

**Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK**

**PRAKTIKUM IV**

Úloha č.: 5

Název: Spektrometrie žiarenia  $\alpha$

Vypracoval: Viktor Babjak.....stud. sk.F3 ..... dne: 7. 12. 2006

Odevzdal dne: .....

**Hodnocení:**

Připomínky:

kapitola referátu	možný počet bodů	udělený počet bodů
Teoretická část	0 - 3	
Výsledky měření	0 - 10	
Diskuse výsledků	0 - 4	
Závěr	0 - 2	
Seznam použité literatury	0 - 1	
<b>Celkem</b>	max. 20	

Posuzoval:.....

dne:.....

## Pracovné úlohy:<sup>1</sup>

1. Preveďte energetickú kalibráciu  $\alpha$ -spektrometra a určite jeho rozlíšenie.
2. Určite absolútnu aktivitu kalibračného rádioizotopu  $^{241}\text{Am}$ .
3. Zmerajte závislosť ionizačných strát  $\alpha$ -častíc na tlaku vzduchu  $\Delta T = \Delta T(p)$ .
4. Určite špecifické ionizačné straty  $\alpha$ -častíc vo vzduchu pri normálnom tlaku  $-dT/dx = f(T)$ . Porovnajme túto závislosť so závislosťou získanou pomocou empirickej formuly pre dolet  $\alpha$ -častíc vo vzduchu za normálnych podmienok.
5. Určite energie  $\alpha$ -častíc vyletujúcich zo vzorky obsahujúcej izotop  $^{239}\text{Pu}$  a prímies  $^{238}\text{Pu}$  a porovnajme ich s tabelovanými hodnotami. Stanovte relatívne zastúpenie izotopu  $^{238}\text{Pu}$  vo vzorke s presnosťou lepšou ako 10 %, ak sú  $T_{1/2}(^{238}\text{Pu}) = 81,71 \text{ yr}$  a  $T_{1/2}(^{239}\text{Pu}) = 24,13 \cdot 10^3 \text{ yr}$ .

## Teoretická časť:

Žiarenie  $\alpha$  je tvorené jadrami hélia. Častice  $\alpha$  z prirodzených rádioaktívnych zdrojov dosahujú rýchlosť okolo 2% rýchlosti svetla (tomu zodpovedá kinetická energia 4 – 9 MeV). Spektrum prirodzeného  $\alpha$  žiarenia je diskrétné s prípadnou jemnou štruktúrou spôsobenou excitáciou vznikajúceho jadra.

Pri prechode  $\alpha$  žiarenia látkou klesá jeho energia vplyvom ionizácie atómov v prostredí. Strata kinetickej energie  $T$  je úmerná preletenej dráhe, a preto sa zavádza *špecifická ionizačná strata*

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

So zväčšujúcou sa dráhou častice ionizácia rastie do maxima a potom prudko klesá k nule. Vzdialenosť, v ktorej vymizne ionizácia a častica sa zastaví, sa nazýva *zvyškový dolet*, pre ktorý platí

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

Pre dolet  $\alpha$  častíc s kinetickou energiou  $T \in \langle 4,7 \rangle \text{ MeV}$  vo vzduchu za normálnych podmienok platí empirický vzťah

$$R = xT_0^{3/2}, \quad (3)$$

kde  $x = 0,31 \text{ cm} \cdot \text{MeV}^{-3/2}$ . Pre špecifické ionizačné straty podľa vzťahov (2) a (3) platí

$$-\frac{dT}{dx} = \frac{2}{3x\sqrt{T}}. \quad (4)$$

Namiesto zmeny hrúbky vzduchovej vrstvy medzi žiaričom a detektorom sa mení tlak vzduchu. Ak považujeme vzduch za ideálny plyn, tak pri tlaku  $p$  pre ekvivalentnú vzdialenosť pri normálnom tlaku platí

$$x_{eq} = \frac{x_0}{p_0} p, \quad (5)$$

kde  $x_0$  je pevná vzdialenosť medzi detektorom a žiaričom a  $p_0$  je normálny tlak.

