

**ДРУШТВО ЗА ЗАШТИТУ ОД ЗРАЧЕЊА  
СРБИЈЕ И ЦРНЕ ГОРЕ**



**ЗБОРНИК  
РАДОВА**

**XXIX СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ  
Сребрно језеро  
27- 29. септембар 2017. године**

**Београд  
2017. године**

**SOCIETY FOR RADIATION PROTECTION OF  
SERBIA AND MONTENEGRO**



# PROCEEDINGS

**XXIX SYMPOSIUM DZZSCG  
Srebrno jezero  
27- 29. September 2017**

**Belgrade  
2017**

ЗБОРНИК РАДОВА

XXIX СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ  
27-29.09.2017.

Издавачи:

Институт за нуклеарне науке „Винча“  
Друштво за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе

За извршног издавача:

Др Борислав Грубор

Уредници:

Др Јелена Станковић Петровић  
Др Гордана Пантелић

ISBN 978-86-7306-144-3

©Institut za nuklearne nauke „Vinča“

Техничка обрада:

Јелена Станковић Петровић, Гордана Пантелић

Штампа:

Институт за нуклеарне науке ”Винча”, Мике Петровића Аласа 12-14, 11351  
Винча, Београд, Србија

Тираж:

150 примерака

Година издања:

Септембар 2017.

## MONTE KARLO SIMULACIJA FONa HPGe DETEKTORA OD RADIONUKLIDA, KOSMIČKOG I SKYSHINE ZRAČENJA

**Dimitrije MALETIĆ, Vladimir UDOVIČIĆ, Dejan JOKOVIĆ, Radomir BANJANAC, Aleksandar DRAGIĆ, Mihailo SAVIĆ, Nikola VESELINOVIĆ**

*Institut za fiziku, Univerzitet u Beogradu*

### **SADRŽAJ**

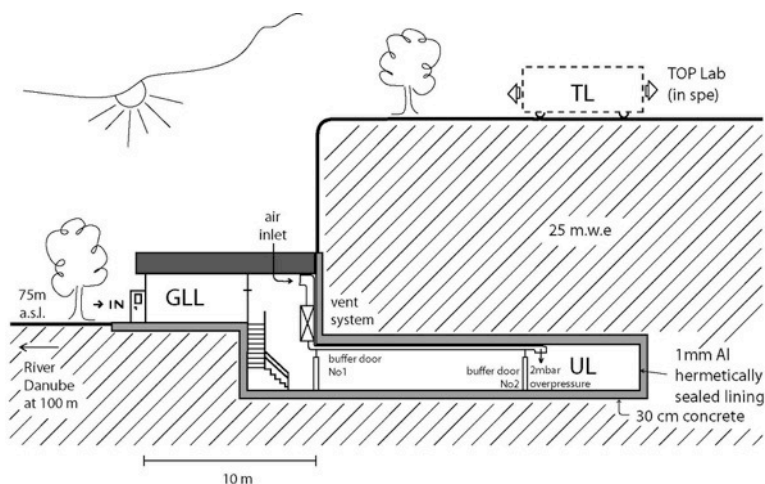
*U Niskofonskoj laboratoriji za Nuklearnu fiziku, više godina se izučavaju osobine fona HPGe detektora. Izučavanje fona važno je za eksperimente sa malim brojem interesantnih događaja ili retkih procesa u podzemnim laboratorijama. Izučavanja fona u Niskofonskoj laboratoriji započeta su izučavanjem fona zračenja od radionuklida, kao i fona od kosmičkog zračenja, koincidentnim tehnikama. Nedavno je izučavan i fon od skyshine zračenja. U ovom radu je predstavljena Monte Karlo simulacija fona HPGe detektora koji dolazi od pomenuta tri izvora zračenja. Rezultati simulacija kosmičkog zračenja odlično se slažu sa eksperimentalnim rezultatima, dok se za druge komponente mogu poboljšati. Postoji prednost simulacija koje daju razloženi fon na tri komponente, koja omogućava da se rezultati simulacija tri komponente fona za jednu laboratoriju mogu simulirati za druge podzemne ili nadzemne laboratorije menjanjem parametara u simulacionim programima. Fon se može simulirati za laboratorije koje mogu biti na različitoj geografskoj širini, nadmorskoj visini, sa različitim sastavom radionuklida u zemljištu i geometrijom laboratorije u kojoj se vrše merenja. Predstavljeni su nedostaci simulacija i da se rezultati mogu poboljšati radeći na detaljima u nekoliko faza simulacije.*

