

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Fakulta přírodovědecká

Ústav fyziky a biofyziky



FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM IV

Měření poločasu rozpadu Barya-137

Vypracoval: Milan Somora

České Budějovice 7. 12. 2017

Zadání

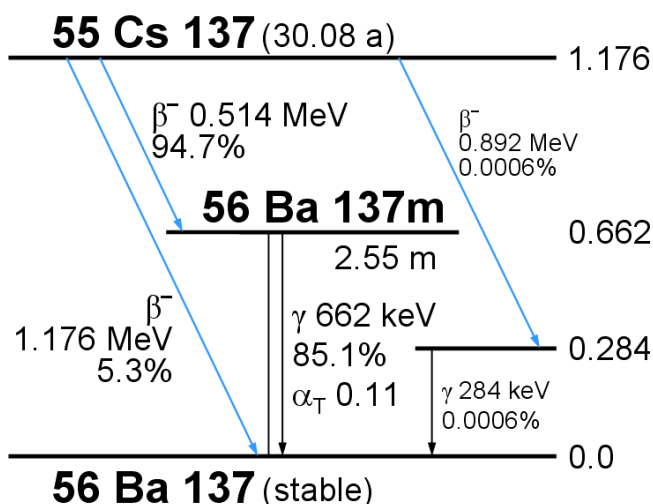
Určete poločas rozpadu Barya-137.

Použité přístroje a pomůcky

Generátor izotopu ^{137}Ba , Detektor NaI(Tl) s multikanálovým zesilovačem Osprey (v. č. 11122242), počítač s programem ProSpect, digitální monitor plošné kontaminace LB124 Scint (v. č. 505234), měřicí přístroj Radiagem 2000 (v. č. 110026632), eluční roztok, planžeta, injekční stříkačka, latexové rukavice.

Teoretický úvod

γ -záření je produkováno během γ rozpadu, který normálně nastává po jiném radioaktivním rozpadu, jako je α nebo β . Vzniklá dceřiná jádra totiž většinou vznikají v excitovaném stavu, a pak se rozpadají do stavu s nižší energií vyzářením γ -kvanta. Emise γ -záření je většinou téměř okamžitá (cca 10^{-12} s), existují však stavy, které jsou stabilnější (nazýváme je metastabilní excitované stavy) a jejich rozpad trvá alespoň 100 až 1000 krát déle. Jedním z takových stavů je ^{137}Ba s energií 661,7 keV, a poločasem rozpadu 2,55 minuty, který vzniká b rozpadem ^{137}Cs .



Obrázek 1: Průběh rozpadu cesia 137

Na obrázku (1) se ^{137}Cs se rozpadá s poločasem 30,08 let b- rozpadem na ^{137}Ba a to buď do jeho základního stavu (s 5,3 % pravděpodobností) nebo do excitovaného stavu s energií 662 keV (94,7 %), popř. s energií 284 keV (0,0006 %). Excitovaný stav ^{137}Ba s energií 662 keV se rozpadá s poločasem 2,55 minuty do základního stavu ^{137}Ba buď vysláním γ -kvanta, nebo vnitřní konverzí (s pravděpodobností 11 %). Vnitřní konverze znamená, že energie jádra je předána elektronu z jedné z vnitřních slupek (K, L, M) elektronového obalu atomu, tj. je vyražen elektron z obalu. Excitovaný stav ^{137}Ba s energií 284 keV se rozpadá do základního stavu vyzářením γ -kvanta. Konverzní elektrony nebyly pozorovány, poločas rozpadu $\sim 10^{-12}$ s.