Predpokladáme, že rozdelenie kinetických energií zaregistrovaných častíc má tvar Gaussovej krivky. Plná šírka v polovici maximálnej výšky (FWHM) sa nazýva rozlíšenie spektrometra  $\Gamma$ . Pre odhad rozlíšenia a jeho chyby podľa [1] platí

$$\Gamma = 2S\sqrt{2\ln 2}, \quad (6)$$

$$s_\Gamma = 2S\sqrt{\frac{\ln 2}{n-1}} = \frac{\Gamma}{\sqrt{2(N-1)}}, \quad (7)$$

<sup>1</sup> Poznámka pre opravujúceho: Túto úlohu som meral po tom, keď prestalo fungovať meranie úloh A0 a A3.

kde  $S^2$  je výberový rozptyl a  $n$  počet častíc použitých na konštrukciu histogramu. Pre chybu strednej hodnoty sa dá použiť vzťah pre chybu aritmetického priemeru  $S/\sqrt{n}$ .

Absolútna aktivita je v danej konfigurácii experimentu úmerná počtu zachytených častíc. Detektor zaberá priestorový uhol  $\Omega = \frac{D}{r^2}$  vo vzdialenosti  $r$  ( $D$  je plocha žiariča). Pre absolútnu aktivitu platí

$$A = \frac{n}{t} \frac{4\pi r^2}{D} = \frac{n}{t} \frac{16r^2}{d^2}, \quad (8)$$

kde  $t$  je dĺžka expozície a  $d$  je priemer detektora.

Pre počet rozpadnutých jadier  $dN$  za dobu  $dT$  platí

$$dN = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} N dT, \quad (9)$$

kde  $T_{1/2}$  je polčas rozpadu. Pre relatívne zastúpenie rádioizotopov platí

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{\Delta N_1}{\Delta N_2} \frac{T_{1/2}^1}{T_{1/2}^2}, \quad (10)$$

pričom sa predpokladá, že doba merania je omnoho kratšia ako polčas rozpadu.

## Výsledky meraní:

### Aparatúra

Meranie som prevádzkal pomocou polovodičového detektora. Šírka kruhovej citlivej oblasti detektora je  $d_{\text{det}} = (11 \pm 1) \text{ mm}$ , t.j. pre plochu detektora platí  $S = p \left( \frac{d}{2} \right)^2 = (95 \pm 17) \text{ mm}^2$ .

Pri meraní úlohy je k dispozícii počítačový program. Výpis tohto programu obsahuje nasledujúce informácie: poradové číslo peaku (označenie: PN), energia peaku v keV (CTRD =  $\bar{T}$ ), pološírka peaku v keV (FWHM =  $\bar{\Gamma}$ ), plocha peaku (NET AREA =  $\bar{N}$ ), pozadie (BACKGRND), počet detekovaných častíc za sekundu (NET) a relatívna chyba (%ERR).

### Energetická kalibrácia, ionizačné straty

Energetickú kalibráciu spektrometra som previedol pomocou známej energie najvýraznejšieho peaku  $^{241}\text{Am}$  na 5485,74 MeV. Vzdialenosť detektora od vzorky bola  $(40 \pm 2) \text{ mm}$  a doba expozície 300 s. Meranie tlaku bolo vykonané pomocou barometra s triedou presnosti 2,5, t.j. chybu určenia tlaku uvažujem 0,025 atm.

Všetky namerané a vypočítané údaje závislosti na tlaku sú uvedené v *tabuľke 1*.

- ekvivalentnú vzdialenosť detektora od žiariča pri normálnom tlaku  $x_{eq}$  som určil podľa (5)
- chybu  $S_{\bar{T}}$  som určil ako  $S/\sqrt{n}$
- chyby určenia rozlíšenia spektrometra som určil podľa (7)
- ionizačné straty v závislosti na tlaku  $\Delta T$  som určil ako  $\Delta T = T_0 - T_p$ , kde indexy 0 a  $p$  určujú energiu pri danom tlaku
- chybu určenia ionizačných strát  $S_{\Delta T}$  som určil ako  $S_{\Delta T} = S_{T_0} + S_{T_p}$
- špecifické ionizačné straty  $-\frac{dT}{dx} = f(T)$  som určil ako  $f(T_i) = \frac{T_i - T_{i-1}}{x_i - x_{i-1}}$ , kde index  $i$  znamená poradové číslo merania
- chybu špecifických ionizačných strát  $S_{f(T)}$  som určil podľa [2]

Závislosť rozlíšenia spektrometra na tlaku je zobrazená v *grafe 1*.

