

**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.

## UTICAJ PROMENA MIONSKOG FLUKSA NA NIVO FONSKA AKTIVNOSTI U NISKOFONSKIM GAMA SPEKTROMETRIJSKIM MERENJIMA

Nikola JOVANČEVIĆ<sup>1</sup>, David KNEŽEVIĆ<sup>1</sup>, Miodrag KRMAR<sup>1</sup>, Jovana NIKOLOV<sup>1</sup>, Nataša TODOROVIĆ<sup>1</sup>, Strahinja ILIĆ<sup>2</sup>

1) Univerzitet u Novom Sad, Prirodno-matematički fakultet, Departman za fiziku, Novi Sad, Republika Srbija, nikola.jovancevic@df.uns.ac.rs

2) Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Republika Srbija

### SADRŽAJ

Mioni predstavljaju glavnu komponentu kosmičkog zračenja na nivou mora, zbog čega su značajan izvor fonske aktivnosti u gama spektrometrijskim merenjima. Fonsku aktivnost mioni mogu proizvoditi interakcijama sa detektorom i okolnim materijalima. Tom prilikom nastali neutroni daju takođe značajan doprinos vrednosti fonske gama aktivnosti. U ovom radu su predstavljeni rezultati merenja korišćenjem HPGe detektora sa gvozdenom i olovnom pasivnom zaštitom u dva okruženja, kada je iznad detektora bila prisutna različita debljina pokrovnog betonskog sloja. Monitoring prisustva miona je vršen korišćenjem plastičnog scintilacionog detektora. Određene su vrednosti inteziteta gama pikova koji se javljaju usled neutronske reakcije i upoređeni su sa promenom prisustva miona u okruženju detektora. Dobijeni rezultati mogu poslužiti za unapređenje projektovanja zaštite prilikom niskofonskih gama spektrometrijskih merenja.

### 1. UVOD

Mioni su jedna od glavnih komponenta kosmičkog zračenja na nivou mora [1]. Putem različitih interakcija oni daju bitan doprinos odbroju fonskog zračenja u različitim niskofonskim gama spektroskopskim merenjima [2-6]. Jedan od načina na koji mioni utiču na detekciju fonskih događaja je njihova interakcija sa detektorom i okolnim materijalima, prvenstveno materijalima zaštite detektora. Tom prilikom pre svega putem zahvata miona na materijalima velike gustine i visokog rednog broja može doći do produkcije neutrona [6-8]. Na ovaj način kreirani neutroni interaguju sa detektorom i okolnim materijalima. Ove interakcije se pre svega odvijaju putem zahvata neutrona i njihovog rasejanja. To dovodi do toga da se u snimljenim gama spektrima detektuju gama pikovi koji prate deekscitaciju jezgara pobuđenih u ovim procesima [9,10]. Detekcija ovih događaja je često neželjena tokom različitih gama spektroskopskih merenja. Zbog toga je od važnosti analizirati kako se gama aktivnost uzrokovana interakcijama fonskog neutronske spektra menja u zavisnosti od promene prisustva miona u okruženju detektora [11-17]. Treba napomenuti da se doprinos miona fonskom zračenju otklanja izgradnjom dubokih podzemnih laboratorija ili korišćenjem različitih aktivnih zaštita [18, 19]. Međutim, u ovom radu biće razmatran ovaj doprinos u nadzemnim laboratorijama sa malom debljinom pokrovnog sloja.

Da bi se analizirala korelacija između prisustva miona i gama aktivnosti indukovane neutronske interakcijama u ovom radu su vršena merenja sa dva HPGe detektora koja su bila prisutna u dva različita okruženja. U prvom slučaju iznad detektora je bio tanji pokrovni sloj u vidu jedne betonske ploče, dok je u drugom slučaju debljina pokrovnog

sloja bila četiri betonske ploče. Monitoring prisustva miona je izvršen merenjima pomoću plastičnog scintilacionog detektora. Treba napomenuti i da su HPGe detektori imali dve različite zaštite, olovnu i gvozdenu, te je na taj način analiziran i uticaj promene mionskog fluksa na produkciju neutrona u ovim materijalima.