Aktivita radioaktivního vzorku je počet jader, které se rozpadnou za jednotku času [Bq]. Aktivita vzorku závisí na jeho množství a klesá s časem. Změna počtu nerozpadlých jader DN je úměrná počtu nerozpadlých jader N a času Dt , během něhož k rozpadu dochází dle vztahu:

$$\Delta N = N\lambda\Delta t, \quad (1)$$

kde λ je rozpadová konstanta, která typická pro daný izotop. Pro infinitesimálně malé časy lze přepsat rovnici na tvar:

$$dN = N\lambda dt, \quad (2)$$

jejímž řešením je:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (3)$$

kde $N(t)$ je počet nerozpadlých jader v čase t , N_0 je počet nerozpadlých jader v čase $t = 0$. Vzhledem k tomu, že aktivita A vzorku je úměrná počtu nuklidů, lze rovnici 3 přepsat do tvaru:

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

kde A_0 je aktivita vzorku v počátečním čase a $A(t)$ je aktivita v čase t . Aktivitu vzorku lze změřit jako funkci času a rozpadovou konstantu lze určit experimentálně.

Užitečným parametrem při jaderných měřeních je poločas rozpadu, který je definován jako doba, za kterou poklesne aktivita vzorku na polovinu původní hodnoty. Měření poločasu rozpadu neznámého vzorku pomáhá určit identitu vzorku srovnáním s publikovanými hodnotami. Z definice poločasu platí:

$$\frac{1}{2}A_0 = A_0 e^{-\lambda \tau_{1/2}}, \quad (5)$$

kde $\tau_{1/2}$ je poločas rozpadu. Odtud pak platí:

$$\tau_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (6)$$

Postup měření

1. Byly použity předepsané ochranné pomůcky a postupovalo se dle bezpečnostních pokynů.
2. Připojil se NAI(Tl) detektor k počítači PC.
3. Spustil se program ProSpect a byly v něm nastaveny počáteční hodnoty dle tabulky 1.
4. V záložce „Detector“ bylo nastaveno napětí 850 V. Současně bylo zaškrtnuto „On“ a počkalo se, než napětí na detektoru dosáhlo 850 V.
5. V ochranných rukavicích se do misky s buničinou pomocí injekční stříkačky nakapalo sedm kapek elučního roztoku izotopu ^{137}Ba .
6. Planžeta s izotopem ^{137}Ba byla položena několik centimetrů před detektor a spustilo se měření. Měřilo se počet pulzů za čas.
7. Měření bylo ukončeno v okamžiku, kdy histogram naměřil data do 60. kanálu (asi po 20. minutách) a naměřená data byla vyexportována do souboru.
8. Odstranila se planžeta s izotopem z dosahu detektoru, vymazal se aktuální histogram a stejným způsobem (bod 7) se změřilo pozadí laboratoře.
9. Ukončilo se měření, vypnul se detektor a změřila se kontaminace pracoviště digitálním monitorem plošné kontaminace LB124 Scint. Zároveň se odečetla kumulativní dávka z přístroje Radiagem 2000 a provedl se záznam do laboratorního deníku.

Parametr	Nastavení	Záložka
Acquisition mode	MCS	Acquisition
Dwell	20 s	Acquisition
Preset Options	Sweeps	Acquisition
Preset Limit	1	Acquisition
Discriminator mode	MCS Fast Discriminator	Acquisition
MCS conversion gain	256	Acquisition
LLD mode	Automatic	MCA settings
LLD %	0,1	MCA settings
Polarity	Negative	MCA settings
ULD %	100,0	MCA settings
BLR mode	Automatic	MCA settings
Fast disc shape	Normal	MCA settings
Fast disc mode	Automatic	MCA settings
Manual fast disc	1.0	MCA settings
Rise time	1.0	MCA settings
Flap top	1.0	MCA settings
PUR Guard	1.0	MCA settings
Conversion gain	2048	MCA settings

Tabulka 1: Počáteční hodnoty v programu ProSpect

Vypracování

Naměřené hodnoty pozadí laboratoře byly odečteny od naměřených hodnot izotopu Barya-137. Poté byl vytvořen graf závislosti počtu pulzů na čase a naměřená data aproximována exponenciální křivkou (obrázek grafu).

Výpočet rozpadové konstanty

Ze vztahu (4) dostáváme rozpadovou konstantu

$$\lambda_i = \frac{\ln A_0 - \ln A_i(t_i)}{t_i} \quad (7)$$

kde $A_0 = 18\,486\,\text{s}^{-1}$, $A_i(t_i)$ je naměřená aktivita Barya-137 detektorem a t_i je naměřený čas. Tyto naměřené hodnoty jsou uvedeny v příloze A.

