

19

Měření vazbové energie deuteronu a Dopplerova posuvu

20.8.1991

Ján Lipták

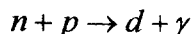
Úkol:

Stanovení vazbové energie deuteronu měřením energie fotonů, které jsou vysílány, když vodíkové jádro zachytí termický neutron. Experimentální určení Dopplerova posuvu při deexcitaci přechodem gama pohybujícího se jádra.

Úvod

Paprsky gama při zachycení neutronu byly poprvé pozorovány Leaem (1934). Lea registroval paprsky gama vzniklé zachycením neutronu na vodíku, používal Ra-Be neutronový zdroj a Geiger-Müllerův počítač. Později studoval Pringle (1952) záhytové gama paprsky za použití slabého Ra-Be zdroje neutronů a mnohem citlivějšího detektoru, krystalového scintilačního spektrometru. První přesné měření energie gama záření vznikající při zachycení neutronu protonem provedli Bell a Elliot (1950). Používali termických neutronů z jaderného reaktoru. Naměřili hodnotu vazbové energie deuteronu 2.23 MeV [1].

Nejpravděpodobnější hodnota vazbové energie deuteronu je podle současných měření 2224.563(9) keV [2]. Vazbovou energii deuteronu lze experimentálně stanovit měřením energie gama záření vysílaného při zachytu termických neutronů jádru vodíku, protony



Energii reakce Q tohoto procesu lze vyjádřit vztahem [3, 4, 5]

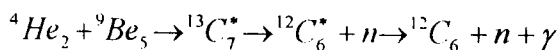
$$Q = T(d) + T(\text{gama}) - T(n) - T(p) = m_n + m_p + m_d = B(d)$$

kde T udává kinetické energie částic a m jejich hmotnosti. Jelikož kinetické energie pomalých neutronů a jader vodíku jsou zanedbatelné vzhledem k energii vysílaného gama záření, plyne z předešlé rovnice, že vazbová energie deuteronu je přibližně rovna energii vysílaného fotonu a energii odraženého deuteronu

$$B(d) = Q \approx T(\text{gama}) + T(d)$$

Určení vazbové energie deuteronu tedy spočívá v proměření gama spektra neutronového zdroje stíněného parafinem a výpočtu energie odraženého jádra na základě kinematiky procesu.

Používaný neutronový zdroj Ra-Be vysílá kromě neutronů kvanta-gama v následujícím procesu:



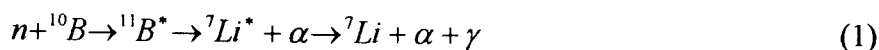
Energie první excitované hladiny ${}^{12}\text{C}$ je $E_C = 4430$ keV. Protože ${}^{12}\text{C}$ v momentě deexcitace může mít určitou kinetickou energii, která závisí na kinetické energii

interagující alfa-částice, na kinetické energii neutronu a jeho směru vzhledem ke směru pohybu $^{13}\text{C}^*$, naměřené energie kvanta gama v důsledku Dopplerova efektu bude mít hodnotu v intervalu $E_{\min} < E_{\text{gama}} < E_{\max}$.

Určete experimentální hodnotu (obr. 1)

$(E_c - E_{\max}) / (E_c - E_{\min})$ a srovnejte s teoretickou hodnotou za předpokladu, že $E_{\max}(\alpha) = 5,5 \text{ MeV}$ a $E_{\max}(n) = 5 \text{ MeV}$

Polovodičový Ge(Li) detektor je chráněn před tepelnými neutrony filtrem obsahujícím bor. Jádro ^7Li vzniklé v reakci



se deexcituje z prvního excitovaného do základního stavu přechodem 478 keV. Jádro $^7\text{Li}^*$ v momentě rozpadu má kinetickou energii závislou na energii reakce (1) $Q = 2,78 \text{ MeV} - 0,478$. Proto v závislosti na směru jádra $^7\text{Li}^*$ vzhledem ke směru vysílání kvanta gama nastává Dopplerovo rozšíření. Změřte tuto hodnotu experimentálně a srovnejte s teorií. Obr. 2. Kinetickou energii neutronu a jádra boru zanedbejte.

Experimentální uspořádání

Experimentální uspořádání je zobrazeno na obr. 3 [6]. Neutronový Ra-Be zdroj je umístěn v parafínovém kontejneru o síle stěny alespoň 15 cm. Rychlé neutrony vysílané zdrojem jsou v důsledku srážek s vodíkovými jádry v parafínu zpomalovány na termické energie. Pomalé neutrony mohou být dále zachyceny jádrem vodíku a boru za současného vyslání fotonu. Fotony jsou registrovány polovodičovým Ge(Li) detektorem, který je spojen s registrační aparaturou - mnohokanálovým analyzátozem.

Postup měření

Spektrometrický trakt musí být především dobře okalibrován. Ke kalibraci použijte přechody gama vznikající při rozpadu ^{226}Ra a jeho produktů. Energie těchto přechodů jsou následovné:

351,921(11); 609,312(10); 1120,287(2); 1764,50(2); 2204,21(4) a 2447,8(1).

Vazbová energie deuteronu je asi $B(d) = 2.22 \text{ MeV}$.

Zpracování

Pro zpracování měření je důležitá energetická kalibrace spektrometrického traktu. Přesnost kalibrační křivky závisí na přesnosti určení poloh kalibračních píků a přesnosti jejich energie. Kalibrujte pomocí mnohokanálového analyzátoru. Odhadněte chyby výsledků.

Aparatura a pomůcky

1. Mnohokanálový analyzátor
2. Ge(Li) detektor
3. Neutronový Ra-Be zdroj

Literatura

1. Student Method for Determining the Binding Energy of the Deuteron. Am. Journ. Phys.29, 1961, p.684
2. Ts.Vylov a dr., K voprosu o pereopredelenii energii svyazi deuteronu, JINR Dubna, 1982
3. F.Štěrba,M.Suk,Z.Trka, Atomová a jaderná fyzika,str.118
4. I.Úlehla, M.Suk, Z.Trka, Atomy jádra částice, str.265
5. T.Mayer-Kuckuk, Fyzika atomového jádra, str.227
6. J.Novotná, Diplomová práce, 1976, KJF MFF UK Praha
7. K.Rektorys a kol., Přehled užití matematiky, metoda nejmenších čtverců, str.1057

Stručný návod k obsluze spektroskopického zařízení

Program se nachází na hard disku "C" v subdirektoriátu PCA pod názvem pcae.exe.

Výběr jednotlivých způsobů práce zařízení se uskuteční stlačením počátečních písmen slov objevujících se v horní části obrazovky (H, F, C, S, M a Q). Vlastní ovládání měření, zápisu, vyznačení úseků atd. se ovládá klávesnicemi F1 - F10 a dalšími, které jsou na poslední řádce obrazovky. Např:

F1 - start, stop měření

Ctrl F2 - mazání spektra (jenom v případě, že měření je zastaveno)

F3 - časová předvolba měření

F4 - roztažení spektra

F5 - komentář k měřenému spektru

F6 - zápis spektra z disku do paměti

F7 - zápis spektra z paměti na disk

Ctrl F8 - mazání vyznačených úseků

F9 - začátek vyznačení úseku (poloha kurzoru)

F10 - konec vyznačení úseku (poloha kurzoru)

Alt A - zavedení automatického počítání vyznačených úseků