

**Pracovní úkol:**

- 1) Proveďte graduaci stupnice elektrometru ve voltech a stanovte jeho citlivost.
- 2) Změřte charakteristiku komory pro záření alfa.
- 3) Stanovte relativní aktivity dvou zářičů alfa.
- 4) Změřte ionizační proud komory pro záření alfa v závislosti na vzdálenosti elektrod kondenzátoru. Vysvětlete naměřenou závislost.
- 5) Stanovte relativní aktivity dvou zářičů beta.

**Teorie:**

Měřit a srovnávat aktivity radioaktivních zářičů lze pomocí jejich ionizačních účinků záření v plynech. Ionizující částice v prostoru mezi deskami kondenzátoru vytváří podél své dráhy letu kladné a záporné ionty, které jsou elektrickým polem uváděny do pohybu směrem k elektrodám. Vzniká tak ionizační proud.

Charakteristikou komory nazýváme závislost ionizačního proudu na napětí vloženém na desky kondenzátoru. V běžných případech má při konstantní intenzitě ionizujícího záření typický průběh, který lze rozdělit do následujících oblastí:

- Oblast Ohmova zákona: Na deskách kondenzátoru je přiloženo tak malé napětí, že část vzniklých iontů rekombinuje dříve než by došly k elektrodám. Ionizační proud roste úměrně s napětím.
- Oblast nasyceného proudu je charakterizovaná stálou hodnotou ionizačního proudu. Tato hodnota je dána množstvím iontů vzniklých za sekundu v celém objemu plynu v komoře. Ionty stačí dojít k elektrodám dříve než by zrekombinovaly.
- Oblast porcionálnosti komory začíná při napětí, kdy jsou ionty vzniklé při průchodu záření urychleny elektrickým polem do té míry, že samy vytvářejí nárazem na neutrální molekuly další ionty. V této oblasti je ionizační proud úměrný počtu iontů vzniklých přímým působením záření, tedy celkové ztrátě energie záření v komoře.
- Geigerova oblast je oblast, kdy v komoře dochází k samostatnému výboji. Zde se původní ionizace vyvolaná přímým účinkem záření uplatňuje pouze jako podnět k lavinové ionizaci. V této oblasti může i nepatrná intenzita záření způsobit značně silný proud.

V úloze se používá nízkotlaká komora s konstantní ionizací. Je to vlastně vzduchový kondenzátor. Působením ionizačního záření se udržuje konstantní ionizační proud, kterým se komora vybíjí. Velikost ionizačního proudu se měří pomocí elektrometru, na němž se zjišťuje časová změna napětí.

Vzduch v ionizační komoře není za obvyklých podmínek dokonalým izolátorem. Díky různým důvodům (kosmické záření, stopová množství radioaktivních prvků atd.) se komora samovolně vybíjí tzv. svodovým proudem. I když je svodový proud velmi malý, je srovnatelný s ionizačním proudem. Proto musí být výsledná měření vždy opravena na tento efekt. Ionizační proud  $I$ , za nějž jsou odpovědné nabitě částice procházející účinným objemem komory získáme jako rozdíl vybíjecího a svodového proudu

$$I = \left[ \left( \frac{\Delta Q}{\Delta t} \right) - \left( \frac{\Delta Q}{\Delta t} \right)_s \right] = Ck \left[ \left( \frac{\Delta d}{\Delta t} \right) - \left( \frac{\Delta d}{\Delta t} \right)_s \right] \quad (1)$$

kde  $\Delta Q = C\Delta U = Ck\Delta d$  je pokles náboje na kondenzátoru za dobu  $\Delta t$ ,  $C$  je kapacita kondenzátoru,  $\Delta U$  či  $\Delta d$  je pokles napětí a příslušný pokles dílků za dobu  $\Delta t$ .

Při měření závislosti ionizačního proudu na vzdálenosti elektrod kondenzátoru je třeba naměřené hodnoty vybíjecího proudu korigovat nejen na svodový proud, ale i na změnu kapacity kondenzátoru. Závislost kapacity kondenzátoru na vzdálenosti elektrod  $h$  zjistíme změřením závislosti  $U(h) = Q/C(h)$ , kdy náboj na kondenzátoru udržujeme konstantní.

