

Pracovní úkol

1. Provedte energetickou kalibraci alfa-spektrometru a určete jeho rozlišení.
2. Určete absolutní aktivitu kalibračního radioizotopu ^{241}Am .
3. Změřte závislost ionizačních ztrát alfa-částic na tlaku vzduchu $\Delta T = \Delta T(p)$.
4. Určete specifické ionizační ztráty alfa-částice ve vzduchu při normálním tlaku $-dT/dx = f(T)$. Srovnajte tuto závislost se závislostí získanou pomocí empirické formule pro dolet alfa-částic ve vzduchu za normálních podmínek.
5. Určete energii alfa-částic 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 $t_{1/2}(^{239}\text{Pu}) = 24.13 \cdot 10^3 \text{ yr}$.

Teoretická část

Ze zkoumaného radioaktivního vzorku vyletují alfa-částice různých energií. Při vakuu můžeme okalibrovat stupnici použitého spektrometru, abychom mohli studovat energetické závislosti.

Rozlišením spektrometru rozumíme pološířku Gaussovy křivky, kterou spektrometr proloží vrcholem naměřeného rozdělení při kalibraci.

Na základě této pološířky a počtu naměřených impulsů N můžeme také určit chybu měření kinetické energie částice

$$\delta T = \frac{\Gamma}{2\sqrt{2 \ln 2} \cdot \sqrt{N}}, \quad (1)$$

kde Γ je pološířka.

Naměřený počet impulsů za daný čas je částí celkové aktivity vzorku ve stejném poměru, jako je poměr ploch detektoru S_d a povrchu sféry s poloměrem rovným vzdálenosti zářiče a detektoru d

$$A = \frac{N}{t} \cdot \frac{4\pi d^2}{S_d}. \quad (2)$$

Při průletu částice alfa prostředí dochází ke ztrátám kinetické energie díky ionizaci. Zbytkový dolet, což je dráha, na které částice ztratí veškerou kinetickou energii, je

$$R = \int_0^{T_0} \frac{dt}{f(T)} = R(T_0), \quad (3)$$

pro případ průletu vzduchem za normálních podmínek lze použít aproximativní vztah

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

Potom je závislost specifických ionizačních ztrát na kinetické energii

$$-\frac{dT}{dx} = f(T) = \frac{2}{3\xi\sqrt{T}}. \quad (5)$$

Relativní zastoupení izotopů ve vzorku můžeme určit z aktivity jednotlivých izotopů, kterou určíme pomocí spektrometru. Naměříme-li počet částic za jednotku času N a poločas rozpadu je $t_{1/2}$, pak je relativní zastoupení

$$z = \frac{N_1 t_{1/2,1}}{N_2 t_{1/2,2}}. \quad (6)$$

Měření

Nejprve jsem okalibroval spektroskop s polovodičovým detektorem. Postupoval jsem podle návodu doporučeného v materiálech k úloze. Postačovalo identifikovat pouze jeden peak, protože předpokládáme, že soustava je lineární a navíc nulovému kanálu odpovídá také nulová energie.

Naměřené hodnoty při kalibraci jsou současně prvním měřením dalšího úkolu. Jsou uvedeny v prvním řádku tabulky 1. Toto měření proběhlo v podstatě ve vakuu, nicméně tlakoměr zobrazoval pouze relativní tlak vzhledem k atmosférickému tlaku navíc v poněkud nejednoznačných jednotkách kg/cm^2 místo Pa. Předpokládám, že tato jednotka znamená hmotnost vzduchového sloupce na čtverečný centimetr. Při přepočtu na jednotku $\text{Pa} = \text{N}/\text{m}^2$ musíme započítat tíhové zrychlení v daném místě. Proto nedostáváme na obou koncích stupnice předpokládanou hodnotu—nulový tlak a atmosférický tlak. Na druhou stranu pro důležitý výpočet specifických ztrát není rozhodující absolutní velikost, ale rozdíly tlaků. Třída přesnosti tlakoměru byla 2.5, nicméně chybu atmosférického tlaku jsem odhadl větší.

