



# ISPITIVANJE KOMPONENTI FONSKOG SPEKTRA HPGe DETEKTORA U OLOVNOJ ZAŠTITI PRIMENOM MONTE KARLO SIMULACIJA

Danijel VELIMIROVIĆ, Dušan MRĐA, Jan HANSMAN, Jovana KNEŽEVIĆ, Sofija FORKAPIĆ, Kristina BIKIT, Ištvan BIKIT

Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad, Srbija, email: danijel.velimirovic@df.uns.ac.rs

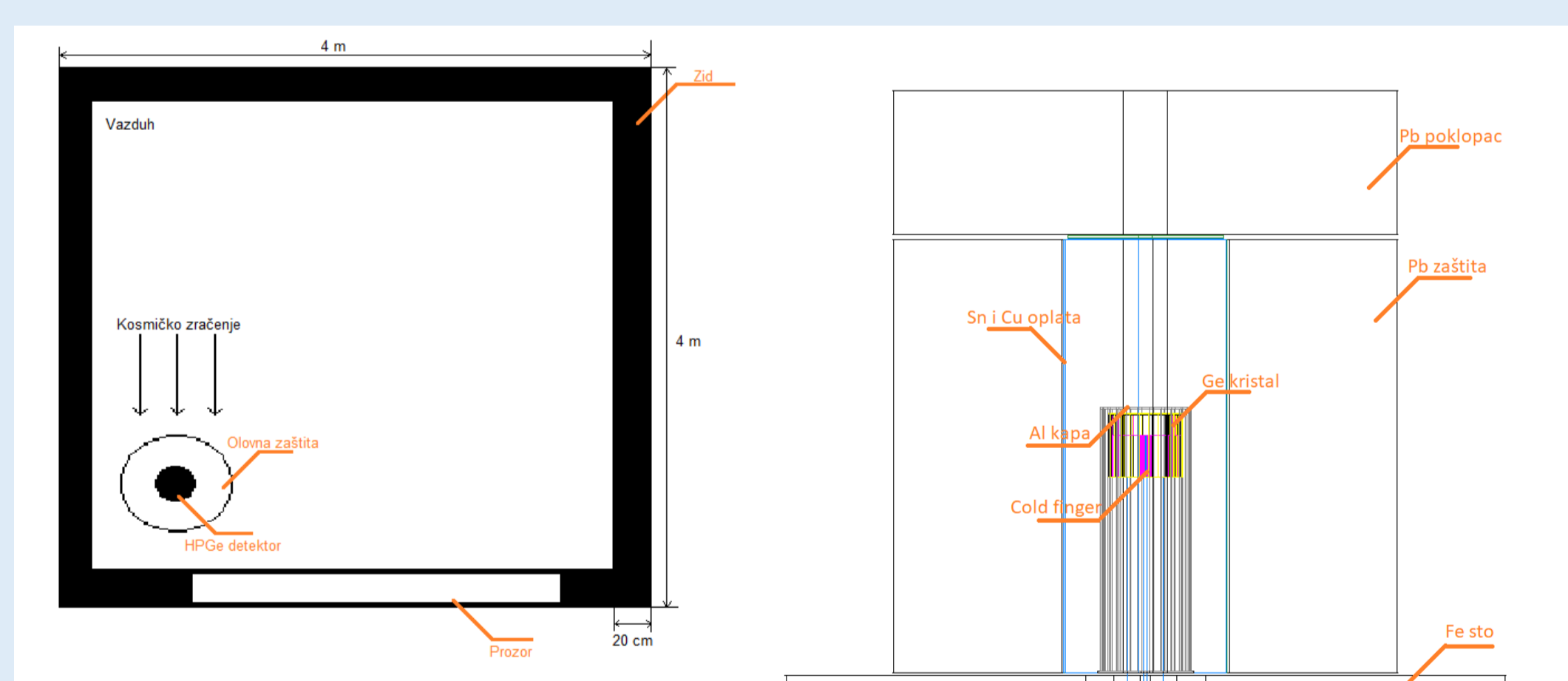


## UVOD

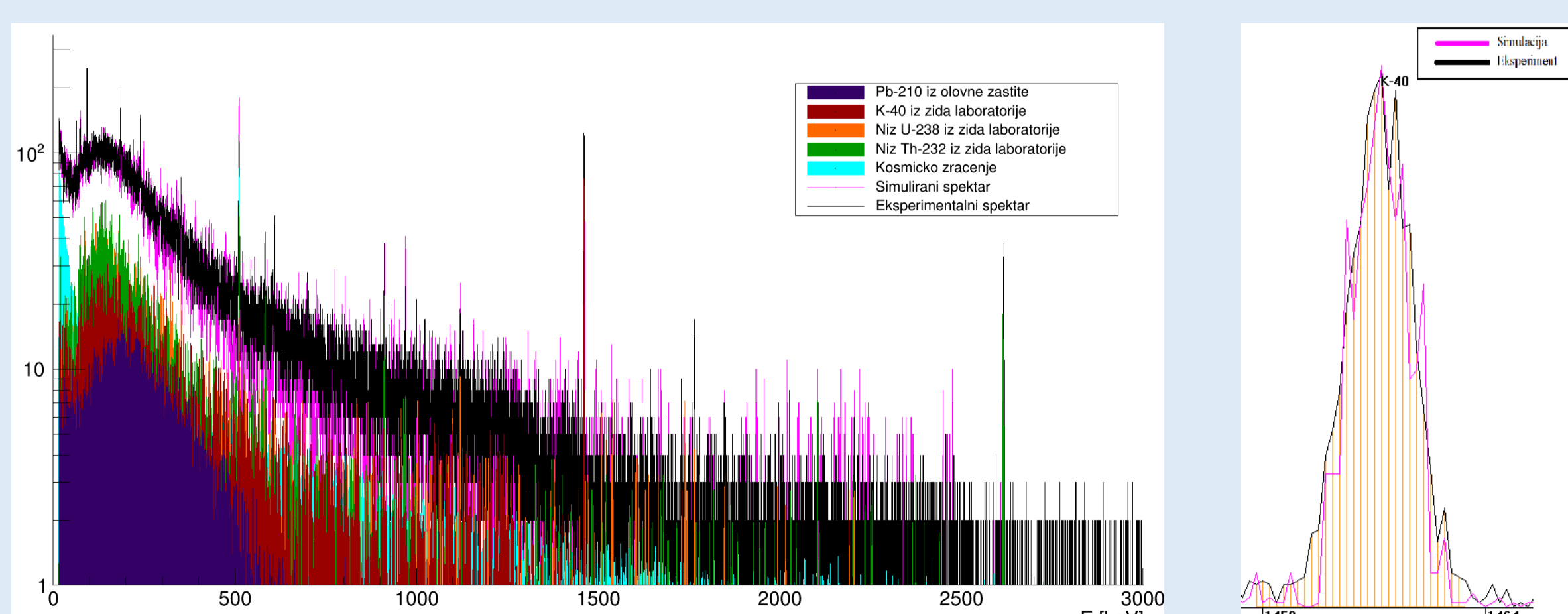
- Veliki izazov sa kojim se suočavaju niskofonski gamaspektrometrijski sistemi je potreba da se uticaj fonskog zračenja iz okruženja spektrometra svede na minimum. Kako bi se ovo postiglo, detektor se mora opkoliti materijalima visoke gustine, visokog rednog broja i visoke radiočistoće.
- Osnovni izvori fona HPGe detektora potiču od: **kosmičkog zračenja, prirodnih radioizotopa u okruženju detektora, kontaminacije zaštite detektora**, ali i **materijala od kojih je detektor napravljen**.
- Cilj ovog rada bio je ispitivanje doprinosa pojedinih komponenti fonu HPGe detektora u olovnoj zaštiti upotrebom Monte Carlo simulacija i Geant4 programskog paketa. Simuliran je celokupan detektorski sistem, kao i laboratorija u kojoj se sistem nalazi, a dobijeni rezultati su upoređeni sa eksperimentalnim.

