

LABORATORNÍ ÚLOHA

Pokusy s neutronovým zdrojem

Karel Rauner, Pedagogická fakulta ZČU, Plzeň

Úkol

Změřte poločas rozpadu $^{116}_{49}\text{In}$. Ověřte existenci rezonance v závislosti účinného průřezu pro reakci (n, γ) na energii neutronu aktivacní metodou pro absorbátory z india ve vodním moderátoru.

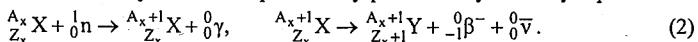
Výklad

Am-Be zdroj neutronů uvolňuje neutrony jadernou reakcí

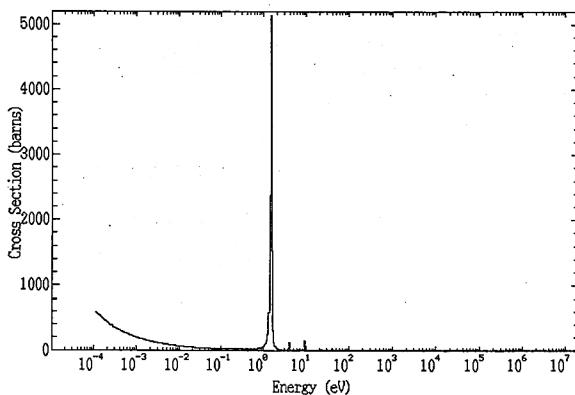


Zdrojem α -častic je transuran americium 241 s poločasem rozpadu 432,2 roku. Energie α -častic je asi 5,4 MeV, což je postačující iniciační energie k uskutečnění jaderné reakce (1), což je v podstatě jaderná syntéza berylia a hélia s uvedeným energetickým ziskem. V používaném neutronovém zdroji se uvolňuje každou sekundu $6,8 \cdot 10^5$ neutronů. Neutron uvolněný z reakce (1) může získat energii až přes 10 MeV, neutrony z Am-Be zdroje jsou tedy neutrony rychlými.

Neutrony jako částice bez elektrického náboje mohou snadno vnikat do jader. Účinné průřezy jaderných reakcí vyvolaných neutrony jsou proto pravidelně větší než u reakcí vyvolaných nabitymi česticemi. Pro naše měření je důležitá jaderná reakce typu (n, γ) , tedy pohlcení neutronu s následným vyzářením kvanta gama. Této reakci se říká radiační záchyt neutronu. Často vznikne touto reakcí jádro, které má proti stabilitmu nuklidu přebytek neutronů. Nově vytvořené jádro je proto β^- -radioaktivní a přeměňuje se na nové jádro nuklidu, který je prvkkem v periodické soustavě o jedno místo vpravo. Celý proces lze symbolicky zapsat



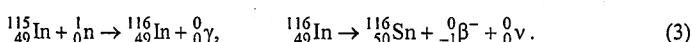
In115 (N, G) * JEF-2.2; RN - ---/SYS



Obr. 1

Účinný průřez reakce typu (n, γ) výrazně závisí na energii neutronu. Pro rychlé neutrony je účinný průřez malý. Neutrony středních energií vykazují v závislosti účinného průřezu na energii rezonance. Při určitých energiích neutronu se pravděpodobnost reakce zvyšuje až o několik rádů. Tato skutečnost je potvrzením diskrétní struktury energií atomového jádra, k rezonanci dochází, má-li neutron energii blízkou rozdílu energetických hladin nového a původního jádra. Pro neutrony pomalé a tepelné (s energií $E \sim k \cdot T \sim 0,025$ eV, kde k je Boltzmannova konstanta a T je termodynamická teplota) platí tzv. zákon $\frac{1}{\nu}$, podle kterého je účinný průřez nepřímo úměrný rychlosti neutronu.

Protože se v této úloze používá jako absorbátoru nuklidu $^{115}_{49}\text{In}$, mají reakce (2) konkrétní podobu:



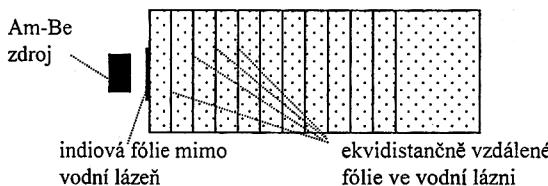
Účinný průřez pro radiační záchyt neutronu v $^{115}_{49}\text{In}$ závisí na energii neutronu podle obr. 1. ($1 \text{ bn} = 1 \text{ barn} = 10^{-28} \text{ m}^2$). Je vidět, že průběh vykazuje výraznou rezonanci pro energii 1,5 eV. Při nižších energiích je dobré patrná závislost podle zákona $\frac{1}{\nu}$, pro tepelné neutrony dosahuje účinný průřez 201 barnů. Celková pravděpodobnost radiačního záchytu neutronu při zpomalování je dána rezonančním integrálem, který je pro $^{115}_{49}\text{In}$ 3 208 bn. Porovnáním této hodnoty s účinným průřezem pro tepelné neutrony je zřejmé, že většina neutronů se absorbuje v okolí rezonance.

