

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM IV – Jaderná a subjaderná fyzika

Úloha č. A5

Název: Spektrometrie záření α

Pracoval: Radim Pechal

dne 27. října 2009

Odevzdal dne:

	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	
Celkem	max. 20	

Posuzoval: dne

Pracovní úkol

1. Proveďte 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 $T_{1/2}(^{238}\text{Pu}) = 87,74 \text{ yr}$ a $T_{1/2}(^{239}\text{Pu}) = 24120 \text{ yr}$.

Teoretický úvod

Záření α vzniká při α -rozpadu radioaktivních jader. Jako zdroj α záření můžeme použít například ^{241}Am . Částice α záření mají energii $T = 5845,74 \text{ keV}$, což můžeme s výhodou použít při kalibraci α -spektrometru, neboť naměřené energetické spektrum obsahuje výrazný pík pro výše zmíněnou energii.

Při určování absolutní aktivity daného radioizotopu, můžeme obvykle zanedbat rozměry zářiče. Umístíme-li ve vzdálenosti l od zářiče detektor, který má plochu okénka, do kterého dopadají částice, S , a detekujeme počet částic N za dobu t , tak můžeme určit absolutní aktivitu A radioizotopu vztahem

$$A = \frac{N}{t} \frac{4\pi l^2}{S}, \quad (1)$$

kde $4\pi l^2$ vyjadřuje plochu pomyslné koule s poloměrem l se středem v místě, kde je umístěn zářič. Vzorec chápeme tak, že jsme pomocí detektoru zachytili N částic, což představuje pouze poměrný počet částic na plochu detektoru vzhledem k celé pomyslné kouli. Absorpční aktivita udává počet částic za jednu sekundu, proto musíme počet částic vydělit měřeným časem.

Při průchodu přes prostředí ztrácí nabitá částice část energie. Je to dáno tím, že částice ionizuje atomy prostředí. Ionizační ztráta udává, jak se změní energie při průchodu prostředím po dráze jednotkové délky. Ionizační ztrátu můžeme vyjádřit dle [1] vztahem

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

Pro některé typy záření je možné vyjádřit ionizační ztrátu $f(T)$ pomocí empirické formule

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

přičemž $\xi = 0,31 \text{ cm} \cdot \text{MeV}^{-\frac{3}{2}}$ a $T \in [4; 7] \text{ MeV}$.

Ionizační ztrátu můžeme určit také z měření závislosti energie T na tlaku p . Použijeme numerickou derivaci. Naměříme-li soubor hodnot, můžeme ji určit z i -tého a $i + 1$ měření vztahem

$$-\frac{dT}{dx} = \frac{T_i - T_{i+1}}{p_i - p_{i+1}} \frac{p_{\text{atm}}}{l}, \quad (4)$$

kde l je vzdálenost zdroje a detektoru. Tlak měříme v atmosférách, proto jej musíme přepočítat na Pa pomocí p_{atm} .

Rozlišením spektrometru chápeme pološířku píku Γ při měření histogramu. Chybu rozlišení můžeme odhadnout vztahem

$$\sigma\Gamma \approx \frac{\Gamma}{\sqrt{2(n-1)}}, \quad (5)$$

kde n je plocha píku. Ze známého rozlišení detektoru můžeme určit chybu měření kinetické energie částic pomocí vztahu

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

přičemž N je počet detekovaných částic.

Při určování poměru izotopů radioaktivního plutonia můžeme vyjít z rozpadového zákona

$$dN = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} N dT, \quad (7)$$

který říká, o kolik se změní počet částic za dobu dT . $T_{1/2}$ je poločas rozpadu a N je původní počet částic. Z tohoto vztahu můžeme odvodit vztah pro určení počtu izotopů

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{dN_1 T_{1/2}^1}{dN_2 T_{1/2}^2}. \quad (8)$$

Výsledky měření

Nejdříve jsem zkalibroval spektrometr. Použil jsem k tomu hodnotu energie $E = 5845,74$ keV α částic pro ^{241}Am a předpoklad, že stupnice je lineární a v nulovém kanálu musí být nulová energie. Kalibraci jsem prováděl při nulovém tlaku.