p_m [kg/cm^2]	p [kPa]	E [keV]	Γ [keV]	N
-1.00	3.2	5485.7 ± 0.1	19.7	24249 ± 189
-0.90	13.0	5138.4 ± 0.1	31.9	16348 ± 216
-0.80	22.8	4778.4 ± 0.1	40.1	13115 ± 212
-0.70	32.6	4401.3 ± 0.2	51.0	14246 ± 214
-0.60	42.4	4078.5 ± 0.2	65.5	16061 ± 215
-0.50	52.3	3718.0 ± 0.2	75.7	18015 ± 213
-0.40	62.1	3279.5 ± 0.3	84.0	15003 ± 215
-0.30	71.9	2816.9 ± 0.3	103.5	18132 ± 326
-0.20	81.7	2295.4 ± 0.4	107.5	13996 ± 216
-0.10	91.5	1772.6 ± 0.5	139.2	16273 ± 215
0.00	101.3	1179.9 ± 0.5	159.1	15607 ± 250

Tabulka 1.: Naměřená závislost energie na tlaku

Z tabulky 1 můžeme odečíst, že při vakuu je pološířka peaku na spektrometru přibližně

$$\Gamma = (19.70 \pm 0.09) \text{ keV.}$$

Tento údaj považuji za rozlišení spektrometru. Jeho relativní velikost je

$$\Gamma_r = (3.59 \pm 0.02) \cdot 10^{-3}.$$

Pro výpočet absolutní aktivity vzorku americia podle vztahu (2) jsem potřeboval následující údaje

$$d = (3.5 \pm 0.1) \text{ cm,}$$

$$t = 600 \text{ s,}$$

$$S = 100 \text{ mm}^2.$$

Hledaná absolutní aktivita je potom

$$A = (6.2 \pm 0.2) \cdot 10^3 \text{ s}^{-1}.$$

p [kPa]	ΔT [MeV]
3 ± 5	0.0000 ± 0.0001
13 ± 5	0.3473 ± 0.0002
22 ± 5	0.7074 ± 0.0002
32 ± 5	1.0844 ± 0.0002
42 ± 5	1.4073 ± 0.0003
52 ± 5	1.7677 ± 0.0003
62 ± 5	2.2062 ± 0.0003
71 ± 5	2.6689 ± 0.0004
81 ± 5	3.1904 ± 0.0004
91 ± 5	3.7132 ± 0.0005
101 ± 5	4.3059 ± 0.0006

Tabulka 2.: Závislost ionizačních ztrát na tlaku vzduchu

Závislost ionizačních ztrát na tlaku vzduchu je uvedena v tabulce 2 a v grafu 1.

Pro specifické ionizační ztráty jsem potřeboval vypočítat vzdálenost při atmosférickém tlaku odpovídající příslušnému tlaku v aparatuře p

$$d = \frac{p}{p_{atm}} d_0,$$

kde $d_0 = (3.5 \pm 0.1)$ mm a p_{atm} je normální atmosférický tlak.

Derivaci jsem počítal metodou sečen a vyčíslil jsem ji vždy ve středu počítaného intervalu. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3 a v grafu 2. V témže grafu jsem vynesl také aproximativní závislost (5).

E [MeV]	$-dT/dx$ [MeV/cm]
5.3121 ± 0.0001	1.02 ± 0.24
4.9584 ± 0.0001	1.06 ± 0.29
4.5898 ± 0.0002	1.11 ± 0.35
4.2399 ± 0.0002	0.95 ± 0.33
3.8983 ± 0.0002	1.06 ± 0.41
3.4988 ± 0.0003	1.29 ± 0.55
3.0482 ± 0.0003	1.37 ± 0.63
2.5561 ± 0.0004	1.54 ± 0.77
2.0340 ± 0.0004	1.54 ± 0.83
1.4762 ± 0.0005	1.8 ± 1.0

