

Друштво за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе

Монографија
ЧЕРНОБИЉ
30 година после

Уредник
др Гордана Пантелић

Београд
2016

Монографија: **ЧЕРНОБИЉ 30 година после**

Издавач: Институт за нуклеарне науке „Винча“, Лабораторија за
заштиту од зрачења и заштиту животне средине
„Заштита“
Друштво за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе

За издавача: др Борислав Грубор

Рецензенти: др Оливера Цирај Бјелац
др Иштван Бикит
др Владимир Удовичић
др Невенка Антовић
др Ивана Вуканац
др Драгослав Никезић
др Душан Мрђа
др Марија Јанковић
др Јелена Крнета Николић

Уредник: др Гордана Пантелић

Лектор/коректор: Мариола Пантелић, MSc

Објављивање монографије помогли:
Министарство просвете, науке и технолошког развоја

ISBN 978-86-7306-138-2

Штампа: Штампарија Института за нуклеарне науке „Винча“, 522,
11001 Београд, Тел. 011-8066-746

Тираж: 150 примерака

OSNOVI KOINCIDENTNOG METODA MJERENJA CEZIJUMA-134

Nikola SVRKOTA¹, Nevenka M. ANTOVIĆ², Tomislav ANĐELIĆ¹

¹Centar za Ekotoksikološka ispitivanja Podgorica

²Prirodno matematički fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica

Rezime

Odnosom $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ u nekom uzorku utvrđuje se porijeklo ^{137}Cs , globalni fallout ili reaktorski akcident. Njihova detekcija i razdvajanje NaI(Tl) detektorom otežana je bliskim energijama zraka (605 keV i 662 keV), kao i zracima bliskih energija iz prirodnih radionuklida, zbog čega se nameće potreba razvoja koincidentnog metoda mjerenja. Koristeći 2 detektora spektrometra PRIPJAT (~180°) izvor ^{134}Cs razmatran je u integralnom, nekoincidentnom i režimu dvostrukih koincidencija.

1. UVOD

Porijeklo ^{137}Cs , odnosno način na koji je dospio u životnu sredinu, da li preko globalnog *fallout-a* ili kao reaktorski (černobiljski) akcident, vrši se kroz procjenu njegovog odnosa sa ^{134}Cs [1]. ^{134}Cs je vještački radionuklid, nastaje u reaktorima nuklearnih elektrana, sa vremenom poluraspada od 2 godine. Nakon nuklearne nesreće u Černobilju 1986. godine u Crnoj Gori nisu objavljeni podaci o aktivnosti ^{134}Cs , tako da ne postoji podatak o odnosu između ta dva radionuklida, a danas njegova detekcija u životnoj sredini u Crnoj Gori nije moguća. U ovom radu predstavljeni su rezultati početnih istraživanja za uspostavljanje koincidentne metode detekcije i određivanja aktivnosti vještačkog radionuklida ^{134}Cs u uzorcima iz životne sredine [2, 3, 4].

2. RAZMATRANJE ŠEMA RASPADA ^{134}CS

Kao što je poznato ^{134}Cs nastaje u reakciji $^{133}\text{Cs}(n,\gamma)^{134}\text{Cs}$ i raspada se preko β^- prelaza u ^{134}Ba , a preko EC u ^{134}Xe . ^{134}Cs ima 13 gama linija koje prate njegov raspad u ^{134}Ba ili ^{134}Xe , od kojih 8 gama zraka ima relativni intenzitet prelaza veći od 1%, a tri su veća od 10%. Dominantna su dva gama zraka na energijama 604,721 keV i 795,864 keV čiji su relativni intenziteti prelaza 97,62% i 85,53% [5]. U tabeli 1 dat je pregled gama zraka koji se odnose na raspad ^{134}Cs , a na slici 1 prikazana je šema raspada ^{134}Cs i ^{137}Cs [6].

Razmatranje šeme raspada ^{134}Cs pokazalo je da su moguće koincidencije do reda 5, mada su 3 gama zraka koji čine tu kaskadu veoma niskog relativnog intenziteta prelaza.

