

I. Bikit, L. Marinkov i M. Vesković  
Institut za fiziku PMF u Novom Sadu  
Novi Sad, Ilije Djuričića 4

NISKOŠUMNA ZAŠTITA ZA POLUPROVODNIČKI  
GAMA SPEKTROMETAR

LOW-LEVEL SHIELD FOR SEMICONDUCTOR  
GAMMA SPECTROMETERS

SADRŽAJ. Opisan je princip konstrukcije i dati su detalji niskošumne zaštite za poluprovodnički gama spektrometar. Zaštita je izradjena od gvoždenog lima livenog pre drugom svetskoj rata u obliku kocke sa korisnom zapreminom od  $1\text{m}^3$  i sa debljinom zidova od 25cm. Fon meren u komori za 200Ks, ne sadrži linije veštačkih radioizotopa i u energetske oblasti od 23-2700KeV ima integralnu vrednost od  $1,060 \pm 0,002$  impulsa/s. Za upotrebljen Ge(Li) spektrometar efikasnosti od 14,5% određene su granice detekcije za izvor konačnih dimenzija. Za  $p_{\gamma} = 1$  na energiji od 1MeV granica detekcije u komori iznosi 0,12Bq. Diskutovane su dodatne metode redukcije fona u komori i mogućnosti primene niskošumnog spektrometarskog sistema.

ABSTRACT. The construction principles and the details of the low-level shielding for semiconductor  $\gamma$  detectors are described. The shield was assembled from steel sheets casted before the II World war, to a cubical shape with the useful volume of  $1\text{m}^3$  and wall thickness of 25cm. The background measured in the chamber for 200Ks was free of artificial isotope lines, and in the energy region 23-2700KeV had the integral value  $1,060 \pm 0,002$  counts/s. For the Ge(Li) spectrometer with counting efficiency 14,5%, the detection limits for finite size source have been determined. For  $p_{\gamma} = 1$  at the energy of 1MeV the detection limit has the value 0,12Bq. The additional means of background reduction in the chamber are discussed together with the possible applications of the low-level spectroscopy system.

## 1. UVOD

Zbog sve masovnije upotrebe radioaktivnih izotopa u industriji i medicini i zbog brzog razvoja nuklearne energetike, zaštita prirode od radioaktivnog zagađenja postaje sve aktuelnija. Poznato

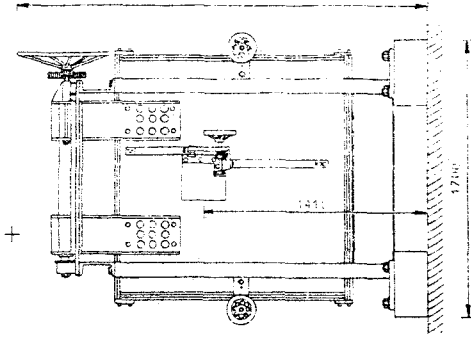
je da ne postoji donji prag štetnog dejstva jonizujućeg zračenja na žive organizme, te je neophodno da se i najmanje promene aktivnosti radioizotopa u prirodi blagovremeno registruju. Jasno je da se male promene u radioaktivnosti mogu detektovati samo pomoću izuzetno osetljivih mernih instrumenata.

U novije vreme se za merenje aktivnosti radionuklida u prirodnim uzorcima sve više koristi [1,2] visokorezoluciona gama spektrometrija koja omogućuje simultanu identifikaciju i kvantitativno određivanje svih gama emitera. Obzirom na veliki domet gama zračenja zaštita poluprovodničkih gama spektrometara (Ge(Li), IGe), velike efikasnosti detekcije, od zračenja okoline, osnovni je problem pri ispitivanju niskih aktivnosti.

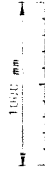
U ovom radu je opisana "niskošumna" zaštita za gama spektrometre izradjena u Institutu za fiziku u Novom Sadu i izloženi su prvi rezultati ispitivanja njenih performansi.

