

Plutonio-berilio neutronų šaltinio apšvitos parametrų vertinimas neutronų aktyvacinės analizės ir skaitinio modeliavimo MCNP kodu metodais

Evaluation of plutonium-berillium neutron source parameters by using neutron activation analysis and MCNP modeling methods

Danielius Lingis, Elena Lagzdina, Mindaugas Gaspariūnas, Rita Plukienė, Tomas Mirinavičius, Artūras Plukis
Fizinių ir technologijos mokslų centras, Savanorių pr. 231, 02300 Vilnius
danielius.lingis@ftmc.lt

Branduoliniai reaktoriai, neutronų generatoriai, spontaninio dalijimosi šaltiniai ir kiti neutronų šaltiniai taikomi moksliniams tyrimams daugelyje mokslo sričių. FTMC esantis Pu-Be izotopinis neutronų šaltinis naudojamas biologinių objektų apšvitai, detektorių testavimo ir medžiagotyros eksperimentuose. Šaltinį sudaro 4 atskiri neutronų šaltiniai: du $^{238}\text{Pu-Be}$ ($2,1 \cdot 10^7$ ir $1,9 \cdot 10^7$ n/s intensyvumo) ir du $^{239}\text{Pu-Be}$ ($1,7 \cdot 10^7$ ir $1,0 \cdot 10^5$ n/s) šaltiniai. Bendras neutronų srautas siekia $4,5 \cdot 10^7$ n/s. Neutronų šaltiniai patalpinti konteineryje centrinio eksperimentinio kanalo apačioje, o du šoniniai eksperimentiniai kanalai yra 12 cm ir 16 cm atstumu nuo šaltinio – eksperimentų metu gaunami skirtingų charakteristikų neutronų srautai. Virš neutronų saugyklos sumontuotas stumdomas švino dangtis – tai papildoma apsauga nuo jonizuojančiosios spinduliuotės ir papildoma fizinė apsauga. Šaltinių saugojimo įrenginys yra užpildytas parafino lėtkliu, kurio tankis $0,8 \text{ g/cm}^3$, parafino lėtklis taip pat naudojamas centriname kanale virš šaltinių.

Tiriant neutronų srauto parametrus eksperimentiniais ir modeliniais metodais pastebėti neatitikimai neutronų apšvitos kanaluose. PIXE (angl. *particle-induced X-ray emission*) ir RBS (angl. *Rutherford backscattering spectrometry*) metodais ištyrus centrinio eksperimentinio kanalo medžiagos cheminę sudėtį aptikta chloro priemaišų, kurios nulemia neutronų srauto mažėjimą bei gali sąlygoti radioaktyvių atliekų susidarymą dėl $^{35}\text{Cl}(n,\gamma)^{36}\text{Cl}$ aktyvacijos. Atliktas saugyklos optimizavimas: centrinio eksperimentinio kanalo vamzdis pakeistas bepriemaišiniu polietileno vamzdžiu bei pakeistas neutronų šaltinių konteineris. Suprojektuotas naujas organinio stiklo konteineris leidžia reguliuoti neutronų srautą keičiant neutronų šaltinių skaičių ir atstumą tarp bandinio ir šaltinių: trys didžiausio intensyvumo šaltiniai fiksuojami apatinėje pozicijoje, o mažesnio intensyvumo neutronų šaltinis gali būti lengvai išimamas ir naudojamas kaip mobilus neutronų šaltinis.

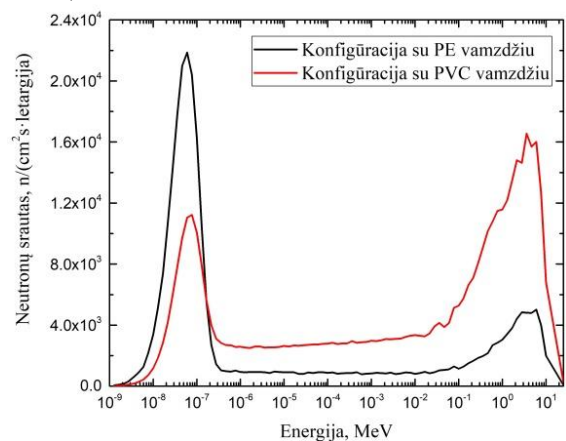
Siekiant įvertinti, kaip pakito neutronų srautas, atliktas teorinis vertinimas MCNP6 Monte Karlo dalelių pernašos kodu bei neutronų aktyvacinės analizės (angl. *neutron activation analysis*, NAA) eksperimentai. Modeliuojant vertintas neutronų energinis pasiskirstymas, lygiavertės dozės galia bei tam tikrų reakcijų spartos. Neutronų srautu paveiktų bandinių aktyvumas įvertinamas pagal skydančių branduolių išspinduliuotų gama kvantų kiekį juos detektuojant Canberra GC2520 gama spektrometru su ypač švraus

germanio jutikliu. Atsižvelgus į bandinių aktyvumą bei apšvitos parametrus, apskaičiuojamos reakcijų spartos [1]:

$$R = \frac{A_t}{\Phi \cdot \sigma \cdot (1 - e^{-\lambda t_a})}, \quad (1)$$

čia A_t – bandinio aktyvumas aktyvacijos pabaigoje, Bq, Φ – neutronų srautas, $\text{n/cm}^2\text{s}$, σ – mikroskopinis reakcijos skerspjūvis, barnai, t_a – aktyvacijos trukmė, s, λ – skilimo konstanta, s^{-1} . Pagal reakcijų spartų santykius vertinamas teorinio modelio ir eksperimentų rezultatų atitikimas.

MCNP kodu įvertintas neutronų energinis pasiskirstymas virš neutronų šaltinio 2 atvejais (žr. 1 pav.): 1) pirminė konfigūracija su nepakeistais vamzdžiu ir saugykla; 2) naujoji konfigūracija su PE vamzdžiu ir organinio stiklo konteineriu. Optimizavus neutronų šaltinio aplinką gauta, kad neutronų energiniame pasiskirstyme dominuoja mažos energijos (<1 eV) neutronai. Terminiai neutronai dėl didesnių sąveikos skerspjūvių naudingesni atliekant apšvitos eksperimentus. Didžiausias gaunamas neutronų srautas su 4 uždariais šaltiniais pagal modeliavimo rezultatus siekia $1,0 \times 10^5 \text{ n/cm}^2\text{s}$.



1 pav. Neutronų srauto energinis pasiskirstymas virš neutronų šaltinių esant skirtingoms šaltinio konfigūracijoms

Reikšminiai žodžiai: neutronų šaltinis, MCNP modeliavimas, neutronų aktyvacinė analizė

Literatūra

- [1] L. Hamidatou, H. Slamene, T.Akhal, B. Zouranen, Concepts, Instrumentation and Techniques of Neutron Activation Analysis, Faycal Kharfi, ISBN 978-953-51-1033-0, (2013).