

10. Dozimetria neutrónového žiarenia. Detekcia rýchlych neutrónov použitím sférických moderátorov

1. Všeobecná časť

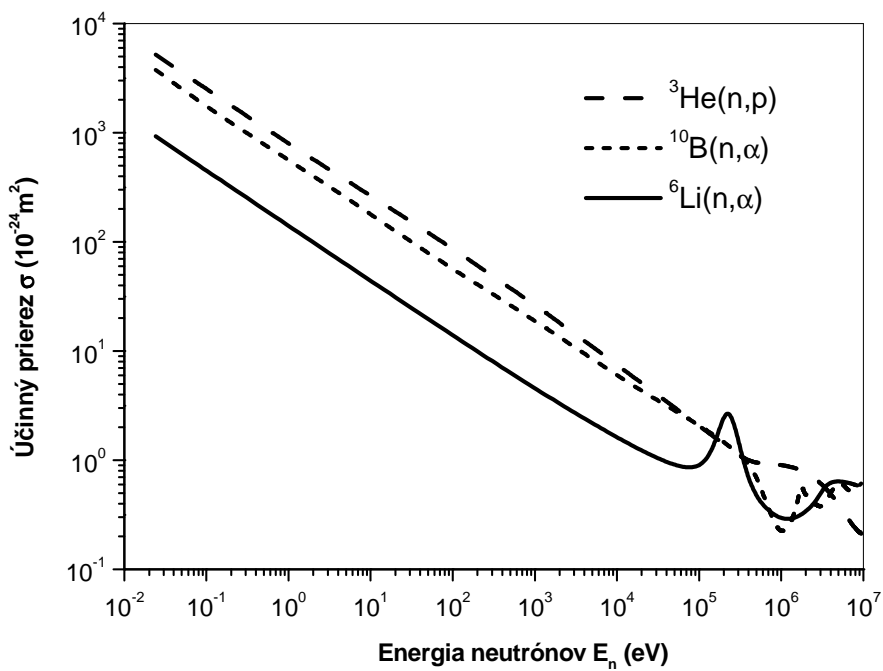
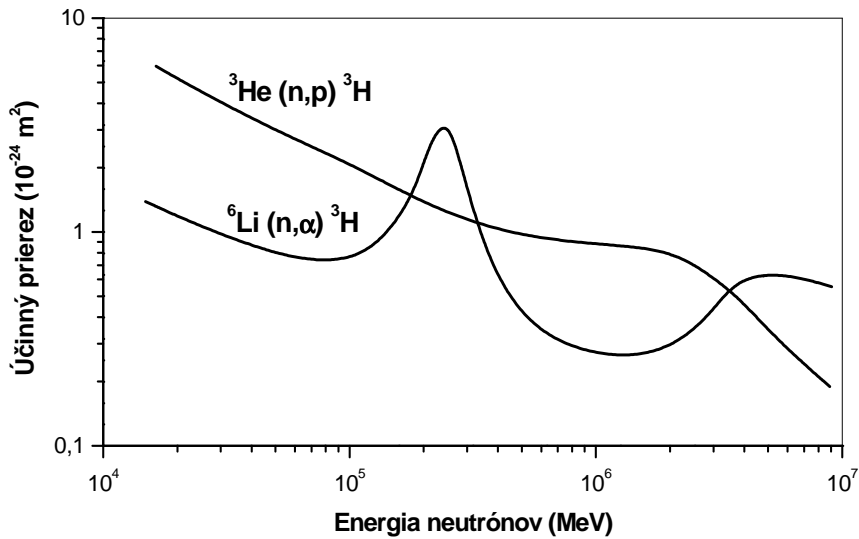
Pravdepodobnosť interakcie neutrónového žiarenia s prostredím, ktorým prechádza, vo veľkej miere ovplyvňuje energia neutrónov. Pre detekciu neutrónov má ich energia podstatný význam a ovplyvňuje výber vhodného detektora a metódy merania.

