

ODREĐIVANJE KONCENTRACIJE AKTIVNOSTI ^{210}Pb U OLOVNIM ZAŠTITAMA

Jaroslav Slivka, Dušan Mrđa, Ester Varga, Miroslav Vesković
 Departman za fiziku, Prirodno-matematički fakultet u Novom Sadu

Sadržaj - ^{210}Pb se koncentruje pri izdvajanju olova iz rude tako da je najznačajniji zagađivač olovnih predmeta. Sadržaj ovog radioizotopa je najveća smetnja pri izradi niskofonskih olovnih zaštita za gama-spektrometre. U ovom radu prikazujemo metod koji omogućuje da se ^{210}Pb odredi u već izgrađenim olovnim zaštitama iz fonske linije od 46.5 keV.

1. UVOD

Radioizotop ^{210}Pb spada u poslednje članove prirodnog radioaktivnog niza ^{238}U (Tabela I.). Raspada se sa periodom poluraspada od 22.3 godina, koji je znatno duži od perioda poluraspada potomaka, tako da se ceo kraj niza do stabilnog ^{206}Pb raspada sa ovim periodom. ^{210}Pb se koncentruje pri izdvajanju olova iz rude tako da je najznačajniji zagađivač novih olovnih predmeta. Sadržaj ovog radioizotopa je najveća smetnja pri izradi niskofonskih olovnih zaštita za gama-spektrometre [1].

Tabela I. Radioaktivni niz ^{238}U

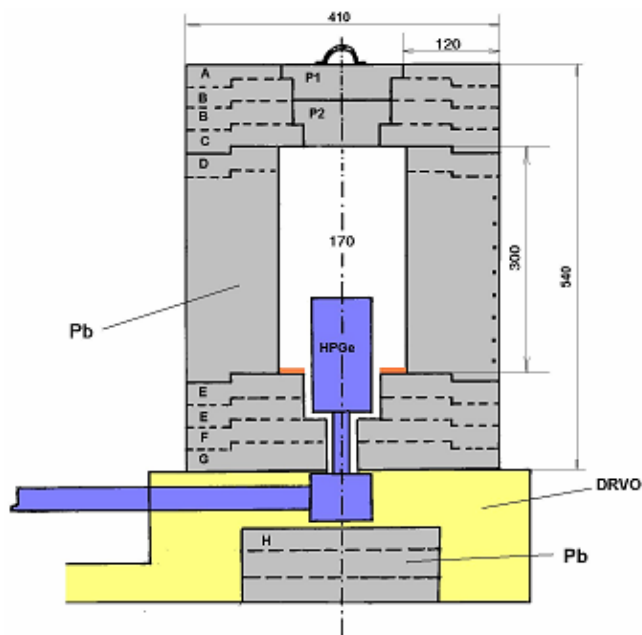
Izotop	$T_{1/2}$	Tip raspada
^{238}U	4.47+9 godina	α
^{234}Th	2.41+1 dana	β^-
^{234}Pa	1.17+0 min	β^-
^{234}U	2.48+5 godina	α
^{230}Th	7.70+4 godina	α
^{226}Ra	1.60+3 godina	α
^{222}Rn	3.82+0 dana	α
^{218}Po	3.05+0 min	α
^{214}Pb	2.68+1 min	β^-
^{214}Bi	1.98+1 min	β^-
^{214}Po	1.62+2 μsec	α
^{210}Pb	2.23+1 godina	β^-
^{210}Bi	5.01+0 dana	β^-
^{210}Po	1.38+2 dana	α
^{206}Pb	stabilan	

Uranov niz posle ^{210}Pb emituje [2] svega dve značajnije γ linije sa energijama od 46.5 keV-a i 803.0 keV-a intenziteta 4.05 % i 0.0011% respektivno. Obzirom na mali intenzitet linije od 46.5 keV-a, sa tankim slojem unutrašnje zaštite (Fe, Cu), sama γ emisija potomaka ^{210}Pb ne predstavlja ozbiljnu smetnju pri izradi niskofonske zaštite. Međutim, ^{210}Bi emituje β zračenje sa maksimalnom energijom od 1161 keV, a njegov potomak ^{206}Tl β zračenje sa maksimalnom energijom od 1531 keV. Zakočno zračenje od ovih β raspada može znatno da podigne kontinuiran fon u regionu ispod 1 MeV. Neka savremena olova sadrže i do 2500 Bq/kg ^{210}Pb tako da uticaj odgovarajućeg zakočnog zračenja može biti izuzetno veliki.

2. EKSPERIMENT

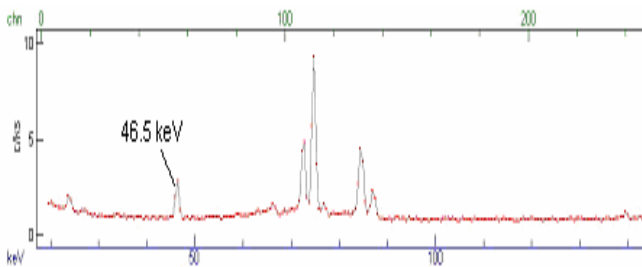
Zbog velike samoapsorpcije linije od 46.5 keV gama-spektrometrijsko određivanje sadržaja ^{210}Pb u olovu je složen eksperimentalni problem.

U ovom radu prikazujemo metod koji omogućuje da se ^{210}Pb odredi u već izgrađenim olovnim zaštitama iz fonske linije od 46.5 keV. Šema olovne zaštite u kojoj je određen sadržaj ^{210}Pb prikazana je na Slici br.1.



