

PRAKTIKUM IV

Úloha č.: **II**

Název: **Studium ionizačních komor**

Vypracoval: **Michal Bareš**

dne 3.1.2008

Pracovní úkol

- 1) Provedte 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 aktivitu radioaktivních zářičů je možné pomocí ionizačních účinků záření v plynech. Ionizující částice prolétávající v prostoru mezi deskami kondenzátoru vytváří podél své dráhy kladné a záporné ionty, které jsou elektrickým polem uváděny do pohybu směrem k elektrodám. Vzniká tak tzv. ionizační proud.

Závislost ionizačního proudu na napětí přivedeném na desky kondenzátoru se nazývá charakteristikou (ionizační) komory. V běžných případech má při konstantní intenzitě ionizujícího záření tato charakteristika typický průběh, který lze rozdělit do několika oblastí:

- *Oblast Ohmova zákona:* Mezi deskami kondenzátoru je tak malé napětí, že část vzniklých iontů zrekombinuje dříve než doletí 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 proporcionálnosti komory* začíná při napětí, kdy jsou vzniklé ionty 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 ionizačního 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 značný proud, není již ovšem možné rozlišit energii ani druhy částic záření.

V experimentu se používá nízkotlaká komora s konstantní ionizací. Jedná se v principu o nabitý vzduchový deskový kondenzátor. Působením ionizačního záření se udržuje konstantní ionizační proud, kterým se komora vybíjí. Ionizační proud se měří pomocí elektrometru, na němž se zjišťuje časová změna napětí.

Vzduch v ionizační komoře není za obvyklých podmínek dokonalým izolátorem. Působením různých vlivů (kosmické záření, stopová množství radioaktivních prvků atd.) se komora samovolně vybíjí takzvaným svodovým proudem. I když je velmi malý, je srovnatelný s ionizačním proudem. Proto musí být data získaná při měření vždy uvažovat opravu na tento efekt. Ionizační proud I , za nějž jsou odpovědné nabitě částice záření procházející účinným objemem komory získáme jako rozdíl vybíjecího I_V a svodového I_S proudu

$$I = I_V - I_S = \left[\left(\frac{\Delta Q}{\Delta t} \right)_V - \left(\frac{\Delta Q}{\Delta t} \right)_S \right] = kC \left[\left(\frac{\Delta d}{\Delta t} \right)_V - \left(\frac{\Delta d}{\Delta t} \right)_S \right] \quad (1)$$

kde $\Delta Q = C\Delta U = kC\Delta d$ je pokles náboje na kondenzátoru s kapacitou C za dobu Δt , ΔU je pokles napětí a Δd značí příslušný pokles údaje na elektrometru (o d dílků) za dobu Δt . k je pak kalibrační konstanta úměry mezi napětím a údajem na stupnici elektrometru.

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

Při srovnávacím měření aktivity dvou α zářičů je obecně třeba uvažovat i různou energii záření z obou zdrojů. Použijeme-li však zářiče ze vzorků stejného radioaktivního materiálu, energie jsou stejné a poměr aktivit je rovný poměru ionizačních proudů I

$$\frac{A}{A_0} = \frac{I}{I_0} = \frac{\left(\frac{\Delta d}{\Delta t} \right)_V - \left(\frac{\Delta d}{\Delta t} \right)_S}{\left(\frac{\Delta d}{\Delta t} \right)_{V_0} - \left(\frac{\Delta d}{\Delta t} \right)_S} \quad (2)$$

Při měření aktivity β zářičů je situace složitější. Vzhledem k doletu β částic, který je typicky větší než rozměry komory a vzhledem ke spojitému energetickému spektru β záření je nutné počítat se ztrátou energie záření v účinném objemu komory. Ta je v prvním přiblížení úměrná střední energii částic záření, jejich střední volné dráze a lineárnímu absorpčnímu koeficientu ve vzduchu. Pokud však pro srovnávací měření aktivit opět použijeme vzorky stejného radioaktivního materiálu, je charakter záření v obou případech stejný a poměr aktivit je rovný prostému poměru ionizačních proudů (2).