Ionizační proud protékající komorou pro záření  $\alpha$  je dán změnou náboje kondenzátoru za jednotku času a je také úměrný celkové energii, kterou všechny  $\alpha$  částice ztratí v účinném objemu komory. Pro monoenergetické  $\alpha$  záření je tato energie dána součinem počtu ionizujících částic a jejich kinetických energií. Pro aktivitu neznámého zářiče tak musí platit

$$\frac{AT_0}{I} = \frac{A^0 T_0^0}{I_0} = const., \quad \frac{A}{A^0} = \frac{I}{I_0} \frac{T_0^0}{T_0} \quad (2)$$

kde  $A$  je aktivita zářiče a  $T_0$  je kinetická energie z něj vyletujících částic  $\alpha$ . Horním indexem jsou označeny veličiny referenčního  $\alpha$  zářiče.

Vztah pro srovnávací měření aktivit dvou  $\beta$  zářičů lze v prvním přiblížení napsat ve tvaru

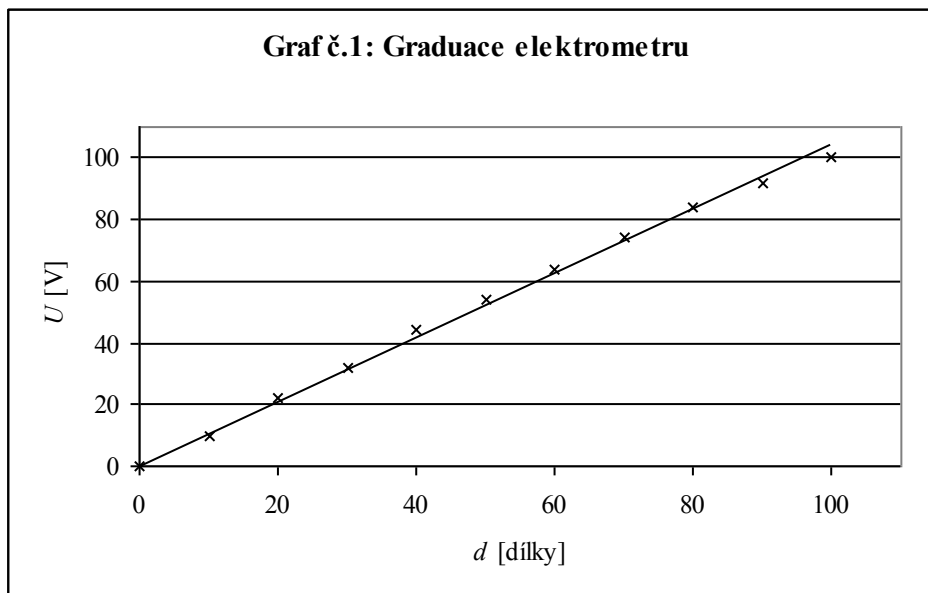
$$\frac{B\langle T \rangle}{I} = \frac{B^0 \langle T_0 \rangle}{I_0} = const., \quad \frac{A}{A^0} = \frac{I}{I_0} \frac{T_{Max}^0}{T_{Max}} \frac{1 - e^{-\mu^0 l^0}}{1 - e^{-\mu l}} \quad (3)$$

kde horní index se vztahuje k veličinám referenčního  $\beta$  zářiče,  $T_{max}$  je maximální kinetická energie spektra záření,  $\mu$  je lineární absorpční koeficient a  $l$  střední volná dráha částice  $\beta$  v komoře. Při srovnávacím měření  $\beta$  záření se dvěma různými vzorky stejného radioaktivního izotopu však problémy s určením střední volné dráhy  $\beta$  částic a lineárního absorpčního koeficientu v komoře odpadají. Poměr aktivit  $\beta$  zářičů je pak dán poměrem příslušných ionizačních proudů.

## Výsledky měření

Tabulka č.1: Graduace stupnice elektrometru

$d$ [dílký]	$U$ [V]
100	100
90	92
80	84
70	74
60	64
50	54
40	44
30	32
20	22
10	10
0	0



