

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM IV

Úloha č. 5

Název: Spektrometrie záření α

Pracoval: Štěpán Roučka

stud. skup. FOF

dne 14. 11. 2005

Odevzdal dne:..... vráceno:.....

Odevzdal dne:..... vráceno:.....

Odevzdal dne:.....

Posuzoval:..... dne..... výsledek klasifikace

Připomínky:

Pracovní úkol

1. Provedte energetickou kalibraci α -spektrometru a určete jeho rozlišení.
2. Určete absolutní aktivitu kalibračního radioizotopu ^{241}Am .
3. Změřte závislost ionizačních ztrát α -částic na tlaku vzduchu $\Delta T = \Delta T(P)$.
4. Určete specifické ionizační ztráty α -částic ve vzduchu při normálním tlaku $-dT/dx = f(T)$. Srovnajte tuto závislost se závislostí získanou pomocí empirické formule pro dolet α -částic ve vzduchu za normálních podmínek.
5. Určete energie α -částic vyletujících ze vzorku obsahujícím izotop ^{239}Pu a příměs izotopu ^{238}Pu a porovnejte je s tabelovanými hodnotami. Stanovte relativní zastoupení izotopu ^{238}Pu ve vzorku s přesností lepší než 10%, jsou-li $T_{1/2}(^{238}\text{Pu}) = 81.71 \text{ yr}$ a $T_{1/2}(^{239}\text{Pu}) = 24.13 \cdot 10^3 \text{ yr}$.

Teorie

Specifická ionizační ztráta $f(T)$ je definována vztahem

$$f(T) = -\frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Vzdálenost R , po které se částice s počáteční energií T_0 zastaví se nazývá zbytkový dolet

$$R = \int_0^R dx = \int_0^{T_0} \frac{dT}{f(T)} = R(T_0). \quad (2)$$

Pro zbytkový dolet α -částic ve vzduchu za normálních podmínek byla určena empirická závislost

$$R = \xi T_0^{3/2}, \quad \xi = 0.31 \text{ cm} \cdot \text{MeV}^{-3/2}, \quad T_0 \in \langle 4, 7 \rangle \text{ MeV} \quad (3)$$

Integrací vztahu (2) jsem potom určil specifickou ionizační ztrátu

$$f(T) = \frac{2}{3\xi\sqrt{T}} \quad (4)$$

Pro chybu v určení pološířky peaku jsem dle [1] odvodil vztah

$$\delta\Gamma = \frac{\Gamma}{\sqrt{2(N-1)}}, \quad (5)$$

kde N je plocha peaku, tedy počet detekovaných částic. Z pološířky lze také určit chybu v odečtu maxima

$$\delta T = \frac{\Gamma}{2\sqrt{2N \ln 2}} \quad (6)$$

Z rozpadového zákona jsem odvodil vztah pro určení počtu částic z aktivity vzorku

$$N = \frac{dN}{dt} \frac{T_{1/2}}{\ln 2}. \quad (7)$$

Potom pro $\Delta t \ll T_{1/2}$, lze určit poměrné zastoupení materiálů ve vzorku ze vztahu

$$\frac{N^1}{N^2} = \frac{\Delta N^1 T_{1/2}^1}{\Delta N^2 T_{1/2}^2}. \quad (8)$$

Měření

Nejprve byly proměřeny rozměry aparatury. Pomocí posuvného měřítka jsem určil šířku kruhové citlivé plochy detektoru $d_{\text{det}} = (3.4 \pm 0.2)$ cm a vzdálenost vzorku ^{241}Am od detektoru $l = (2.5 \pm 0.3)$ cm. Doba expozice detektoru byla zvolena jako $\tau = 400$ s. Třída přesnosti použitého tlakoměru je 2.5 %, chyba měření tedy je 0.025 atm.