## II. STRATEGIJA PROJEKTOVANJA ZAŠTITE

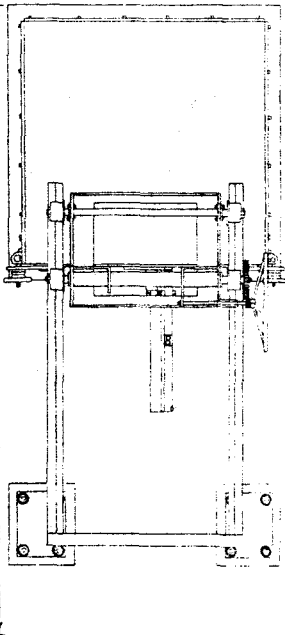
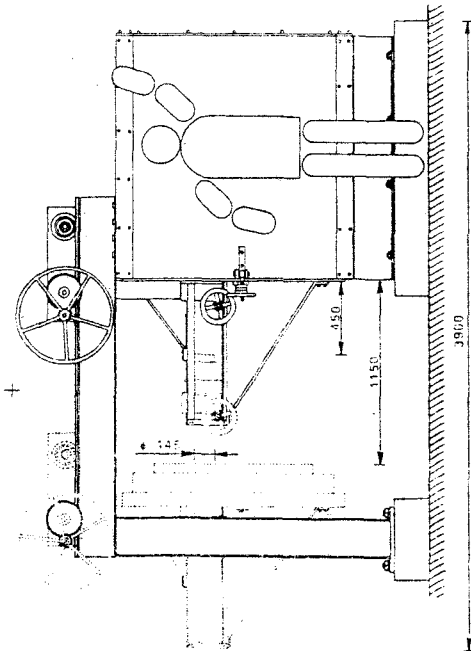
Niskošumna zaštita je planirana pre svega za merenje gama aktivnosti prirodnih uzoraka, radi kontrole radioaktivnih zagađivača. Znači ona je trebala da omogući kvalitetno rutinsko merenje uzoraka velike zapremine i nije smela da sadrži tragove dugoživećih fisionih produkata. Kao najpogodniji izolacioni materijal izabrano je gvoždje liveno pre drugog svetskog rata koje ne sadrži fisione produkte iz vazdušnih nuklearnih eksplozija. Da bi zaštitna komora mogla da primi bez dodatne adaptacije različite detektore (sa vertikalnim ili horizontalnim kriostatom) odlučeno je da se detektor zajedno sa Dewarovim sudom smesti u komoru. Ovakav pristup je zahtevao da se izradi komora velike korisne zapremine. Planirano je da se nedostaci ovog rešenja (detektor "gleda" na veliku površinu komore, aktivnost iz Dewarovog suda nije izolovana, relativno velika količina radona u komori) u drugoj fazi izgradnje eliminišu dodatkom aktivne antikoincidentne zaštite ili sloja čistog izolacionog materijala (živa, elektrolitički bakar) oko samog kristala. Za smeštaj komore je izabrana takva lokacija u zgradi Instituta za fiziku koja je udaljena od svih izvora zračenja i u kojoj nije radjeno sa radioaktivnim izotopima.



NAJHERA:



ZASTIHA ČELIČNA KONOGA ZA  
NISKOTIŠNO GAŠE SP. KROVOPRILE



ČAROVAT PLOŠ ZA VARNOSTIŠNE PIZIŠE  
ČAROVAT PLOŠ ZA VARNOSTIŠNE PIZIŠE

Sl.1.

## III. OPIS ZASTITNE KOMORE I EKSPERIMENTALNA TEHNIKA

Zidovi komore su sastavljeni od gvoždenog lima debljine od oko 1cm koji je izliven pre drugog svetskog rata. Limene ploče su u Brodospasu u Splitu isečeni iz oplate starog švedskog broda "Orijent-II". Ploče su u brodogradilištu 21. Maj u Beogradu peskarenjem očišćene, ispravljene i oblikovane. Projektovanje i montažu komore je izvela Geosonda iz Beograda. Projektnim zadatkom bilo je predviđeno da se komora izradi isključivo od starog gvoždja i da se kompletno montira bez varenja. Pokazalo se, da je iz datog polaznog materijala, prema navedenim zahtevima, najpogodnije izraditi komoru u obliku kocke sa bočnim pomičnim vratima. Debljina zidova komore iznosi 25cm a korisna zapremina  $1m^3$ . Skica komore je prikazana na slici 1. Pomična vrata su visećeg tipa i pomoću prenosnog mehanizma se pokreću na starim željezničkim šinama. Na pomičnim vratima se nalaze kružna vrata ( $\phi = 15cm$ ) za postavljanje uzoraka za merenje. Radi smanjenja uticaja zračenja podloge cela komora je uzdignuta sa betonskog postolja na visinu od 0,5m pomoću nosača izradjenih takodje od starih željezničkih šina. Na zidovima komore se nalaze samo otvori za dolivanje tečnog azota u Dewarov sud ( $\phi = 20mm$ ), za vodjenje električnih kablova do detektora ( $\phi = 15mm$ ) i dva otvora od  $\phi = 20mm$  za prinudnu ventilaciju.