Snimljeni gama spektri su analizirani i utvrđeni su intenziteti gama pikova koji potiču od neutronske reakcije i njihova promena je upoređena sa varijacijama prisustva miona u okruženju detektora. Ovakva analiza može poslužiti za buduće projektovanje i izgradnju niskofonskih gama spektroskopskih laboratorija.

## 2. EKSPERIMENTALNA POSTAVKA I MERENJA

Gama spektrometrijska merenja su izvršena na Departmanu za fiziku, PMF, Novi Sad. Tom prilikom su korišćena dva germanijumska poluprovodnička detektora (HPGe) [10, 12, 14].

Prvi detektorski sistem se sastojao od HPGe detektora proizvođača Canberra. Detektor je koaksijalni n-tima, sa U-tipom kriostatske konfiguracije. Relativna efikasnost ovoga detektora je 100 % i aktivna zapremina mu je  $380 \text{ cm}^3$ . Detektor je postavljen u kućište sa prednjim prozorom od karbon fibera visoke čistoće sa debljinom od 0.89 mm, što omogućava visoku efikasnost za detekciju zračenja i sa energijama manjim od 20 keV. Detektor se nalazio u pasivnoj zaštiti izrađenoj od olova (Canberra model 777B). Ukupna masa zaštite je 1633 kg. Debljina zaštite je 15 cm s tim što je 125 cm spoljašnjeg sloja zaštite izgrađeno od običnog niskoaktivnog olova a unutrašnji sloj od 25 cm je od posebno namenjenog olova koje sadrži koncentraciju aktivnosti  $^{210}\text{Pb}$  od 20 Bq/kg. Zaštita takođe sadrži i sloj bakra debljine 1.5 mm i kalaja debljine 1 mm [10].

Drugi detektorski sistem je HPGe detektor relativne efikasnosti 22.3% i zapremine  $119 \text{ cm}^3$  (Canberra model G.C.2525-7600). Detektor je bio smešten u gvozdenoj zaštiti zidova debljine 25 cm i mase od oko 20 tona [10]. Zaštita je proizvedena od gvožđa izlivenog pre Drugog svetskog rata zbog čega ne sadrži radioaktivnu kontaminaciju prouzrokovanu nuklearnim probama i havarijama na nuklearnim postrojenjima. Gvozdena zaštita je oblika kocke i ima korisnu zapreminu od oko  $1 \text{ m}^3$  što omogućava postavljanje u zaštitu detektora zajedno sa Djuardovim sudom.

Monitoring prisustva miona je vršen korišćenjem plastičnog scintilatora. Ovaj detektor je dimenzija 50cm·50cm·5cm. Proizvođač detektora je Sconix Holland BV a tip detektora je R500\*50 N 500/2P+VD 10-E2-X. Ova vrsta detektora je prvenstveno namenjena za izgradnju aktivnih zaštita germanijumskih detektora prilikom niskofonskih gama spektrometrijskih merenja.

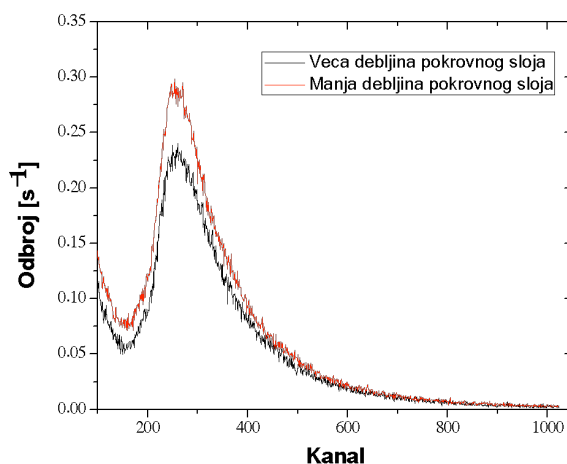
Merenja u ovom radu sa dva germanijumska sistema i detektorom za praćenje prisustva miona su vršena na dve lokacije. Na prvoj lokaciji debljina pokrovnog sloja je bila od jedne betonske ploče debljine oko 20 cm dok je na drugoj lokaciji debljina pokrovnog sloja bila četiri betonske ploče (oko 80 cm). Mogućnost za ova merenja se javila usled preseljenja Laboratorije za gama spektroskopiju na Departmanu za fiziku u Novom Sadu. Na ovaj način je bilo moguće izvršiti analizu promene prisustva miona u dva različita okruženja i takođe analizirati promene u snimljenim gama spektrima.