Výsledky měření

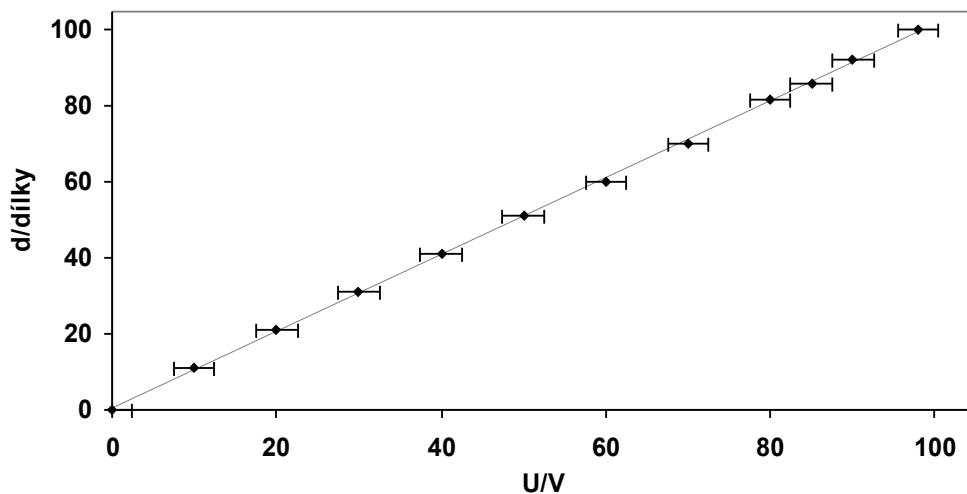
Nejprve jsem zkalibroval stupnici elektrometru pomocí voltmetru na zdroji napětí. Naměřená data jsou uvedena v tabulce 1.

Tabulka 1: Závislost výchyly elektrometru na přiloženém napětí

U/V	$d / \text{dílký}$
0	0
10	11
20	21
30	31
40	41
50	51
60	60
70	70
80	82
85	86
90	92,5
98	100

Chyba odečtu napětí byla malá v porovnání s třídou přesnosti voltmetru (která byla 2,5 při rozsahu 100V), chybu odečtu dílků jsem odhadl na $\pm 1V$ a $\pm 0,5$ dílku. Pomocí lineární regrese jsem určil kalibrační vztah jako $b = U / d = (0,982 \pm 0,003) V/\text{dílek}$

Graf 1: výchyly elektrometru na přiloženém napětí

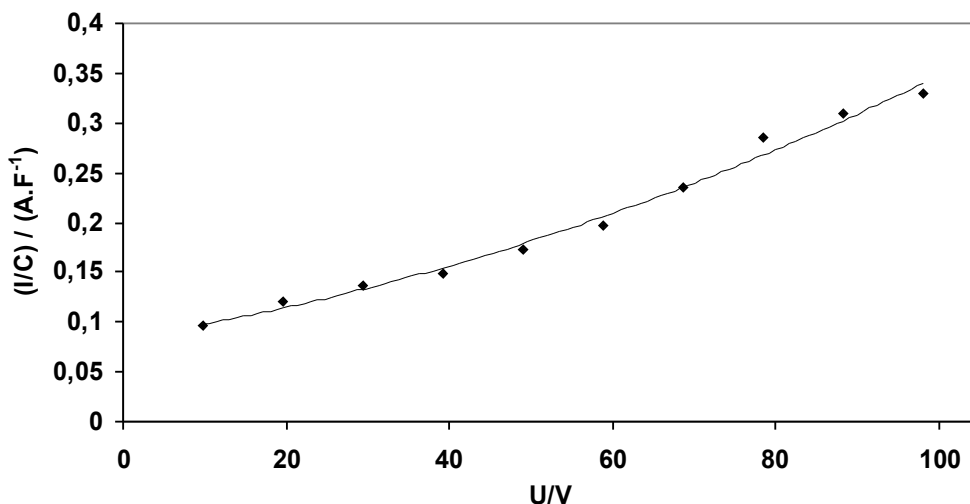


Dále jsem měřil charakteristiku α komory, přičemž jsem měřil dobu, za kterou poklesl údaj na elektrometru o 4 dílky, vzdálenost desek kondenzátoru byla 50mm. Naměřená data jsou uvedena v tabulce 2 a znázorněna v grafu 2.

Tabulka 2: Charakteristika komory

$d/\text{dílků}$	U / V	$\Delta t/s$			$\Delta t/s$	$(I_0/C) / (A.F^{-1})$
		1.	2.	3.		
10	9,8	43,4	40,5	37,6	40,1	0,10
20	19,6	32,7	32,3	31,8	32,2	0,12
30	29,5	30,1	28,8	27,5	28,2	0,14
40	39,3	27,8	26,0	24,2	26,1	0,15
50	49,1	23,0	22,5	21,9	22,5	0,17
60	58,9	20,0	19,7	19,3	19,8	0,20
70	68,7	16,8	16,4	15,9	16,5	0,24
80	78,6	13,3	13,7	14,1	13,7	0,28
90	88,4	12,6	12,6	12,5	12,6	0,31
100	98,2	11,9	12,0	12,0	11,9	0,33