Reakcí (n, γ) může vzniknout $^{116}_{49}\text{In}$ v excitovaném stavu (75 % případů), pak se přebytečná energie uvolňuje ve formě kvanta gama, případně v základním stavu (25 %). Poločas rozpadu excitovaného stavu je 54,3 minuty, základní stav má poločas rozpadu pouhých 13 sekund. Protože od konce ozařování indiových fólií k počátku měření uplyne několik minut, měří se pouze přeměna excitovaného stavu s poločasem rozpadu 54,3 minuty. Pro aktivity fólie, která byla od neutronového zdroje ve vzdálenosti r , proto platí:

$$A(r) = A_0(r) \cdot e^{-\lambda t}, \quad (4)$$

kde $A_0(r)$ je aktivita fólie v čase $t = 0$ a λ je rozpadová konstanta.

Indiové fólie jsou během ozařování v kazetě opatřené ekvidistančními zářezy a naplněné vodou (obr. 2).



Obr. 2

První fólie, která je mimo vodní lázeň, se používá k měření poločasu rozpadu. Předpokládáme, že neutronový zdroj má kulovou vyzářovací charakteristiku, proto je nutné přepočítat aktivitu jednotlivých fólií na jednotný plošný obsah. Toho se dosáhne násobením druhou mocninou vzdálenosti od zdroje. Aktivita fólií přepočítaná na jednotný čas a jednotnou

plochu má maximum pro jistou tloušťku vodního absorbátoru. Porovnáním této skutečnosti s obrázkem č. 1 můžeme usoudit na to, že v okolí fólie s maximální přeypočítanou aktivitou byl tok neutronů s energiemi kolem 1 eV maximální. Samotná existence tohoto maxima svědčí o výrazné rezonanci v závislosti účinného průřezu na energii.

Potřeby

Scintilační detektor se zdrojem a zesilovačem, čítač, neutronový zdroj Am-Be, kazeta s indiovými fóliemi, počítač.

Postup při měření

1. Připravte scintilační detektor a čítač k měření podle přiloženého návodu.
2. Vyčkejte asi 5 minut k získání stabilních parametrů měřící aparatury.
3. Změřte pozadí za dobu 300 s.
4. Požádejte asistenta o kazetu s ozářenými fóliemi. Asistent vám musí zároveň oznámit vzdálenost první fólie od neutronového zdroje.
5. Měřte vždy po dobu 100 s, zaznamenávejte čas počátku každého měření.
6. Je-li v kazetě založeno n fólií, měřte fólie v pořadí: 1, n , 1, $n-1$, 1, $n-2$, 1, ..., 1, 2, 1.
7. Změřte vzdálenosti fólií: x_i .
8. Změřte pozadí za dobu 300 s.

Zpracování výsledků měření

1. Ze změřených vzdáleností x_i a zadané vzdálenosti první fólie od zdroje určete vzdálenosti jednotlivých fólií od neutronového zdroje: r_i .
2. Od změřených aktivit odečtěte pozadí.
3. Závislost měřené aktivity první fólie na čase vyneste do tabulky a ve vhodném tabulkovém procesoru proložte exponenciální approximaci. Zjištěným exponenciálním koeficientem je rozpadová konstanta ze vztahu 4.
4. Určenou rozpadovou konstantu využijte pro přepočet aktivit ostatních fólií na jednotný časový okamžik – podle (4).
5. Přepočtěte aktivity všech fólií na jednotnou plochu.
6. Vyneste do grafu závislosti aktivit (přepočítaných na jednotný čas a jednotnou plochu) na vzdálenosti od zdroje. Na vodorovnou osu vyznačte počátek vodního moderátoru.

Závěr a hodnocení

Uveděte získaný poločas rozpadu a porovnejte jej s tabulkovou hodnotou. Uveděte zjištěnou tloušťku vodního moderátoru, která zpomalí neutrony z Am-Be zdroje na energie s velikostí kolem 1 eV. Posuděte přesnost měření, zhodnoťte vliv statistického charakteru zpomalování neutronů a navrhněte opatření k zlepšení přesnosti měření.

Literatura:

- [1] Usačev S. a kol.: *Experimentálna jadrová fyzika*. ALFA + SNTL, Bratislava 1982.
- [2] Korbel Z.: *Praktikum jaderné fyziky I*. SPN, Praha 1971.
- [3] Drška L., Klimeš B., Slavík J.: *Základy atomové fyziky*. ČSAV, Praha 1958.
- [4] <<http://wwwndc.tokai.jaeri.go.jp/jendl/j32/Tabsigs/In115.HTML>> *In115* (anglicky).
- [5] <<http://hpngp01.kaeri.re.kr/cgi-bin/w3graf?n=In115&l=n&m=102>> *Graph for In115(N, G)* (anglicky).