Dále jsem měřil závislost energie a dalších veličin na tlaku. Měření jsem prováděl pro čas $T = 240$ s. Zářič byl vzdálen od detektoru $l = (30 \pm 2)$ mm. Naměřené hodnoty jsem zapsal do tabulky 1. Tlak jsem měřil v mbar, pomocí hodnoty $p_{\text{atm}} = 1,01325 \cdot 10^5$ Pa, kterou jsem našel v [2], jsem přepočítal na tlak na kPa. Z měření jsem tak získal i závislost rozlišení spektrometru na energii záření, kterou jsem znázornil v grafu 1.

P [mbar]	P [kPa]	T [keV]	Γ [keV]	N
0 ± 10	$0,0 \pm 1,0$	$5485,7 \pm 0,2$	$56,5 \pm 0,2$	19747 ± 144
100 ± 10	$10,1 \pm 1,0$	$5197,2 \pm 0,2$	$69,6 \pm 0,2$	18887 ± 144
200 ± 10	$20,3 \pm 1,0$	$4948,0 \pm 0,3$	$85,0 \pm 0,3$	19581 ± 145
300 ± 10	$30,4 \pm 1,0$	$4694,9 \pm 0,3$	$100,8 \pm 0,3$	19962 ± 146
400 ± 10	$40,5 \pm 1,0$	$4421,9 \pm 0,4$	$120,2 \pm 0,4$	19739 ± 144
500 ± 10	$50,7 \pm 1,0$	$4143,8 \pm 0,4$	$136,3 \pm 0,4$	19286 ± 145
600 ± 10	$60,8 \pm 1,0$	$3854,4 \pm 0,5$	$163,3 \pm 0,5$	19517 ± 142
700 ± 10	$70,9 \pm 1,0$	$3544,9 \pm 0,6$	$195,9 \pm 0,6$	19093 ± 143
800 ± 10	$81,1 \pm 1,0$	$3229,7 \pm 0,7$	$232,6 \pm 0,7$	19411 ± 144
900 ± 10	$91,2 \pm 1,0$	$2867,5 \pm 0,7$	$241,0 \pm 0,7$	19103 ± 145
990 ± 10	$100,3 \pm 1,0$	$2507,0 \pm 0,9$	$293,0 \pm 0,9$	19447 ± 144

Tabulka 1: Měření závislosti energie záření a dalších veličin na tlaku.

Z naměřených dat jsem také určil absolutní aktivitu použitého zářiče. Plocha detektoru byla $S = (95 \pm 5)$ mm². Pomocí vztahu (1) jsem určil

$$A = (9,3 \pm 0,2) \text{ s}^{-1}.$$

Závislost změny energie na tlaku jsem znázornil v grafu 2. Pomocí vztahu (4) jsem určil specifické ionizační ztráty při normálním tlaku. Číselné hodnoty jsem zapsal do tabulky 2 a graficky znázornil v grafu 3, kde jsem také vynesl empirickou formuli (3).

Jako poslední úkol jsem určoval energii α -částic vyletujících ze vzorku, který obsahoval ^{239}Pu a příměs izotopu ^{238}Pu . Zdroj jsem umístil do vzdálenosti $l = (0,7 \pm 0,2)$ cm od detektoru a měřil jsem po dobu $T = 500$ s při nulovém tlaku. Naměřil jsem dva píky. Pík, který měl energii