### **1. UVOD**

U Niskofonskoj laboratoriji za Nuklearnu fiziku u Institutu za fiziku Beograd, vrše se merenja komponentata zračenja prirodnog fona [1]. Prvenstveno se vrše merenja gama zračenja HPGe detektorom sa i bez olovne zaštite, takodje se vrši kontinualno merenje mionske komponente kosmičkog zračenja korišćenjem plastičnih scintilatora površine od po jednog kvadratnog metra, i to i u nadzemnoj i podzemnoj laboratoriji, kao i merenje radona aktivnim i pasivnim metodama, prvenstveno u podzemnoj laboratoriji. Podzemna laboratorija se nalazi 12 metara pod zemljom, što se predstavlja kao da se merenja vrše ispod vodenog absorbera visine od 25 metara, slika 1. Ekvivalencija je dobijena poznavajući sastav zemljišta, odnosno lesa koji je karakterističan za područje Zemuna. Pored merenja, u ovom radu se koriste i Monte Karlo simulacije, koje služe za poredjenje simulacija sa eksperimentalnim rezultatima, ili služe za izučavanje pojedinih komponentata fona. Monte Karlo simulacioni program koji se koristi je programski paket Geant4 [2], razvijen za potrebe simulacije prolaska čestica kroz materiju, odnosno za simulaciju deponovane energije i odziva detektora. Geant4 programski paket je najrašireniji programski paket za Monte Karlo simulacije i razvija se u CERN-u, prvenstveno za potrebe eksperimenata iz Fizike elementarnih čestica. Za simulacije kosmičkog zračenja koristi se programski paket CORSIKA [3] razvijen za potrebe eksperimenata koji izučavaju mionsku i elektromagnetnu komponentu visokoenergetskih kaskada koje se dobijaju upadom visokoenergetskih čestica primarnog kosmičkog zračenja koje interaguje sa atmosferom Zemlje. Ovaj programski paket razvijen je za potrebe Kaskade

eksperimenta u Tehnološkom institutu Karlsruhe, u Nemačkoj. Za potrebe korišćenja oba ova programa za namenu simulacija odgovora plastičnih scintilatora i HPGe detektora, u Niskofonskoj laboratoriji je razvijen poseban interfejs program koji omogućuje da se rezultati CORSIKA simulacija koriste u Geant4 simulacijama detektora u Niskofonskoj laboratoriji. Detaljno izučavanje prirodnog fona upotpunjeno je i simulacijama skyshine zračenja. Skyshine gama zračenje do HPGe detektora dolazi ne direktnom linijom od radionuklida iz zemljišta i građevinskog materijala, već odbijanjem i rasejanjem gama zračenja od atome okolnog vazduha, tj. atmosfere. U Niskofonskoj laboratoriji je izučavana meka komponenta gama spektra kojeg dobijamo merenjima HPGe detektorom, i zaključeno je da ona dolazi dominantno od skyshine zračenja, a manji deo od kosmičkog zračenja [4]. Simulacije skyshine zračenja su veoma zahtevne u pogledu kompjuterskog vremena za simulacije, pa je poželjno simulacije raditi na kompjuterskim klasterima.

Cilj ovog rada je predstavljanje eksperimentalnih rezultata fona HPGe detektora koji dolazi od radionuklida, kosmičkog zračenja i skyshine zračenja, poredjenje sa Monte Karlo simulacijama, i predstavljanje načina kombinovanja ove tri komponente fona za različita merna mesta.



