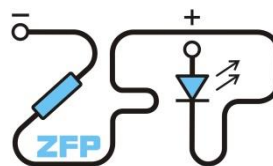


Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

## Fyzikální praktikum IV



Úloha č. 5

Název úlohy: Spektrometrie záření  $\alpha$

Jméno: Ondřej Skácel

Obor: FOF

Datum měření: 7.11.2016

Datum odevzdání: .....

Připomínky opravujícího:

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Práce při měření	0 - 5	
Teoretická část	0 - 1	
Výsledky měření	0 - 8	
Diskuse výsledků	0 - 4	
Závěr	0 - 1	
Seznam použité literatury	0 - 1	
<b>Celkem</b>	max. 20	

Posuzoval:.....

dne: .....

## Pracovní úkoly

- 1) Provedte energetickou kalibraci  $\alpha$ -spektrometru a určete jeho rozlišení.
- 2) Určete absolutní aktivitu kalibračního radioizotopu  $^{241}\text{Am}$ .
- 3) Změřte závislost ionizačních ztrát  $\alpha$ -částic na tlaku vzduchu  $\Delta T = \Delta T(p)$ .
- 4) Určete specifické ionizační ztráty  $\alpha$ -částic ve vzduchu při normálním tlaku -  $dT/dx = f(T)$ . Srovnajte tuto závislost se závislostí získanou pomocí empirické formule pro dolet  $\alpha$ -částic ve vzduchu za normálních podmínek.
- 5) Určete energie  $\alpha$ -částic vyletujících ze vzorku obsahujícím izotop  $^{239}\text{Pu}$  a příměs izotopu  $^{238}\text{Pu}$  a porovnejte je s tabelovanými hodnotami. Stanovte relativní zastoupení izotopu  $^{238}\text{Pu}$  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  $\alpha$  je tvořeno jádry  $^4\text{He}$ , které mají klidovou energii [1]  $3.728 \text{ GeV}$  a typické kinetické energie mezi  $4 - 9 \text{ MeV}$  pro záření pocházející z přirozených zdrojů. Při průchodu záření prostředím dochází k ionizačním ztrátám charakterizovaným tzv. specifickou ionizační ztrátou

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

kde  $T$  je kinetická energie částic  $\alpha$ . Pro částice s  $T \in [4,7] \text{ MeV}$  letící vzduchem za normálních podmínek platí empirický vztah

$$-\frac{dT}{dx} = \frac{2}{3\xi} \frac{1}{\sqrt{T[\text{MeV}]}} \quad (2)$$

kde  $\xi = 0.31 \text{ cm} \cdot \text{MeV}^{-3/2}$ . Ze závislosti celkových ionizačních ztrát na cestě do detektoru  $\Delta T$  na tlaku  $p$  lze numerickou derivací určit specifické ionizační ztráty za normálního tlaku

$$-\frac{dT}{dx} [T = T_i + T_{i+1}] = -\frac{T_i - T_{i+1}}{p_i - p_{i+1}} \frac{p_{atm}}{l} \quad (3)$$

kde  $l$  je vzdálenost zářiče od detektoru a  $p_{atm}$  je atmosferický tlak.

Absolutní aktivita zářiče  $A$  je počet částic, které emituje za sekundu. Ten lze určit z počtu zaznamenaných částic v detektoru  $N$  za čas  $t$  ze vztahu

$$A = 4\pi \frac{l^2 N}{S t} \quad (4)$$

kde  $S$  je plocha detektoru.

Relativní zastoupení  $\theta$  izotopu  $^{238}\text{Pu}$  ve vzorku lze zjistit z počtů zaznamenaných rozpadů pro jednotlivé izotopy  $N^{238}$ , respektive  $N^{239}$  podle

$$\theta = \frac{T_{1/2}(^{238}\text{Pu}) N^{238}}{T_{1/2}(^{239}\text{Pu}) N^{239}} \quad (5)$$

kde  $T_{1/2}(X)$  jsou poločasy rozpadu jednotlivých izotopů.

## Výsledky měření

Vnější podmínky měly vliv na výsledky měření, poslední měřený tlak z tabulky 1 je stejný jako okolní tlak.

Všechny chyby jsou vztaženy na pravděpodobnost  $1\sigma$ .

Použitý tlakoměr má nejmenší dílek velikosti  $10\text{mbar}$ , tudíž počítáme s chybou měření tlaku  $u_p = 5\text{mbar}$ .

Vzdálenost zářiče  $^{241}\text{Am}$  od detektoru byla  $l = (3.5 \pm 0.1)\text{cm}$ .