Sva merenja performansi komore su izvedena pomoću "Closed end Coaxial" Ge(Li) spektrometra proizvođača Canberra. Osetljiva zapremina detektora je oko  $80cm^3$ , efikasnost 14,5% a moć razlaganja (F.W.H.M.) ispod 2KeV. Signali iz detektora su preko predpojačavača i pojačavača Canberra vodjeni u višekanalni analizator Nuclear Data - 2400 sa 4096 kanala.

## IV. REZULTATI MERENJA SA KOMENTARIMA

Osnovna informacija o kvalitetu zaštite komore i o eventualnim radioaktivnim primesama u zaštitnom materijalu dobija se direktnim uporedjenjem gama spektara, merenim sa detektorom izvan komore i sa detektorom u komori. Komparativna merenja ovakvog tipa su vršena integralno (u odredjenim energetske oblastima) i diferencijalno za najintenzivnije linije pozadinskog zračenja:

Integralna merenja su vršena u energetske opsegu od 0,025 do 6MeV i njihovi rezultati su prikazani u Tabeli I. Kao što se vidi iz ove tabele faktor redukcije za celu energetske oblast je

90 a u energetsom intervalu od praktičnog interesa (0,023-2,7MeV) u komori detektor ima "fon" od  $1,060 \pm 0,002$  imp/s.

TABELA I  
Rezultati integralnih merenja

Energetski opseg (MeV)	Broj impulsa u 200Ks		Faktor redukcije 1/2
	1) van komore ( $\times 10^{-3}$ )	2) u komori ( $\times 10^{-3}$ )	
0,023 - 6	19940	221	90
0,023 - 2,7	19922	212	94
0,4 - 6	3587	59,8	60
0,55 - 6	2574	45,1	57
1 - 6	1105	29,1	38
1,5 - 6	323	19,0	17
2 - 6	152	13,8	11
2,7 - 6	18	9,0	2

Diferencijalnom analizom spektara snimljenih u komori registrovane su samo spektralne linije koje potiču od prirodnih radioaktivnih izvora, što potvrđuje da materijal komore ne sadrži tragove veštačkih radioizotopa. Podaci za najintenzivnije linije iz prirodne aktivnosti, mereni izvan i unutar komore navedeni su u kolonama 1 i 2 tabele 2. Faktori redukcije za ove linije su prikazani u koloni 5 iste tabele i upoređeni su sa teorijskim faktorima redukcije (kolona 6) za gvoždje. Jasno se vidi da faktori redukcije ne prate jaku energetska zavisnost koeficijenta totalne pasorpcije gama zračenja. To direktno pokazuje da se izvori zračenja ne nalaze izvan komore (sem  $^{40}\text{K}$ ), ni u materijalu komore, već u samoj komori i verovatno najvećim delom potiču od gasovitih članova radioaktivnih nizova U i Th.

Da bi se ispitao uticaj unutrašnjeg zaštitnog sloja na fon u komori izvršena su i probna merenja sa raspoloživim olovnim cilindrom unutrašnjeg prečnika  $\phi = 10\text{cm}$ , dužine  $l = 27\text{cm}$  i debljine  $d = 5\text{cm}$ , koji je smešten oko kristala Ge(Li) spektrometra. Rezultati ovih merenja su prikazani u koloni 3 tabele 2, a faktor redukcije u odnosu na merenja u komori bez olovnog cilindra dat je u koloni 7. Kao što se vidi olovni cilindar redukuje intenzitete linija

TABELA 2

Rezultati diferencijalnih merenja

Izotop	$E_{\gamma}$ (MeV)	Broj impulsa u 200Ks				5) $R_1$ 1/2	6) $R_{teor}$	7) $R_2$ 2/3
		1) van komore ( $\times 10^{-2}$ )	2) u komori	3) u komori sa 5cm Pb	4) Ref.3.			
Pb-212	239	574±9	842±84	876±35	-	68±7	$1,5 \times 10^8$	0,96±0,10
Pb-214	295	173±7	431±60	93±45	247±52	40±6	$1,5 \times 10^6$	4,6 ±2,3
Pb-214	352	384±6	664±55	<40	485±54	58±5	$8,5 \times 10^5$	>15
Anih.	511	150±4	1550±56	1292±43	2322±66	10±0,4	$6 \times 10^4$	1,20±0,06
Tl-208	584	237±4	173±34	84±25	571±43	137±27	$2,2 \times 10^4$	2,0±0,7
Bi-214	609	361±4	371±36	57±25	368±42	97±9	$2 \times 10^4$	6,5±2,9
Ac-228	911	185±3	71±25	58±27	71±29	260±92	$4,2 \times 10^3$	1,2±0,7
Ac-228	969	145±3	58±22	26±20	-	250±95	$3 \times 10^3$	2,2±1,9
Bi-214	1120	102±2	65±19	<18	55±12	157±46	$1,9 \times 10^3$	>2,5
K-40	1461	950±3	126±19	60±16	323±25	754±114	$8 \times 10^2$	2,1±0,6
Bi-214	1764	96±1	78±15	<20	60±17	123±24	$4 \times 10^2$	>3,1
Tl-208	2616	197±1	45±12	39±11	288±20	438±117	$1,5 \times 10^2$	1,1±0,4