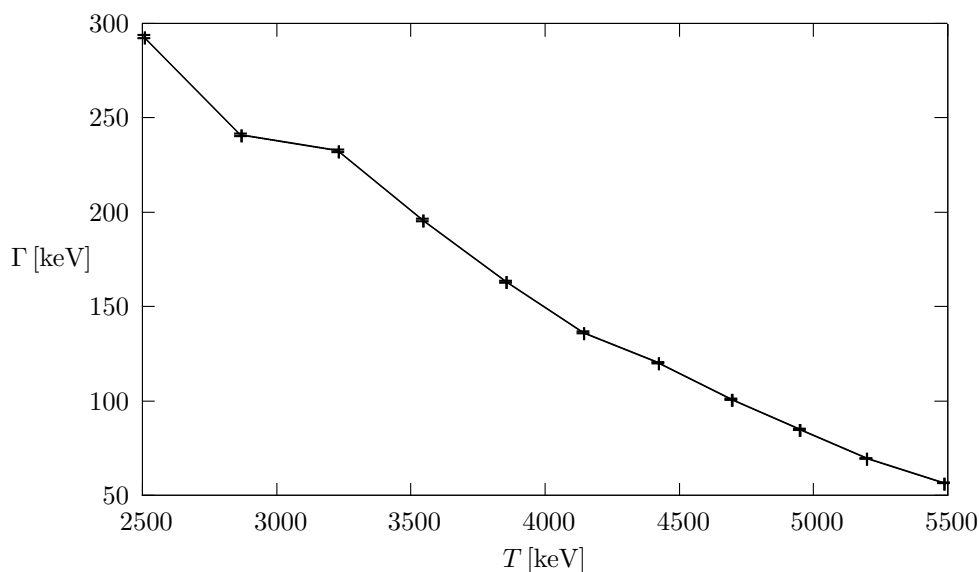
T [MeV]	$-dT/dx$ [MeVcm $^{-1}$]
$5,3415 \pm 0,0002$	$0,96 \pm 0,09$
$5,0726 \pm 0,0002$	$0,83 \pm 0,11$
$4,8215 \pm 0,0003$	$0,84 \pm 0,13$
$4,5584 \pm 0,0003$	$0,91 \pm 0,16$
$4,2828 \pm 0,0004$	$0,93 \pm 0,19$
$3,9991 \pm 0,0004$	$1,0 \pm 0,2$
$3,6997 \pm 0,0005$	$1,0 \pm 0,3$
$3,3873 \pm 0,0006$	$1,1 \pm 0,3$
$3,0486 \pm 0,0007$	$1,2 \pm 0,3$
$2,6873 \pm 0,0007$	$1,3 \pm 0,4$

Tabulka 2: Specifické ionizační ztráty při normálním tlaku.

$T = (5487,9 \pm 0,3)$ keV, jsem identifikoval s píkem o energii $T = 5499,21$ keV, který připadá ^{238}Pu . Pík s energií $E = (5149,00 \pm 0,05)$ keV je přibližně roven tabelovanému píku $T = 5142,90$ keV, který náleží ^{239}Pu . Uvážím-li, že $T_{1/2}(^{238}\text{Pu}) = 81,71$ yr a $T_{1/2}(^{239}\text{Pu}) = 24,13 \cdot 10^3$ yr, můžu pomocí vztahu (8) určit poměr těchto izotopů