Průměr detektoru kruhového tvaru je  $(4.7 \pm 0.1)\text{mm}$ , tudíž jeho plocha je  $S = (17 \pm 1)\text{mm}^2$

## Naměřené hodnoty

Nejdříve proběhla kalibrace spektrometru, která spočívala v tom, že při evakuovaném prostoru mezi zářičem a detektorem bylo provedeno měření a peak počtu zaznamenaných událostí byl nastaven na  $5485.74\text{keV}$ , což je tabulková hodnota.

Měření probíhalo tak, že byl vývěvou dosažen požadovaný tlak a pak  $500\text{s}$  zaznamenávány události detektorem. V tabulce 1 je uvedena závislost střední kinetické energie  $\langle T \rangle$  částic dopadajících na detektor v závislosti na tlaku.  $\Gamma$  je pološířka peaku závislosti energie na počtu zaznamenaných událostí.

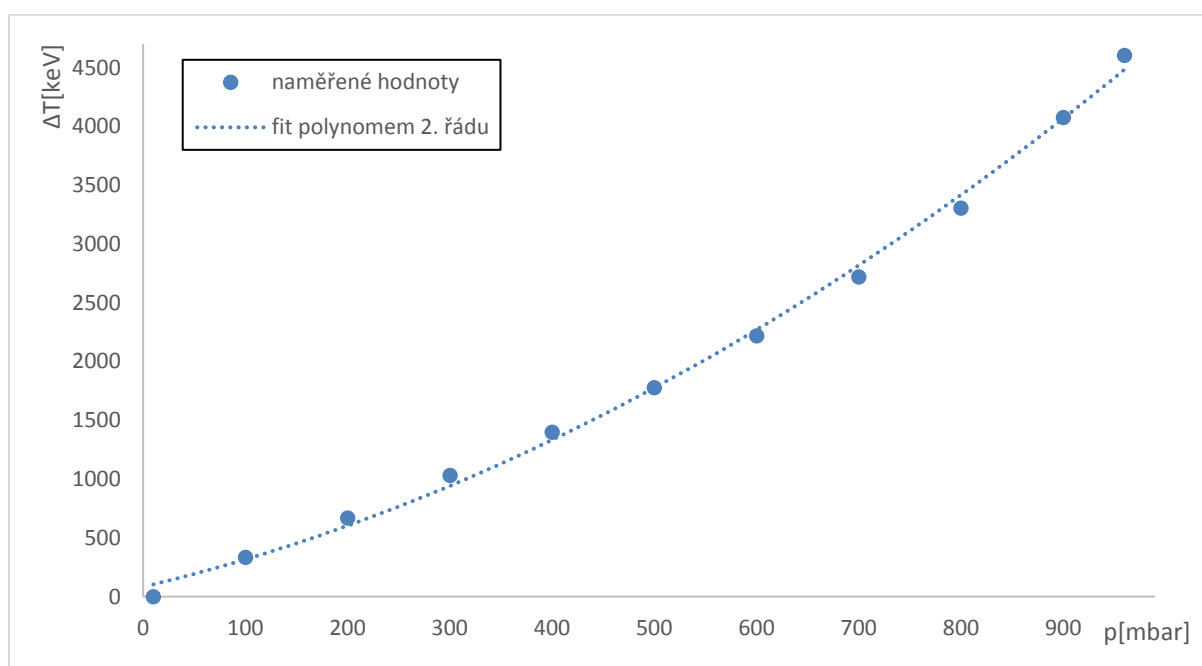
Rozlišení spektrometru je  $\Gamma$ , chyba měření kinetické energie je dána jako

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

Při měření pro  $p = 900\text{mbar}$  došlo ke ztrátě podtlaku (viz diskuzi), takže je v tabulce 1 (a grafu 1) uvedeno jenom pro kompletnost.

Tabulka 1 – závislost ionizačních ztrát na tlaku

$p$ [mbar]	$\langle T \rangle$ [keV]	$\Delta T$ [keV]	$\Gamma$ [keV]	$N$
10	5485.7±0.2	0.0±0.2	33.64	5863±77
100	5152.2±0.3	333.6±0.3	48.50	5898±77
200	4816.1±0.4	669.7±0.4	65.96	5889±77
300	4455.8±0.4	1030.0±0.4	77.46	5966±78
400	4087.4±0.5	1398.4±0.5	90.14	5916±78
500	3708.0±0.5	1777.8±0.5	99.61	5962±77
600	3268.5±0.7	2217.2±0.7	119.06	5978±78
700	2766.5±0.8	2719.3±0.8	149.71	5920±78
800	2181.7±1.1	3304.0±1.1	191.63	5965±77
900	1411.2±1.6	4074.5±1.6	283.02	5841±77
960	882.6±1.5	4603.1±1.5	275.23	5932±78



