

Pracovní úkoly

1. Proved'te 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 $T_{1/2}(^{238}\text{Pu}) = 87.71 \text{ yr}$ a $T_{1/2}(^{239}\text{Pu}) = 24.13 \cdot 10^3 \text{ yr}$.

Teoretická část

Záření alfa je tvořeno jádry helia, které při průchodu látkou ztrácejí svou energii ionizováním látky, přičemž energetické ztráty jsou úměrné dráze uražené v látce [1]. Tuto energetickou ztrátu můžeme popsat specifickou ionizační ztrátou [1]:

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

Kde T je kinetická energie částice a x je uražená dráha v látce. Vzdálenost, na které částice ztratí veškerou počáteční energii a zastaví se, se nazývá zbytkový dolet R . Dolet alfa částic s počáteční kinetickou energií mezi 4 a 7 MeV ve vzduchu lze přibližně popsat empirickým vzorcem [1]:

$$R = \xi T_0^{\frac{3}{2}} \quad (2)$$

Kde $\xi = 0.31 \text{ cm} \cdot \text{MeV}^{-\frac{3}{2}}$ a T_0 je počáteční kinetická energie. Ze vztahu (2) lze odvodit empirickou závislost specifických ionizačních ztrát na počáteční energii podle [1]:

$$f(T) = \frac{2}{3} \frac{1}{\xi \sqrt{T}} \quad (3)$$

Změnou tlaku vzduchu lze měnit efektivní dráhu částice ve vzduchu. Pokud je detektor umístěn ve vzdálenosti l od vzorku, pak pro efektivní vzdálenost x platí:

$$x = \frac{p}{p_a} \cdot l \quad (4)$$

Kde p je tlak vzduchu a p_a je atmosférický tlak.

Protože detektor má konečné rozměry, zachytí pouze část dopadajících částic. Absolutní aktivitu vzorku určíme z naměřené aktivity detektorem A_d pomocí následujícího vzorce:

$$A = 16 \frac{l^2}{d^2} A_d \quad (5)$$

Kde d je průměr kruhového detektoru.

Pokud jsou ve vzorku přítomné dva různé izotopy, můžeme jejich poměr určit podle následujícího vzorce:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{A_1 t_1}{A_2 t_2} \quad (6)$$

Kde p_1 je procentuální zastoupení prvního izotopu ve vzorku, p_2 je procentuální zastoupení druhého izotopu ve vzorku, A_1 je aktivita prvního izotopu, A_2 aktivita druhého, t_1 je poločas rozpadu prvního izotopu a t_2 je poločas druhého izotopu.

Výsledky měření

Tabulka 1: Energetické rozlišení

E [keV]	5485.74
Γ [keV]	98.66
Δ [%]	1.8

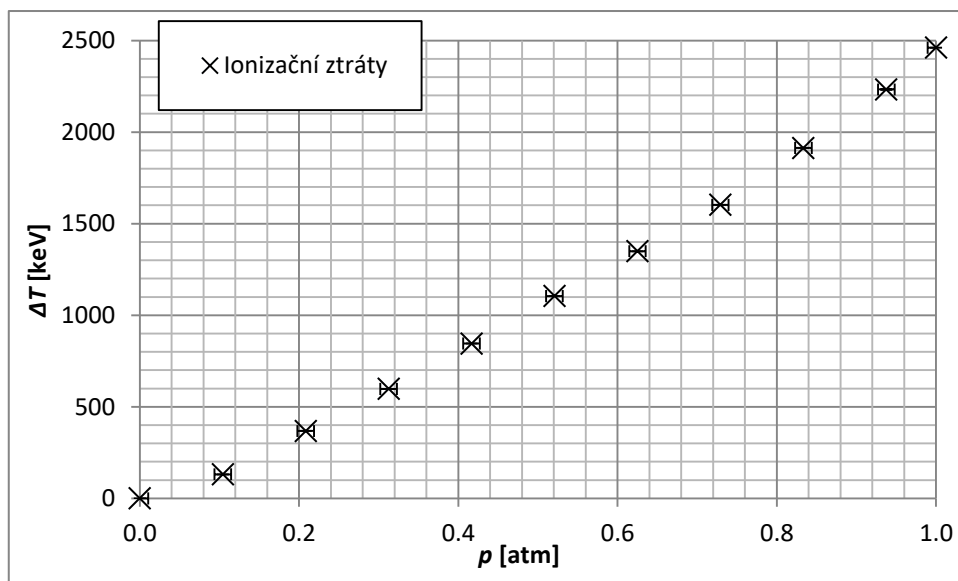
Spektrometr jsme kalibrovali pomocí vzorku ^{241}Am při nulovém tlaku, přičemž jsme znali velikost energie nejvýraznějšího peaku. Jako druhý kalibrační bod jsme použili nulovou hodnotu energie v nulovém kanále. Energetické rozlišení jsme určili jako pološířku energetického píku ^{241}Am . Tabulka č. 1 obsahuje energii nejvýraznějšího píku vzorku, jeho pološířku a energetické rozlišení Δ vyjádřené v procentech.