Graf 2: Charakteristika komory



Provedl jsem opravu na svodový proud, který způsoboval pokles o 4 dílky za 34 minut. Vzhledem k ionizačnímu proudu je tedy svodový proud řádově menší a pro danou přesnost měření a orientační zjištění charakteristiky komory nebyla tato oprava nutná. Vzhledem k tomu, že úkolem bylo prozkoumat charakter závislosti a nikoliv absolutní hodnoty ionizačních proudů, vyhnul jsem se určování kapacity kondenzátoru a ionizační proud uvádím v jednotkách [A/F].

Z měření je zřejmé, že největší citlivost má komora při horní hranici používaných napětí, zároveň však ještě nedochází k samostatnému výboji, takže je výhodné používat k měření právě tuto oblast.

Dále jsem vyměnil zářiče, abych provedl srovnávací měření aktivit obou vzorků. Použil jsem napětí na kondenzátoru odpovídající 100 dílkům na elektrometru a měřil jsem dobu poklesu o 2 dílky. Vzdálenost desek jsem ponechal na 50mm. Naměřené hodnoty ionizačního proudu jsou shrnuty v tabulce 3.

Tabulka 3: Ionizační proud a relativní aktivita druhého vzorku

měření č.	1	2	3	
$\Delta t/s$	57,7	54,2	55,6	55,8
$(I/C) / (A.F^{-1})$	0,0321	0,0343	0,0334	0,033
A/A_0				0,101

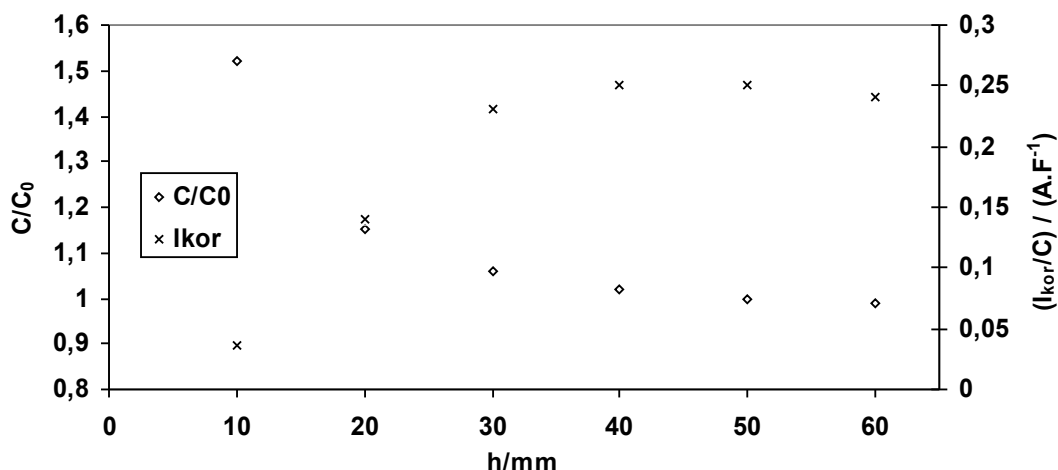
Relativní aktivitu 2. vzorku jsem změřil jako $(0,101 \pm 0,005)$, čili zhruba desetinou oproti vzorku referenčnímu.

Jako poslední jsem proměřil závislost ionizačního proudu na vzdálenosti desek kondenzátoru h . Zároveň jsem také zjišťoval závislost kapacity kondenzátoru na vzdálenosti desek, přičemž ta je nepřímo úměrná napětí na kondenzátoru, je-li vázaný náboj konstantní. Měřenou veličinou bylo právě napětí na kondenzátoru d . Hodnoty ionizačního proudu jsem poté korigoval na změřenou změnu kapacity. Počáteční napětí jsem volil odpovídající 50 dílkům na stupnici elektrometru při vzdálenosti desek 50mm, vzdálenost jsem měnil v rozsahu 10-60mm. Naměřené hodnoty jsou shrnuty v tabulce 4 a znázorněny v grafu 3.

