

ODREĐIVANJE GRANICA DETEKCIJE ZA BROJANJE BETA ČESTICA

Goran Manić, Branko Radojković, *Zavod za zdravstvenu zaštitu radnika, Vojislava Ilića b.b, Niš*
Vesna Manić, *Prirодно-matematički fakultet u Nišu, Višegradska 33, Niš*

Sadržaj - U radu je prikazan proračun vrednosti kritičnog nivoa, granice detekcije i minimalne detektibilne koncentracije (MDC) za eksperiment brojanja beta čestica, za uzorke vode i vazduha. Dokazano je prisustvo ne-Poisson-ovih članova u varijansi fona, tako da su granice detekcije procenjene na osnovu eksperimentalne standardne devijacije odbroja "praznog" uzorka i parametara t -raspodele. Dobijene vrednosti za MDC slažu se sa literaturno navedenim podacima za pijaću vodu i čestice vazduha na filtru.

1. UVOD

Nakon laboratorijske analize, potrebno je odgovoriti na važno pitanje: "Da li uzorak emituje analiziranu vrstu zračenja?" To često nije lak problem, s obzirom na statističku prirodu radioaktivnog raspada i njoj pridruženu neodređenost merenja, a pored toga, iz dobijenog rezultata treba izdvojiti i uticaj fona.

Odluka o tome da li rezultat merenja radioaktivnosti (u okolini nule) predstavlja nulu ili zaista reprezentuje statistički značajan broj odbroja, vrši se upoređivanjem dobijene vrednosti neto odbroja, N_s , sa granicom odluke, tzv. kritičnim nivoom, L_c . Signal se smatra detektovanim ako je $N_s > L_c$ [1]. Za odabrani nivo značajnosti α (obično 0,05), uz pretpostavku aproksimativno normalne raspodele odbroja fona, N_b , kritični nivo se računa po relaciji [2]:

$$L_c = z_{1-\alpha} \sigma_0 \quad (1)$$

U ovom izrazu $z_{1-\alpha}$ označava kvantil standardne normalne raspodele, za nivo poverenja $1-\alpha$, a σ_0 je standardna devijacija neto odbroja praznog uzorka, koja se, po formuli propagacije neodređenosti [3], može predstaviti u vidu:

$$\sigma_0 = \sigma_b \sqrt{1 + \frac{1}{n}} \quad (2)$$

gde je σ_b standardna devijacija fona, određena iz n ponovljenih merenja.

Ukoliko odbroji fona slede čisto *Poisson*-ov model, uz dobro definisanu brzinu odbroja, σ_b se jednostavno aproksimira kvadratnim korenom iz broja odbroja N_b . Međutim, u slučaju postojanja ne-*Poisson*-ovih komponenti u varijansi fona, σ_0 se mora zameniti odgovarajućom procenom, S_0 , određenom pomoću statističkog proračuna iz n eksperimentalnih vrednosti, pri čemu se i kvantil $z_{1-\alpha}$ zamenjuje adekvatnim kvantom t -raspodele za $\nu = n - 1$ stepeni slobode, $t_{1-\alpha}(\nu)$ [4].

Granica detekcije, L_D , definisana je kao tačna vrednost neto odbroja koja daje specificiranu verovatnoću $1-\beta$ (tipično, $\beta = 0,05$) dobijanja merene vrednosti neto odbroja, N_s , veće od odgovarajućeg kritičnog nivoa L_c [5]. Pri proceni σ_0 na osnovu statističkog proračuna sa ν stepeni slobode, uz aproksimaciju normalne raspodele neto odbroja, granica detekcije se računa po izrazu:

$$L_D = \delta_{\alpha,\beta,\nu} \sigma_0 \quad (3)$$

Oznaka $\delta_{\alpha,\beta,\nu}$ odnosi se na parametar necentralnosti necentralne t -raspodele, koji se može aproksimirati relacijom [4]:

$$\delta_{\alpha,\beta,\nu} \approx t_{1-\alpha}(\nu) \cdot \left(1 - \frac{1}{4\nu}\right) + z_{1-\beta} \sqrt{1 + \frac{t_{1-\alpha}(\nu)^2}{2\nu}} \quad (4)$$