$$\frac{N_{^{239}\text{Pu}}}{N_{^{238}\text{Pu}}} = 8511 \pm 111,$$

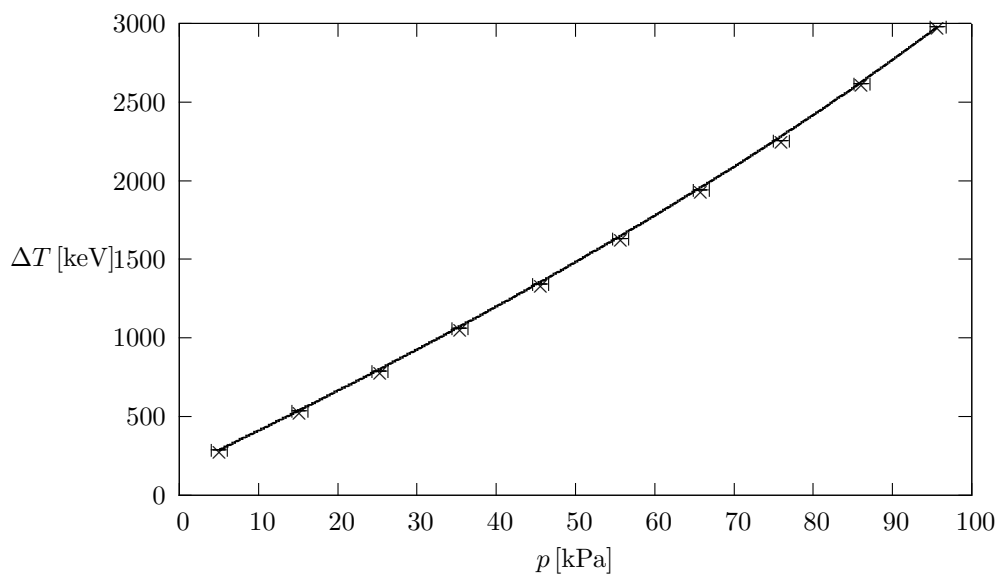
tedy izotopu ^{239}Pu je ve vzorku 8511 krát více, než izotopu ^{238}Pu . Odtud vyplývá, že izotop ^{238}Pu tvoří 0,0117% vzorku.



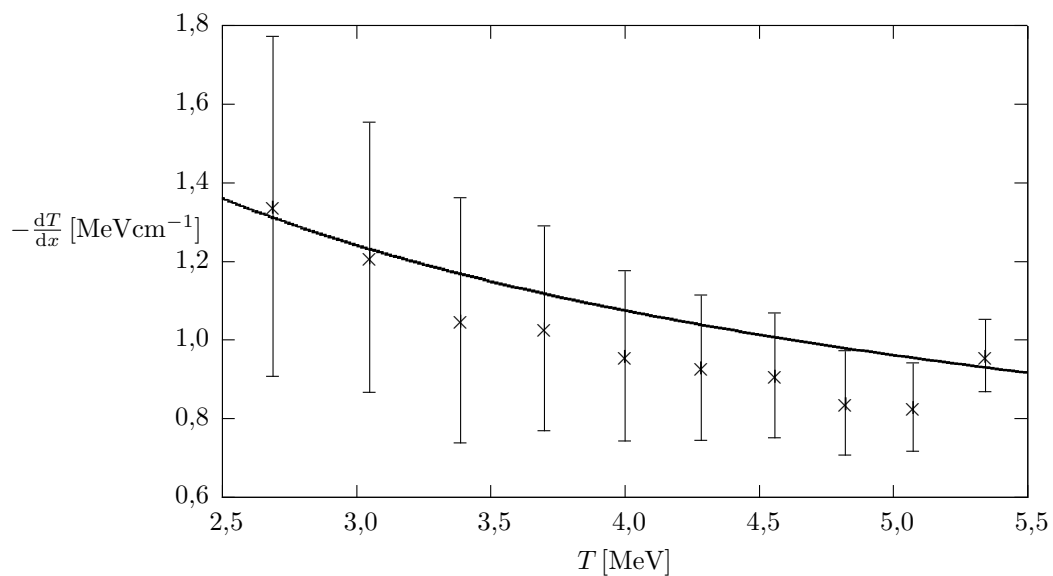
Graf 1: Závislost rozlišení detektoru Γ na energii dopadajícího záření T .

T [keV]	Γ [keV]	N
$5149,00 \pm 0,05$	55,44	203623 ± 448
$5487,9 \pm 0,3$	58,74	6577 ± 84

Tabulka 3: Energie a četnosti α -částic vylétujících ze vzorku, který obsahoval ^{239}Pu a ^{238}Pu .



Graf 2: Závislost změny energie na tlaku.



Graf 3: Specifické ionizační ztráty ve vzduchu při normálním tlaku.