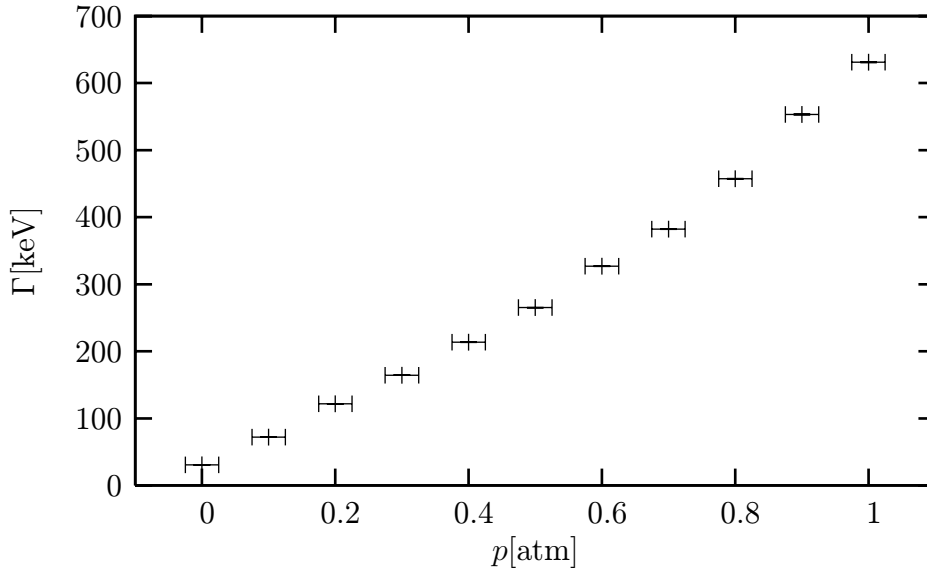
Kalibrační funkci spektrometru jsem předpokládal v lineárním tvaru. Předpokládal jsem dále, že nulovou energii ve výstupu spektrometru není nutno kalibrovat, potom stačilo proměřit jediný peak ve spektru americia na energii $T = 5845.74$ keV. Měření bylo provedeno ve vakuu.

Dále bylo proměřeno spektrum americia v závislosti na tlaku. Z těchto spekter jsem potom určil další závislosti. Všechny výsledky jsou uvedeny v tabulce 1. Byla určena závislost rozlišení spektrometru na tlaku. Rozlišení spektrometru je určeno jako pološířka peaku Γ . Pološířku určil program v praktiku fitováním Gaußovy křivky, chybu určení pološířky odhaduji dle vztahu (5). Závislost je graficky znázorněna v grafu 1.

Byla určena absolutní aktivita zářiče. Aktivitu jsem určoval pouze z měření za nulového tlaku, ačkoliv vliv tlaku na plochu peaku byl zanedbatelný. Chyba byla způsobena především nepřesným určením rozměrů aparatury, konkrétně vzdálenosti detektor-vzorek. Z naměřených hodnot jsem vypočetl aktivitu dle vztahu

$$A = \frac{N}{\tau} \frac{16l^2}{d^2},$$

přičemž jsem aproximoval plochu kulového vrchlíku snímaného detektorem jako plochu kruhu. Zdroj byl tvořen válečkem o průměru 6 mm, pro zjednodušení výpočtu však jeho rozměry zanedbávám. Chybu v určení počtu detekcí



Obrázek 1: Závislost rozlišení spektrometru na tlaku

odhaduji jako rozptyl Poissonova rozdělení, tedy $\Delta N = \sqrt{N}$, výsledná aktivita potom je

$$A = (8.0 \pm 2.0) \cdot 10^3 \cdot s^{-1}.$$

Byla vypočtena závislost ionizačních ztrát na tlaku, chyba v určení energie byla odhadnuta dle vztahu (6). Závislost je graficky znázorněna v grafu 2.

