su da se udaljavanjem izvora od detektora smanjuje efekat koincidentnog sumiranja. Takođe postojanje apsorbera je uticalo na vrednosti korekcionih faktora, pa su oni na nekim energijama za slučaj apsorbera od pleksiglasa čak i do 10 % veći od vrednosti korekcionih faktora za slučaj apsorbera od bakra. Rezultati dobijeni primenom razvijenog matematičkog modela zasnovanog na matričnom formalizmu na zapreminske izvore pokazali su odlično slaganje sa prihvaćenim rezultatima drugih učesnika u interkomparaciji.

Prikazani način izračunavanja korekcionih faktora za radionuklid sa kompleksnom šemom raspada kao što je  $^{152}\text{Eu}$  pokazao se kao pouzdan. Kako se  $^{152}\text{Eu}$  često koristi za kalibraciju poluprovodničkih HPGe spektrometara, u cilju dobijanja tačne i precizne krive efikasnosti, odnosno pouzdanih rezultata merenja uzoraka iz životne sredine, neophodno je u račun uvrstiti i korekzione faktore za koincidentno sumiranje.

## 5. Literatura

- [1] Novković, D., Kandić, A., Đurašević, M., Vukanac, I., Milošević, Z., Nadder, L., 2007, Coincidence summing of X-ray and  $\gamma$ -rays in  $\gamma$ -ray spectrometry. Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A 578, 207–217.
- [2] Novković, D., Đurašević, M., Kandić, A., Vukanac, I., Milošević, Z., Nadder, L., 2007, Coincidence summing of X-and  $\gamma$ -rays of  $^{133}\text{Ba}$ , Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A 582, 592–602.
- [3] Novković, D., Vukanac, I., Kandić, A., Đurašević, M., Milošević, Z., 2012, Coincidence summing of X-and gamma rays of  $^{75}\text{Se}$ , Applied Radiation and Isotopes 70, 520–527.
- [4] M.-C. Lépy et al., 2012, Intercomparison of methods for coincidence summing corrections in gamma-ray spectrometry—part II (volumesources), Applied Radiation and Isotopes 70, 2112 – 2118.
- [5] Laboratoire National Henri Becquerel, Tables of evaluated data and comments on evaluation, [http://www.nucleide.org/DDEP\\_WG/DDEPdata.htm](http://www.nucleide.org/DDEP_WG/DDEPdata.htm)

## CALCULATION OF COINCIDENCE SUMMING CORRECTION FACTORS FOR $^{152}\text{Eu}$ - VOLUME SOURCES

**Mirjana ĐURAŠEVIĆ, Aleksandar KANDIĆ, Ivana VUKANAC, Bojan ŠEŠLAK i Zoran MILOŠEVIĆ**

*Institut za Nuklearne Nauke “Vinča”, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija, mirad@vinca.rs*

### ABSTRACT

*A theoretical model for solving the problem of coincidence summing based on matrix formalism was applied to the volume sources in the intercomparison exercise, organized by the Gamma-spectrometric working group within the International Committee for Radionuclide Metrology. A complex decay scheme of  $^{152}\text{Eu}$  was analyzed and the system of equations was formed. Solving this system required the introduction of some approximations. The calculated correction factors for a cylindrical geometry box and radionuclide  $^{152}\text{Eu}$  in combination with copper and plexiglas as absorber are presented in this paper.*