

EKSPERIMENTALNA VERIFIKACIJA PRORAČUNA SPEKTRA BRZIH NEUTRONA U SISTEMU 'HERBE'

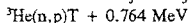
S. Avdić, M. Pešić, P. Marinković, N. Zavaljevski
Institut za nuklearne nauke 'Vinča', Elektrotehnički fakultet - Beograd

Sadržaj - Poluprovodnički Si detektor punjen sa ^3He gasom, u koincidentnoj konfiguraciji visoke energetske rezolucije, primenjen je za merenje neutronskog spektra u centru brzog jezgra spregnutog brzo-termičkog sistema 'HERBE'. Evaluacija neutronskog spektra je izvršena na osnovu izmerene amplitudske raspodele impulsa pomoću razvijenog računarskog programa HE3. Eksperimentalni rezultati su upoređeni sa rezultatima multigrupnog proračuna u energetskom opsegu 2.5 MeV - 10.5 MeV. Dobijena je zadovoljavajuća saglasnost rezultata merenja i proračuna spektra brzih neutrona, uzimajući u obzir procenjene ukupnu grešku eksperimenta, materijalnu, geometrijsku i nuklearnu složenost sistema 'HERBE' i primenjeni postupak homogenizacije nuklearnih podataka u izvedenim proračunima.

1. UVOD

Detaljno poznavanje neutronskog spektra u brzom jezgru spregnutog brzo-termičkog sistema 'HERBE' [1] su zahtevali eksperimenti na reaktoru RB koji su vezani za simulaciju pojedinih karakteristika neutronskog spektra projektovanog brzog reaktora 'LASTA' [2] ili za moguće simulacije neutronskih spektara u fisionim i pojedinsim fuzionim sistemima. Generalno, poređenje izmerenog i proračunatog neutronskog spektra nekog složenog nuklearnog sistema predstavlja adekvatan način provere primenljivosti matematičkih modela i aproksimacija korišćenih u proračunima, kao i proveru pouzdanosti raspoloživih nuklearnih podataka.

Neutronski spektrometerski sistem sa poluprovodničkim Si detektorom punjenim sa ^3He gasom, u koincidentnoj konfiguraciji (proizvođača EG & G ORTEC, model 580 [3]) je korišćen za merenje spektra brzih neutrona sa visokom energetskom rezolucijom u brzom jezgru sistema 'HERBE'. Osnovni princip rada detektora je baziran na nuklearnoj reakciji



i koincidentnoj detekciji produkata reakcije u Si diodama sa površinskom barijerom koje su postavljene jedna nasuprot drugoj sa ^3He gasom između njih, kao neutronski osetljivim materijalom.

2. EKSPERIMENTALNA PROCEDURA

Linearnost i energetska kalibracija mernog sistema (detektora i pripadajućih elektronskih modula) je proverena nezavisno koristeći impulsni generator i spore neutrone

dobijene iz $^{241}\text{Am}-\alpha\text{-Be}$ izvora okruženog polietilenom. Najbolja energetska rezolucija za termičke neutrone (FWHM = 93 keV pri izabranom pritisku gasa ^3He od 0.53 MPa) je postignuta za vreme rezolucije od 30 ns koincidentne jedinice i u dobroj je saglasnosti sa deklarisanom vrednošću (85 keV za 0.5 MPa) datoj u specifikacijama proizvođača. Kao referentna tačka za neutrone nulte energije je usvojen kanal pika termičkih neutrona koji odgovara energiji Q-vrednosti reakcije (0.764 MeV).

Na osnovu merenja brzina brojanja impulsa ispod pika detektovanih protona, u jednom mernom kanalu, određena je srednja brzina curenja gasa ^3He iz detektora (3.23 ± 0.9 kPa/d). Ovaj podatak je uključen kao korekcija u evaluaciju spektra brzih neutrona.

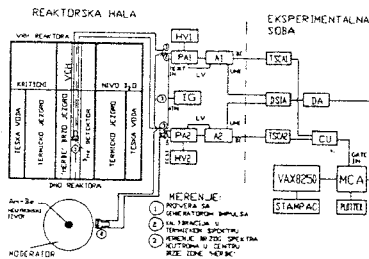
U cilju izbora optimalne vremenske rezolucije za merenje spektra brzih neutrona, meren je odnos signal/fon (S/F) za pik termičkih neutrona pri različitim vrednostima vremena rezolucije izabrane na koincidentnoj jedinici. Utvrđeno je da pri vrednosti vremenske rezolucije od 60 ns, odnos S/F dolazi u saturaciju, a ispod te vrednosti brzina brojanja impulsa značajno opada.

