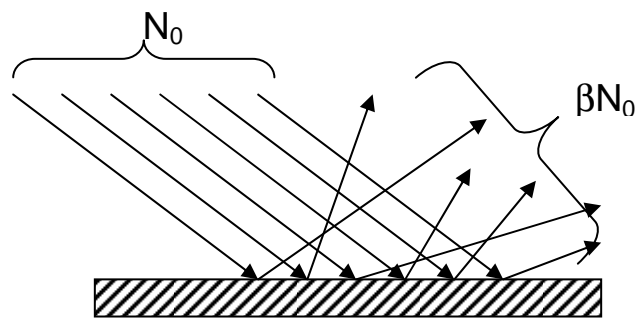


## 25. Určenie koeficientu difúzneho odrazu tepelných neutrónov od parafínu

### 1. Všeobecná časť

Aktívna zóna (priestor, kde dochádza k procesu štiepenia jadier a vzniku neutrónov) je obklopená reflektorom, ktorý znižuje únik neutrónov z reaktora. Vlastnosti reflektora charakterizuje okrem iného tzv. koeficient difúzneho odrazu (albedo). Koeficient odrazu tepelných neutrónov od určitej látky je údaj, ktorý udáva, aká časť neutrónov dopadajúcich na povrch nekonečne hrubého bloku tejto látky sa odráža od neho späť.

Ak  $N_0$  je počet tepelných neutrónov dopadajúcich na povrch látky za časovú jednotku (obr. 25.1) a  $\beta$  – koeficient difúzneho odrazu, potom počet odrazených neutrónov za časovú jednotku bude  $N_0\beta$ .



Obr. 25.1: Schematické znázornenie difúzneho odrazu neutrónov.

Proces odrazu neutrónov tkvie v nasledovnom: neutrón, ktorý prenikol do látky, sa zráža s jednotlivými jadrami atómov tejto látky. Po niekoľkých takýchto rozptylových zrážkach môže vystúpiť z látky späť, ak pritom nebol absorbovaný. Inými slovami koeficient  $\beta$  predstavuje strednú hodnotu pravdepodobnosti, že neutrón, ktorý vstúpil do látkového prostredia, vyjde späť. Pritom je zrejmé, že odrazený (rozptýlený) neutrón môže vyletieť v ľubovlnom smere nezávisle od toho, v akom smere na látku dopadol. Preto sa tento odraz nazýva difúzny.

Koeficient difúzneho odrazu závisí nielen od materiálu reflektora, ale aj od rýchlosti (energie) neutrónov a v malej miere aj od uhla, pod ktorým neutrón na povrch látky dopadá. V prípade izotropného rozptylu je pravdepodobnosť odrazu pre malé uhly dopadu väčšia ako

pri kolmom dopade, pretože prvé zrážky neutrónu sa uskutočňujú v priemere na menších hĺbkach, to znamená bližšie k povrchu.

Najjednoduchší spôsob určenia albeda obdržíme nasledovným postupom: Predstavme si rovinu rozhrania medzi dvomi blokmi moderátora neutrónov, v ktorej sa nachádza detektor tepelných neutrónov absorpčného typu. Pri jednorazovom prechode prúdu tepelných neutrónov cez detektor z prvého bloku do druhého nadobudne detektor aktivitu  $A$ . Ak  $\xi$  je časť neutrónov, ktorá bola pohltená detektorom, potom prvý odrazený prúd neutrónov bude menší od pôvodného  $(1 - \xi)\beta$  – krát, pretože v dôsledku prechodu cez detektor sa prúd zoslabuje  $(1 - \xi)$  – krát a od druhého bloku sa odrazí  $\beta$ -diel naň dopadajúceho prúdu neutrónov. To znamená, že k aktivite  $A$  (získanej po prvom prechode) sa pripočíta aktivita  $A(1 - \xi)\beta$  v dôsledku prvého odrazu. Po druhom odraze pribudne aktivita  $A[(1 - \xi)\beta]^2$  atď. Celková aktivita detektora, ktorá vznikne prechodom tepelných neutrónov z jedného bloku do druhého (cez detektor) s uvážením mnohonásobného odrazu, sa bude rovnať sume:

$$A + A(1 - \xi)\beta + A[(1 - \xi)\beta]^2 + A[(1 - \xi)\beta]^3 + \dots \quad (25.1)$$

Vzťah (25.1) predstavuje geometrickú postupnosť s kvocientom  $(1 - \xi)\beta < 1$ . Sumárna aktivita bude potom rovná sume geometrickej postupnosti, ktorú môžeme vyjadriť nasledovne:

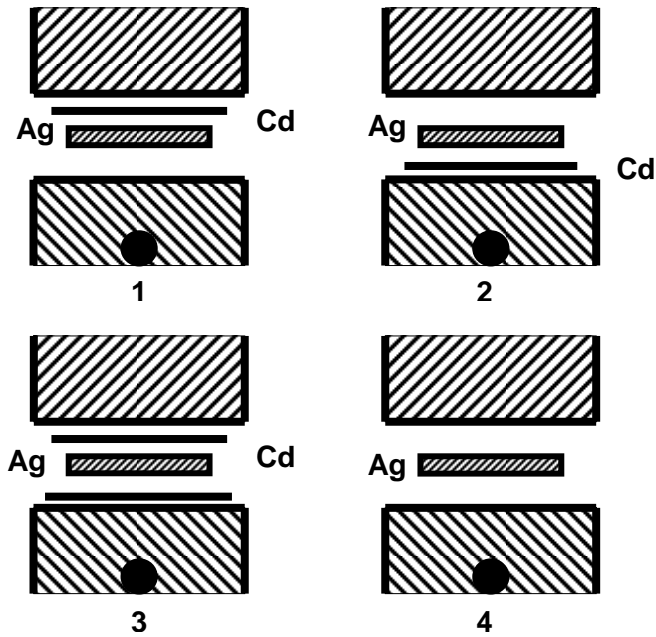
$$\frac{A}{1 - (1 - \xi)\beta} \quad (25.2)$$

Keďže obidva bloky obsahujú tepelné neutróny, ktoré sa chaoticky pohybujú a pri svojom pohybe môžu prechádzať z jedného bloku do druhého, aktivita detektora vyvolaná tepelnými neutrónmi pri prechode z obidvoch blokov s uvážením mnohonásobného odrazu bude rovná:

$$A_0 = \frac{2A}{1 - (1 - \xi)\beta} \quad (25.3)$$

V prípade jednorazového dopadu neutrónov na detektor by sa jeho aktivita rovnala  $A_0 = 2A$ . Zosilňujúci koeficient  $k = 1/[1 - (1 - \xi)\beta]$  takto nadobúda jednoduchý fyzikálny zmysel: je to stredný počet prechodov neutrónov cez detektor pri ich mnohonásobnom odraze.

Pomocou vzťahu (25.3) možno určiť koeficient odrazu  $\beta$  za predpokladu, že experimentálne nájdeme hodnoty aktivít  $A$  a  $A_0$  a poznáme hodnotu zoslabenia  $\xi$ . V skutočnosti netreba určovať absolútne aktivity  $A$  a  $A_0$ , ale stačí, ak zmeriame im úmerné počty impulzov ( $n$  a  $n_0$ ) zaregistrovaných počítačom od ožiareného detektora tepelných neutrónov (obr. 25.2)



Obr. 25.2: Usporiadanie aktivačného detektora a kadmiových fólií pri experimente.

Experimentálne zariadenie pozostáva z dvoch parafínových blokov. V jednom bloku vo vzdialenosti asi 50 mm od rozhrania je umiestnený zdroj rýchlych neutrónov. Na rozhraní sa umiestňuje aktivačný detektor tepelných neutrónov, ktorým v našom prípade je strieborná fólia. Aktivácia striebra sa uskutočňuje v dôsledku  $(n, \gamma)$  reakcií:



Aktivitu Ag fólie meriame bežným zariadením s okienkovým GM detektorom alebo scintilačným detektorom.

Hodnotu podielu absorbovaných tepelných neutrónov pri jednonásobnom prechode aktivačným detektorom môžeme určiť z absorpčného zákona, ktorý ma nasledovný tvar:

$$I(x) = I_0 e^{-\Sigma_a x} \quad (25.6)$$

kde  $I(x)$  je hustota prúdu tepelných neutrónov v hĺbke  $x$ ,  $I_0$  je hustota prúdu tepelných neutrónov na povrchu absorbátora,  $\Sigma_a$  je makroskopický účinný prierez absorpcie.

Hodnotu makroskopického účinného prierezu určíme pomocou vzťahu:

$$\Sigma_a = \bar{\sigma}_a \frac{N_A}{A} \rho \quad (25.7)$$

kde  $\overline{\sigma_a}$  je stredný mikroskopický účinný prierez absorpcie,  $N_A$  – Avogadrovo číslo,  $A$  – hmotnostné číslo (hmotnosť gramatómu),  $\rho$  – merná hmotnosť.