iz U niza za više od 4 puta, dok su intenziteti iz niza Th praktično nepromenjeni. Integralni odbroj u komori u oblasti od 0,023 do 2,7MeV je sa olovnom cilindrom smanjen na vrednost  $0,717 \pm 0,002$ .

U koloni 4 tabele 2 su radi uporedjenja navedeni rezultati istraživanja [3] fona sa Ge(Li) spektrometrom efikasnosti 22,3% u olovnoj zaštiti debljine 15cm i korisne zapremina od  $1,5 \times 10^{-3} \text{m}^3$ .

Na osnovu rezultata merenja fona u komori (bez olovnog cilindra) i izmerene efikasnosti detektora za cilindrične izvore debljine  $d = 1,1 \text{cm}$  i prečnika  $\phi = 8 \text{cm}$  korišćenjem standardne [1] formule:

$$A_m = \frac{1}{\epsilon \cdot p_\gamma} \cdot \frac{(\delta \sqrt{T})^{-1} + 2\sqrt{E}}{\delta \sqrt{T}}$$

gde je  $\epsilon$  - efikasnost detektora;  $p_\gamma$  - broj emitovanih gama kvanata po raspadu;  $T$  - vreme merenja (granice detekcije su računate za  $T = 100 \text{Ks}$ ) i  $\delta$  - relativna standardna devijacija rezultata (računata za  $\delta = 1/3$ ) i  $E$  - intenzitet fona na mestu date  $\gamma$  linije, izračunate su granice detekcije za tipične fisione i korozivne produkte koji se mogu javiti kao zagadivači od nuklearnih elektrana. Ovi rezultati su prikazani u tabeli 3.

TABELA 3

Granice detekcije u komori

Izotop	$A_m$ (Bq)
$^{144}\text{Ce}$	0,35
$^{125}\text{Sb}$	0,30
$^7\text{Be}$	0,08
$^{137}\text{Cs}$	0,09
$^{95}\text{Zn}$	0,19
$^{134}\text{Cs}$	0,11
$^{60}\text{Co}$	0,12

## V. ZAKLJUČAK

U ovom radu su prikazani principi izrade i dat je opis niskošumne zaštite za gama spektrometar. Rezultati merenja fona u komori su pokazali da je dobijena kvalitetna univerzalna spoljašnja zaštita za bilo koji poluprovodnički spektrometar. Kao što se može zaključiti iz podataka u tabeli 3 opisan sistem omogućuje kvalitetna rutinska merenja radioaktivnosti u prirodnim uzorcima sa dovolj-

nom osetljivošću za monitoring radioaktivnih efluenata iz nuklearnih elektrana. Međutim, glavna prednost opisane niskošumne zaštite je u tome, što omogućuje daljnje usavršavanje i dodatnu redukciju fona. Kada se prinudnom ventilacijom iz komore eliminiše skupljanje radona i kada se detektor opremi antikoincidentnom zaštitom ili okruži unutrašnjim izolacionim slojem sistem će omogućiti merenje znatno nižih nivoa radioaktivnosti. Kako se u komoru istovremeno mogu smestiti i dva Ge(Li) spektrometra ona pruža mogućnost i za koincidentnu detekciju retkih radioizotopa.

Autori se zahvaljuju mr G. Tudoriću za pomoć u nabavci brodskog lima i ing M. Mladenoviću za izvedbu konstrukcije komore.

#### VI. LITERATURA

- [1] H. Oeschger and M. Wahlen: "Low Level Counting Techniques" Ann.Rev. of Nucl.Science, 10, pp.53, (1978).
- [2] Adams and Dams: "Applied Gamma Ray Spectroscopy" Argonne, Argonne Nat.Lab., 1975.
- [3] A. Kukoč i P. Adžić: "Background Spectrum Study With Ge(Li) Gamma Spectrometer" Saopšteno na Second International Conference on Low Level Counting "Low Radioactivities' 80" High Tatras, Czechoslovakia, November 1980.