Dvostruke kaskade čine γ zraci sa energijama:

795 keV i **604** keV; 1038 keV i **604** keV; 1365 keV i **604** keV; 563 keV i **604** keV;

232 keV i 563 keV; 475 keV i 563 keV; 801 keV i 563 keV;

232 keV i **1167** keV; 475 keV i **1167** keV; 801 keV i **1167** keV;

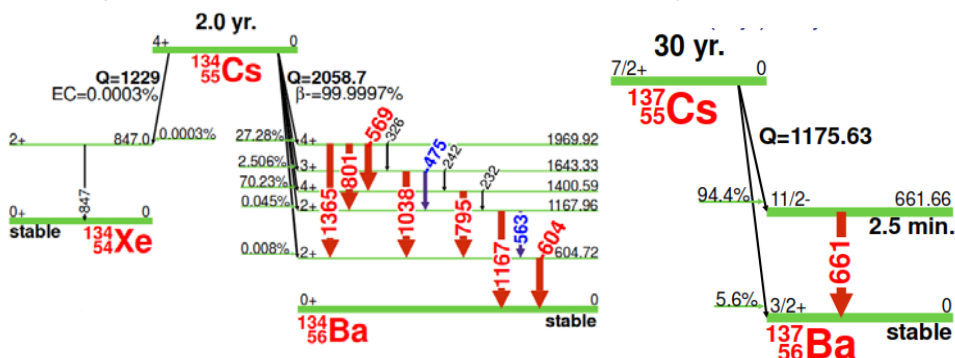
242 keV i 232 keV; 569 keV i 232 keV;
 242 keV i 795 keV; 569 keV i 795 keV;
 326 keV i 242 keV;
 326 keV i 475 keV;
 326 keV i 1038 keV;
 Trostruki kaskadni prelazi su:
 232 keV, 563 keV i **604 keV**; 475 keV, 563 keV i **604 keV**; 801 keV, 563 keV i **604 keV**; 242 keV, 795 keV i 604 keV; 569 keV, 795 i 604 keV;
 242 keV, 232 keV i 563 keV; 569 keV, 232 keV i 563 keV; 326 keV, 475 keV i 563 keV;
 242 keV, 232 keV i 1167 keV; 569 keV, 232 keV i 1167 keV; 326 keV, 475 keV i 1167 keV;
 326 keV, 242 keV i 232 keV;
 326 keV, 242 keV i 795 keV;
 Četvorostruki kaskadni gama prelazi su:
 242 keV, 232 keV, 563 keV i **604 keV**; 569 keV, 232 keV, 563 keV i **604 keV**;
 326 keV, 475 keV, 563 keV i **604 keV**;
 326 keV, 242 keV, 232 keV i **563 keV**;
 Petostruki – samo jedna kaskada:
 326 keV, 242 keV, 232 keV, 563 keV i **604 keV**.

Tabela 1. Spisak gama linija koje prate raspad ¹³⁴Cs

	E _g (keV)	I _g (%)	Prelaz
1	232,6	<0,0011	b ⁻
2	242,738	0,027	b ⁻
3	326,589	0,0162	b ⁻
4	475,365	1,486	b ⁻
5	563,246	8,35	b ⁻
6	569,331	15,38	b ⁻
7	604,721	97,62	b ⁻
8	795,864	85,53	b ⁻
9	801,953	8,69	b ⁻
10	847,025	0,00030	e+b ⁺
11	1038,610	0,988	b ⁻
12	1167,968	1,789	b ⁻
13	1365,185	3,014	b ⁻

Pregledom tabele 1 i šeme raspada (Slika 1) vidi se da su gama linije na energijama od 604 keV i 795 keV od najvećeg značaja za detekciju ¹³⁴Cs. Gama foton energije 604 keV pored toga što ima najveći relativni intenzitet prelaza (I_γ=97,62%) ima i najveći broj koincidentnih gama zraka. On čini četiri dvostruka kaskadna prelaza, pet trostrukih, tri četvorostruka kao i jedan petostruki kaskadni prelaz. S tim u vezi, kao i u slučaju ispitivanja pomoću jednog detektora, analiza spektra će biti usmjerena na fotopik ove energije. Glavni izazov kod rješavanja