Podiel absorbovaných neutrónov po prechode absorpčného detektora s hrúbkou  $d$  je potom rovný:

$$\xi = 1 - \frac{I(d)}{I_0} = 1 - e^{-\Sigma_a d} \quad (25.8)$$

Hodnota súčinu  $\Sigma_a d$  je obyčajne omnoho menšia ako jedna, preto stačí uviesť iba prvý člen rozvoja do radu, potom zo vzťahu (25.8) pre  $\xi$  obdržíme:

$$\xi \cong \Sigma_a d \quad (25.9)$$

## 2. Zadanie a postup merania

- 1) Zmerať pozadie. Presvedčiť sa, že neožiarený detektor nemení hodnotu pozadia.
- 2) Pre určenie veličiny  $\xi$  zmerať hrúbku detektora, ďalej treba poznať mernú hmotnosť striebra, Avogadrovo číslo a mikroskopický účinný prierez aktivácie striebra. Detektor je ožarovaný difúznym zväzkom tepelných neutrónov (nie rovnobežným), to znamená, že efektívna hrúbka detektora pre pohltenie neutrónov je dvakrát väčšia ako geometrická. Striebro má mernú hmotnosť  $\rho = 10,5 \text{ gcm}^{-3}$  a strednú hodnotu mikroskopického účinného prierezu  $\overline{\sigma_a} = 50 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^2$ . Pri výpočte  $\xi$  musíme použiť vo vzťahu (25.9) dvojnásobnú hrúbku detektora, tým je zohľadnený difúzny prúd neutrónov dopadajúci na absorpčný detektor.
- 3) Zmerať počty impulzov  $n_1$  až  $n_4$ , ktoré zodpovedajú aktivitám  $A_1$  až  $A_4$  vyvolaných v experimentoch 1 až 4. Experimenty uskutočniť v súlade s ich schematickým znázornením na obr. 25.2. V usporiadaní 1 je aktivačný Ag detektor aktivovaný tepelnými neutrónmi z dolného bloku a rezonančnými neutrónmi z oboch blokov. Tepelné neutróny z horného bloku sa nedostanú do detektora, pretože sú absorbované kadmiovým filtrom. Tepelné neutróny z dolného bloku môžu prejsť detektorom raz (jednonásobný prechod). Neutróny, ktoré sú pohltené jadrami striebra, aktivujú detektor, a tie neutróny, ktoré prejdú cez detektor bez absorpcie sa nemôžu odraziť od horného bloku, pretože sú pohltené kadmiovým filtrom. Korekciu na aktiváciu striebra rezonančnými neutrónmi (energia 5,3 eV) možno urobiť na základe výsledkov experimentu 3. Rozdiel  $n_1 - n_3$  je mierou aktivity vyvolanej v detektore tepelnými neutrónmi v experimente 1. V usporiadaní 2 bude aktivita

detektora vyvolaná tepelnými neutrónmi z horného bloku a rezonančnými neutrónmi v oboch smeroch. Rozdiel  $n_2 - n_3$  je mierou aktivity vyvolanej tepelnými neutrónmi z horného bloku. Táto hodnota je o niečo menšia ako rozdiel  $n_1 - n_3$ , pretože horný blok je o niečo ďalej od neutrónového zdroja ako dolný, a tým je chudobnejší na tepelné neutróny. Vo výpočte sa odporúča uvažovať strednú hodnotu:

$$n = \frac{(n_1 - n_3) + (n_2 - n_3)}{2} \quad (25.10)$$

a považovať ju za mieru aktivity vyvolanej v detektore tepelnými neutrónmi pri ich jednonásobnom prechode. V usporiadaní 4 je detektor odkrytý tepelným neutrónom z oboch strán. Hodnota  $n_0 = n_4 - n_3$ , ktorá je mierou aktivity  $A_0$  vyvolanej neutrónmi v usporiadaní 4, je oveľa viac ako dvojnásobná. Je to spôsobené tým, že v experimente 4 (napr. v porovnaní s experimentom 1) sa pridáva nielen tok neutrónov z horného bloku (toto by iba zdvojnásobilo aktivitu detektora), ale navyše každý z týchto tokov tepelných neutrónov sa môže mnohonásobne odrážať od parafínových blokov, a tak mnohokrát prechádzať cez detektor, pokiaľ sa nepohlta. Za mieru aktivity detektora berieme aktivitu nuklidov  $^{108}_{47}\text{Ag}$  (polčas premeny  $T = 2,3$  min) a  $^{110}_{47}\text{Ag}$  (polčas premeny  $T = 24,6$  s). To znamená, že nuklid  $^{110}_{47}\text{Ag}$  s krátkym polčasom premeny musíme uvážiť pri vlastnom meraní tým, že meranie početnosti začíname vždy v rovnakom čase po vybratí aktivačného detektora z neutrónového poľa. V našom prípade je vhodné začínať meranie 15 s po vybratí detektora Ag z pozície 1 až 4. Nedodržaním rovnakej doby začiatku meraní sa môže podstatne zvýšiť chyba nášho merania. Dĺžka merania Ag fólie 100 s. Dĺžka aktivácie Ag fólie 10 min.

- 4) Určiť koeficient difúzneho odrazu pomocou vzťahu:

$$n_0 = \frac{2n}{1 - (1 - \xi)\beta} \quad (25.11)$$

- 5) Určiť zosilňujúci koeficient  $k$ .

### 3. Literatúra

[1] Lipka, J.: Jadrová a neutrónová fyzika. Bratislava, ES SVŠT, 1986.