Diskuse výsledků

Nejdříve jsem kalibroval spektrometr. Spektrometr měří v „kanálech“. Proto bylo nutné změřit spektrum zářiče při nulovém tlaku. Charakteristice dominoval pík, který odpovídal energii $E = 5845,74 \text{ keV}$. Při uvážení, že stupnice musí být lineární a nulový kanál odpovídá nulové energii, jsem mohl stupnici zkalibrovat.

Výsledkem měření rozlišovací schopnosti detektoru je graf, který udává, jak závisí rozlišovací schopnost Γ na energii dopadajících částic. Mohl jsem také znázornit, jak závisí rozlišovací schopnost detektoru na tlaku, při kterém bylo měření prováděno, ale rozlišovací schopnost není přímo ovlivněna tlakem, ale podstatná je energie měřené částice, která je ovlivněna tlakem, při kterém probíhalo měření. Výsledná data jsem proložil lomenou čarou. Pokud bych vyřadil hodnotu rozlišení pro energii $T = (5197,2 \pm 0,2) \text{ keV}$ pro podezření z hrubé chyby, vypadala by data jako lineární závislost. Ovšem odhadnout, jak má tato závislost vypadat není snadné, protože rozlišovací schopnost detektoru ovlivňují jeho parametry jako je například složení atd. Tato závislost může být obecně velmi složitá, proto jsem měření pro zmíněnou energii nevyřazoval. Pro potvrzení zda byla data opravdu ovlivněna hrubou chybou nebo ne, bych musel provést více měření a ta statisticky zpracovat.

Měření jsem prováděl po dobu $T = 240 \text{ s}$. Tento čas se ukázal jako vhodný, neboť chyba, která byla vypočtena měřícím přístrojem, se pohybovala $\approx 0,75\%$. Chybu měření tlaku jsem odhadl jako $\sigma p = \pm 10 \text{ mbar}$. Tuto chybu jsem volil vzhledem k nedokonalostem použitého tlakoměru, které se projevovaly tím, že během měření, kdy byla aparatura utěsněna a vývěva vypnuta, klesal tlak, což odporuje zákonům termodynamiky. Při znázorňování dat v grafech 2 jsem získal data z rozdílu naměřených hodnot energie pro dané tlaky. Naměřená charakteristika není lineární, proto jsem usoudil, že vypočtené hodnoty nejlépe odpovídají průměru tlaků při kterých byl měřen rozdíl energií.

Jak je vidět v grafu 3, je empirická formulka (3) dobrým přiblížením. Zmíněná formulka by měla platit pro energie $T \in [4; 7] \text{ MeV}$, ale ukázalo se, že sedí v rámci chyby i pro energie menší, než 4 MeV .

Při měření relativního zastoupení izotopu ^{238}Pu ve vzorku jsem měření prováděl po dobu $T = 500 \text{ s}$. Tato doba se ukázala jako dostatečná. Izotop ^{238}Pu tvoří $0,0117\%$ vzorku s relativní přesností $1,3\%$ neboli relativní zastoupení $\mu = (117 \pm 2) \cdot 10^{-4}\%$.

Závěr

Určil jsem závislost rozlišení detektoru na energii dopadajícího záření. Znázornil jsem ji v grafu 1. Určil jsem absolutní aktivitu použitého zářiče ^{241}Am

$$A = (9,3 \pm 0,2) \text{ s}^{-1}.$$

V grafu 2 jsem znázornil závislost změny energie na tlaku, kterou jsem použil v určení specifické ionizační ztráty. Empirická formulka (3) je pro dané energie dobrým přiblížením.

Pro zářič, který byl složen z dvou izotopů plutonia jsem určil relativní zastoupení ^{238}Pu

$$\mu = (117 \pm 2) \cdot 10^{-4}\%.$$

Seznam použité literatury

- [1] D. Nosek, J. Vrzal: *Studijní text: A5. Spektrometrie záření α* http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt_405.pdf. 30. září 2003.
- [2] J. Mikulčák, B. Klimeš, V. Šůla: *Matematické fyzikální a chemické tabulky pro střední školy*. Prometheus 1988. ISBN 80-85849-84-4