Za potrebnu analizu su izvršena snimanja vremenski dugih fonskih spektara sa vremenom merenja od 252237 s do 2473816 s. Takođe na obe lokacije su vršena merenja i sa scintilacionim detektorom pri čemu su vremena merenja bila oko 2 h. To vreme merenja je bilo dovoljno da prikupljen broj događaja bude zadovoljavajući za statističku analizu podataka.

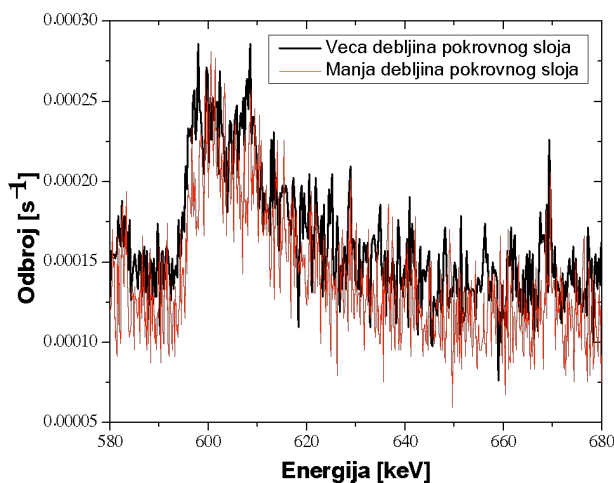
## 3. REZULTATI

Na slici 1 prikazani su snimljeni spektri sa scintilacionim detektorom na dve lokacije. U spektrima se uočava karakterističan pik od interakcije miona sa detektorom. Određen je ukupan odbroj ispod mionskog pika i vrednosti za dva data merenja su upoređene. Dobijeni rezultati si prikazani u tabeli 1.

Svi snimljeni gama spektri sa germanijumskim detektorima su analizirani pri čemu je posebna pažnja posvećena analizi broja detektovanih gama kvanata koji se javljaju usled interakcija neutrona sa germanijumom. Posebno su zanimljiva dva gama pika. Prvi od njih je sa energijom od 139,9 keV i prati zahvat neutrona na izotopu germanijuma  $^{74}\text{Ge}$  ( $^{74}\text{Ge}(n,\gamma)^{75\text{m}}\text{Ge}$ ) [2]. Ovaj gama pik se standardno koristi za određivanje prisustva sporih neutrona u niskofonskim spektrometrijskim sistemima sa Ge detektorima. Na slici 3 su prikazani delovi snimljenih spektara sa uočljivim pikom energije od 139,9 keV. Drugi gama pik čiji je intenzitet analiziran, prikazan na slici 2, ima energiju od 691 keV i detektuje se usled neelastičnog rasejanja neutrona na izotopu germanijuma  $^{72}\text{Ge}$  ( $^{72}\text{Ge}(n,n')^{72}\text{Ge}$ ) [2]. Ovaj gama pik se standardno koristi kao indikator prisustva brzih neutrona u samom germanijumskom detektoru.



