

M.Šokčič-Kostić, M.Pešić, D. Antić
Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič" - Vinča
OOUR Institut za nuklearnu energetiku i tehničku
fiziku "NET", p.fah 522,11001 Beograd

ODREĐJIVANJE SPEKTRA INTERMEDIJARNIH NEUTRONA
U BRZOM POLJU NA REAKTORU RB

DETERMINING OF THE INTERMEDIATE NEUTRON SPECTRUM
IN FAST NEUTRON FIELD AT THE RB REACTOR

SADRŽAJ - Dat je prikaz aktivacione metode za određivanje spektra intermedijarnih neutrona. Metod je primenjen na određivanje intermedijarnog neutronskog spektra u gorivnom eksperimentalnom kanalu (GEK) na reaktoru RB. Rezultati merenja su obradjeni programom PRAG, a razvijeni su programi KRIFIT i TENET koji imaju istu namenu.

ABSTRACT - The activation method for intermediate neutron spectrum determination is given in this paper. The intermediate neutron spectrum in experimental fuel channel (EFC) at the RB reactor is determined on the basis of this method. The results of measurements are treated with PRAG code and will be treated with KRIFIT and TENET codes that are also developed.

1. UVOD

U radu je prikazana aktivaciona metoda (folije) /1/ za određivanje spektra intermedijarnih neutrona. Ova metoda predstavlja praktično jedinu metodu za određivanje neutronskog spektra u energetske oblasti ispod 10 keV, ako se izuzme skupa metoda vremena preleta neutrona. Metoda je u konkretnom slučaju primenjena na određivanje intermedijarnog neutronskog spektra u gorivnom eksperimentalnom kanalu (GEK) /2/ koji je ostvaren na

reaktoru RB /3/, kao jedno od brzih polja neutrona. Pri obradi rezultata se koriste programi PRAG /4/, a biće korišćeni i programi TENET i KRIFIT. Programi PRAG i KRIFIT daju intermedijarni spektar neutrona, a program TENET spektralni indeks r . PRAG je zasnovan na funkciji oblika u intermedijarnoj oblasti, KRIFIT na metodi najmanjih srednjekvadratnih odstupanja a TENET na odgovarajućim analitičkim relacijama.

2. AKTIVACIONA METODA

Aktivaciona metoda, posebno njena varijanta u kojoj se primenjuju folije ima veliki broj prednosti u odnosu na druge, naročito u energetske oblasti ispod 10 keV-a. Osnovne prednosti metode određivanja intermedijarnog spektra pomoću folija su: jednostavna konstrukcija, male dimenzije, radijaciona i temperaturna postojanost, dobra prostorna rezolucija i širok energetski opseg u kome je moguće meriti gustinu neutronske fluksa.

Folije za određivanje spektra intermedijarnih neutrona moraju da budu izradjene od elemenata čije su nuklearne karakteristike dobro poznate i tačno određene. U ovom konkretnom merenju su primenjene folije date u Tabeli 1. Folije se postavljaju na tačno određena mesta u brzom polju i potom ozračavaju.

γ - aktivnost folija se meri mernim linijama γ -scintilacionih sondi /5/, a apsolutna β aktivnost mernom linijom ^{40}K brojača /6/. Rezultati merenja se obradjuju programom ACT koji kao izlazne veličine daje saturacionu aktivnost i gustinu neutronske fluksa. Ovaj program je zasnovan na analitičkim relacijama kojima su obuhvaćene sve neophodne fizičke i geometrijske korekcije.

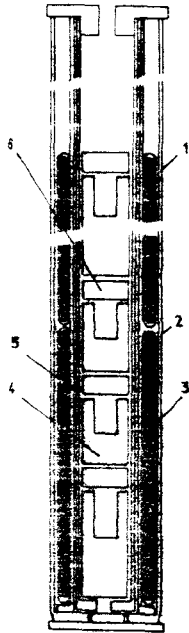
3. GORIVNI EKSPERIMENTALNI KANAL

Gorivni eksperimentalni kanal (GEK) je jedno od ostvarenih polja brzih neutrona na reaktoru RB. Realizovan je modifikacijom gorivnog kanala reaktora koji koristi 80% obogaćeni UO_2 .