Slika 1. Šema olovne zaštite oko GMX detektora

Zaštita je postavljena oko HpGe detektora tipa GMX relativne efikasnosti od 35%. Apsolutna fotoefikasnost detektora na 46.5 keV-a izmerena je pomoću referentnog izvora SRM (rečni mulj) proizvođača NIST (USA). Za cilindričnu kontaktnu geometriju izvora dimenzija $\Phi = 67$ mm i $h = 62$ mm dobijena je vrednost $\varepsilon_{SRM} = 25(4) \times 10^{-3}$. Niskoenergetski deo fonskog spektra prikazan je na Slici 2., na kojem se jasno uočava vrh totalne apsorpcije od 46.5 keV. Sa Slike 1. se vidi da se oblik olovne zaštite može veoma dobro aproksimirati geometrijom Marineli jer je efikasnost detekcije za gama zračenje "od dole" za 46.5 keV zanemarljivo mala. Imajući u vidu da je apsorpcija ispitivanog γ zračenja u 1.1 mm olova veća od 10^5 , ispitivana olovna zaštita se može aproksimirati sa Marineli sudom prečnika $\Phi = 172$ mm, visine $h = 430$ mm i debljine zidova 1.1 mm.



Slika 2. Niskoenergetski deo fonskog spektra u olovnoj zaštiti

Efekti različitih geometrija i različitog hemijskog sastava na efikasnost detekcije se mogu izračunati na osnovu dobro testiranog koncepta efektivnog prostornog ugla [3], odnosno računskog algoritma ANGLE. Na osnovu ovog algoritma efikasnost detekcije za opisan Marineli sud se može izraziti kao:

$$\varepsilon_{M,Pb} = \varepsilon_{C,SRM} \frac{\Omega_{M,Pb}}{\Omega_{C,SRM}} \quad (1)$$

gde je $\Omega_{M,Pb}$ – efektivni prostorni ugao za Marineli sud od olova, a $\Omega_{C,SRM}$ – efektivni prostorni ugao za cilindrični uzorak SRM. Iz dimenzija i hemijskog sastava uzorka su izračunati efektivni prostorni uglovi:

$$\begin{aligned} \Omega_{C,SRM} &= 0.302 \\ \Omega_{M,Pb} &= 0.012 \end{aligned} \quad (2)$$

Korišćenjem izmerenih vrednosti za $\varepsilon_{C,SRM}$ i navedenih vrednosti za Ω dobijena je vrednost efikasnosti detekcije za Marineli sud:

$$\varepsilon_{M,Pb} = 0.001 \quad (3)$$

Pomoću standardne formule za koncentraciju aktivnosti:

$$A_C = \frac{R}{m \varepsilon_{M,Pb} p_\gamma} \quad (4)$$

gde je R – brzina brojanja u vrhu totalne apsorpcije od 46.5 keV ($R = 3.4 \pm 0.3$ C/ks), m – masa Marineli suda ($m = 3.2$ kg), p_γ – apsolutni intenzitet gama prelaza ($p_\gamma = 0.042$), dobijena je koncentracija aktivnosti ^{210}Pb u olovnoj zaštiti:

$$A_C = 25 \pm 5 \text{ Bq/kg} \quad (5)$$

3. ZAKLJUČAK

Opisana olovna zaštita je izrađena od starih olovnih vodovodnih cevi kupljenih na otpadu. Pri livenju površinski sloj rastopljenog olova je odbačen radi prečišćavanja. Primenjenom tehnologijom dobijeno je olovo visoke radiočistoće. Naime, obično olovo korišćeno u podzemnim eksperimentima obično ima oko 200 Bq/kg ^{210}Pb [4], dok se specijalnim skupocenim postupcima proizvodi olovo sa nekoliko desetina Bq/kg ^{210}Pb [5].

Opisana metoda se može koristiti za određivanje ^{210}Pb u većim komercijalnim olovnim zaštitama koje imaju cilindričnu formu. Naravno, ako olovna zaštita ima tanak unutrašnji sloj bakra ili kadmijuma, apsorpcija γ linije od 46.5 keV-a treba da se dodatno uzme u obzir.

Određivanje doprinosa zakočnog zračenja ^{210}Pb fonu gama-spektrometra biće predmet naših daljih istraživanja.

LITERATURA

- [1] A.Alessandro et al. "Measurements of internal radioactive contamination in samples of Roman lead to be used in experiments on rare events", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 142 (1998) pp. 163-172
- [2] R.B.Firestone, V.S.Shirley, *Tables of Isotopes*, 8th ed., Wiley, New York, 1996
- [3] L.Moens et al., "Calculation of the absolute peak efficiency of gamma-ray detectors for different counting geometries", *Nuclear Instruments and Methods* 187 pp. 451 (1981)
- [4] B.Bunzl, W.Kracke, *Nuclear Instruments and Methods* A238 (1985) pp. 131
- [5] W.A.Kolb, *Environment. Intern.* 14 (1994) pp. 367

Abstract – ^{210}Pb is concentrated during the separation lead from the ore and therefore it is the main pollutant of lead products. The content of this isotope limits the applicability of lead for low-level shielding of gamma spectrometers. In this paper, a new method for the determination of ^{210}Pb activity concentration in lead shielding from 46.5 keV gamma line intensity is presented.

DETERMINATION OF ^{210}Pb ACTIVITY CONCENTRATION IN LEAD SHIELDING

Dušan Mrđa, Jaroslav Slivka, Ester Varga, Miroslav Vesković