Vo všeobecnosti môžeme povedať, že s rastom energie neutrónov účinnosť ich detekcie klesá, čo má priamu súvislosť s energetickou závislosťou účinného prierezu interakcie neutrónov. Na zvýšenie účinnosti detekcie rýchlych neutrónov bolo vyvinutých niekoľko metód, podľa ktorých môžeme detektory rozdeliť do dvoch skupín:

1. Detektory využívajúce jadrové reakcie rýchlych neutrónov. Praktický význam pre detekciu rýchlych neutrónov má pružný rozptyl s jadrami ľahkých prvkov, absorpcia neutrónov v aktivačných detektoroch a konverzné reakcie so vznikom nabitých častíc. Pružný rozptyl neutrónov sa využíva v detektoroch obsahujúcich vodík, deutérium alebo hélium. Terčové jadro po rozptyle neutrónu získa kinetickú energiu potrebnú na ionizáciu prostredia detektora. Aktivačné detektory poskytujú informáciu o fluencii neutrónov a pri výbere sady detektorov s rôznymi prahovými energiami absorpcie môžu slúžiť na stanovenie energetického spektra neutrónov. Prakticky najvýznamnejšie konverzné jadrové reakcie neutrónov sú ${}^3\text{He} (n, p) {}^3\text{H}$, ${}^6\text{Li} (n, \alpha) {}^3\text{H}$, a ${}^{10}\text{B} (n, \alpha) {}^7\text{Li}$ a ${}^{235}\text{U}(n, \text{štiepenie})$, ktoré sa využívajú v plynových detektoroch plnených héliom, v scintilátoroch (napr. kryštál $\text{LiI}(\text{Eu})$), plyný scintilátor s obsahom hélia $\text{He}+\text{Xe}+\text{N}$), v polovodičových detektoroch s lítiom alebo héliom ako konvertorom neutrónov v sendvičovom usporiadaní. Mikroskopický účinný prierez uvedených reakcií rýchlych neutrónov je uvedený na obr. 10.1.

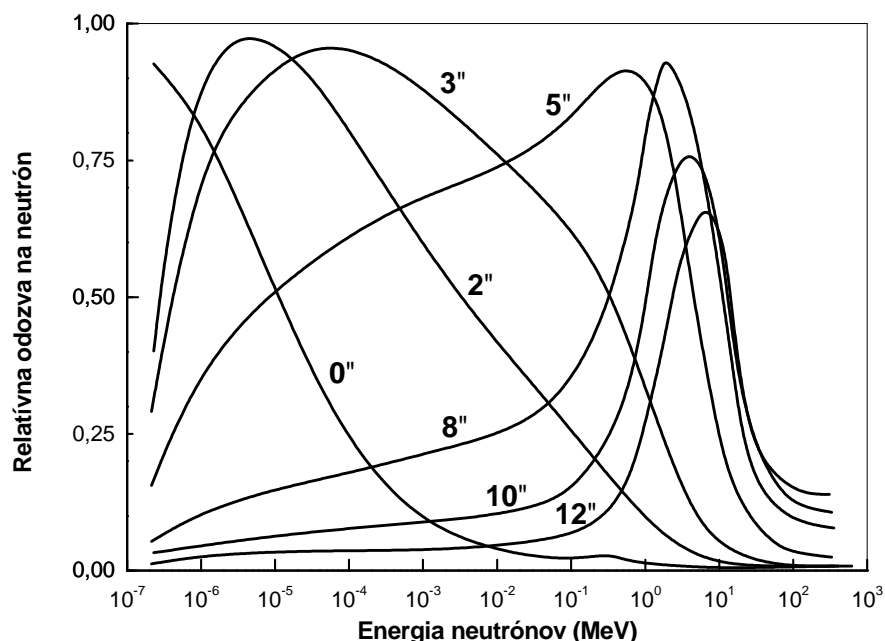
2. Detektory s moderátorom neutrónov. Rýchle neutróny sa spomalia prechodom cez vrstvu moderátora a potom sú zaregistrované bežným detektorom tepelných neutrónov. Ako moderátor sa využíva polyetylén vo forme gule alebo valca. Do vnútra moderátora sa vkladá detekčná sonda neutrónov alebo gama žiarenia vznikajúceho pri spomaľovaní neutrónov.