Tabela 1. Nuklearni podaci za folije koje se koriste pri
odredjivanju intermedijarnog spektra

Detektor (reakcija)	E_R (eV)	RI (10^{-24}cm^2)	T 1/2
$^{176}\text{Lu}(n,\gamma)^{177}\text{Lu}$	0.142	900	6.71d
$^{115}\text{In}(n,\gamma)^{116m}\text{In}$	1.457	3243	54 m
$^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$	4.906	1565	2.69 d
$^{186}\text{W}(n,\gamma)^{187}\text{W}$	18.8	350	24.1 h
$^{59}\text{Co}(n,\gamma)^{60}\text{Co}$	132	77	5.27 g
$^{58}\text{Fe}(n,\gamma)^{59}\text{Fe}$	230	1.58	45.1 d
$^{55}\text{Mn}(n,\gamma)^{56}\text{Mn}$	373	14	2.57 h
$^{98}\text{Mo}(n,\gamma)^{99}\text{Mo}$	480	25	67 h
$^{63}\text{Cu}(n,\gamma)^{64}\text{Cu}$	580	5.6	12.8 h
$^{23}\text{Na}(n,\gamma)^{24}\text{Na}$	1710	0.35	15.06 h
$^{45}\text{Sc}(n,\gamma)^{46}\text{Sc}$	5000	11.3	85 d

GEK je načinjen od standardnog aluminijumskog gorivnog kanala reaktora RB. To je cev prečnika 41/43 mm, zatvorena na dnu i napunjena sa 10 izmenjenih gorivnih segmenata od 80% obogaćenog UO_2 (slika br. 1). Prilikom formiranja GEK-a iz gorivnih segmenata su odstranjeni centralni odstoynici i nanižani su na aluminijumsku cev prečnika 27/28 mm, a potom stavljeni u gorivni kanal prečnika 41/43 mm. Ovako konstruisan GEK se stavlja u jezgro reaktora na odredjenu poziciju (slika br. 2). Unutar GEK-a smeštena je pokretna Al cev prečnika 25/27 mm sa unutrašnjim nosačima uzoraka i odstoynicima izradjenim od Al.



Sl. 1. Gorivi eksperimentalni kanal GEK

1 - Al gorivni kanal 43/41

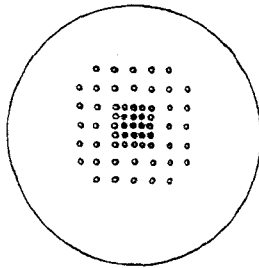
2 - 80% obogaćeno UO_2 gorivo

3 - noseća Al cev 19/28

4 - Al odstojnici - nosači uzorka

5 - pokretna eksperimentalna Al cev 17/25

6 - Cd keneri



Sl. 2. Konfiguracija rešetke reaktora RB sa kanalom GEK

○ gorivni kanali sa 2% obogaćenog U
korak rešetke 140 mm● gorivni kanal sa 8% obogaćenim UO_2 , bez OO_2
korak rešetke 70 mm

● gorivni eksperimentalni kanal GEK

4. ALGORITMI PROGRAMA ZA DOBIJANJE INTERMEDIJARNOG
NEUTRONSKOG SPEKTRA

Program PRAG je zasnovan na algoritmu vezanom za pretpostavljenu funkciju oblika. U rezonantnoj energetske oblasti se pretpostavlja da se spektar neutrona može opisati funkcijom oblika datom relacijom (1),

$$\varnothing(E) = k \cdot E^{-\mathcal{L}} \quad (1)$$

gde je:

E - energija neutrona (MeV)

\mathcal{L} - parametar koji odredjuje odstupanje merenog od spektra $1/E$

k - faktor normalizacije koji definiše doprinos rezonantnog dela spektra ukupnom.

Indukovana aktivnost u rezonantnom detektoru je proporcionalna veličini koja predstavlja redukovani rezonantni integral. Vrednosti za k i \mathcal{L} se mogu odrediti iz odnosa indukovanih aktivnosti dva detektora ozračena pod identičnim uslovima.

Program KRIFIT /7/ je zasnovan na algoritmu najmanjih srednje kvadratnih odstupanja primenom modifikovanog Gaus - Njutnovog postupka. f_i ($i=1,2,\dots,n$) su eksperimentalne vrednosti funkcije f koja ima m promenljivih x_l ($l=1,\dots,m$) i $k < n$ parametara a_j ($j=1,\dots,k$) koje treba odrediti. Izmerene vrednosti promenljivih x_l u n različitih tačaka se svode na funkciju $f(x,a) = 0$. Direktna primena metode najmanjih srednjekvadratnih odstupanja daje sistem nelinearnih jednačina. Problem se svodi na linearni razvoj funkcija f_i u Tajlorov red, a kao rezultat se dobijaju veličine a_j ($a_j = a_j - a_{j0}$; a_{j0} - početne vrednosti parametara a_j). Princip najmanjih kvadrata zahteva svodjenje težinske sume kvadrata ostataka na minimum. Težinska matrica W_{fi} funkcije f_i ima oblik dat relacijom (2)

$$W_{fi} = \frac{1}{\sum_l \frac{1}{W_{x_{li}}} \left(\frac{\partial f_i}{\partial x_l} \right)^2} \quad (2)$$