Absolútnu aktivitu určím podľa vzťahu (8) a hodnôt nameraných vo vákuu. Výsledná hodnota je

$$A = (10,6 \pm 0,2) \cdot 10^3 \text{ s}^{-1}.$$

Chybu počtu častíc som určil  $s_n = \sqrt{n}$ , pretože predpokladáme, že sa riadi Poissonovým rozdelením. Chybu absolútnej aktivity  $s_A$  som určil podľa štandardnej metódy prenosu chýb, vid' [2].

V grafe 2 sú zobrazené ionizačné straty v závislosti na tlaku. Nameranou závislosťou som preložil polynóm druhého stupňa.

V grafe 3 je zobrazená závislosť špecifických ionizačných strát na kinetickej energii. Namerané údaje som porovnal s teoretickou závislosťou danou vzťahom (4).

### Plutónium

Meranie zmesi plutónia prebiehalo pri vzdialenosti detektora od vzorky  $(10 \pm 1)mm$  a s expozičnou dobou 600 s.

Pre energiu  $\alpha$ -častíc vyletujúcich zo vzorky platí:

- $T(^{239}Pu) = (5133,22 \pm 0,06)keV$
- $T(^{238}Pu) = (5474,65 \pm 0,36)keV$

Tabuľkové hodnoty týchto energií sú:

- $T(^{239}Pu) = 5142,9keV$
- $T(^{238}Pu) = 5499,21keV$

Pre počty nameraných častíc platí:

- $\Delta N(^{239}Pu) = (109541 \pm 331)$
- $\Delta N(^{238}Pu) = (3466 \pm 59)$

Po dosadení do vzťahu (10) pre relatívne zastúpenie  $^{238}Pu$  vo vzorke použitej pri meraní dostaneme

$$\frac{N_{^{238}Pu}}{N_{^{239}Pu}} = (1,15 \pm 0,03) \cdot 10^{-4}.$$

Ako polčas rozpadu  $^{238}Pu$  som použil údaj uvedený pri úlohe v praktiku, pretože jeho hodnota je v zadaní úlohy na internete uvedená chybné.

Tabuľka 1 – Namerané a vypočítané hodnoty

$p$	$x$	$\bar{T}$	$S_{\bar{T}}$	$\Gamma$	$\sigma_{\Gamma}$	$n$	$\Delta T$	$\sigma_{\Delta T}$	$-\frac{dT}{dx}$	$S \frac{dT}{dx}$
[atm]	[cm]	[keV]	[keV]	[keV]	[keV]		[keV]	[keV]	[MeV.cm <sup>-1</sup> ]	[MeV.cm <sup>-1</sup> ]
0,0	0,00	5484,93	0,08	21,73	0,13	15041	0,00	0,15		
0,1	0,40	5168,06	0,13	40,46	0,21	17726	316,87	0,20	0,79	0,40
0,2	0,80	4759,88	0,21	57,47	0,35	13503	725,05	0,29	1,02	0,51
0,3	1,20	4336,25	0,27	72,66	0,44	13368	1148,68	0,34	1,06	0,53
0,4	1,60	3974,05	0,30	82,92	0,50	13525	1510,88	0,38	0,91	0,45
0,5	2,00	3496,27	0,39	105,87	0,65	13457	1988,66	0,46	1,19	0,60
0,6	2,40	3006,27	0,42	118,93	0,69	14726	2478,66	0,49	1,23	0,61
0,7	2,80	2463,74	0,52	147,71	0,87	14479	3021,19	0,60	1,36	0,68
0,8	3,20	1783,83	0,63	177,3	1,1	14074	3701,10	0,71	1,70	0,85
0,9	3,60	969,51	0,86	239,1	1,4	13878	4515,42	0,94	2,04	1,02
1,0	4,00	249,28	0,92	246,7	1,5	13084	5235,65	0,99	1,80	0,90

### Diskusia:

Z grafu 1 vyplýva, že s rastúcim tlakom vzduchu sa zväčšuje pološírka histogramu, t.j. rozlíšenie spektrometra. Je to spôsobené interakciou  $\alpha$ -častíc so vzduchom, pretože s rastúcim tlakom rastie i pravdepodobnosť interakcie. Tým sú spôsobené aj zväčšujúce sa energetické straty. Teoretický tvar týchto závislostí nepoznám, no pre názornosť som namerané závislosti (graf 1 a graf 2) som preložil polynómom druhého stupňa.