ovog zadatka biće kako razdvojiti fotopik koji se odnosi na ^{134}Cs od fotopikova prirodnih radionuklida, a koji se odnose na radionuklide koji pripadaju ^{238}U i ^{232}Th nizovima (na primjer, gama zraci koji prate raspad ^{214}Bi na 609 keV i ^{208}Tl na 583 keV) [7]. Ovdje se može iskoristiti γ foton energije od 795 keV koji predstavlja drugi najintenzivniji gama zrak ($I_\gamma=85,53\%$). On se, takođe, javlja u integralnom, nekoincidentnom i režimu dvostrukih koincidencija rada spektrometra, što će biti objašnjeno u tekstu koji slijedi, jer čini dvostruku kaskadu sa γ zracima od 242 keV ($I_\gamma=0,027\%$) i 563 keV ($I_\gamma=15,38\%$). Što se tiče preklapanja fotopikova dva izotopa cezijuma – rješenje je vrlo jednostavno, s obzirom da je raspad ^{137}Cs praćen emisijom jednog gama zraka [8, 9] on se ne može registrovati u režimu dvostrukih (ili više) koincidencija.



Slika 1. Šema raspada ^{134}Cs i ^{137}Cs

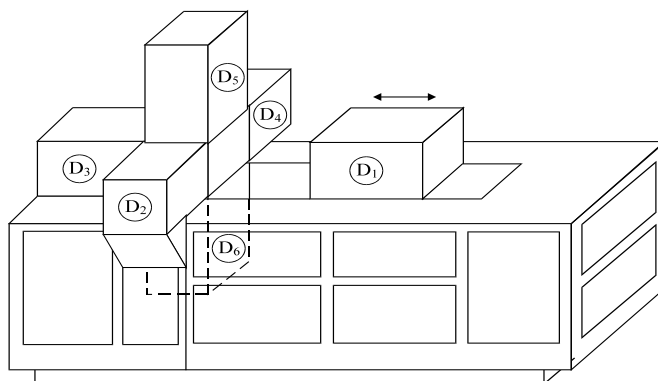
3. MJERNA OPREMA

Za istraživanje prezentovano u ovom radu koristio se višedetektorski spektrometrijski sistem PRIPJAT, tačnije njegova dva detektora označena brojevima 5 i 6.

Višedetektorski sistem PRIPJAT-2M se sastoji od šest detektora koji čine 4π sistem. Geometrijska efikasnost registracije spektrometra je $\sim 0,7 \cdot 4\pi$ sr, energetska rezolucija iznosi 10,5% za γ -liniju ^{137}Cs na energiji 662 keV, a vrijeme rezolucije je 40 ns. Mrtvo vrijeme mjerenja fona ne prelazi 1%. Spoljašnje dimenzije spektrometra su: 250 cm x 145 cm x 186 cm, dok je njegova ukupna masa 4200 kg. Da bi se umanjio stepen uticaja fona kod spektrometara tipa PRIPJAT upotrijebljena je pasivna, olovna i čelična, zaštita detektora, a njegovi djelovi su izgrađeni od niskofonskih materijala. S druge strane, u ovako koncipiranom detekcionom sistemu, osnovno i veoma efikasno sredstvo smanjenja brzine brojanja fona jeste rad u koincidentnom režimu [10].

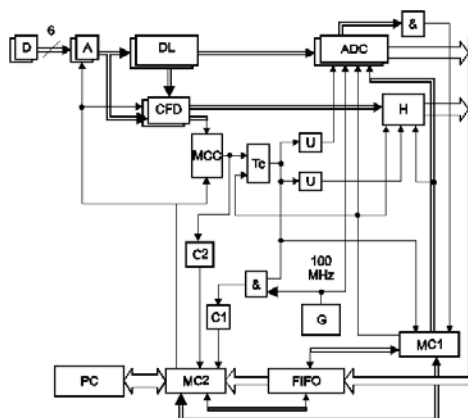
Signali koji dolaze sa fotomultiplikatora se pojačavaju (A) i analiziraju pomoću CFD (*constant fraction discriminator*) i ADC (*analog-to-digital converter*). CFD signali idu u MCC (*majority coincidence circuit*), tj. koincidentno kolo koje radi po principu *preklapanja* impulsa, te se proizvode ulazni impulsi za ADC i hodoskop (H) – koji registruje istovremeni rad detektora (tj. vrši vremensku analizu događaja). Prilikom koincidentnog događaja određene višestrukosti,

hodoskop identifikuje detektore koji su ovu koincidenciju registrovali. ADC, kojih ima 6, i svaki po 256 kanala, vrše analizu amplitude, sa ciljem da se odredi energija detektovanih fotona. Kada se konverzija završi i svi konverteri daju signale, kontrolni programi u mikrokontrolerima (procesorima) MC1 i MC2 prenose podatke u *buffer* memoriju (FIFO) i kompjuterski program. Prvi od njih, procesor MC1, provjerava prisustvo podataka, tj. snima podatke vezane za događaje koji su registrovani u hodoskopu iz ADC u FIFO memoriju, dok drugi procesor MC2 prenosi ove podatke iz FIFO u kompjuterski program. Dakle, informacija o svakom registrovanom događaju dolazi do kompjutera u vidu broja i višestrukosti detektora koji su ga registrovali, kao i amplituda signala – energija fotona [11].