Graf 1 - závislost ionizačních ztrát na tlaku proložená polynomem 2. řádu

Absolutní aktivita zářiče  $^{241}\text{Am}$  byla určena podle rovnice (4) za použití hodnoty  $N$  pro minimální dosažený tlak  $p = 10\text{mbar}$ , její chyba jako

$$u_A = \bar{A} \sqrt{\left(\frac{u_N}{N}\right)^2 + \left(2\frac{u_l}{l}\right)^2 + \left(\frac{u_S}{S}\right)^2} \quad (7)$$

Výsledná hodnota je

$$A = (10.4 \pm 0.7)\text{kBq}$$

Podle vztahu (3) byly určeny specifické ionizační ztráty, kde byl atmosferický tlak brán jako  $p_{atm} = 1013.25mbar$ . Jejich chyba byla odhadnuta jako

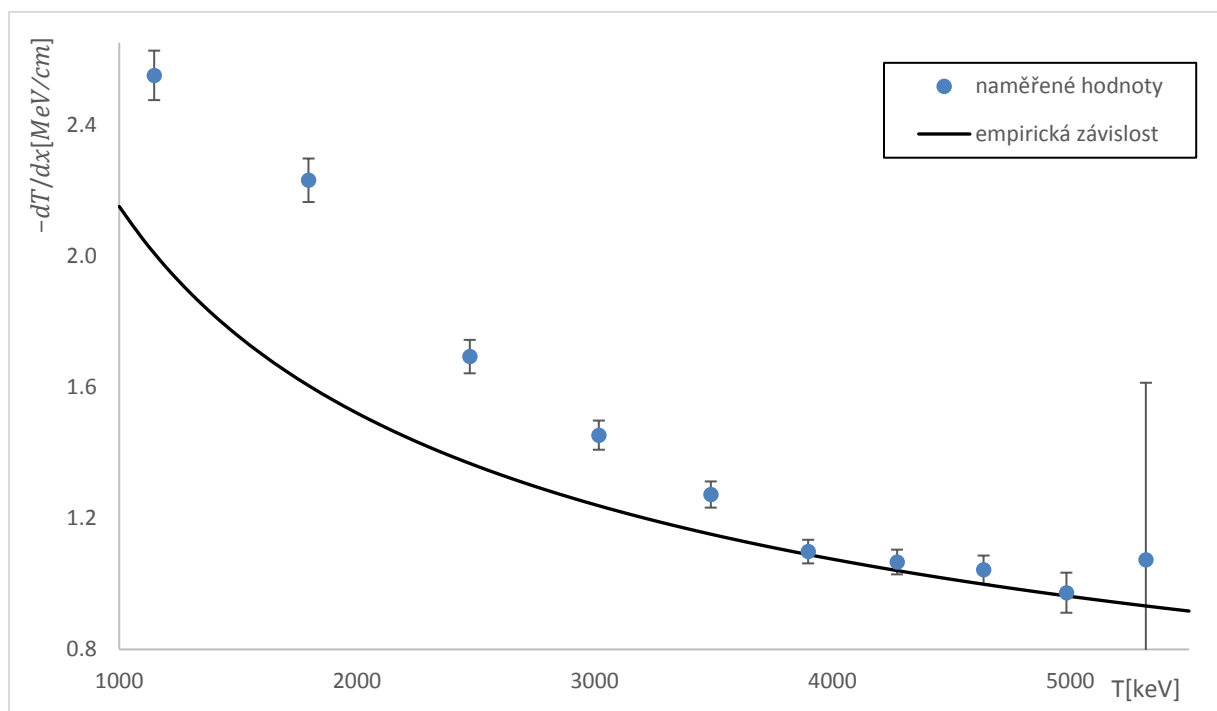
$$u_{\frac{dT}{dx}} = \overline{\left(-\frac{dT}{dx}\right)} \sqrt{\left(\frac{u_p}{p_i}\right)^2 + \left(\frac{u_p}{p_{i+1}}\right)^2 + \left(\frac{u_l}{l}\right)^2} \quad (8)$$

Na výpočet posledních dvou hodnot v tabulce 2 bylo použito i měření pro  $p = 900mbar$ , takže je nutné je brát skepticky.