Závislosť špecifických ionizačných strát na kinetickej energii súhlasí s empirickou závislosťou danou vzťahom (4), vid' graf 3. Väčší šum nameraných hodnôt je daný nepresným určením tlaku (t.j. dĺžky vzduchového stĺpca), čo sa prejavilo pri výpočte derivácie.

Menšie chyby strednej kinetickej energie sú dané pomerne vysokým počtom zachytených častíc.

Pri určovaní absolútnej aktivity zdroja je pomerne veľká chyba spôsobená nepresným určením vzdialenosti detektora a žiariča a takisto nepresným určením priemeru detektora, t.j. plochy detektora.

Namerané hodnoty energie  $\alpha$ -častíc pre izotopy plutónia sa od tabuľkových hodnôt ( $T(^{239}\text{Pu})=5142,9\text{keV}$ ,  $T(^{238}\text{Pu})=5499,21\text{keV}$ ) odlišujú asi o 0,5%. Keďže táto chyba je dosť malá, môžeme kalibráciu detektoru považovať za správnu.

### Záver:

Previedol som energetickú kalibráciu spektrometra a určil som závislosť jeho rozlíšenia na tlaku, vid' graf 1.

Z nameraných hodnôt som určil absolútnu aktivitu  $^{241}\text{Am}$

$$A = (10,6 \pm 0,2) \cdot 10^3 \text{ s}^{-1}.$$

Závislosť ionizačných strát na tlaku spolu s preloženou krivkou (polynóm druhého stupňa) je zobrazená v grafe 2. Závislosť špecifických ionizačných strát spolu s teoretickou závislosťou danou vzťahom (4) je zobrazená v grafe 3.

Určil som hodnoty energie  $\alpha$ -častíc vylietavajúcich zo vzorky priloženej pri úlohe

$$T(^{239}\text{Pu}) = (5133,22 \pm 0,06)\text{keV},$$

$$T(^{238}\text{Pu}) = (5474,65 \pm 0,36)\text{keV}.$$

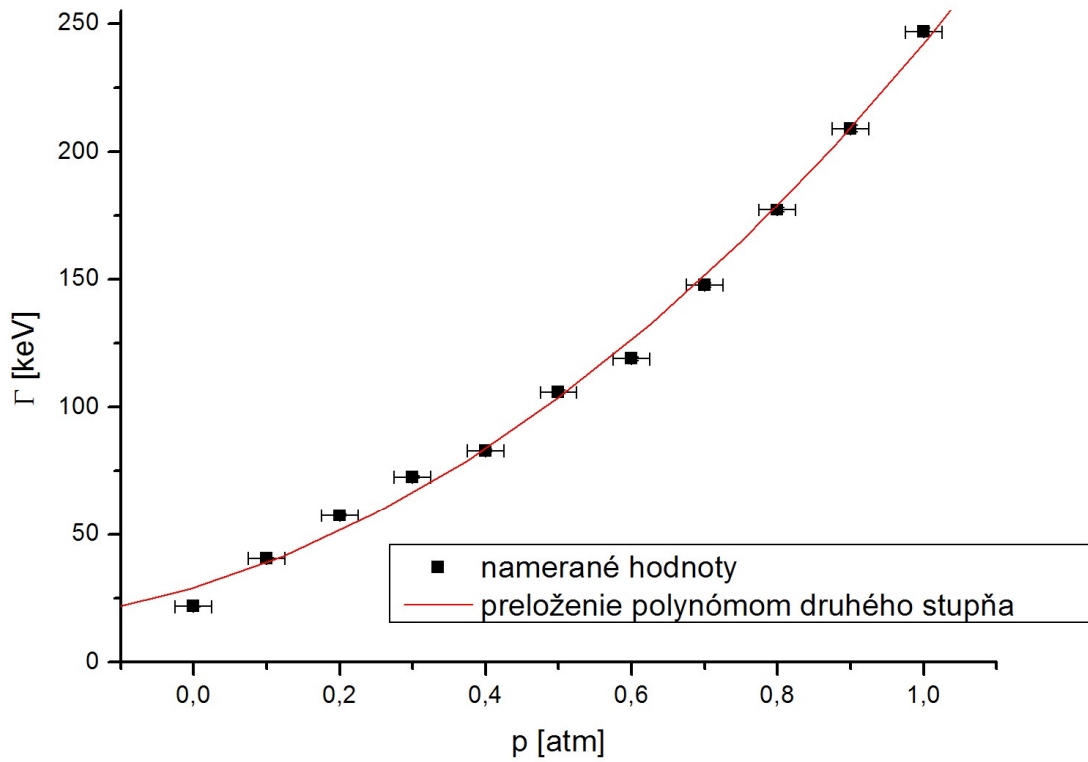
Relatívne zastúpenie  $^{238}\text{Pu}$  som určil ako