Slika 2. PRIPJAT-2M

Na slici 3 prikazana je šema rada višedetektorskog spektrometra.



Slika 3. Princip rada spektrometra tipa PRIPJAT

4. METODE MJERENJA

Za razvoj koincidentnog metoda mjerenja vještačkog radionuklida ^{134}Cs korišćen je tečni kalibracioni izvor ^{134}Cs proizveden od strane češkog metrološkog instituta

oznake 9031 – OL – 471/06, aktivnosti 542,4 kBq na dan 25.08.2006.

Softver spektrometra (PRIP), osim kalibracije, akvizicije, prikazivanja i čuvanja podataka, omogućava da se izabere opseg višestrukosti koincidencija i energetski opseg koji se želi razmatrati, te da se u svim režimima rada dobiju pojedinačni spektri sa svih detektora, te odgovarajući sumarni spektri, kao i svi potrebni podaci vezani za registrovanu energiju, brzinu brojanja u fotopiku, širinu fotopika (u keV), itd. Nadalje, softver omogućava da se identifikuju izotopi (na osnovu postojeće radne biblioteke), i izračunaju aktivnosti ili koncentracije aktivnosti.

Modifikacija spektrometra i softvera PRIP omogućila je režime rada u kojima spektrometar registruje koincidencije višestrukosti od 2 do 6, ali razdvojene. Odnosno, omogućeni su režimi mjerenja u integralnom režimu (detektori registruju sve događaje, oznaka [1-6]), nekoincidentnom režimu, kada detektori registruju samo nekoincidentne događaje (oznaka [1-1]), kao i režimima dvostrukih (registruje se događaj kada se u okviru vremena rezolucije detektuju fotoni iz dvostrukih kaskada), trostrukih, četvorostrukih, petostrutih i šestostrutih koincidencija (oznake prethodno pomenutih režima su: [2-2], [3-3], [4-4], [5-5], [6-6], respektivno) uz mogućnost odabira opsega koincidencija. Tako, na primjer, ako je izabrana višestrukost 4 to znači da je spektrometarski sistem može da detektuje koincidentne događaje do višestrukosti 4 (režim [4-4]), pri čemu se dobijaju spektri za svaki pojedinačni detektor, ali i sumarno nekoincidentni spektri, spektri dvostrukih, trostrukih i četvorostrukih koincidencija.

Kalibracija spektrometra PRIPJAT-2M urađena je pomoću kalibracionih izvora ^{137}Cs i ^{40}K , proizvedeni u VNIIM im. D. I. Mendeleeva – Sankt Peterburg, koji su pakovani u cilindrične plastične posude spoljašnjeg dijametra 10,7 cm (debljina zida je 1,0 mm) i visine 8 cm. Izvor ^{137}Cs (OMASN No72/94-2, smola mase 0,486 kg) imao je 01.01.1994. godine aktivnost 870 Bq, određenu sa greškom od 3% na nivou povjerenja 95%, a izvor ^{40}K (OMASN No103/92, kalijum-hlorid mase 0,550 kg) imao je 01.08.1992. godine aktivnost $9,0 \cdot 10^3$ Bq, određenu sa greškom od 5% na nivou povjerenja 95%.

Na osnovu snimljenih spektara navedenih izvora, upotrebom softvera PRIP, dobijaju se uobičajene zavisnosti: energija (keV) – broj kanala; širina pika na poluvisini (izražena brojem kanala) – energija (keV); kao i fotoefikasnost – energija (keV) i totalna efikasnost – energija (keV).