## EKSPERIMENTALNA POSTAVKA I MONTE KARLO SIMULACIJE

- Spektar fona HPGe detektora u olovnoj zaštiti snimljen je u Laboratoriji za ispitivanje radioaktivnosti uzoraka i doze jonizujućeg i nejonizujućeg zračenja, u zgradi Departmana za Fiziku, Prirodno-matematičkog fakulteta u Novom Sadu. Simulirani model laboratorije sa naznačenim dimenzijama i pozicijom detektora je prikazan na slici 1.
- Detektor je modelovan na osnovu tehničke specifikacije obezbeđene od strane proizvođača, koja obuhvata dimenzije i vrste materijala koje ulaze u sastav detektorskog sistema, a oko detektora je modelovana cilindrična olovna zaštita.
- Prethodnim gama spektrometrijskim analizama utvrđeno je da su koncentracije aktivnosti Th-232 i Ra-226 građevinskog materijala u zidu približno identične i da iznose ~45 Bq/kg, dok je koncentracija K-40 13 puta veća ~600 Bq/kg. Svi raspadi od značaja generisani su iz zidova laboratorije
- Kosmički mioni emitovani su iz kvadrata površine 0,25 m<sup>2</sup>, postavljenog iznad olovnog poklopca, dok je mionski fluks na nivou mora procenjen na 167 1/(s\*m<sup>2</sup>).
- Kontaminacija olova simulirana je raspadima Pb-210 direktno iz olovne zaštite.
- Skaliranje pojedinačnih spektara navedenih komponenti na ekvivalentno vreme, a i Gausovo širenje spektralnih linija koristeći funkciju zavisnosti širine linije od energije, izvršeno je naknadno pomoću programskog paketa ROOT.



Slika 1. Model laboratorije i HPGe detektorskog sistema.



Slika 2. Kvalitativni prikaz doprinosa simuliranih komponenti fona i gausovski proširena linija K-40.