Tabulka 3.: Specifické ionizační ztráty

Nakonec jsem proměřil spektrum plutoniového vzorku. Pomocí obslužného programu jsem došel k hodnotám

$$T(^{238}\text{Pu}) = (5476.4 \pm 0.4) \text{ keV} \quad N = 1021 \pm 64,$$

$$T(^{239}\text{Pu}) = (5137.0 \pm 0.1) \text{ keV} \quad N = 29410 \pm 338.$$

První peak je velmi blízký tabelované hodnotě $T = 5499.2$ keV, a proto jej skutečně považuji za peak odpovídající ^{238}Pu . V druhém případě je hodnota blízká peaku ^{239}Pu

s hodnotou $T = 5142.9$. Z četností impulsů a poločasů rozpadu jsem určil poměr zastoupení ^{238}Pu k ^{239}Pu

$$z = (1.3 \pm 0.1) \cdot 10^{-4}.$$

Diskuse

Velkou nejistotu do měření přináší předpoklady při kalibraci spektroskopu. Vzhledem k tomu, že na této kalibraci závisí výsledky značné části úlohy, bylo by dobré kalibrovat více body a nespolehat na linearitu a počátek v nulovém kanálu. Na druhou stranu neznám přesné parametry měřicího přístroje, a proto nemohu rozhodnout o velikosti této systematické chyby.

Při určování absolutní aktivity jsem se dopustil několika chyb. Uvažoval jsem, že okénko detektoru je částí sféry, i když je rovinné. Ještě větší zanedbání je předpoklad, že zářič je bodový.

Použitý tlakoměr nepovažuji za příliš vhodný kvůli použití jednotek, které nejsou pro měření tlaku příliš vhodné. Upřednostnil bych měření absolutního tlaku v Pa. Dále by měření mělo probíhat za normálního tlaku, což jsem nemohl zaručit.

Naměřené specifické ztráty se v rámci chyby výborně shodují s očekávanou závislostí.

Při proměrování plutoniového zářiče jsem nenaměřil v rámci udané chyby očekávané energie peaku. Mohu to vysvětlit tím, že mezi vzorkem a detektorem byla malá mezera, která mohla způsobit nepřesnost měření a energetické ztráty. Proto jsou naměřené hodnoty energií menší než tabelované.

Závěr

Naměřil jsem aktivitu vzorku americia

$$A = (6.2 \pm 0.2) \cdot 10^3 \text{ s}^{-1}.$$

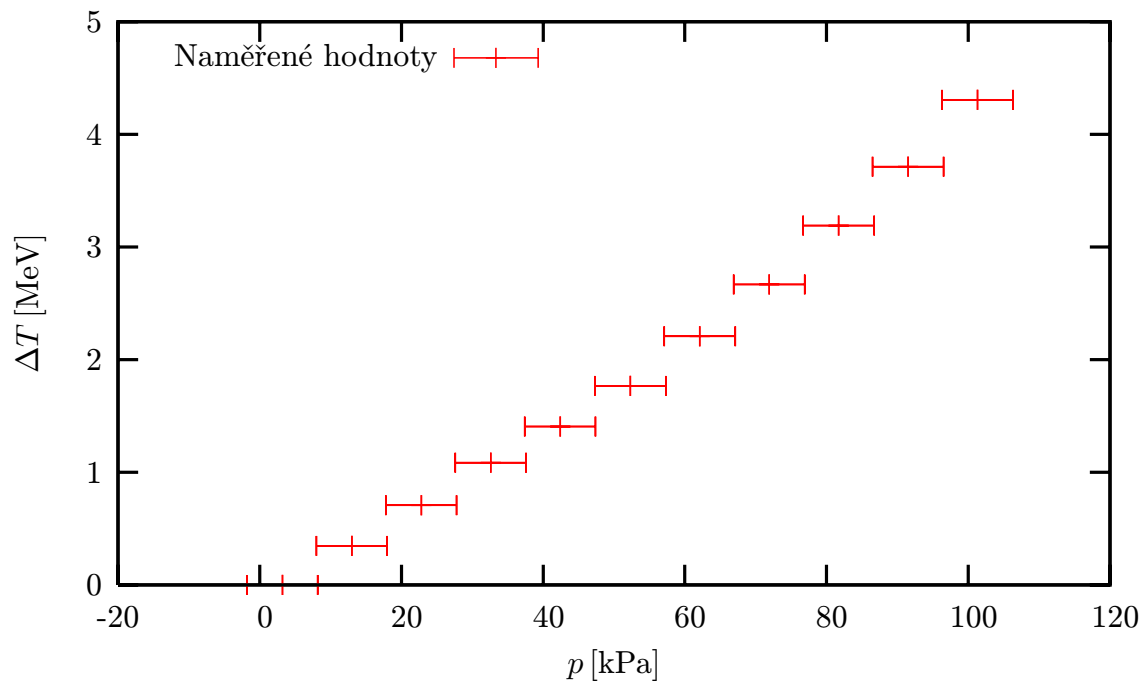
Poměr zastoupení izotopů ^{238}Pu k ^{239}Pu ve zkoumaném vzorku je