Mjerenja koja su vršena prilikom početnog istraživanja za koincidentno određivanje aktivnosti ^{134}Cs na višedetektorskom spektrometru PRIPJAT-2M, obavljena su u integralnom [1-6] režimu rada, nekoincidentnom [1-1], kao i u koincidentnim režimima: [2-2], [3-3], [4-4], [5-5]. Dobijeni spektri pokazuju jasne fotopikove čak i u režimima četvorostukih koincidencija, dok se petostruke koincidencije nisu registrovale.

Zbog popravke i započete modifikacije nijesu svi detektori u funkciji tako da sistem nije koristio svih 6 detektora. Za početna istraživanja i razvoj koincidentnog metoda korišćena su dva NaI(Tl) detektora. Analizirani su spektri dobijeni detektorima pod rednim brojevima 5 i 6 koji se nalaze jedan naspram drugog tj. čine ugao od 180° . Izvor ^{134}Cs je sniman 1000 s realnog vremena, odnosno 191 s, 194 s živog vremena. Zbog velikog mrtvog vremena (oko 81%) živa vremena snimanja su relativno kratka. U nastavku istraživanja koristiće se izvori ^{134}Cs manje aktivnosti s obzirom na veliku osjetljivost spektrometra. U

prikazanim spektrima jasno se uočavaju fotopikovi gama zraka energija 604 keV ($I_\gamma=97,62\%$) i 795 keV ($I_\gamma=85,53\%$) za pojedinačne detektore 5 i 6, koji su bili u koincidentnom režimu sa ostalih 4 detektora, te njihovi sumarni spektri.

Na slici 4 prikazani su spektri u integralnom [1-6] režimu.

U integralnom režimu za detektor 5 broj impulsa u regionu pika energije 604 keV (prvi pik sa lijeve strane spektra) iznosio je 147052 imp, a za energiju od 795 keV 83570 imp. Za detektor broj 6 situacija je sledeća: broj impulsa za energiju 604 keV iznosi 307211 imp, dok je za pik energije 795 keV iznosio 184778 imp. Primijetan je veći broj impulsa kod detektora broj 6. To je zbog činjenice da je detektor broj 6 donji detektor, te da uzorci stoje na njemu i da je on najbliži ispitivanim izvorima (uzorcima). Brojevi impulsa za sumarni spektar ova dva detektora za fotopikove na energijama 604 keV i 795 keV su 445681 imp i 272894 imp. Dakle, nakon jednostavnog računa dobijene vrijednosti za efikasnost detekcije su:

1. za detektor 5 $\varepsilon_{604}=0,035$ i $\varepsilon_{795}=0,023$;
2. za detektor 6 $\varepsilon_{604}=0,073$ i $\varepsilon_{795}=0,05$ (integralni režim),
3. dok su efikasnosti za njihove sumarne spektre $\varepsilon_{604}=0,106$ i $\varepsilon_{795}=0,074$.

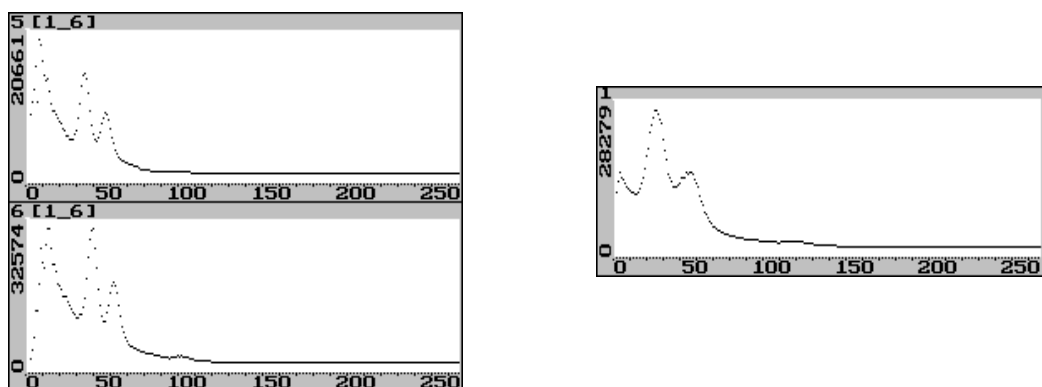
U slučaju nekoincidentnog režima rada brojevi impulsa za fotopikove na energijama 604 keV i 795 keV preko detektora 5 su bili: 79350 imp i 51893 imp. Za detektor 6 brojanje je dalo sledeći rezultat: 177339 imp i 124432 imp. Broj impulsa u sumarnom spektru je 286319 i 129660. Dobijene su sledeće efikasnosti:

1. za detektor 5 su $\varepsilon_{604}=0,019$ i $\varepsilon_{795}=0,014$;
2. za detektor 6 $\varepsilon_{604}=0,041$ i $\varepsilon_{795}=0,033$.