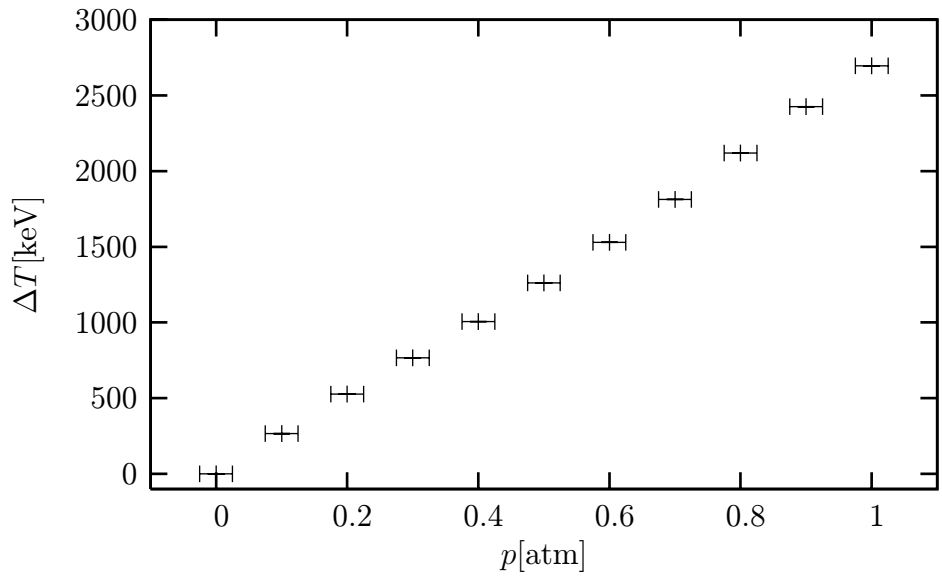
Závislost specifických ionizačních ztrát je vynesena v grafu 3. Derivaci jsem určil numericky dle vztahu

$$\left(\frac{dT}{dx} \right)_i = \frac{T_{i+1} - T_i}{x_{i+1} - x_i} = \frac{T_{i+1} - T_i}{p_{i+1} - p_i} \frac{p_{atm}}{l}, \quad (9)$$

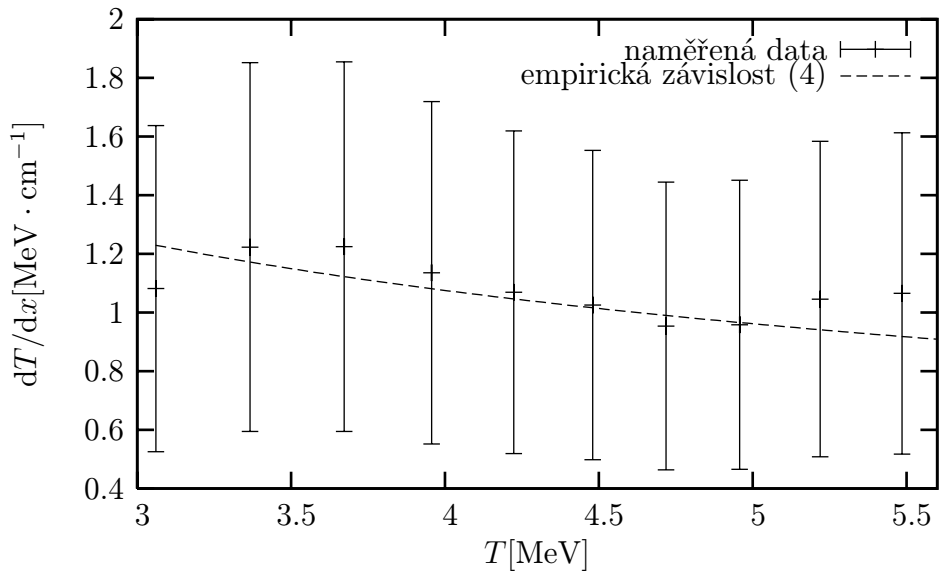
kde p_{atm} značí atmosférický tlak. Jelikož ve vztahu 9 jsou odečítány dvě blízké hodnoty tlaku, každá s chybou 0.025 atm, je výsledná chyba určení derivace velmi velká. V grafu je zakreslena taktéž empirická závislost (4).