Aritmetický průměr rozpadové konstanty je potom dán

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lambda_i = \frac{1}{63} \sum_{i=1}^{63} \lambda_i = 0,288\,010\,124\,\text{min}^{-1}. \quad (8)$$

Výpočet poločasu rozpadu

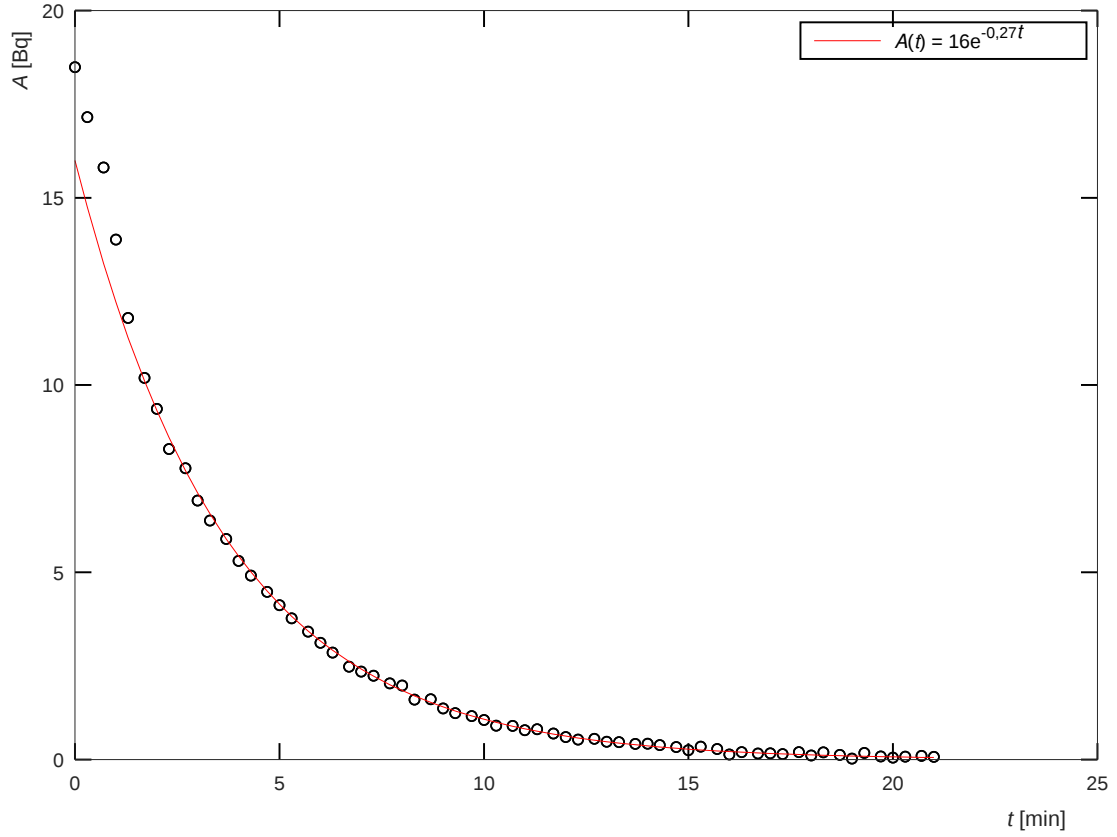
Ze vztahu (6) a na základě průměrné rozpadové konstanty (8) dostáváme poločas rozpadu

$$\tau_{1/2} = \frac{\ln 2}{\bar{\lambda}} = \frac{0,693\,147\,181}{0,288\,010\,124\,\text{min}^{-1}} = 2,406\,761\,044\,\text{min} \doteq 2,4\,\text{min} = 144\,\text{s} \quad (9)$$