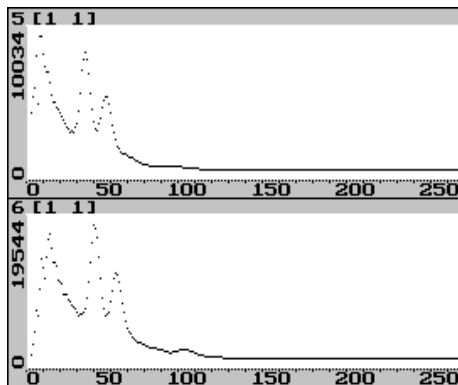
Efikasnosti za sumarni spektar dva naspramna detektora u [1-1] režimu iznose $\varepsilon_{604}=0,067$ i $\varepsilon_{795}=0,035$.

Režim dvostrukih koincidencija ima sledeće efikasnosti:

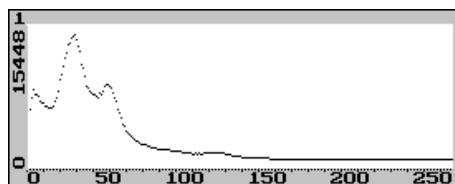
1. za detektor 5 $\varepsilon_{604}=0,014$ i $\varepsilon_{795}=0,009$;
2. za detektor 6 $\varepsilon_{604}=0,024$ i $\varepsilon_{795}=0,016$;
3. efikasnosti za sumarni spektar su $\varepsilon_{604}=0,042$ i $\varepsilon_{795}=0,018$.



a) b)
Slika 4. Spektri ^{134}Cs u integralnom [1-6] režimu, a) Spektri pojedinačnih detektora 5 i 6, b) Sumarni spektar

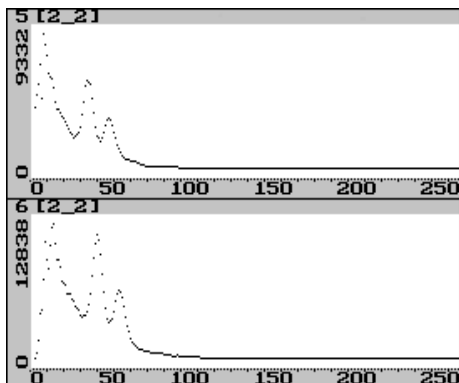


a)

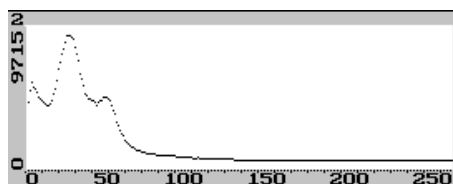


b)

Slika 5. Spektri ^{134}Cs u nekoicidentnom [1-1] režimu, a) Spektri pojedinačnih detektora 5 i 6, b) Sumarni spektar



a)



b)

Slika 6. Spektri ^{134}Cs u koicidentnom [2-2] režimu, a) Spektri pojedinačnih detektora 5 i 6, b) Sumarni spektar

5. DISKUSIJA

Prilikom snimanja spektra ^{134}Cs uočavaju se dominantni fotopikovi na energijama 604 keV i 795 keV. Zbog karakteristika NaI(Tl) detektora (rezolucija 10,5% na energiji 662 keV) u slučajevima kada se u uzorku nalaze i drugi radionuklidi (prirodni radionuklidi iz nizova ^{238}U i ^{232}Th ili ^{40}K) nemoguće je razdvojiti fotopikove na energijama 583 keV, 604 keV, 609 keV i 662 keV. U tom slučaju iz spektra dvostrukih koincidencija aktivnost ^{134}Cs dobija se preko pika 795 keV, zbog toga što na energiji 604 keV dolazi do preklapanja pikova ^{226}Ra , ^{208}Tl i ^{134}Cs . Takođe, u spektru dvostrukih koincidencija, aktivnost torijuma treba odrediti pomoću fotopika na energiji od 2615 keV, tako da je nakon toga moguće odrediti doprinos γ -zraka energije 583 keV zajedničkom radijum-cezijum-torijum (583 keV + 604 keV + 609 keV) fotopiku, i tada (nakon korekcija na doprinos fotona

583 keV i 604 keV) odrediti aktivnost radijuma.