$$\frac{N_{^{238}\text{Pu}}}{N_{^{239}\text{Pu}}} = (1,15 \pm 0,03) \cdot 10^{-4}.$$

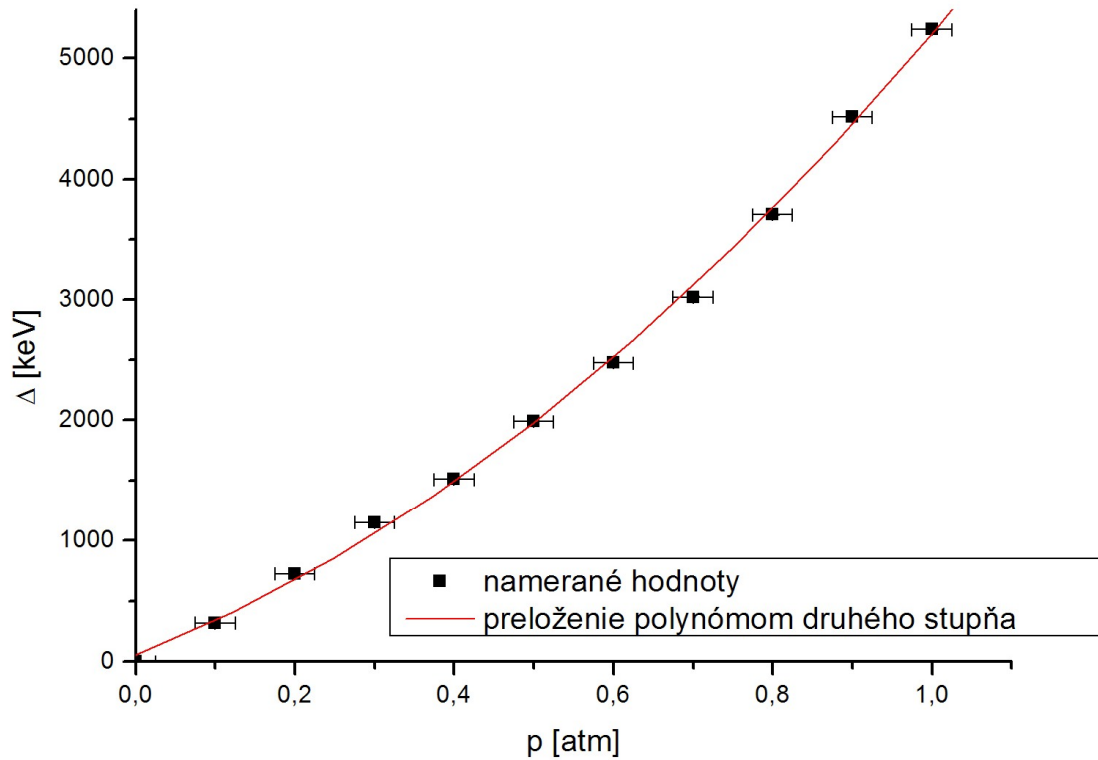
### Literatúra:

- [1] študijný text na stránkach fyzikálneho praktika: <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/>
- [2] English, J.; Zpracování výsledků fyzikálních měření, Praha, 1999

Graf 1 - Rozlíšení spektrometra (FWHM) v závislosti na tlaku vzduchu



Graf 2 - ionizačné straty v závislosti na tlaku vzduchu



Graf 3 - Špecifické ionizačné straty v závislosti na kinetickej energii