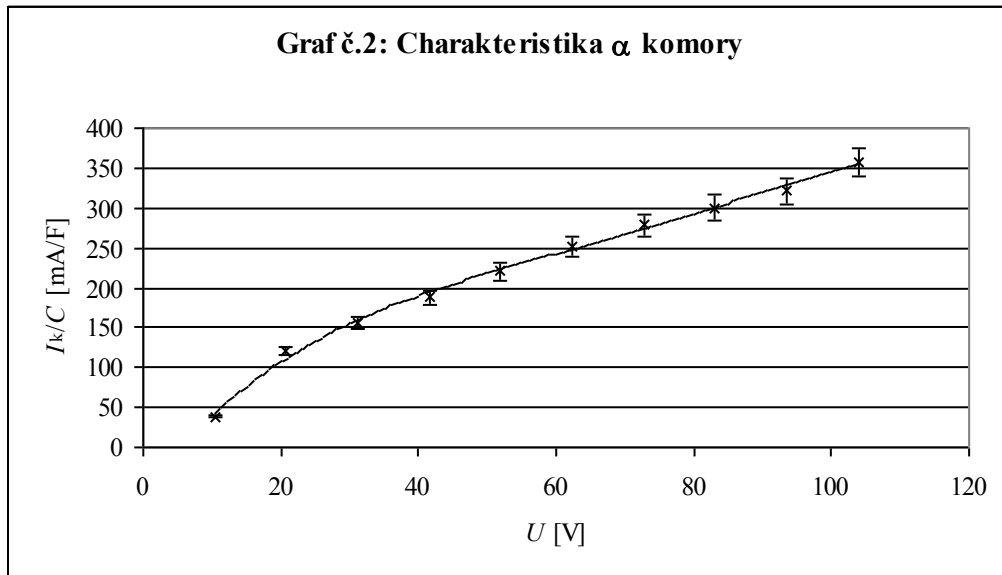
Lineární regrese byla provedena podle rovnice  $U = kd_g$ , kde  $d_g$  je počet dílků na stupnici elektrometru, pomocí programu „Gnuplot“. Zjištěná hodnota konstanty  $k$  je  $k = (1,04 \pm 0,01)\text{V/dílek}$ .

Tabulka č.2: Charakteristika komory pro záření  $\alpha$

$d_p$ [dílek]	$U$ [V]	$d$ [dílek]	$t$ [s]	$I/C$ [mA/F]	$I_k/C$ [mA/F]	$\sigma$ [mA/F]
100	103,84	10	28,9	359	357	18
90	93,46	10	32,1	324	322	17
80	83,08	10	34,3	302	300	15
70	72,69	10	37,0	281	279	14
60	62,31	10	40,9	254	252	13
50	51,92	10	46,6	223	221	11
40	41,54	10	54,7	190	188	10
30	31,15	10	65,5	158	156	8
20	20,77	10	84,6	123	121	6
10	10,38	10	255,6	41	39	2

$d_p$  je počáteční dílek měřeného intervalu na stupnici elektrometru,  $U$  je vypočítané napětí ( $U = kd_g$ ),  $d$  je počet dílků v měřeném intervalu,  $I/C$  je ionizační proud dělený neznámou kapacitou ionizační komory (pro proud opravený o svodový proud  $I_k/C$ ) a  $\sigma$  je chyba v určení  $I_k/C$ . Do  $\sigma$  je zahrnuta statistická chyba v určení  $k$ ,  $d$  (0,5 dílku) a  $t$  (reakční doba 0,2s). Vzdálenost desek kondenzátoru byla  $h = 60$  mm. Měření bylo provádělo se vzorkem  $^{239}\text{Pu}$  EA14. Pro korekci na svodový proud komory  $\alpha$  byla použita hodnota 4dílký/34minut.

Charakteristika  $\alpha$  komory je vynesena do Grafu č.2, kde na svislou osu je vynesena korigovaný proud (dělený kapacitou).



Pro stanovení relativní aktivity dvou zářičů  $\alpha$  využijeme vztahu (2), kde uvažujeme, že  $T_0^0$  a  $T_0$  jsou stejné (stejný typ zářiče). Do vztahu (1) dosadíme za  $\Delta d = 10$  dílků pro oba zářiče a při zanedbání svodového proudu bude relativní aktivita dána poměrem měřených dob poklesu napětí o  $\Delta d$ , uvažujeme-li svodový proud, je nutné odečíst jeho hodnotu (přepočtenou na 1 sekundu) od čitatele i jmenovatele zlomku. Měření bylo prováděno při vzdálenosti elektrod  $h = 60$  mm, mezi 100 a 90 dílkem elektrometru pro dva vzorky  $^{239}\text{Pu}$  označené EA14 a EA13. Pro první vzorek je uváděný čas průměrem ze tří měření.

$$t_{EA14} = 28,7 \text{ s}$$

$$t_{EA13} = 220,4 \text{ s}$$

Jejich relativní aktivita (s uvážením korekce na svodový proud) je  $A = A_{EA14} / A_{EA13}$

$$A = (8,0 \pm 0,3)$$

Kde chybu v určení času (z důvodů nedostatečné statistiky) uvažujeme 1s.