Bylo proměřeno spektrum směsi ^{239}Pu a ^{238}Pu . Peak o energii $T = (5465.3 \pm 0.3)$ keV jsem identifikoval s peakem ^{238}Pu o energii $T = 5465.5$ keV. Peak o energii $T = (5120.9 \pm 0.1)$ keV neodpovídá žádné hodnotě tabelované pro izotopy Pu v materiálech u úlohy. Pokud bych ovšem přesto předpokládal, že tyto α -částice pocházejí z izotopu ^{239}Pu , mohu vypočítat poměr těchto izotopů ve vzorku. Intenzity nejsilnějších peaků čili počty rozpadů jsou

$$\Delta N_{239\text{Pu}} = 460789 \pm 679, \quad \Delta N_{238\text{Pu}} = 14534 \pm 121.$$



Obrázek 2: Závislost ionizačních ztrát α -částic na tlaku



Obrázek 3: Závislost specifických ionizačních ztrát α -částic na energii

p [atm]	T [keV]	$\frac{dT}{dx}$ [MeV · cm ⁻¹]	ΔT [keV]	Γ [keV]	N
0.00	5485.74 ± 0.03	1.07 ± 0.55	0	30.57 ± 0.04	369427
0.10	5219.44 ± 0.07	1.05 ± 0.54	266.30 ± 0.10	72.08 ± 0.08	370906
0.20	4958.04 ± 0.12	0.96 ± 0.49	527.70 ± 0.15	121.72 ± 0.14	370903
0.30	4718.6 ± 0.2	0.95 ± 0.49	767.2 ± 0.2	164.29 ± 0.19	371826
0.40	4480.1 ± 0.2	1.03 ± 0.53	1005.7 ± 0.2	213.5 ± 0.2	366683
0.50	4223.7 ± 0.3	1.07 ± 0.55	1262.0 ± 0.3	265.2 ± 0.3	367606
0.60	3956.4 ± 0.3	1.14 ± 0.58	1529.4 ± 0.3	326.9 ± 0.4	369406
0.70	3672.6 ± 0.4	1.22 ± 0.63	1813.2 ± 0.4	382.2 ± 0.4	369210
0.80	3366.5 ± 0.4	1.22 ± 0.63	2119.3 ± 0.5	457.4 ± 0.5	365454
0.90	3060.7 ± 0.5	1.08 ± 0.56	2425.1 ± 0.6	553.2 ± 0.6	364325
1.00	2790.3 ± 0.6		2695.4 ± 0.6	631.1 ± 0.7	363144

Tabulka 1: Naměřená data

Poměrné zastoupení izotopů vypočtené dle vztahu (8) by potom bylo

$$\frac{N_{239\text{Pu}}}{N_{238\text{Pu}}} = (9.36 \pm 0.08) \cdot 10^3.$$

Tento výsledek ovšem není platný, neboť energie pozorovaných α -částic neodpovídají tabelovaným energiím pro ^{239}Pu .

Diskuse

Z grafu 1 je vidět, že pološířka rozdělení se zvětšuje se vzrůstajícím tlakem, to je způsobeno vzrůstajícím počtem interakcí na cestě k detektoru. Tím jsou také způsobeny rostoucí energetické ztráty. Teoretický tvar těchto závislostí neznám, nemohu je tedy s ničím srovnat. Závislost specifických ionizačních ztrát na energii se v rámci chyby velmi dobře shoduje empirickým vztahem, chyby jsou však velmi velké, řádu desítek procent. Z toho, že odchylky od empirické závislosti jsou hluboko pod úrovní chyb, lze možná usuzovat na nadhodnocení chyb. Nepodařilo se bohužel indentifikovat peak příslušející ^{239}Pu . To lze vysvětlit nevhodností použitého vzorku. V tom případě by pozorovaný peak, příslušející nějaké neznámé látce, mohl překrýt peaky ^{239}Pu . Jiným možným vysvětlením je nesprávný předpoklad o linearitě kalibrační závislosti.

Závěr

Provedl jsem energetickou kalibraci α spektrometru a určil jsem závislost jeho rozlišení na tlaku. Studoval jsem ionizační a specifické ionizační ztráty α -částic v závislosti na tlaku. Určil jsem aktivitu použitého vzorku ^{241}Am

$$A = (8.0 \pm 2.0) \cdot 10^3 \cdot s^{-1}.$$

Nakonec jsem určil energie α -částic vyletujících ze směsi ^{239}Pu a ^{238}Pu .

$$T_1 = (5465.3 \pm 0.3) \text{ keV}, \quad T_2 = (5120.9 \pm 0.1) \text{ keV}.$$

Reference

- [1] Studijní texty, úloha 5: <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/> a materiály v praktiku