**Slika 1. Grafički prikaz preseka Niskofonske laboratorije za Nuklearnu fiziku**

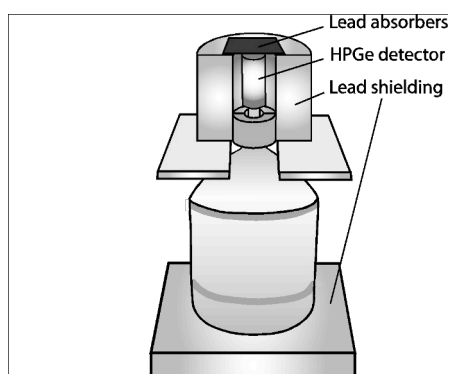
## 2. EKSPERIMENTALNA POSTAVKA

Eksperimentalna postavka u podzemnoj i nadzemnoj laboratoriji je identična i sastoji se od HPGe detektora u olovnoj zaštiti, koja je otvorena na gore, ili se kao „krov“ stavljaju tanki apsorberi, slika 2. Iznad HPGe detektora nalazi se plastični scintilator, koji koristi kao veto zaštita ako je postavljen u anti-koincidentnom modu, ili izdvaja komponentu u HPGe detektoru koju dobijamo od kosmičkog zračenja, ako je scintilator postavljen u koincidentnom modu, što je slučaj u ovom radu. Prikupljanje podataka se vrši analogno-digitalnom konverter karticom, koji zapise signala oba detektora šalje na računar. Potom se (off-line) vrši koincidiranje signala i obraduju rezultati.

## 3. MONTE KARLO SIMULACIJE

Simulacije počinju programskim paketom CORSIKA, zadavanjem komponenata primarnog kosmičkog zračenja koje upada na atmosferu Zemlje od 90% protona i 10%

alfa čestica. Ovo primarno kosmičko zračenje sudara se sa jezgrima atoma vazduha u atmosferi i produkuje sekundarno kosmičko zračenje, koje ima mionsku, elektromagnetnu i hadronsku komponentu koja se sastoji od protona, neutrona i rezultujućih jezgara koji brzo gube energiju u vazduhu. Kao parametri simulacija zadaje se nadmorska visina na kojoj se nalaze detektori u Niskofonskoj laboratoriji, kao i geografska dužina i širina laboratorije. Na ovaj način se za svako merno mesto zadaju različiti parametri i simulacija ima različite spektre za različita merna mesta (laboratorije). Potom se vrši ili simulacija Geant4 programskim paketom i to plastičnog scintilatora i HPGe detektora u olovnoj zaštiti ili simulira prolaz kosmičkog zračenja kroz 12 metara zemlje, pa onda simulira odgovor plastičnog scintilatora i HPGe detektora u podzemnoj laboratoriji.



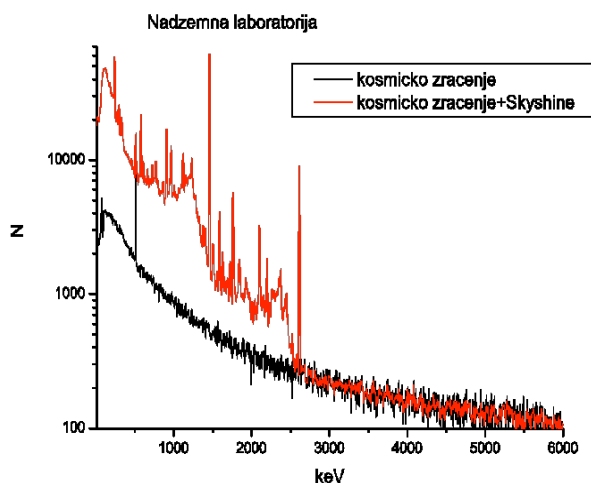
**Slika 2. Prikaz postavke HPGe detektora i olovne zaštite otvorene na gore, sa tankim apsorberom na vrhu**

