

Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

## Fyzikální praktikum ...



Úloha č. ....

Název úlohy: .....

Jméno: ..... Obor: FOF FAF FMUZV

Datum měření: .....

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. Proved'te 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  $-\frac{dT}{dx} = f(T)$ . 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

Absolutní aktivita vzorku  $A$  je celkový počet částic, který ze vzorku vyletí za jednotku času. Pokud naměříme ve spektrometru aktivitu  $a$ , pak platí

$$A = a \frac{4\pi}{\Omega} = a \frac{r^2 4\pi}{S_v} = a \frac{2r}{r - \sqrt{r^2 - S/\pi}}, \quad (1)$$

kde  $\Omega$  je pokrytý prostorový úhel,  $r$  je vzdálenost terčíku od vzorku a  $S_v$  je povrch pokrytého vrchlíku, který jsme určili z povrchu kruhového terčíku  $S$

$$S_v = 2\pi r(r - \sqrt{r^2 - S/\pi}) \quad (2)$$

Předpokládáme, že hustota vzduchu je přímo úměrná tlaku. Potom ionizační ztráty při tlaku  $P$  na vzdálenosti  $r$  jsou stejné jako ionizační ztráty při atmosférickém tlaku  $P_0$  a na vzdálenosti

$$x = r \frac{P}{P_0}. \quad (3)$$

Specifické ionizační ztráty definujeme [1]

$$f(T) := -\frac{dT}{dx} = -\frac{P_0}{r} \frac{dT}{dP}. \quad (4)$$

Derivaci  $dT/dP$  budeme počítat numericky jako rozdíl dvou vedlejších bodů

$$\frac{dT}{dP} = \frac{T_{i+1} - T_i}{P_{i+1} - P_i}. \quad (5)$$

Zdroj [1] udává (po derivaci doletu částic  $R$ ) teoretickou závislost

$$f(T) = \frac{2}{3} \frac{1}{\xi \sqrt{T}}, \quad (6)$$

kde  $\xi = 0,31 \text{ cm MeV}^{-\frac{3}{2}}$  a  $T$  v rozmezí 4–7 MeV.

Standardní nejistotu středu píku  $\sigma_T$  určíme jako

$$\sigma_T = \frac{\text{FWHM}}{2\sqrt{2\log 2}\sqrt{N}}, \quad (7)$$

kde  $N$  je celkový výtěžek náležící píku (*net count*) a FWHM je pološířka píku.

Pokud máme vzorek dvou radioaktivních izotopů, u kterých známe poločasy rozpadu  $T_{1/2}$ , můžeme ze změřených aktivit určit jejich relativní molární podíl

$$\frac{N(1)}{N(2)} = \frac{A(1)T_{1/2}(1)}{A(2)T_{1/2}(2)}, \quad (8)$$

kde  $A$  jsou aktivity. Pokud měříme stejný čas, je podíl aktivit rovný podílu výtěžků. Z jejich poměru už můžeme snadno určit relativní zastoupení

$$\eta(1) = \frac{1}{1 + \frac{N(2)}{N(1)}}, \quad \eta(2) = \frac{1}{1 + \frac{N(1)}{N(2)}}. \quad (9)$$

## Výsledky měření

Kalibraci jsme provedli pomocí  $^{241}\text{Am}$  při vyčerpané komoře. Pík na 5485,74 keV měl pološířku 110 keV. Rozlišení spektrometru v okolí tohoto píku je tedy  $(110,0 \pm 0,5)$  keV, tedy 2 %.

Aktivitu  $a$  jsme naměřili  $(83,5 \pm 0,5)$  cps. Kruhový terčík byl od vzorku vzdálen  $r = (3,0 \pm 0,5)$  cm a měl plochu  $S = (452 \pm 40)$  mm<sup>2</sup>. Podle (1) jsme určili absolutní aktivitu vzorku

$$A = (2000 \pm 200) \text{ Bq}$$

Měření při všech tlacích probíhala 300 s a celkový výtěžek byl vždy v rozmezí 24 800–25 400. Pomocí (7) jsme vypočetli nejistotu každého středu píku a pohybuje se v rozmezí 0,25–0,50 keV, takže je zcela zanedbatelná pro naše účely. Nejistotu tlaku odhadujeme na 10 hPa.