Absolutní aktivitu vzorku jsme určili pomocí vzorce (5). Kde poloměr detektoru byl $d = (1.16 \pm 0.01)$ cm a vzdálenost vzorku od detektoru byla $l = (2.23 \pm 0.01)$ cm. V tabulce č. 2 je uvedena absolutní aktivita vzorku A , detekovaná aktivita A_d a chyba detekované aktivity. Chybu měření absolutní aktivity jsme určili metodou přenosu chyby při nepřímém měření.

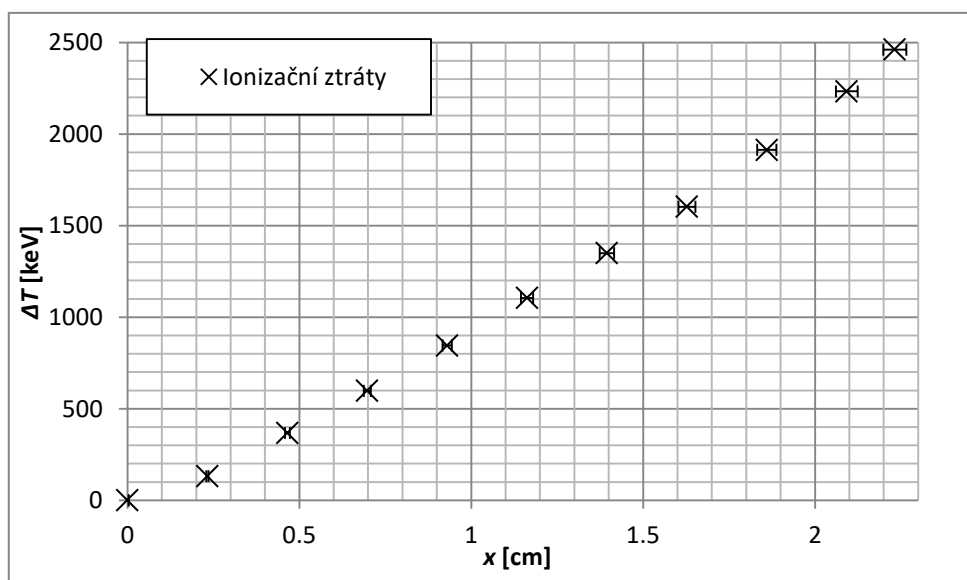
Tabulka 2: Absolutní aktivita vzorku ^{241}Am

A_d [s^{-1}]	$\sigma(A_d)$ [%]	A [s^{-1}]	$\sigma(A)$ [%]
115.31	0.54	6819	1.48

Graf č. 1 obsahuje závislost ionizačních ztrát na tlaku vzduchu $\Delta T = \Delta T(p)$. Graf č. 2 obsahuje závislost ionizačních ztrát na vzdálenosti, pro přepočty mezi tlakem a vzdáleností jsme použili vzorec (4).