Skyshine simulacije se vrše programskim paketom Geant4. Kao ulaz u simulaciju, koristi se pripremljeni set čestica sa pripadajućom energijom koji dolazi iz zemlje i okolnog materijala. Set čestica se priprema tako što se prvo iz snimljenog eksperimentalnog spektra HPGe detektora, uz poznavanje njegove krive efikasnosti, određuje odnos intenziteta linija radionuklida iz okoline. Potom ovi podaci služe za određivanje frekvencije pojavljivanja čestica zračenja od pojedinih radionuklida, što predstavlja ulaz u Geant4 simulaciju (generator primarnih čestica). Za nastavak simulacije, potrebno je definisati dimenzije i položaj zidova mernog mesta (laboratorije), kako bi se definisala zapremina vazduha i položaj zidova od kojih se zračenje radionuklida rasejava - što je i definicija skyshine zračenja. Simulirani spektar HPGe detektora od radionuklida sa uključenim skyshine zračenjem prikazan je na slici 3.

### 3. REZULTATI I DISKUSIJA

Monte Karlo simulacioni spektar HPGe detektora u koincidenciji sa scintilacionim veto detektorom u nadzemnoj laboratoriji, koji je predstavljen u ovom radu, dobijen je u dva koraka. Prvi korak se sastoji u simulaciji primarnog kosmičkog zračenja programskim paketom CORSIKA do nadmorske visine laboratorije (sekundarno kosmičko zračenje). Drugi korak je simulacija interakcije sekundarnog kosmičkog zračenja sa HPGe detektorom, a koje ujedno prolazi i kroz veto detektor (koincidentni signal). Drugi korak se simulira korišćenjem Geant4 programskog paketa. Simulacioni spektar HPGe detektora u koincidenciji sa scintilacionim veto detektorom u nadzemnoj laboratoriji prikazan je na slici 3, (crna boja, spektar sa nižim odbrojem), a odlično se slaže sa eksperimental-

nim koincidentnim spektrom. Simulacioni spektar HPGe detektora koji sadrži doprinos od simulacije kosmičkog zračenja i simulacije skyshine zračenja prikazan je na slici 3 (crvena boja, spektar sa višim odbrojem).



**Slika 3. Simulacioni spektar HPGe detektora sa doprinosom kosmičkog zračenja i skyshine i samo doprinosom kosmičkog zračenja – nadzemna laboratorija**

Sličnost simulacionog i eksperimentalnog spektra u prikazanim prvim rezultatima nije zanemarljiva. Iako simulacioni spektar u značajnoj meri ne odgovara eksperimentalnom, traba istaći da postoji dosta mesta za unapređenje i popravku simulacije. Prvi rezultati ohrabruju, i treba nastaviti sa detaljnijim simulacijama da bi se poboljšalo slaganje eksperimenta i simulacije.

Nedostaci prvih rezultata simulacija odgovora HPGe detektora na skyshine simulacije u velikoj meri dolaze od toga što je odnos intenziteta linija određen samo po maksimumu linija a ne integralu linija, potom nedostaci dolaze od toga što je kriva efikasnosti HPGe detektora dobijena simulacijama tačkastih izvora, zanemarujući da zračenje dolazi iz cele polu-sfere iznad detektora, slika 2. Potom nedostaci dolaze od toga što je geometrija laboratorijskih zidova i materijala bila veoma aproksimativna i pojednostavljena, kao i da su u cilju ubrzavanja simulacija, kako bi se dobio prvi rezultat, odabrani pojednostavljeni modeli niskoenergetskih interakcija u Geant4 programskom paketu.