Ako se težinska matrica W_f svede na matricu momenata M_f primena Gausove metode daje relaciju (3) koja se dalje rešava iterativnim postupkom,

$$(F_a^T M_f^{-1} F_a) A = F_a^T M_f^{-1} F_o \quad (3)$$

gde je:

$$F_a = \left\{ \frac{\partial f_i}{\partial a_j} \right\}, F_o = \{f_{i0}\} \text{ i } A = \{\Delta a_j\}$$

Program TENET je zasnovan na iterativnom rešavanju analitičkih relacija za odnos aktivnosti lutecijumske i bakarne folije (A_{Lu}/A_{Cu}) i kadmijski odnos bakarnih folija (R_{cd}). Ove veličine se i mere u toku eksperimenta. Kao izlazna veličina dobija se spektralni indeks r koji predstavlja meru prisustva asimptotskog spektra oblika $1/E$ u realnom spektru u datom reaktoru. Odnos aktivnosti Lu i Cu folije je dat relacijom (4), a Cd odnos bakarnih folija relacijom (5)

$$\frac{A_{Lu}}{A_{Cu}} = K \frac{g(T) + rs(T)}{1 + rs^{1/v}(T)} \quad (4)$$

$$R_{cd} = \frac{1 + rs(T)}{r \left[s(T) + \frac{4}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{kT}{E_{cd}}} \right]} \quad (5)$$

gde je:

$g(T)$, $s(T)$, $s^{1/v}(t)$ - Vestkotovi parametri

k - Bolcmanova konstanta

T - neutronska temperatura

E_{cd} - energija Cd praga

5. REZULTATI

Intermedijarni spektar u kanalu GEK dobijen programom PRAG je dat relacijom (6). Programi KRIFIT i TENET su testirani u termičkom spektru reaktora, a biće primenjeni i u poljima brzih neutrona na reaktoru RB u narednom periodu. U toku je obrada eksperimentalnih rezultata dobijenih u GEK-u na koje će pomenuti programi biti prvo primenjeni.

$$\psi = \theta/E^\alpha \quad (6)$$

$$\theta = 1.75 \times 10^{10} \frac{n}{\text{cm}^2 (\Delta u)}$$

$$\alpha = 1$$

Δu - jedinica letargije

6. ZAKLJUČAK

Prikazana je aktivaciona metoda za merenje spektra intermedijarnih neutrona u gorivnom eksperimentalnom kanalu (GEK) na reaktoru RB. Rezultat dobijen jednim od razvijenih programa je potvrdio pretpostavku da intermedijarni spektar ima oblik $1/E$. Primena razvijenih novih programa će biti dalja eksperimentalna potvrda ove teoretske pretpostavke. Razvijena metodologija i prikazani programi će biti korišćeni u novim eksperimentima u brzim poljima na reaktoru RB.

LITERATURA

1. Šekčić-Kostić M. et al. "Determining of the Neutron Absorbed Doses in Fast Neutron Fields at the RB Reactor", Acta Physica Hungarica, Vol. 59-1-2, pp. 87-90, januar, 1986.

2. Pešić M., "Coupled Fast Thermal System at the RB Reactor" Kernenergie, Vol. 80, pp.142-149, april, 1987.
3. Popović D., "Natural U-D₂O Critical Assembly", Proceeding of the Second United Nations International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Vol. 12, pp.392-392. Septembar, 1958.
4. Šokčič-Kostić M., et al. "Fast Neutron Spectrum Determination with Threshold Detectors at the RB Reactor", Proceeding of the International Conference Fast Neutron Physics, pp. 250-253, maj, 1986.
5. Kramer Ageev E.A. et al., Aktivacionie Metody Spektrometrii Neutronov, Moskva, Atomizdat, 1975.
6. Pogon reaktora RB, Tehnička dokumentacija "⁴GM seta" na reaktoru RB, Interna publikacija, Beograd, IBK Vinča, 1985.
7. Šotić O., Curvefit a Fortran Subroutine for Curve Fitting, Interna publikacija, Beograd, IBK Vinča, 1971.