Při měření závislosti ionizačního proudu komory na vzdálenosti elektrod je třeba zohlednit změnu kapacity komory (relativně vzhledem k neznámé původní kapacitě  $C_0$ ).

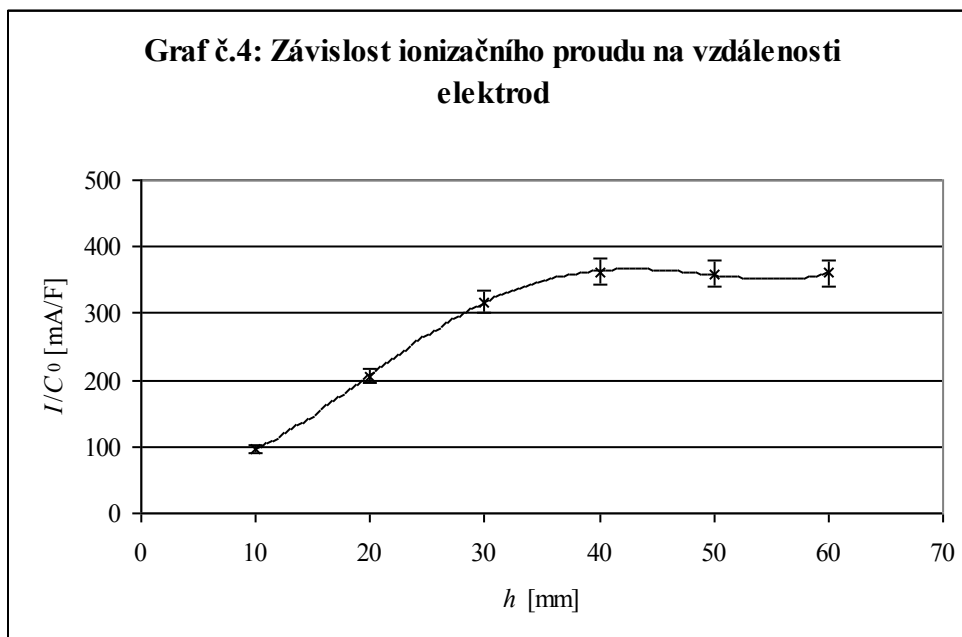
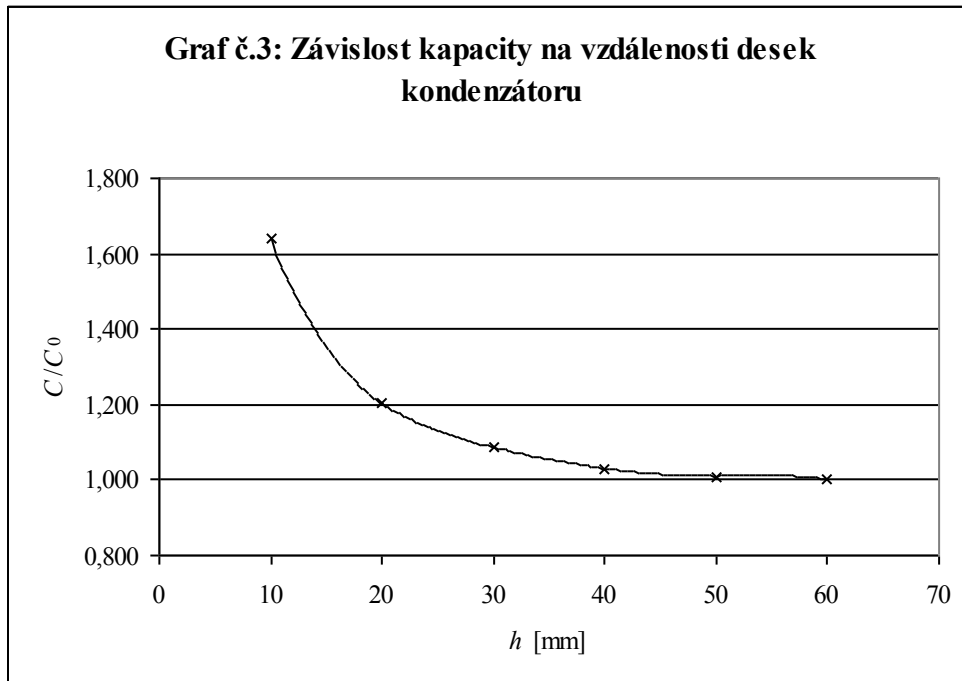
Tabulka č.3: Kapacita  $\alpha$  komory

$h$ [mm]	$d$ [dílký]	$C/C_0$	$\sigma$
60	100	1,000	0,000
50	99	1,010	0,020
40	97	1,031	0,021
30	92	1,087	0,023
20	83	1,205	0,027
10	61	1,639	0,043

$h$  je vzdálenost desek kondenzátoru,  $d$  je dílek, který při konstantním náboji, ukazoval elektrometr po změně vzdálenosti desek,  $C/C_0$  je relativní kapacita  $\sigma$  její relativní chyba.