Na isti način, kao i u slučaju detekcije ^{137}Cs , i ^{40}K ima jednu γ liniju (na energiji 1460 keV) i može se detektovati u integralnom i nekoincidentnom režimu mjerenja. Suma fotona ^{134}Cs na energijama 795 keV i 604 keV iznosi 1400,6 keV, te se mora vršiti korekcija prilikom određivanja ^{40}K u uzorku na koincidentno sumiranje.

Razvoj koincidentnog metoda mjerenja ^{134}Cs trebalo bi da obezbijedi značajne prednosti u odnosu na standardne metode koji se trenutno koriste (jednodetektorsku poluprovodničku γ -spektrometriju, na primjer), i to: veću efikasnost registracije γ -zraka i nižu minimalnu detektibilnu aktivnost radionuklida, kraće vrijeme mjerenja, kao i mogućnost mjerenja uzoraka relativno velike zapremine, proizvoljnog oblika i prirode, bez prethodne specifične pripreme i kalibracionih mjerenja za njihove različite geometrije.

6. ZAKLJUČAK

Na osnovu pažljivog razmatranja literature, šema raspada ^{134}Cs , selektovanja kaskadnih gama prelaza koji prate njegov raspad u ^{134}Ba , te karakteristika višedetektorskog sistema koji čine NaI(Tl) detektori, zaključuje se da je koincidentni metod mjerenja ^{134}Cs moguć. Početna mjerenja kalibracionog tečnog standarda su pokazala da se detekcija cezijuma može uraditi čak i u četvorostrukom koincidentnom režimu.

U daljem istraživanju, efikasnosti koje su dobijene eksperimentalno iz fotopikova za pojedinačne detektore kao i za sumarni spektar biće upoređene sa teoretskim proračunima.

Jednovremena detekcija i određivanje aktivnosti dva cezijumska izotopa ne predstavlja problem, jer se koriste dva različita režima mjerenja (na primjer nekoincidentni i režim dvostrukih koincidencija). Takvo rješenje je već primijenjeno prilikom razvoja metoda za analizu prirodnih radionuklida i ^{137}Cs (istovremeno određivanje ^{226}Ra , ^{40}K , ^{233}Th i ^{137}Cs).

Zadatak koji je potrebno riješiti jeste razdvajanje pikova koji se odnose na region od 604 keV, odnosno 609 keV, jer se u ovom energetsom dijelu spektra preklapaju fotopikovi koji potiču iz prirodnog uranijumovog niza, tačnije gama zraci koji prate raspad ^{214}Bi i vještačkog radionuklida ^{134}Cs . Režim dvostrukih koincidencija, kada se koriste dva detektora ne može obezbijediti sigurno razdvajanje pikova, ali se na osnovu korišćenja dva režima rada spektrometra mogu dobiti informacije o pojedinačnim aktivnostima ispitivanih radionuklida.

7. LITERATURA

- [1] J. Moleroa, J.A. Sanchez-Cabezaa, J. Merinoa, P.I. Mitchellb, A. Vidal-Quadrasa, „Impact of ^{134}Cs and ^{137}Cs from the Chernobyl reactor accident on the Spanish Mediterranean marine environment“, *Journal of Environmental Radioactivity*, Volume 43, Issue 3, May 1999, Pages 357–370.
- [2] Yasuhiro Unnoa, Toshiya Sanamib, Masayuki Hagiwarab, Shinichi Sasaki, and Akira Yunokia, “Application of beta coincidence to nuclide identification of radioactive samples contaminated by the accident at the Fukushima Nuclear Power Plant”, *Progress in Nuclear Science and Technology*, Volume 4 (2014) pp. 90-93