Chyba měření

odchylka od aritmetického průměru pro rozpadovou konstantu

$$\Delta = 0,288\,010\,124\,\text{min}^{-1} - \lambda_i, \quad (10)$$



Obrázek 2: Aktivita Barya-137 v závislosti na čase

chyba aritmetického průměru pro rozpadovou konstantu

$$\sigma_{\lambda} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{\lambda} - \lambda_i)^2}{n(n-1)}} = \sigma_{\bar{\lambda}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{63} \Delta^2}{63(63-1)}} = 0,003\,226\,037 \doteq 0,003\,\text{min}^{-1}, \quad (11)$$

chyba poločasu rozpadu

$$\tau_{1/2+} = \frac{\ln 2}{\bar{\lambda} + \sigma_{\lambda}} = \frac{0,693147181}{(0,288\,010\,124 + 0,003)\,\text{min}^{-1}} = 2,381\,866\,21\,\text{min} \quad (12)$$

$$\tau_{1/2-} = \frac{\ln 2}{\bar{\lambda} - \sigma_{\lambda}} = \frac{0,693\,147\,181}{(0,288\,010\,124 - 0,003)\,\text{min}^{-1}} = 2,432\,008\,98\,\text{min} \quad (13)$$

$$\sigma_{\tau_{1/2}} = \frac{\tau_{1/2+} - \tau_{1/2-}}{2} = \frac{(2,432\,008\,98 - 2,381\,866\,21)\,\text{min}}{2} = \pm 0,025\,071\,385\,\text{min} \doteq \pm 0,03\,\text{min} = 1,8\,\text{s} \quad (14)$$

Chyba poločasu rozpadu je $\sigma_{\tau_{1/2}} = \pm 0,03\,\text{min}$.

Diskuse

Podstatou tohoto měření bylo určit identitu vzorku na základě určeného poločasu rozpadu. Výsledky měření jsou velmi blízko výsledkům uvedeným v matematicko-fyzikálních tabulkách [1]. Na základě nich můžeme potvrdit, že se jedná o izotop Barya-137.

Z grafu na obrázku (obr. 2) je rovněž zřejmé, že měl rozpad Barya exponenciální průběh, který probíhal dle předpisu $A(t) = 16e^{-0,27t}$.

Závěr

Poločas rozpadu Barya-137 je $\tau_{1/2} = (2,40 \pm 0,03) \text{ min} = (144,0 \pm 1,8) \text{ s}$.

Literatura

- [1] MIKULČÁK J., KLIMEŠ, B. a kolektiv. (1989): *Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy*. Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 206 s. ISBN 54-09-12/1b.

Přílohy

Naměřená data jsou uvedena jako řádkové vektory pro výpočet v GNU Octave (nebo MATLABu).

Čas t [min]:

t=[0.0 0.3 0.7 1.0 1.3 1.7 2.0 2.3 2.7 3.0 3.3 3.7 4.0 4.3 4.7 5.0 5.3 5.7 6.0 6.3 6.7 7.0 7.3 7.7 8.0 8.3 8.7 9.0 9.3 9.7 10.0 10.3 10.7 11.0 11.3 11.7 12.0 12.3 12.7 13.0 13.3 13.7 14.0 14.3 14.7 15.0 15.3 15.7 16.0 16.3 16.7 17.0 17.3 17.7 18.0 18.3 18.7 19.0 19.3 19.7 20.0 20.3 20.7 21.0];

Aktivita A [Bq]:

At=[18.486 17.155 15.81 13.884 11.79 10.19 9.362 8.293 7.781 6.918 6.384 5.89 5.306 4.91 4.477 4.123 3.773 3.416 3.116 2.859 2.481 2.348 2.238 2.035 1.975 1.6 1.612 1.366 1.241 1.159 1.057 0.903 0.898 0.783 0.809 0.694 0.604 0.531 0.552 0.474 0.467 0.416 0.422 0.386 0.334 0.249 0.343 0.284 0.137 0.199 0.164 0.165 0.148 0.201 0.111 0.195 0.124 0.027 0.176 0.085 0.051 0.077 0.099 0.075];