Tabulka č.4: Závislost ionizačního proudu na vzdálenosti elektrod

$h$ [mm]	$t$ [s]	$d$ [dílký]	$I/C_0$ [mA/F]	$\sigma_{I/C_0}$ [mA/F]
60	28,7	10	360	19
50	29,1	10	359	20
40	29,4	10	362	20
30	35,3	10	317	18
20	60,0	10	206	12
10	170,8	10	96	6



Se zvětšující se vzdáleností elektrod je patrný zpočátku růst ionizačního proudu způsobený tím, že pro malé vzdálenosti je střední dráha doletu částic menší než vzdálenost elektrod a větší počet částic tak uniká aniž by předal veškerou svoji kinetickou energii pro ionizaci plynu v komoře. S rostoucí vzdáleností elektrod je tedy větší prostor, na kterém částice předává energii, roste tak ionizace (a s ní i proud) až do hodnoty kolem  $h = 40$  mm, kde nastává maximum. Můžeme tedy tuto hodnotu považovat za střední dolet  $\alpha$  částice. S dalším zvětšováním vzdálenosti dochází k mírnému poklesu proudu (zde téměř nezatelnému), který je způsoben růstem vzdálenosti na které mohou ionty rekombinovat aniž by došly k elektrodám.

Relativní aktivita dvou  $\beta$  zářičů byla měřena s radionuklidem  $^{90}\text{Sr}$  (označeným 3537 a 3536), podle vzorce (3) s uvážením toho, že se jednalo o jeden druh nuklidu, a dále obdobně, jako pro  $\alpha$  zářiče. Svod komory  $\beta$  byl 3dílký/29minut.

$$t_{3536} = 415 \text{ s}$$

$$t_{3537} = 347 \text{ s}$$

Pro oba nuklidy se jedná o průměr ze dvou měření, chybu v určení času odhaduji na 5 s.

$$A_{\beta} = A_{3537}/A_{3536}$$

$$A_{\beta} = (1,21 \pm 0,03)$$

**Diskuse:**

Chyba v určení  $k$  je zanedbatelně malá a do chyb výsledků se téměř neprojeví. Chyby výsledků jsou poněkud poddimenzovány, protože nebyl použit dostatečný počet měření (a tedy není znám přesněji rozptyl měřených hodnot). Při větším počtu opakovaných měření by ale neúměrně rostl čas experimentu a přesáhl by stanovenou dobu (krátce trvající měření byla opakována vícekrát, ale několikaminutová měření ne). Pro hodnotu svodu obou komor jsem použil hodnotu uvedenou u experimentu. Tato hodnota je poměrně malá a do výsledků nijak extrémně nezasahuje, proto její chybu zanedbávám. Skutečná hodnota svodu může být vyšší (je mimo jiné závislá na vlhkosti), ale pro její důkladné změření nezbýval čas.

**Závěr:**

Graduace elektrometru je shrnuta v Tabulce č.1 a graficky vynesena do Grafu č.1.

Lineární regresí byla zjištěna konstanta úměrnosti  $k = (1,04 \pm 0,01)\text{V/dílek}$ .

Charakteristika komory  $\alpha$  je shrnuta v Tabulce č.2 a vynesena do Grafu č.2.

Relativní aktivita dvou  $\alpha$  zářičů je  $A = (8,0 \pm 0,3)$ .

Závislost relativní kapacity na vzdálenosti elektrod je v Tabulce č.3 a Grafu č.3.

Závislost ionizačního proudu na vzdálenosti elektrod je uvedena v Tabulce č.4 a graficky znázorněna v Grafu č.4.

Relativní aktivita dvou  $\beta$  zářičů je  $A_\beta = (1,21 \pm 0,03)$

**Použitá literatura:**

- [1] Studijní texty, úloha A2 ([http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt\\_402.pdf](http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt_402.pdf))