Tabulka 2 – specifické ionizační ztráty za normálního tlaku

$T[keV]$	$-\frac{dT}{dx}[MeV/cm]$
5318.9±0.3	1.1±0.5
4984.1±0.4	0.97±0.06
4635.9±0.5	1.04±0.04
4271.6±0.6	1.07±0.04
3897.7±0.7	1.10±0.04
3488.2±0.8	1.27±0.04
3017.5±0.9	1.45±0.04
2474.1±1.2	1.69±0.05
1796.4±1.5	2.23±0.07
1146.9±2.2	2.55±0.08

Naměřené hodnoty byly v grafu proloženy empirickou závislostí (2), která platí pro  $T \in [4,7]MeV$ .



Graf 1 - specifické ionizační ztráty za normálního tlaku v závislosti na energii proložené empirickou závislostí

Relativní zastoupení izotopu  $^{238}\text{Pu}$  ve vzorku  $^{239}\text{Pu}$  bylo určeno pomocí měření za minimálního vývěvou dosažitelného tlaku ( $\sim 10\text{mbar}$ ) pod dobu 500s. V tabulce 3 jsou vypsány jednotlivé naměřené peaky.

$T[\text{keV}]$	$N$
$5151.1 \pm 0.2$	$7375 \pm 86$
$5487 \pm 2$	$75 \pm 9$

Peak číslo 1 byl identifikován s izotopem  $^{239}\text{Pu}$ , u kterého je tabulková hodnota střední energie  $5142.90\text{ keV}$ , peak číslo 2 s  $^{238}\text{Pu}$  s tabulkovou hodnotou  $5499.21\text{ keV}$ . S použitím poločasů rozpadu  $T_{1/2}(^{238}\text{Pu}) = 87.71\text{ yr}$  a  $T_{1/2}(^{239}\text{Pu}) = 24.13 \cdot 10^3\text{ yr}$  bylo určeno relativní zastoupení izotopu  $^{238}\text{Pu}$  podle vzorce (5). Jeho chyba byla odhadnuta jako  $\theta_{u_{N^{238}}/N^{238}}$ . Výsledná hodnota je

$$\theta = (3.7 \pm 0.4)10^{-5}$$

## Diskuze výsledků

Pro kalibraci spektrometru by byly potřeba dva referenční body (jako druhý byl nastaven 0.kanál na  $0\text{ keV}$ ), což by šlo zařídit kalibrací podle vzorku  $^{239}\text{Pu}$ . Jde ale odhadnout, že takto způsobená chyba nebyla příliš velká, protože naměřené hodnoty energie peaků pro vzorek  $^{239}\text{Pu}$  (v posledním úkolu) dobře odpovídají tabulkovým.

Při měření závislosti ionizačních ztrát na tlaku vzduchu došlo pro  $p = 900\text{mbar}$  ke ztrátě podtlaku. To bylo způsobeno experimentálním uspořádáním, kde je vzduch odsáván zpod nijak nezajištěného železného víka, které pak s klesajícím rozdílem tlaku uvnitř a venku ztrácí těsnost.

Naměřené specifické ionizační ztráty při normálním tlaku odpovídají v rámci uvedených experimentálních chyb pro  $T > 4\text{MeV}$  empirické závislosti (2), která platí právě pro  $T \in [4,7]\text{MeV}$ . Pro nižší energie jsou ztráty větší než by odpovídalo empirické závislosti.

Relativní zastoupení izotopu  $^{238}\text{Pu}$  ve vzorku  $^{239}\text{Pu}$  nebylo určeno s přesností lepší než 10%(ale pouze přibližně 12%), protože jsem si v zadání tohoto požadavku nevšiml. Odhadem by místo 500s stačilo měřit přibližně 700s aby chyba klesla pod 10%.

## **Závěr**

Byla provedena energetická kalibrace  $\alpha$ -spektrometru.

Absolutní aktivita zářiče  $^{241}\text{Am}$  je

$$A = (10.4 \pm 0.7) \text{ kBq}$$

Byla změřena závislost ionizačních ztrát na tlaku vzduchu (tabulka 1) a určeny specifické ionizační ztráty při normálním tlaku (tabulka 2).

Relativní zastoupení izotopu  $^{238}\text{Pu}$  ve vzorku  $^{239}\text{Pu}$  je

$$\theta = (3.7 \pm 0.4) 10^{-5}$$

## **Použitá literatura**

[1] studijní text dostupný dne 15.11.2016 na  
[http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/\\_media/zadani/texty/txt\\_405.pdf](http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_405.pdf)