$$z = (1.3 \pm 0.1) \cdot 10^{-4}.$$

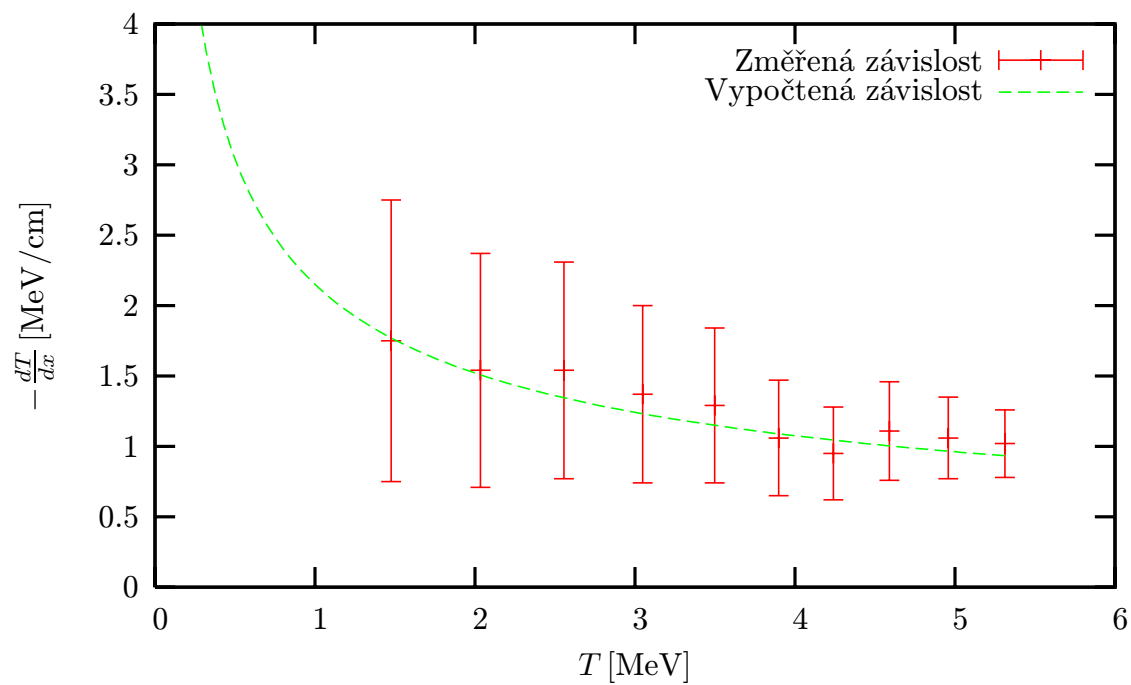
Požadované závislosti jsem uvedl v grafech 1 a 2.

Literatura

- [1] English, J.: Zpracování výsledků fyzikálních měření. Praha 2000.
- [2] physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp: Studijní text.



Graf 1.: Závislost ionizačních ztrát na tlaku vzduchu



Graf 2.: Specifické ionizační ztráty