Uzimajući u obzir osetljivost izabranog ^3He poluprovodničkog spektrometra na gama zrake, u centralnom eksperimentalnom kanalu (VKH) spregnutog brzo-termičkog sistema 'HERBE' izvršeno je merenje gama spektra pomoću NaI(Tl) detektora i merenje zavisnosti brzine apsorbovane gama doze (pomoću male 'in-core' jonizacione komore punjene vazduhom) od nivoa snage reaktora [5]. Spektar brzih neutrona u centru VKH je izmeren na snazi reaktora od 1 W, pri čemu je detektor spektrometra bio zaštićen slojem Pb debljine 1 cm, što, prema podacima drugih autora, ne utiče na značajniju promenu oblika mernog spektra brzih neutrona [9]. Blok šema mernog sistema za merenje neutronskog spektra u brzom zoni sistema 'HERBE', pri kalibraciji i merenju, je prikazana na slici 1.

Izvršena merenja gama spektra i doza zračenja u centru VKH su pokazala da je neutronski spektar na tom mestu kompletno pokriven fonom gama zračenja do energije 1.5 MeV. Zbog smanjenja broja neželjenih gama impulsa koji stižu, u opsegu izabranog vremena rezolucije, u koincidentnu jedinicu (i pored postavljene Pb zaštite na detektoru) u mernom sistemu je primenjena amplitudska diskriminacija impulsa. Rezultati proračuna verovatnoće da produkti reakcije zadovoljavaju postavljenu diskriminacioni zahtev (amplitudski nivo) su uključeni kao korekcionni faktor u računarski program HE3.

Pile-up impulsa koji je indukovao termičkim neutronima je zanemarljiv pošto je gustina fluksa termičkih

neutrons ($8.64 \cdot 10^7$ n/cm²/s, $E_n < 0.465$ eV) pri snazi reaktora od 1 W mnogo manja od odgovarajuće gustine fluksa brzih neutrona ($5.44 \cdot 10^4$ n/cm²/s, $E_n > 0.465$ eV) na memom mestu u reaktoru (centar VKH) na kome je postavljen detektor spektrometra. Zbog male efikasnosti spektrometra za brze neutrone i visokog fona gama zračenja, vreme merenja spektra brzih neutrona u centru brze zone sistema 'HERBE' sa detektorom punjenim gasom ³He i spektra (fona) merenog pomoću vakumiranog detektora je iznosilo, pri snazi reaktora od 1 W, (za svako merenje pojedinačno) po 2.3 časa.



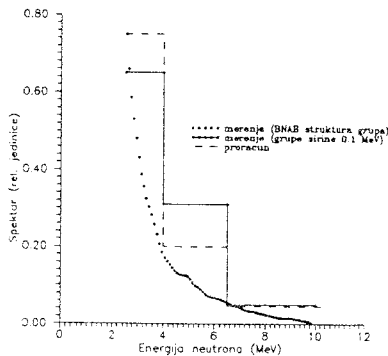
Slika 1. Blok lema mernog sistema

3. EVALUACIJA SPEKTRA BRZIH NEUTRONA

Energetski spektar brzih neutrona je evaluiran iz izmerene amplitudske raspodele impulsa koristeći razvijeni računarski program HE3. Posle oduzimanja 'spektra fona', merni podaci su korigovani za efikasnost detekcije celog sistema. Ovako odredjeni neutronske spektar je upoređen sa rezultatima proračuna koji je izvršen pomoću multigrupnog (25) jednodimenzionog cilindričnog transportnog programa AVERY [7]. Eksperimentalno odredjeni i teorijski proračunati spektar u centru brze zone sistema 'HERBE' su integrisani po energetskim grupama BNAB strukture [9] i normalizovani na jednu površinu u intervalu energija neutrona od 2.5 MeV do 10.5 MeV (slika 2). Eksperimentalno odredjen spektar brzih neutrona u energetskim grupama širine 0.1 MeV, tj. u granicama eksperimentalno utvrđene energetske rezolucije, prikazan je takođe na istoj slici.

Ukupna greška eksperimentalno odredjenog spektra brzih neutrona u centru brze zone sistema 'HERBE' uključuje doprinose od: statističkih fluktuacija broja impulsa registrovanih u datim energetskim grupama (u najvišoj energetskoj grupi greška je manja od $\pm 2.3\%$), neodređenosti energetske kalibracije spektrometra (greška manja od $\pm 1.0\%$), zanemarenja pile-up impulsa usled indukovanih impulsa od gama zraka (procenjena greška $\pm 5\%$), perturbacije reaktorskog spektra neutrona zbog postavljanja spektrometra na merno mesto i korišćenja okružujućeg zaštitnog Pb materijala (procenjena ukupna greška $\pm 5\%$) i zbog primene 'unfolding' tehnike (greška $\pm 1.0\%$). Glavni izvor grešaka je zbog postojanja

neodređenosti (grešaka) sa kojima su poznati korišćeni nuklearni podaci za mikroskopske neutronske efikasne preseke preuzeti iz biblioteka nuklearnih podataka ENDF/B-6 [6]. Ukupna procenjena greška merenja u datim energetskim grupama BNAB strukture i relativno odstupanje eksperimentalnih rezultata u odnosu na proračun su prikazani u tabeli 1. Na osnovu izmerenih vrednosti gustine neutronske fluksa i izračunatih faktora konverzije [8] određene su i brzine apsorbovane neutronske doze (u tkivu 'standardnog čoveka'). One, u energetskim grupama od 2.5-4.0 MeV, 4.0-6.5 MeV i 6.5-10.5 MeV, iznose 21.77 mGy/h, 12.53 mGy/h i 2.29 mGy/h, pri 1 W snage reaktora, respektivno.