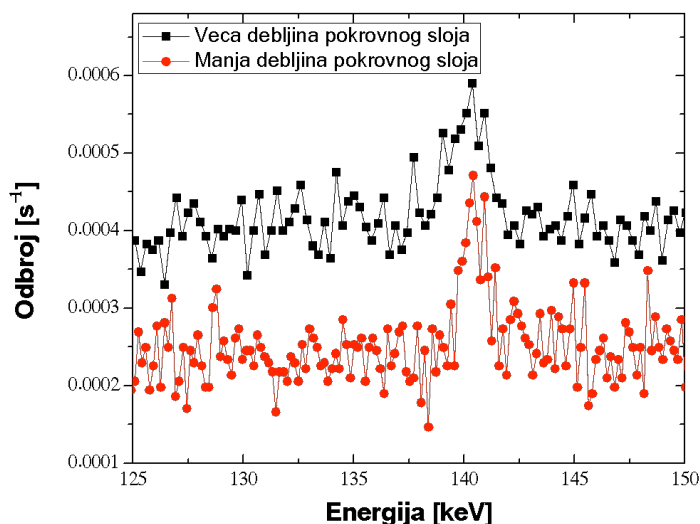
**Slika 1. Snimljeni spektri sa scintilacionim detektorom na dve različite lokacije sa uočljivim pikom koji potiče od detekcije miona**



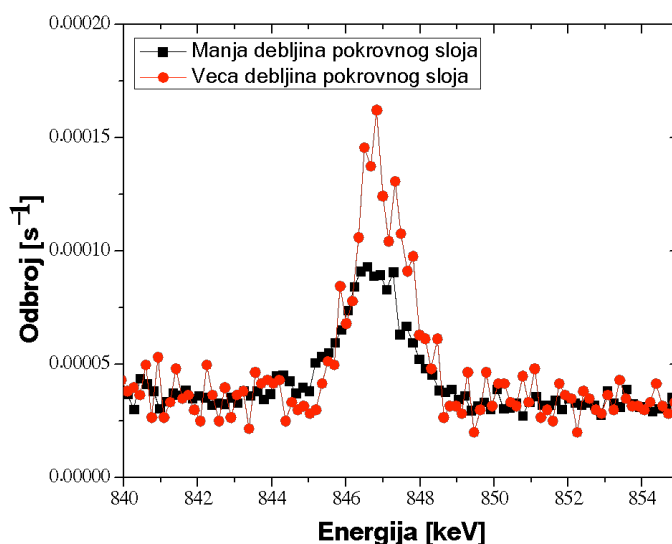
**Slika 2. Deo snimljenih spektara sa HPGe detektorom u olovnoj zaštiti sa uočljivim gama pikom od 691 keV koji prati reakciju  $^{72}\text{Ge}(n,n')^{72}\text{Ge}$**

Intenziteti ovih pikova su određeni i upoređeni su njihovi odnosi za oba HPGe detektora na dve merne lokacije. Rezultati su prikazani u tabeli 1.

Za analizu prisustva brzih neutrona u gvozdenoj zaštiti posebno može poslužiti gama pik energije od 846,8 keV koji prati reakciju  $^{56}\text{Fe}(n,n')^{56}\text{Fe}$ . Zbog toga su i intenziteti ovoga pika analizirani i predstavljeni u tabeli 1, dok je deo spektra koji sadrži ovaj pik prikazan na slici 4.



Slika 3. Deo snimljenih spektara sa HPGe detektorom u olovnoj zaštiti sa uočljivim gama pikom od 139 keV koji prati reakciju  $^{74}\text{Ge}(n,\gamma)^{75\text{m}}\text{Ge}$



Slika 4. Deo snimljenih spektara sa HPGe detektorom u gvozdenoj zaštiti sa uočljivim gama pikom od 846,8 keV koji prati reakciju  $^{56}\text{Fe}(n,n')^{56}\text{Fe}$

**Tabela 1. Detektovani intenziteti i odnosi gama pikova koji potiču od neutronske interakcije sa Ge detektorom i detektovani intenziteti mionskih događaja. Pozicija 1 - manja debljina pokrovnog sloja, Pozicija 2 - veća debljina pokrovnog sloja**