Pri monitorovaní pracovísk so zdrojmi neutrónov sa široko využíva sférický dozimeter, založený na moderácii neutrónov v polyetylénovej guli, ktorý sa v literatúre nazýva aj Bonnerov spektrometer podľa jedného z jeho autorov. V centre polyetylénovej gule sa nachádza scintilačná sonda neutrónov s kryštálom ${}^6\text{LiI}(\text{Eu})$. Malé rozmery kryštálu (\varnothing



Obr. 10.1: Energetická závislosť účinného prierezu reakcií ${}^3\text{He}(n,p){}^3\text{H}$, ${}^6\text{Li}(n,\alpha){}^3\text{H}$ a ${}^{10}\text{B}(n,\alpha){}^7\text{Li}$. Prevzaté z [1].

8×4 mm) zabezpečujú nízku odozvu detektora na gama žiarenie, účinnú detekciu tepelných neutrónov a veľmi dobrú schopnosť diskriminácie registrovaných impulzov neutrónov od gama žiarenia. Relatívna účinnosť detekcie závisí od priemeru moderačnej gule a energie neutrónov ako je zrejmé z obr. 10.2.



Obr. 10.2: Energetická závislosť relatívnej účinnosti detekcie Bonnerovho spektrometra neutrónov pre sférické moderátory rôznych priemerov. Prevzaté z [1].

Použitím sady polyetylénových guľí môžeme stanoviť energetické spektrum neutrónov. Iné využitie predstavuje meranie dozimetrických veličín tzv. moderačnou multisférickou metódou. Veľkou výhodou tejto metódy je využitie nameranej informácie zo širokého intervalu energií zo spektra neutrónov, čo spolu s použitím vhodných konverzných faktorov umožňuje presnejšie určiť meranú dozimetrickú veličinu nezávisle od spektra neutrónov v mieste merania. Meranú veličinu V v závislosti od energie neutrónov môžeme vyjadriť vzťahom:

$$V = k \int c(E) \varphi(E) dE \quad (10.1)$$

kde $c(E)$ je konverzný faktor príslušnej meranej veličiny V , $\varphi(E)$ je hustota toku neutrónov s energiou E a k je kalibračná konštanta.

Konverzný faktor $c(E)$ možno pre viacdetrovový systém, predstavovaný sadou moderátorov, vyjadriť ako lineárnu kombináciu:

$$c(E) = \sum_i a_i \varepsilon_i(E) \quad (10.2)$$

kde $\varepsilon_i(E)$ je odozvoová funkcia i -tého moderátora na jednotkovú fluenciu neutrónov s energiou E a a_i je konštanta predstavujúca váhový faktor.

Pre meranú veličinu potom platí:

$$V = k \int c(E)\varphi(E)dE = k \sum_i a_i \int \varepsilon_i(E)\varphi(E)dE = k \sum_i a_i N_i \quad (10.3)$$

kde integrál $N_i = \int \varepsilon_i(E)\varphi(E)dE$ predstavuje odozvu detektora v i -tom moderátore.

Určenie vhodnej lineárnej kombinácie $\sum_i a_i N_i$ predstavuje matematickú úlohu stanovenia váhových faktorov a_i pri zvolenom počte prvkov.