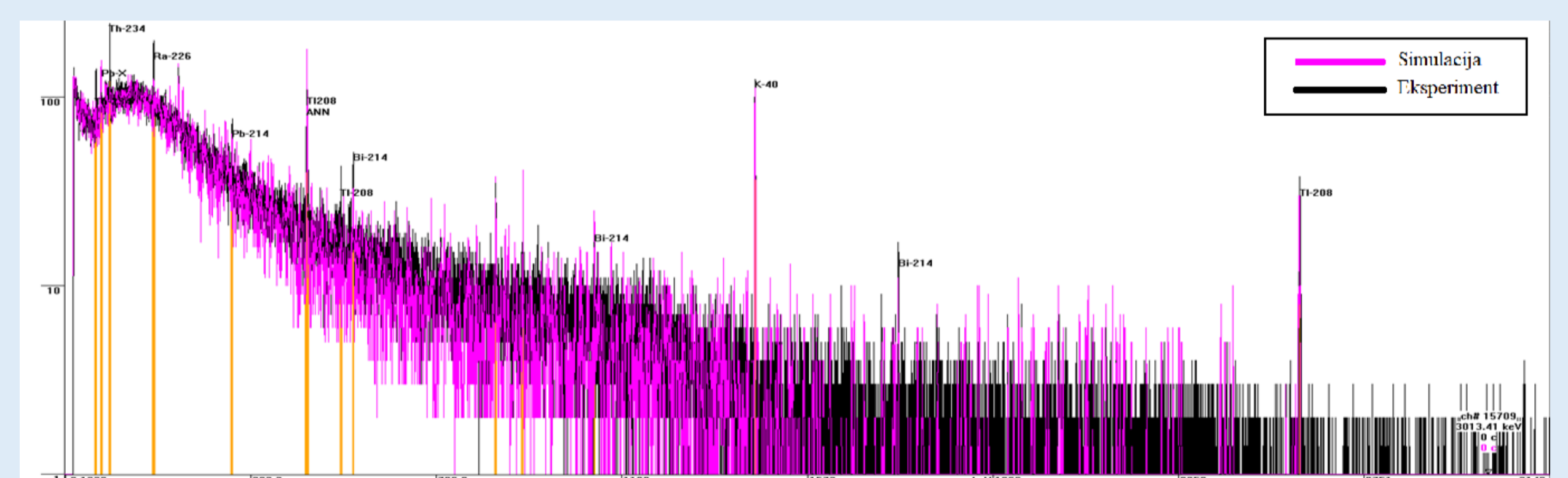
## REZULTATI

Tabela 1. Simulirane komponente i njihov doprinos fonu HPGe detektora.

Komponenta fona	Broj generisanih raspada	A [Bq/kg]	I <sub>det</sub> [c]	t <sub>ekv</sub> [s]	R <sub>sim</sub> [c/s]	Σ	R <sub>exp</sub> [c/s]	Doprinos fonu [%]
Niz U-238	8×10 <sup>9</sup>	45	6507	10833	0,60	2,92	3,02	19,9
Niz Th-232	8×10 <sup>9</sup>	45	8849	10833	0,82			27,1
K-40	10×10 <sup>9</sup>	600	5826	9627	0,61			20,0
Kosmičko zračenje	10×10 <sup>6</sup>	-	122797	197090	0,62			20,6
Pb-210	500×10 <sup>6</sup>	200	14425	52709	0,27			9,1

Tabela 2. Eksperimentalni i simulirani net odbroji pod fotopikovima karakterističnih prirodnih radionuklida i njihov međusobni odnos.

E <sub>γ</sub> [keV]	Radionuklid	N <sub>exp</sub>	N <sub>sim</sub>	N <sub>sim</sub> / N <sub>exp</sub>
186,1	U-235/Ra-226	555	361	0,65
238,53	Pb-212	373	364	0,98
351,6	Pb-214	220	201	0,91
511	Ann	1070	1220	1,14
609	Bi-214	207	181	0,87
911	Ac-228	170	163	0,96
1120	Bi-214	83	79	0,95
1460,8	K-40	1286	1149	0,89
1764,4	Bi-214	134	117	0,87
2614,6	Tl-208	364	351	0,96



Slika 3. Eksperimentalni i simulirani gama spektar HPGe detektora u olovnoj zaštiti sa označenim fotopikovima karakterističnih prirodnih radionuklida.

## ZAKLJUČAK

- Posmatrajući celokupan region od 0 do 3 MeV utvrđeno je veoma dobro slaganje, razlike svega 10 %.
- Iz dobijenih rezultata zaključujemo da najveći uticaj na fon HPGe detektora imaju upravo primordijalni radioaktivni nizovi, od kojih najveći doprinos ima niz Th-232, dok je doprinos kosmičkog zračenja gotovo identičan onom od U-238 i K-40.
- Direktnim poređenjem odbroja pod fotopikovima koji potiču od prirodnih gama emitera utvrđeno je relativno dobro slaganje eksperimentalnih i simuliranih rezultata. Odstupanje od 35 % na gama liniji od 186,1 keV može poticati od prisustva U-235 u okruženju detektora, a čiji raspadi ovde nisu simulirani.
- Rezultati nam govore da su prvobitno pretpostavljene koncentracije aktivnosti prirodnih radionuklida koji se nalaze u blizini detektorskog sistema, kontaminacija zaštite, kao i fluks kosmičkih miona, relativno dobro procenjeni.

## ZAHVALNICA

Istraživanja je finansiralo Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (Ev. br. 451-03-9/2021-14/ 200125)