

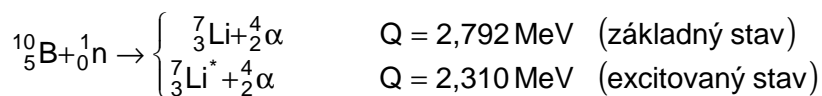
9. Plynom plnené detektory neutrónov. Meranie distribúcie tepelných neutrónov v prostredí

1. Všeobecná časť

Neutróny sú elementárne častice bez náboja, a preto nie sú schopné priamo ionizovať atómy v prostredí, ktorým prechádzajú. Na registráciu neutrónov sa využívajú hlavne jadrové reakcie, pri ktorých vznikajú vysokoenergetické nabité častice ako protóny, alfa častice, odrazené jadrá alebo štiepne fragmenty.

Pri detekcii neutrónov využívame nasledovné procesy:

1. Jadrové reakcie, pri ktorých vznikajú vysokoenergetické nabité častice, ako protóny (n, p), alfa častice (n, α), alebo štiepne fragmenty pri delení nuklidov ^{233}U , ^{235}U alebo ^{239}Pu . Tieto reakcie sú podstatou registrácie neutrónov v aktívnych detektoroch neutrónov (produktujú impulzy alebo prúdový signál). Najpoužívanejšie jadrové reakcie sú:



2. Jadrové reakcie, v ktorých pod účinkom neutrónov vznikajú rádioaktívne jadrá. Tieto reakcie sú podstatou pasívnych aktivačných detektorov, nazývaných aj rádioaktívne indikátory, alebo aktívnych samonapájacích detektorov. Indukovaná rádioaktivita nám poskytuje informáciu o neutrónovom toku.

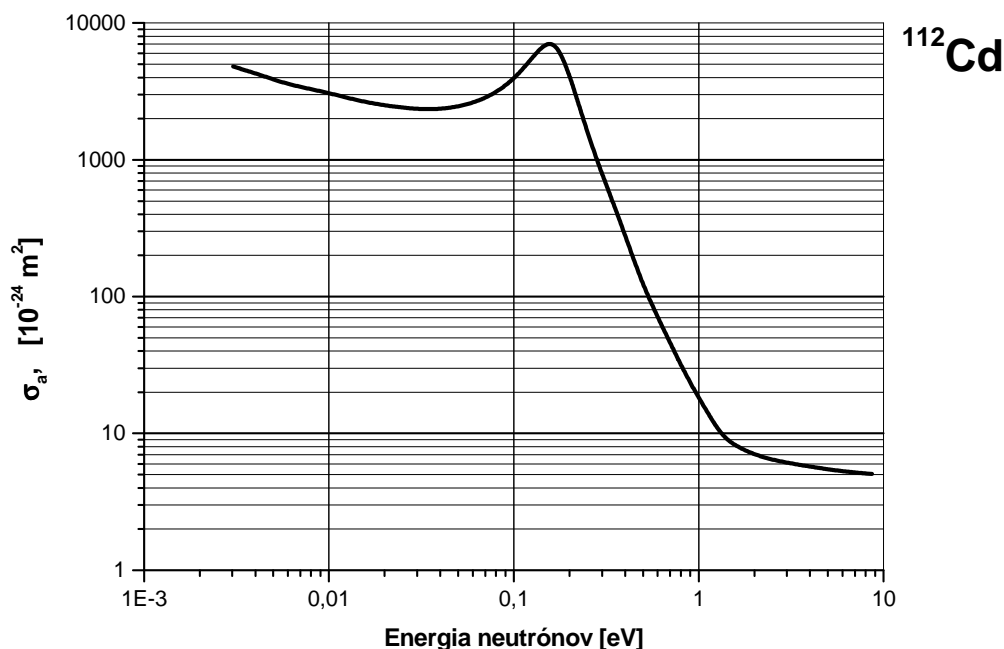
3. Pružný rozptyl neutrónov, ktorého produktom je vyrazené nabité jadro. Ako terčové jadro sa v praxi využívajú ľahké jadrá, najmä vodík, deutérium a hélium, pretože im môže odovzdať neutrón najväčšiu časť svojej energie. Najpoužívanejším je vodík, pri ktorom je produktom rozptylu neutrónu protón.