Pre sadu moderátorov s priemerom 50, 76, 101, 127, 203, 254 a 305 mm (2", 3", 4", 5", 8", 10", 12") a spektrum neutrónov s energiou v rozmedzí 10 eV až 14 MeV dostávame nasledovné vzťahy:

1. pre príkon ekvivalentnej dávky:

$$\dot{H} = (1,53N_{50} + 6,67N_{76} - 13,88N_{127} + 20,57N_{203}) \frac{1}{C_H} \quad (10.4)$$

2. pre príkon absorbovanej dávky:

$$\dot{D} = (1,21N_{50} + 2,02N_{203} + 7,78N_{254} + 18,3N_{305}) \frac{1}{C_D} \quad (10.5)$$

3. pre príkon kermy:

$$\dot{K} = (0,828N_{50} - 3,18N_{101} + 18,76N_{254}) \frac{1}{C_K} \quad (10.6)$$

4. pre hustotu toku neutrónov:

$$\varphi = (2,21N_{50} + 4,08N_{127} - 1,09N_{254} + 4,13N_{305}) \frac{1}{C_\varphi} \quad (10.7)$$

Citlivosť monitora neutrónov C_H , C_D , C_K a C_φ bola stanovená na referenčnom zdroji neutrónov $^{241}\text{Am-Be}$ nasledovne:

Pre neutróny s energiou 10 eV až 14 MeV:

$$C_H = \frac{100}{19,2} \left[\frac{s^{-1}}{\mu\text{Svh}^{-1}} \right] \quad C_D = \frac{100}{1,84} \left[\frac{s^{-1}}{\mu\text{Gyh}^{-1}} \right]$$

$$C_K = \frac{100}{2,01} \left[\frac{s^{-1}}{\mu\text{Gyh}^{-1}} \right] \quad C_D = \frac{100}{0,147} \left[\frac{s^{-1}}{m^{-2}s^{-1}} \right]$$

$$\text{Pre tepelné neutróny je citlivosť monitora neutrónov: } C_H = \frac{100}{9,69} \left[\frac{s^{-1}}{\mu\text{Svh}^{-1}} \right]$$

Chyby merania sú dané štatistickou chybou σ_s a systematickou chybou σ_a . Štatistická chyba σ_s je závislá od časovej integračnej konštanty meracieho prístroja τ a početnosti registrovaných impulzov. Hodnota časovej konštanty sa volí v závislosti od meranej početnosti impulzov a požadovanej presnosti merania. Na prístroji sa dá meniť stupňovito s hodnotami 0,3; 1; 3; 10 s. Rýchlosť odozvy prístroja na zmenu početnosti impulzov je cca 5τ , preto sa nameraná hodnota odčítava až po uplynutí tohto času. Pre i -ty moderátor a nameranú početnosť impulzov N_i určíme štatistickú chybu podľa vzťahu:

$$\sigma_{s_i} = \pm \sqrt{\frac{N_i}{2\tau}} \quad (10.8)$$

Systematická chyba σ_a je daná presnosťou overenia citlivosti prístroja, nastaveným pracovným bodom, časovou stabilitou pri konštantnej teplote, nelinearitou merača početnosti impulzov, triedou presnosti meradla a chybou pri odčítavaní. Jej veľkosť je cca 10% z nameranej hodnoty. Celková chyba merania s jedným moderátorom bude rovná:

$$\sigma_i = \pm \sqrt{\sigma_{s_i}^2 + \sigma_{a_i}^2} \quad (10.9)$$

2. Zadanie a postup merania

- 1) Pomocou monitora neutrónov a moderačnej multisférickej metódy zmapujte hodnoty príkonov dávky, príkon ekvivalentnej dávky, kermy a hustoty toku neutrónov v okolí rádioizotopových zdrojov neutrónov Am-Be a Pu-Be.
- 2) Pre mapované veličiny stanovte celkové chyby merania podľa vzťahu (1.5).
- 3) Pomocou neutrónového proporcionálneho detektora určite, aký je na mapovaných miestach neutrónových zdrojov podiel tepelných neutrónov na celkovej fluencii.
- 4) Vypočítajte, koľko % z limitných dávok (vyhláška MZ SR č. 12/2001 Z. z.) obdržíte pri práci v okolí neutrónových zdrojov počas 3 hodín. Uvažujte celotelové ožiarenie v mieste najnepriaznivejšej, t. j. najväčšej hodnoty príkonu ekvivalentnej dávky.

3. Literatúra

[1] Knoll, Glenn, F.: Radiation detection and measurement. Wiley, New York, 1989.