Graf 1: Ionizační ztráty v závislosti na tlaku vzduchu

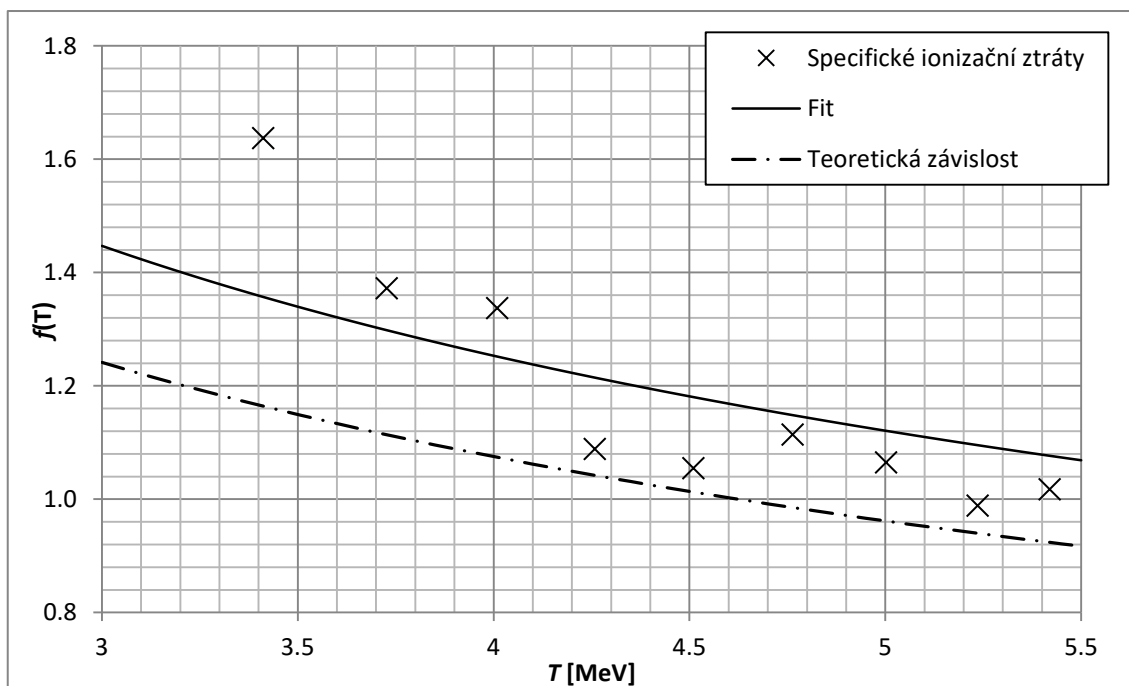


Graf 2: Ionizační ztráty v závislosti na dráze

Tabulka 3: Fitování naměřených specifických ztrát

C	2.51
$\sigma(C)$	0.09
R	0.989

Specifické ionizační ztráty jsme spočetli numericky z naměřených dat. Následně jsme grafem proložili fit $y(x) = C \frac{1}{\sqrt{x}}$. Z konstanty C jsme určili hodnotu ξ . Tabulka č. 3 obsahuje konstantu C a její chybu, dále je v tabulce uveden koeficient věrohodnosti fitu. V grafu č. 3 jsou zjištěné hodnoty specifických ztrát proloženy našim fitem. V grafu je uvedena také teoretická závislost (3).



Graf 3: Specifické ionizační ztráty

Tabulka č. 4 obsahuje naměřené energie alfa částic z izotopů ^{238}Pu a ^{239}Pu a jejich tabulkové hodnoty zjištěné z [2, 3]. Pomocí (6) jsme zjistili, že ^{239}Pu je ve vzorku 30509krát více než ^{238}Pu . Poměr jsme určili s 5% nepřesností. Nepřesnost jsme určili metodou přenosu chyby při nepřímém měření.

Tabulka 4: Energie izotopů plutonia

$T^{239} [\text{keV}]$	$T_{\text{tab}}^{239} [\text{keV}]$	$T^{238} [\text{keV}]$	$T_{\text{tab}}^{238} [\text{keV}]$
5268	5156	5622	5593

Diskuse

Největší problém při kalibraci spektrometru byl fakt, že pík vzorku ^{241}Am , který jsme použili pro kalibraci, byl složený z více píků, ale my jsme ho proložili jednou Gaussovou křivkou.

Pro určení absolutní aktivity bylo potřeba přesně změřit geometrické uspořádání experimentu, což se podařilo s dostatečnou přesností.

Závislost ionizačních ztrát na tlaku vzduchu je v souladu s teorií. S rostoucím tlakem ionizační ztráty rostou. Dále dochází ke zvětšování pološířky píku, což je způsobeno interakcemi alfa částic s látkou.

Specifické ionizační ztráty pro energii větší než 4 MeV v rámci přesnosti měření odpovídají empirické formuli. Pokud bychom použili pro fit v grafu 3 pouze data pro energie větší než 4 MeV získali bychom hodnotu $\xi = (0.287 \pm 0.003) \text{ cm} \cdot \text{MeV}^{-\frac{3}{2}}$, což se liší od teoretické hodnoty o 7%.

Energie alfa částic z rozpadu izotopů plutonia se mírně liší od tabulkových, tento rozdíl může být způsoben chybou kalibrace.

Závěr

Spektrometr jsme okalibrovali pomocí alfa zářiče ^{241}Am a určili jeho energetické rozlišení jako 1.8%.

Absolutní aktivitu ^{241}Am jsme určili jako: $A = (6818 \pm 100) \text{ s}^{-1}$

Ionizační ztráty v závislosti na tlaku vzduchu odpovídají teoretickým předpokladům. Specifické ionizační ztráty jsou pro energie vyšší než 4 MeV dobře aproximované empirickou formulí (3).

Poměr mezi ^{239}Pu a ^{238}Pu jsme určili jako: $\frac{p_{239}}{p_{238}} = (30.5 \pm 1.4) \cdot 10^3$

Literatura

- [1] Spektrometrie záření α . *Fyzikální praktikum* [online].
[cit. 21. 11. 2017]. Dostupné z:
http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_405.pdf
- [2] Plutonium-238. *Wikipedia* [online].
[cit. 22. 11. 2017]. Dostupné z:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Plutonium-238>
- [3] Plutonium-239. *Wikipedia* [online].
[cit. 22. 11. 2017]. Dostupné z:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Plutonium-239>