Účinný prierez interakcie neutrónov s látkou závisí u väčšiny materiálov od energie neutrónov. Energia neutrónov je preto určujúca pre výber techniky detekcie neutrónov. Ako hranica pre energiu pomalých (tepelných a chladných) neutrónov sa považuje tzv. kadmiová hrana. Kadmiová hrana predstavuje energiu približne 0,5 eV, v okolí ktorej sa účinný prierez

absorpcie neutrónov v kadmiu mení prakticky skoro o tri rády. Závislosť účinného prierezu absorpcie neutrónov od ich energie je znázornená na obr. 9.1.

Podiel epitepelných neutrónov v celom spektre vyjadruje tzv. kadmiový pomer R_{Cd} , ktorý môžeme určiť meraním početnosti neutrónov holým detektorom n_h a detektorom obaleným kadmiovým plechom n_{Cd} . Ak použijeme aktivačné detektory neutrónov, na určenie kadmiového pomeru môžeme využiť meranie indukovanej aktivity holého a kadmium obaleného detektora a_h a a_{Cd} .

$$R_{Cd} = \frac{n_h}{n_{Cd}} = \frac{a_h}{a_{Cd}} \quad (9.1)$$



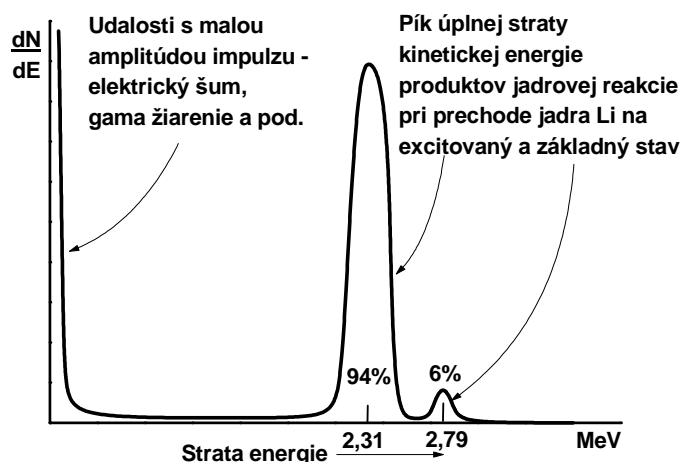
Obr. 9.1: Účinný prierez absorpcie neutrónov v ^{112}Cd v závislosti od energie neutrónov.

Pri výbere vhodného spôsobu detekcie treba dbať na niekoľko faktorov. Účinný prierez interakcie neutrónov by mal byť v potrebnom energetickom intervale čo najväčší, aby mohol byť detektor čo najmenších rozmerov. Z dôvodu malých rozmerov treba najmä u plynových detektorov zabezpečiť, aby bolo v aktívnom objeme dostatočne vysoké zastúpenie terčového nuklidu.

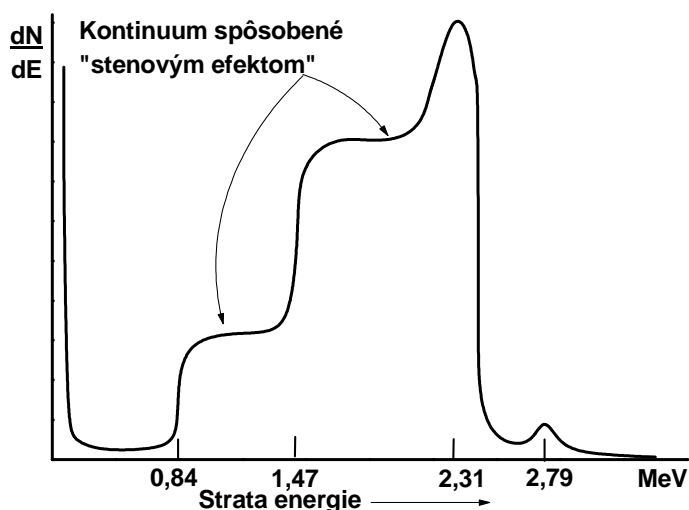
Rozmery aktívneho objemu detektora by mali byť dostatočne veľké na to, aby tam produkty reakcie odovzdali všetku svoju kinetickú energiu. V opačnom prípade produkovaná častica opustí aktívny objem cez stenu detektora skôr, ako odovzdá všetku energiu a v detektore sa produkujú impulzy s nižšou amplitúdou. V amplitúdovom spektre sa tak