- [3] Tetsuya HIRADE, Atsushi KATAYAMA, Nobuyuki MASAKI, "Measurement Method for ^{134}Cs in Environment by Use of the Coincidence Method", *RADIOISOTOPES* Vol. 64 (2015) No. 5 p. 311-318.
- [4] Yasuhiro Unno, Toshiya Sasamib, Masayuki Hagiwarab, Shinichi Sasaki & Akira Yunokita, "Radioactivity measurement of Sr/Y-90 mixed with Cs-134 and Cs-137 using large solid angle detectors without chemical separation", *Journal of Nuclear Science and Technology*, Volume 51, Issue 3, 2014, pages 376-384.
- [5] <http://nucleardata.nuclear.lu.se/toi/nucSearch.asp>
- [6] http://www4vip.inl.gov/gammaray/catalogs/ge/catalog_ge.shtml
- [7] Nevenka M. Antović and Nikola Svrkota, "Detection efficiencies of ^{226}Ra and ^{232}Th in different modes of counting of the PRIPYAT-2M spectrometer", *Nuclear Technology & Radiation Protection* (ISSN 1451-3994), 2009, XXIV(2), 109-118.
- [8] Nevenka M. Antović, Vladimir Popović, Nikola Svrkota, Perko Vukotić, "Detekcija ^{137}Cs i ^{40}K spektrometrom PRIPYAT-2M", *XXV simpozijum Društva za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore*, Kopaonik – Srbija, 30.09 – 02. 10. 2009, str. 269-273.
- [9] N. M. Antovic, V. Popovic, I. Antovic, N. Svrkota, P. Vukotic, "Measuring ^{137}Cs , ^{40}K and decay products of ^{226}Ra and ^{232}Th in samples of different nature by a multidetector spectrometer", *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* (ISSN 0236-5731), 2011, 290(1), 81-88.
- [10] Гольданский В. И., Куценко А. В., Подгорецкий М. И., 1959. Статистика отсчетов при регистрации ядерных частиц. Физмат. Москва.
- [11] Андрухович С. К., Берестов А. В., Гаркуша С. Н., Рудак Э. А., Хильманович А. М., Узунбаджаков А. С., Зязюля Ф. Е., Антович Н., 2007. Расширение возможностей 4π-гамма-спектрометров ПРИПЯТЬ. *Ядерна физика та енергетика (Nuclear Physics and Atomic Energy)*, 2(20), 140.

BASIC RESEARCH FOR COINCIDENCE METHOD OF CS-134 MEASUREMENT

Nikola SVRKOTA¹, Nevenka M. ANTOVIĆ², Tomislav ANĐELIĆ¹

¹Centre for ecotoxicological research, Podgorica, Montenegro

²Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Podgorica, Montenegro

The origin of ^{137}Cs , whether it was generated as a global fallout or reactor (Chernobyl) accident, is determined with assessment its relationship with ^{134}Cs . ^{134}Cs is artificial radionuclide, produced in nuclear power reactors, with a half-life of 2.1 years. Since the data on ^{134}Cs activity in Montenegro weren't publish after the Chernobyl disaster in 1986, there is no information about relation between these two radionuclides and therefore its detection in the Montenegro's environment is not possible nowadays. Their detection (^{134}Cs and ^{137}Cs) and separation with NaI (TI) detector is aggravated with close energies of gamma rays (605 keV and 662 keV), as well as with rays of close energies from natural radionuclides, causing a need for the development of coincidence measurement method. Using 2 detectors of spectrometer Pripyat ($\sim 180^\circ$), ^{134}Cs source is analyzed in an integrated, non-coincidence and the mode of double coincidences. This paper presents the results of the initial research for the establishment of coincident detection methods and determination of artificial radionuclide ^{134}Cs activity in samples from the environment.

CIP - Каталогизација у публикацији –
Народна библиотека Србије, Београд

614.876(082)

621.311.25(477.41)(082)

504.5:539.16(497.11)(082)

ЧЕРНОБИЉ : 30 година после : монографија / уредник
Гордана Пантелић. - Београд : Институт за нуклеарне науке
"Винча", Лабораторија за заштиту од зрачења и заштиту
животне средине "Заштита" : Друштво за заштиту од зрачења
Србије и Црне Горе, 2016 (Београд : Институт за нуклеарне
науке "Винча"). - 286 стр. : илустр. ; 25 cm

Тираж 150. - Библиографија уз сваки рад. - Summaries.

ISBN 978-86-7306-138-2 ("Винча")

1. Пантелић, Гордана [уредник]

а) Нуклеарна електрана "Чернобил" - Хаварија - Зборници

б) Животна средина - Загађење радиоактивним материјама

- Србија - Зборници с) Несреће у нуклеарним електранама

- Последице - Зборници д) Јонизујуће зрачење - Штетно

дејство - Србија - Зборници

COBISS.SR-ID 226685452