Do grafu 1 jsme vykreslili závislost ionizačních ztrát  $\Delta T(P) = T(0) - T(P)$ , závislost  $T(P)$  je pouze posunutá a s opačným znamínkem. Tuto závislost jsme nafitovali funkcí  $ax + bx^2 + cx^3$  (bez absolutního členu, aby bylo splněno  $\Delta T(0) = 0$ )

$$\Delta T(P) = -3,27 \cdot P + 0,0016 \cdot P^2 - 1,7 \cdot 10^{-6} \cdot P^3$$

pokud dosazujeme  $P$  v jednotkách hPa a  $T$  v keV.

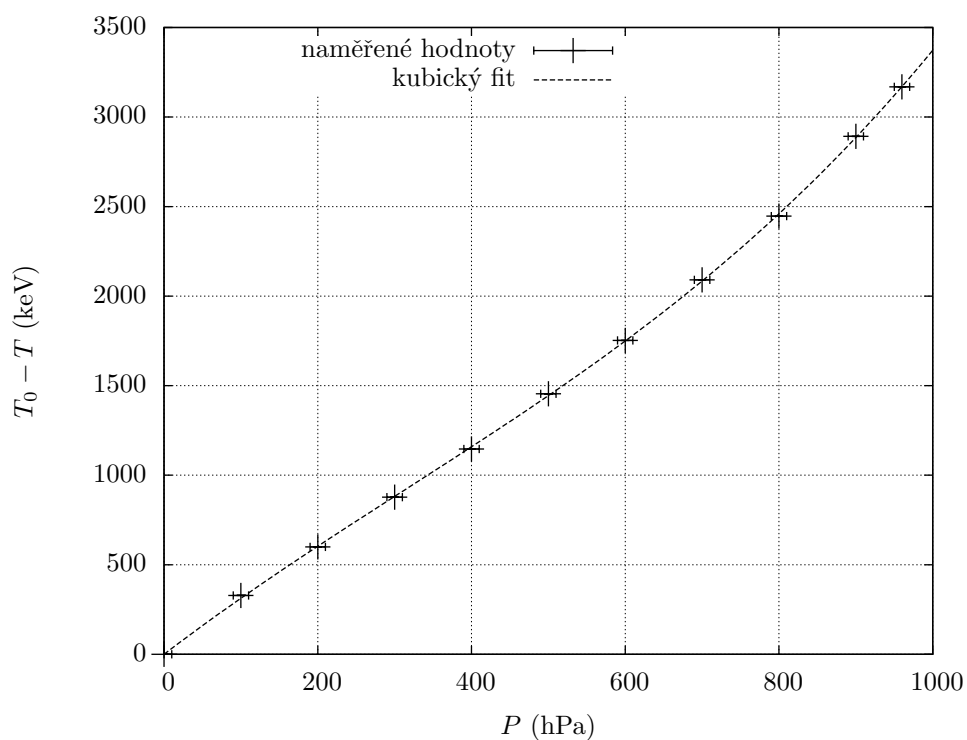
Dále jsme spočítali  $f(T)$  podle (4) a (5), výsledky jsou v grafu 2.

$P$ (hPa)	$T$ (keV)	FWHM (keV)
0	5485,74	110,07
100	5157,09	109,15
200	4885,78	106,8
300	4608,68	112,43
400	4339,77	107,47
500	4031,14	122,11
600	3733,13	123,86
700	3394,79	135,83
800	3038,95	145,19
900	2593,76	164,2
960	2317,31	178,31

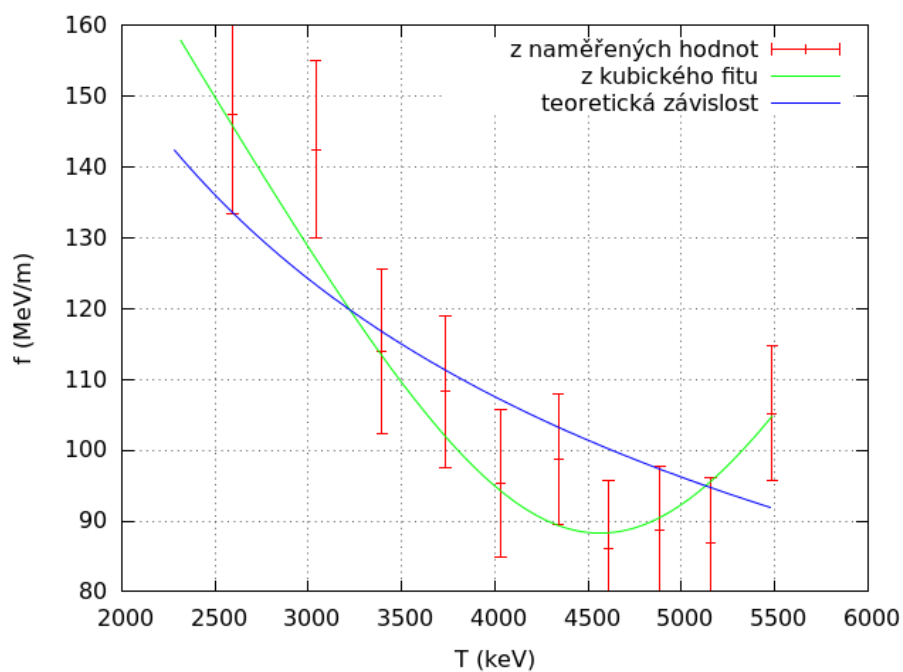
Tabulka 1: Naměřené píky při různých tlacích