vytvorí kontinuum, ktoré sa nazýva „stenový efekt“. Amplitúdové spektrum BF_3 trubice dostatočne veľkých rozmerov je uvedené na obr. 9.2. Výrazný stenový efekt BF_3 trubice malých rozmerov je znázornený na obr. 9.3.

Vo väčšine prípadov sú neutróny sprevádzané intenzívnym gama žiarením. Detekčný systém musí byť v takom prípade schopný vhodnou diskrimináciou oddeliť nežiadúce gama žiarenie. Dôležitým ukazovateľom v tomto prípade je energia Q, uvoľnená pri záchypte neutrónu terčovým jadrom. Čím je Q vyššie, tým vyššia je energia uvoľnených produktov jadrovej reakcie a tým ľahšie je možné oddeliť gama žiarenie použitím jednoduchšej amplitúdovej diskriminácie.



Obr. 9.2: Amplitúdové spektrum BF_3 trubice dostatočne veľkých rozmerov (nevýrazný stenový efekt). Prevzaté z [1].



Obr. 9.3: Amplitúdové spektrum BF_3 trubice s výrazným stenovým efektom. Prevzaté z [1].

2. Zadanie a postup merania

Cieľom laboratórneho cvičenia je určiť distribúciu tepelných neutrónov emitovaných Pu-Be zdrojom v grafitovom moderátore a závislosť kadmiového pomeru na vzdialenosti od zdroja neutrónov.

Grafit je vynikajúci moderátor neutrónov, ktorý sa vyznačuje dobrou moderačnou schopnosťou a veľmi nízkou absorpciou neutrónov. V jadrovej technike sa veľmi často využíva na vytvorenie poľa resp. zväzku tepelných neutrónov. Priestorové rozloženie hustoty toku tepelných neutrónov v grafitite závisí od spektra neutrónov vyletujúcich zo zdroja, od geometrie zdroja a geometrie a rozmerov grafitového moderátora.

Na meranie použijeme plynom BF_3 plnený detektor neutrónov, napojený na jednokanálový analyzátor. Postup merania je nasledovný:

Jednokanálovým analyzátorom zmerať charakteristiku detektora, t. j. početnosť impulzov v závislosti od amplitúdy impulzov.

Z charakteristiky detektora určiť diskriminačnú hladinu na odseparovanie impulzov spôsobených gama žiarením a elektrických šumov od impulzov spôsobených neutrónmi.

Na určenie distribúcie neutrónov treba urobiť sériu meraní v grafitovej prizme v rôznej vzdialenosti od zdroja neutrónov. V každej pozícii zmerať početnosť zaregistrovaných neutrónov, ktorá je proporcionálna hustote toku neutrónov, s holým detektorom a detektorom obaleným kadmiovým plechom. Detektor obalený kadmiovým plechom odseparuje tepelné neutróny, ale prepustí epitepelné, ktoré sú prítomné v spektre neutrónov. Z nameraných hodnôt treba vypočítať početnosť zaregistrovaných tepelných neutrónov a kadmiový pomer R_{Cd} v rôznych vzdialenostiach od zdroja a zostrojť graf distribúcie všetkých neutrónov, len tepelných neutrónov a hodnoty kadmiového pomeru v závislosti na vzdialenosti od zdroja.

3. Literatúra

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