Slika 2. Izmereni i izračunati spektar brzih neutrona u centru brzog jezgra sistema 'HERBE'

Tabela 1. Poređenje izmerenog i izračunatog neutronske spektra

Energetska grupa [MeV]	Greška merenja [%]	Relativna greška [%]
2.5 - 4.0	2.5	-12.0
4.0 - 6.5	7.8	28.1
6.5 - 10.5	10.5	-13.0

4. ZAKLJUČAK

Izmereni i proračunati neutronske spektar neutrona u centru brzog jezgra sistema 'HERBE' pokazuju zadovoljavajuću saglasnost, uzimajući u obzir ukupnu procenjenu grešku merenja, kompleksnost sistema 'HERBE' i proces homogenizacije nuklearnih podataka u izvedenim proračunima. Zbog izraženih efekata heterogenosti sistema 'HERBE', koji su vezani za složenju geometriju i materijalni sastav zona, rezultati merenja

neutronskega spektra nisu pogodni za ispitivanje pouzdanosti nuklearnih podataka. Neodređenosti sa kojima su dati podaci za mikroskopske efikasne neutronske preseke predstavljaju dominantni deo ukupne greške merenja.

ZAHVALNOST

Rad je izrađen za potrebe projekta E-0812, E-0112 i 5854/3 koje finansira Ministarstvo za nauku i tehnologiju Republike Srbije.

REFERENCE

- [1] M. Pešić, N. Zavaljevski, M. Milošević, D. Stefanović, D. Popović, D. Nikolić, P. Marinković, S. Avdić, *A Study on Criticality of Coupled Fast-Thermal Core HERBE at RB Reactor*, Ann. of Nucl. Energy 18, No.7, pp.413-420, 1991.
- [2] M. Milošević, M. Pešić, D. Nikolić, *Conceptual Design of Control and Safety Systems of the Fast Reactor 'LASTA'*, Proceedings of the ANS 1994 Topical Meeting on Advances in Reactor Physics: 'Reactor Physics Faces the 21st Century', Vol. II, pp.429-434, Knoxville, Tennessee USA, (April 11-15, 1994).
- [3] Instruments for Research and Applied Sciences, EG&G ORTEC, Catalogue 1986/87, 1986.
- [4] S. Avdić, P. Marinković, M. Pešić, *HE3-računarski program za proračun efikasnosti detekcije ³He poluprovodničkog spektrometra*, IBK-NET biblioteka računarskih programa Vinča, 1990.
- [5] S. Milovanović, M. Pešić, *Merenje spektra i brzine apsorbovane doze gama zračenja u centru sistema HERBE*, Vinča-NET-85, Vinča 1995.
- [6] C. Dunford et al., *ENDF/B-6 - The U.S. Evaluated Nuclear Data Library for Neutron Reaction Data*, National Nuclear Data Center, BNL Upton, New York, 1990.
- [7] M. Milošević, M. Pešić, *AVERY, multigrupni jednodimenzioni program za spregnute reaktore baziran na Averyjevoj teoriji*, IBK-NET-27, Institut nuklearnih nauka - 'VINČA', Vinča, 1989.
- [8] V.V. Bolyatko i dr., *Pogrešnosti raschetov zashchity ot izlučenij*, Energoatomizdat, 1983.
- [9] S. Avdić, M. Pešić, P. Marinković, *Validation of Fast Neutron Spectrum in the Coupled Fast-Thermal System HERBE*, Trans. of ANS 1995 Annual Meeting, Vol. 72 (0), pp.000-000, Philadelphia, Pennsylvania, USA (June 25-29, 1995).

Abstract - A high-resolution semiconductor neutron spectrometer filled with ³He gas, in diode coincidence arrangement, is applied to measure neutron spectrum in the centre of the fast core of the coupled fast-thermal system 'HERBE' in the 'VINČA' Institute. The neutron spectrum is evaluated from measured pulse-height distribution by using the HE3 computer code developed in the 'NET' Laboratory. Experimental results are compared with the relevant multigroup calculations in the energy range from 2.5 MeV to 10.5 MeV. The measured spectrum provides a sufficient overlapping with the calculated one and no serious divergence is found in the measured energy range.

VERIFICATION OF FAST NEUTRON SPECTRUM CALCULATION IN COUPLED SYSTEM 'HERBE'

S. Avdić, M. Pešić, P. Marinković, N. Zavaljevski