#### 4. ZAKLJUČAK

U ovom radu su prikazani prvi rezultati Monte Karlo simulacija odgovora HPGe detektora na upadno kosmičko zračenje, doprinos od radionuklida iz okoline i doprinos od skyshine zračenja. Rezultati simulacija kosmičkog zračenja dobro se slažu sa eksperimentalnim rezultatima. Prednost simulacija koje daju razloženi fon na tri komponente, omogućavaju da se rezultati simulacija neke od tri komponente fona za jednu laboratoriju mogu koristiti za druge podzemne ili nadzemne laboratorije. Na primer, ako je HPGe detektor sličan i nalazi se u sličnoj zaštiti ali drugoj laboratoriji može da se koriste postojeći rezultati simulacija na doprinos od radionuklida i skyshine zračenja, potom ako su laboratorije na sličnoj geografskoj širini i dužini i nadmorskoj visini može se koristiti ista simulacija doprinosa od kosmičkog zračenja. Delovi simulacija koji ne mogu da se koriste ponovo, simuliraju se koristeći iste simulacione

programime samo sa modifikovanim parametrima (nadmorska visina, geometrija laboratorije i dr.). Tako se fon koji dolazi od kosmičkog zračenja može simulirati za laboratorije koje mogu biti na različitoj geografskoj dužini i širini i nadmorskoj visini menjanjem parametara u simulaciji CORSIKA programskim paketom). Ako laboratorije imaju različit sastav radionuklida u zemljištu i različitu geometriju laboratorije u kojoj se vrše merenja, simulira se modifikovanjem postavki Geant4 programa za simulaciju HPGe detektora. U radu su predstavljeni nedostaci simulacija i načinkako se rezultati mogu poboljšati radeći na detaljima u nekoliko faza simulacije.

### 5. ZAHVALNICA

Ovaj rad je urađen uz pomoć Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije unutar projekta osnovnog istraživanja pod oznakom OI171002.

### 6. LITERATURA

- [1] Dragic Aleksandar, Udovicic Vladimir, Banjanac Radomir, Jokovic Dejan, Maletic Dimitrije, Veselinovic Nikola, Savic Mihailo, Puzovic Jovan, Anicin Ivan V. The New Set-Up in the Belgrade Low-Level and Cosmic-Ray Laboratory. *NTRP*, vol. 26, br. 3, 2011, 181-192.
- [2] S. Agostinelli et al. Geant4 - a simulation toolkit. *NIMA*. 506, 2003, 250-303.
- [3] D. Heck, J. Knapp, J.N. Capdevielle, G. Schatz, T. Thouw. CORSIKA: A Monte Carlo Code to Simulate Extensive Air Showers, *Forschungszentrum Karlsruhe Report, 6019*, 1998.
- [4] Banjanac Radomir, Maletic Dimitrije, Jokovic Dejan, Veselinovic Nikola, Dragic Aleksandar, Udovicic Vladimir, Anicin Ivan. On the omnipresent background gamma radiation of the continuous spectrum, *NIMA*. 745, 2014, 7-11.

## MONTE KARLO SIMULATION OF HPGe DETECTOR BACKGROUND COMING FROM RADIONUCLIDS, COSMIC AND SKYSKINE RADIATION

**Dimitrije MALETIĆ, Vladimir UDOVIČIĆ, Dejan JOKOVIĆ, Radomir  
BANJANAC, Aleksandar DRAGIĆ, Mihailo SAVIĆ, Nikola VESELINOVIĆ**

*Institute of Physics, University of Belgrade*

### **ABSTRACT**

*In the Low Background Laboratory for Nuclear Physics background radiation of the HPGe detector was researched. This research is important for experiments with small number of interesting events or rare processes studied in underground laboratories. The background radiation research started with research of background from radionuclides and Cosmic rays using coincidence techniques. Recently, the skyshine radiation was researched. In this paper the Monte Carlo simulation of HPGe background is presented. Results for cosmic ray simulations agree very good with the experimental results, and for others can be improved. The simulation for other ground and underground laboratories can be done, by changing longitude, latitude and elevation, composition of radionuclides in soil. The possible improvements of the simulations are discussed.*