Tačna standardna devijacija, σ_0 , procenjuje se pomoću eksperimentalno dobijene vrednosti S_0 kao S_0/C_4 , pa je:

$$L_D = \delta_{\alpha,\beta,\nu} \frac{S_0}{C_4} \quad (5)$$

Uvedeni korekcionni faktor C_4 , tzv. faktor pomeraja, računa se pomoću gama-funkcije na način [5]:

$$C_4 = \frac{\Gamma\left(\frac{\nu+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{\nu}{2}\right)} \sqrt{\frac{2}{\nu}} \quad (6)$$

Minimalna detektibilna koncentracija (MDC) se tradicionalno određuje na osnovu vrednosti količnika granice detekcije, L_D , i tzv. osetljivosti A , koja predstavlja proizvod sledećih faktora: efikasnosti brojača, ε , vremena merenja uzorka, t_s , i mase ili zapremine uzorka [5]. Po svom smislu, MDC je zapravo, minimalna detektibilna koncentracija aktivnosti, i izražava se u jedinicama Bq/kg, Bq/l ili Bq/m³ [1]. To je, dakle, najmanja koncentracija aktivnosti, koja, ako je prisutna u uzorku, može da se detektuje u $1-\beta$ % slučajeva.

2. METODOLOGIJA

Za određivanje ukupnog broja beta čestica ("gross" beta), u ovom radu korišćen je gasni protočni proporcionalni brojač alfa/beta čestica, LB 5100 serije III, proizvođača *Tennelec*, USA, kod kog efikasnost detektora za brojanje beta čestica iznosi $\varepsilon = 0,34$. Sva merenja obavljena su u toku istog

vremenskog intervala $t_s = t_b = 3600$ s, gde t_b predstavlja period merenja odbroja praznog uzorka.

Vrednosti kritičnog nivoa, granice detekcije i MDC određene su za uzorke pijaće vode i vazduha. Uzorak vode pripremljen je isparavanjem početne zapremine $V = 0,5$ l do dobijanja suvog ostatka, mase m_1 , od koje je za merenje odvojena masa $m_2 \approx 100$ mg, potrebna za prekrivanje detektora u tankom sloju. Uzorkovanje vazduha izvršeno je pomoću pumpe protoka $F = 100$ l/min, u toku perioda $t_f = 50$ h, pri čemu je efikasnost korišćenog filtra iznosila $K = 90\%$. Brojanje beta čestica obavljeno je 5 dana nakon uzorkovanja na filtru, radi minimiziranja doprinosa kratkoživećih potomaka ^{222}Rn i ^{220}Rn .

3. REZULTATI

Za određivanje srednje vrednosti odbroja praznog uzorka, korišćeni su rezultati 20 merenja:

114 96 114 88 96 87 102 121 100 85
115 94 100 87 126 104 76 107 104 127 .

Srednja vrednost ovih podataka je $\bar{N}_b = 102,15$ odbroja, a proračun varijanse daje rezultat $S_b^2 = 200,34$. Kvantil χ^2 -raspodele, koji odgovara ovim parametrima ima vrednost 37,26, čemu, za 19 stepeni slobode, odgovara verovatnoća $p < 0,02$. To ukazuje na isuviše velike fluktuacije eksperimentalnih podataka, tako da se njihova raspodela ne može uspešno aproksimirati *Poisson*-ovim statističkim modelom. Zato se standardna devijacija neto odbroja praznog uzorka, σ_0 , zamenjuje eksperimentalno određenom procenom S_0 :

$$S_0 = S_b \sqrt{1 + \frac{1}{n}} ,$$

i, za 20 merenja, ona iznosi $S_0 = 14,5$ odbroja. Kritična vrednost je izračunata pomoću formule:

$$L_c = t_{1-\alpha}(\nu) S_0 ,$$

tako da je, za $\alpha = 0,05$ i $\nu = 19$, $L_c = 25,07$ odbroja.