Měřili jsme spektrum vzorku  $^{239}\text{Pu}$  s příměsí  $^{238}\text{Pu}$ , výsledky jsou v tabulce 2. Podle (8) jsme spočítali jejich poměr

$$\frac{N(^{238}\text{Pu})}{N(^{239}\text{Pu})} = (3,8 \pm 0,3) \cdot 10^{-5}.$$



Graf 1: Ionizační ztráty v závislosti na tlaku



Graf 2: Specifické ionizační ztráty

Z toho máme relativní zastoupení

$$\eta(^{238}\text{Pu}) = (0,0038 \pm 0,0003) \% , \quad \eta(^{239}\text{Pu}) = (99,996 \pm 0,001) \%$$

izotop	$T$ (keV)	FWHM (keV)	výtěžek (cps)	$T_{1/2}$ (yr)	$T_{\text{tab}}$ (keV)
$^{239}\text{Pu}$	$5136,0 \pm 0,4$	110,07	$16\,910 \pm 130$	24 130	5142,90
$^{238}\text{Pu}$	$5475 \pm 3$	109,15	$178 \pm 14$	87,71	5499,21

Tabulka 2: Naměřené píky plutonia

## Diskuze

Funkci  $f(T)$  jsme určili až na škálovací faktor způsobený nepřesným  $r$ . Přesto závislost přibližně odpovídá teoretické závislosti (6), což napovídá, že jsme vzdálenost  $r$  odhadli správně.

V numerické derivaci (5) odčítáme ve jmenovateli blízká čísla, což způsobuje chybu, pokud jsme tlak nezměřili přesně.

Tlak vzduchu byl  $P_0 = 960$  hPa, což bylo způsobeno jinou teplotou a vlhkostí než je normální ( $P_0 = 1013$  hPa). Proto jsme i specifické ionizační ztráty  $f$  vztahovali ve vzorci 4 k tlaku 960 hPa a dostali jsme funkci, jejíž teoretický tvar se může lišit od (6).

Píky  $^{239}\text{Pu}$  a  $^{238}\text{Pu}$  poměrně dobře shodují s tabelovanými hodnotami, jsou ale nižší, což bylo pravděpodobně způsobeno nedokonalým vakuem nebo kalibrací.

Ke kalibraci jsme použili pouze dva body (jeden pík a nulový kanál) a omezili jsme se tedy jen na lineární závislost čísla kanálu a energie. Nejsme tedy schopni posoudit kvalitu kalibrace.

## Závěr

Zkalibrovali jsme spektrometr a určili jeho rozlišení  $\Gamma = (110,0 \pm 0,5)$  keV. Určili jsme absolutní aktivitu vzorku  $^{241}\text{Am}$  (viz *Diskuze*)

$$A = (2000 \pm 200) \text{ Bq}.$$

Změřili jsme závislost  $\Delta T(P)$  ionizačních ztrát na tlaku (viz graf 1). Z ní jsme určili specifické ionizační ztráty  $f(t)$  (viz graf 2).

Změřili jsme relativní zastoupení izotopů Pu ve vzorku

$$\eta(^{238}\text{Pu}) = (0,0038 \pm 0,0003) \% , \quad \eta(^{239}\text{Pu}) = (99,996 \pm 0,001) \% .$$

## Seznam použité literatury

1. *Spektrometrie záření alfa—Základní fyzikální praktikum* [online]. [cit. 2017-12-12]. Dostupný z WWW: <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/zadani/405>.