	Pozicija 1	Pozicija 2	I <sub>1</sub> /I <sub>2</sub>
	I <sub>1</sub> [s <sup>-1</sup> ]	I <sub>2</sub> [s <sup>-1</sup> ]	
<b>Odbroj mionskih događaja</b>	56,51(28)	46,63(23)	1,212(8)
<b>139,9 keV <sup>72</sup>Ge(n,γ)<sup>73</sup>Ge HPGe sa Pb zaštitom</b>	0,00128(7)	0,00088(5)	1,47(11)
<b>139,9 keV <sup>72</sup>Ge(n,γ)<sup>73</sup>Ge HPGe sa Fe zaštitom</b>	0,00134(5)	0,000618(16)	2,18(8)
<b>691 keV <sup>74</sup>Ge(n,n')<sup>74</sup>Ge HPGe sa Pb zaštitom</b>	0,00463(14)	0,00338(9)	1,37(5)
<b>691 keV <sup>74</sup>Ge(n,n')<sup>74</sup>Ge HPGe sa Fe zaštitom</b>	0,0008(1)	Nije detektovano	-
<b>846,8 keV <sup>56</sup>Fe(n,n')<sup>56</sup>Fe</b>	0,00119(4)	0,000710(17)	1,69(7)

#### 4. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

U ovom radu analiziran je uticaj promene prisustva miona na fonske događaje generisane neutronske reakcijama sa germanijumskim detektorima u olovnoj i gvozdenoj zaštiti. Monitoring mionskog fluksa sa scintilacionim detektorom je pokazao da je na lokaciji sa manjim pokrovnim slojem prisutan oko 20% veći broj miona. Što je i očekivan rezultat usled veće atenuacije miona u većoj debljini materijala.

Rezultati pokazuju da smanjenje broja miona prati i smanjenje broja detektovanih odbroja u gama pikovima koji potiču od neutronske reakcije. To je posledica manje produkcije neutrona u materijalu zaštite detektora usled manjeg broja miona koji stižu do detektora u slučaju veće debljine pokrovnog sloja. Međutim, smanjenje broja neutrona je različito za detektore sa olovnom i gvozdenom zaštitom. Uočava se da je promena broja neutrona mnogo manja u olovnoj nego u gvozdenoj zaštiti (tabela 1). Smanjenje broja sporih neutrona (poređenje intenziteta gama linije od 139,9 keV) je u olovu oko 47% dok je u gvožđu značajno veće, čak više od dva puta. Isti trend se zapaža i za brze neutrone (gama linija od 691 keV). Broj brzih neutrona procenjen na osnovu neutronske interakcije sa Ge je za oko 40% veći u slučaju manje debljine pokrovnog sloja. U slučaju Ge detektora u gvozdenoj zaštiti gama pik od 691 keV nije detektovan i neophodno je izvršiti fonsko merenje sa većim periodom merenja da bi se mogao utvrditi intenzitet ovoga pika. Odnosi detektovanih intenziteta gama pika od 846 keV upućuju na smanjenje broja brzih neutrona od oko 70% u gvozdenoj zaštiti.

Ovde prikazani rezultati će biti osnova za dalju analizu uticaja promene mionskog fluksa na produkciju neutrona u različitim materijalima koji su prisutni u okruženju germanijumskih detektora tokom niskofonskih gama spektrosopskih merenja. Ova analiza takođe može pružiti i informacije značajne za buduće projektovanje i izgradnju niskofonskih laboratorija za gama spektrometriju.