Proračun granice detekcije, L_D , izvršen je pomoću izraza (5), u kome parametar necentralnosti, prethodno izračunat na osnovu relacije (4), za $\alpha = \beta = 0,05$ i $\nu = 19$, ima vrednost $\delta_{\alpha,\beta,\nu} = 3,42$. Faktor pomeraja, C_4 , za $\nu = 19$, iznosi $C_4 = 0,987$. Zamenom izračunatih vrednosti za $\delta_{\alpha,\beta,\nu}$, S_0 i C_4 , u jednačinu (5), za granicu detekcije se dobija $L_D = 50,24$ odbroja.

Nakon isparavanja $V = 0,5$ l vode, dobijeno je $m_1 = 155$ mg suvog ostatka, od čega je $m_2 = 118$ mg, odvojeno za brojanje beta čestica. Broj opaženih ukupnih odbroja, za vreme $t_s = 3600$ s, iznosi 141, tako da je neto signal, $N_s = 38,85$ odbroja, detektovan, pošto je $N_s > L_c$. Minimalna detektibilna koncentracija za vodu računata je po formuli:

$$MDC_{voda} = \frac{L_D}{\varepsilon \cdot t_s \cdot V \cdot m_2 / m_1} ,$$

tako da je $MDC_{voda} = 0,108$ Bq/l. Ova vrednost je u saglasnosti sa kriterijumom Američkog Federalnog registra [6], u kome je za minimalnu detektibilnu koncentraciju za merenje beta čestica u vodi, navedena vrednost $MDC = 0,148$ Bq/l, kao i sa rezultatom *Brookhaven* laboratorije [7] $MDC = 0,111$ Bq/l.

Merenjem filtra detektovano je $N_s = 189,85$ neto odbroja za vazduh. Minimalna detektibilna koncentracija računata je po formuli [8]:

$$MDC_{vazduh} = \frac{L_D}{\varepsilon \cdot t_s \cdot F \cdot K \cdot t_f} ,$$

koja, za navedene parametre uzorkovanja, daje vrednost $MDC_{vazduh} = 1,52 \cdot 10^{-4}$ Bq/m³. Ovaj rezultat je nešto veći od podatka iz reference [9], $MDC = 7,58 \cdot 10^{-5}$ Bq/m³.

4. ZAKLJUČAK

Za opisani eksperiment brojanja beta čestica, kritični nivo i granica detekcije imaju vrednosti $L_c = 25,07$ odbroja i $L_D = 50,24$ odbroja, respektivno. Proračun minimalne detektibilne koncentracije za vodu daje rezultat $MDC_{voda} = 0,108$ Bq/l, dok za vazduh ona ima vrednost $MDC_{vazduh} = 1,52 \cdot 10^{-4}$ Bq/m³.

LITERATURA

- [1] U. S. Nuclear Regulatory Commission (NRC), NUREG-1507, Washington, 1998.
- [2] D. J. Strom and P. S. Stansbury, *Health Phys.* vol. 63, pp. 360-361, 1992.
- [3] G. F. Knoll, "Radiation detection and measurement", New York: John Wiley & Sons, 1979.
- [4] L. A. Currie, in International Atomic Agency IAEA-TECDOC-1401, pp. 9-34, 2004.
- [5] Multi-Agency Radiological Laboratory Analytical Protocols (MARLAP) draft, 2003.
- [6] Federal Register, vol. 65 (78) p. 21618, 2000.
- [7] Brookhaven National Laboratory, 1998 Site environmental report, Appendix B, 1998.
- [8] U. S. Nuclear Regulatory Commission (NRC), NUREG-1400, Washington, 1993.
- [9] Environmental Science & Research Foundation Report Series, No. 021 (4QT97), 1998.

Abstract – The calculation of: critical value, detection limit and minimum detectable concentration, for beta counting measurements of water and air, is presented in this work. The detection limits are estimated by experimental standard deviation as well as parameters of t -distribution. Obtained results are in accordance with the values quoted in literature.

DETERMINATION OF DETECTION LIMITS FOR BETA COUNTING

Goran Manić, Branko Radojković, Vesna Manić