### 5. LITERATURA

- [1] In: Povinec, P.P. (Ed.), *Analysis of Environmental Radionuclides*. Elsevier, Amsterdam, pp. 209–239. S. Niese, 2008. Underground laboratories for low-level radioactivity measurements.
- [2] G.P. Škoro et al., Environmental neutrons as seen by a germanium gamma-ray spectrometer, *Nucl. Instr. and Meth. A* 316 (1992) 333-336.
- [3] G. Fehrenbacher et al., Fast neutron detection with germanium detectors: computation of response functions for the 692 keV inelastic scattering peak, *Nucl. Instr. and Meth. A* 372 (1996) 239-245.
- [4] G. Heusser, Cosmic ray interaction study in low-level Ge spectrometry, *Nucl. Instr. And Meth. A* 369 (1996) 539-543.
- [5] R. Wordel et al., Study of neutron and muon background in low-level germanium gamma-ray spectrometry, *Nucl. Instr. And Meth. A* 369 (1996) 557-562.
- [6] W.V. Scroder et al, *Z. Phys.* 239 (1974) 57.
- [7] E. Gete et al., Neutron-induced peaks in Ge detectors from evaporation neutrons, *Nucl. Instr. And Meth. A* 388 (1997) 212-219.
- [8] T. Siiskonen and H. Toivonen, A model for fitting peaks induced by fast neutrons in an HPGe detector, *Nucl. Instr. And Meth. A* 540 (2005) 403-411.
- [9] M. Krmar et al., A method to estimate a contribution of Ge(n,n') reaction to the low-energy part of gamma spectra of HPGe detectors, *Nucl. Instr. And Meth. A* 709, (2013) 8-11.
- [10] N. Jovancevic and M. Krmar, Analysis of Neutron Induced Gamma Activity in Lowbackground Ge – Spectroscopy Systems, *Physics Procedia*, 31, (2012) 93-98.
- [11] M. Krmar et al., Measurement of  $^{56}\text{Fe}$  activity produced in inelastic scattering of neutrons created by cosmic muons in an iron shield, *Applied Radiation and Isotope*, 70(1), (2012), 269-273.
- [12] N. Jovančević and M. Krmar, Neutrons in the low-background Ge-detector vicinity estimated from different activation reactions, *Applied Radiation and Isotopes*, 69, (2011), 629-635.
- [13] N. Jovančević et al., Neutron induced background gamma activity in low-level Ge-spectroscopy systems, *Nucl. Instr. And Meth. A* 612, (2009), 303-308.
- [14] I. Bikit et al., Production of X-rays by cosmic-ray muons in heavily shielded gamma-ray spectrometers, *Nucl. Instrum. Methods A* 606, (2009), 495-500.
- [15] S. Croft et al., The specific total and coincidence cosmic-ray-induced neutron production rates in materials, *Nucl. Instrum. Methods A* 505, (2003), 536–539.
- [16] Da Silva et al., Neutron background for a dark matter experiment at a shallow depth site, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A* 354, (1995), 553-559.
- [17] Y. Feige et al., Production rates of neutrons in soils due to natural radioactivity, *J. Geophys. Res.* 73, (1968), 3135–3142.
- [18] G. Heusser, 1994. Background in ionizing radiation detection. In: Garcia-Leon, M., Gracia-Tenorio, R. (Eds.), *Low-Level Measurements of Radioactivity in the Environment*. World Scientific, Singapore, pp. 69–112.
- [19] G. Heusser, Low-radioactivity background techniques, *Annu. Rev. Nucl. Part. Sci.* 45, (1995), 543–590.

**INFULECE OF MUON FLUX VARIATIONS TO LEVEL OF  
BACKGROUND ACTIVITY DURING LOW-BACKGROUND  
GAMMA SPECTROMETRIC MEASUREMENTS**

**Nikola JOVANČEVIĆ<sup>1</sup>, David KNEŽEVIĆ<sup>1</sup>, Miodrag KRMAR<sup>1</sup>, Jovana  
NIKOLOV<sup>1</sup>, Nataša TODOROVIĆ<sup>1</sup>, Strahinja ILIĆ<sup>2</sup>**

- 1) *University of Novi Sad, Faculty of Science, Department of Physics, Novi Sad,  
Republic of Serbia, nikola.jovancevic@df.uns.ac.rs*
- 2) *Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Republic of Serbia*

***ABSTRACT***

*Muons are one of the main components of cosmic radiation on the sea level and there are significant source background activities during gamma spectroscopic measurements. Background activity can be produced by muon interactions with detector and surrounding materials. On this way created neutrons also have high influence on detection of background events. In this work there are presented the results of measurements by use of HPGe detectors with iron and lead shields. The detectors were located in two different environments where the different thicknesses of covering concrete layer were present. The monitoring of muons presence was done by measurements with plastic scintillation detector. The levels of neutron induced gamma activates were determined and compared with changing of muon flux in detectors environment. The results can be used for improving of new detector shield in gamma spectrometry measurements.*