Tabulka 4: Závislost kapacity kondenzátoru a ionizačního proudu na vzdálenosti desek

h / mm	$d / dílky$	C / C_0	$\Delta t/s$	$(I_{kor}/C) / (A.F^{-1})$
10	33,0	1,52	151,0	0,036
20	43,5	1,15	32,2	0,14
30	47,0	1,06	18,0	0,23
40	49,0	1,02	15,9	0,25
50	50,0	1,00	15,7	0,25
60	50,5	0,99	16,0	0,24

Graf 3: Závislost kapacity kondenzátoru a korigovaného ionizačního proudu na vzdálenosti desek



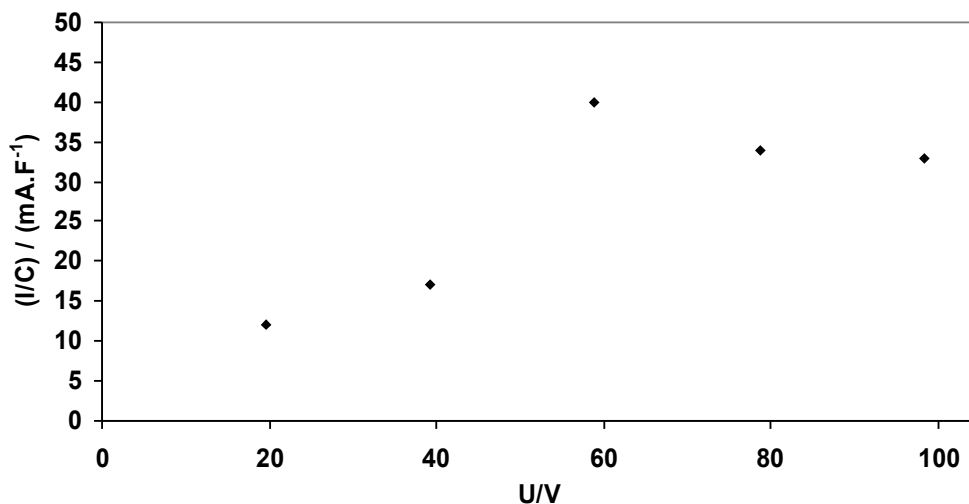
Změřená závislost ionizačního proudu má úzkou souvislost s doletem alfa částic ve vzduchu. Pokud je rozměr komory (tj. vzdálenost desek kondenzátoru) menší než dolet částic, ty neztrácejí uvnitř komory veškerou energii a ionizační proud je tudíž nižší. Je vidět, že při vzdálenosti desek větší než 40mm již ionizační proud neroste, z čehož lze usuzovat, že dolet α částic z použitého zářiče ve vzduchu je právě zhruba 40mm. Proti tomu působí efekt delší dráhy, na níž mohou ionty zrekombinovat, což by vedlo k určitému poklesu ionizačního proudu se vzrůstající vzdáleností desek. Náznak takového poklesu je možné ve výsledcích pozorovat, nicméně vzhledem k chybám provádějícím měření je to neprůkazné.

Jako poslední úkol jsem měřil relativní aktivitu 2 β zářičů pomocí β komory. Nejprve jsem zhruba proměřil charakteristiku komory – data shrnuje tabulka 5 a graf 4. Měřil jsem dobu poklesu napětí o ekvivalent 1 dílku, a zároveň jsem provedl opravu na svodový proud, který činil 3 dílky za 29 minut (a opět tedy byl řádově menší než ionizační proud).

Tabulka 5: Charakteristika β komory

d/dílku	U / V	$\Delta t/s$	(I _o /C) / (mA.F ⁻¹)
20	19,6	70,8	12
40	39,3	52,6	17
60	58,9	23,5	40
80	78,6	27,7	34
100	98,2	28,5	33

Graf 4: Charakteristika β komory



Z naměřených dat je zjevné, že při měření došlo k hrubé chybě, nicméně se dalo opět očekávat, že nejlepší citlivost bude mít komora při horní hranici napětí. Srovnávací měření aktivity druhého vzorku jsem tedy provedl pro napětí ekvivalentní 100 dílkům, přičemž jsem měřil dobu poklesu o 1 dílek. Naměřená data jsou uvedena v tabulce 6.

Tabulka 6: Ionizační proud a relativní aktivita druhého β vzorku

měření č.	1	2	3	
$\Delta t/s$	24,5	39,3	47,2	37,0
$(I/C) / (mA.F^{-1})$	38	23	19	25
A/A_0				0,8

Relativní aktivitu druhého vzorku je změřil jako $(0,8 \pm 0,2)$ aktivity vzorku referenčního. Velká chyba je dána značným rozptylem měření ionizačního proudu.

Diskuze

Měření bylo zatíženo běžnými chybami a nepřesnostmi, jako jsou nejmenší dílek stupnice, statistický rozptyl naměřených hodnot, nepřesné určení okamžiku poklesu o určitý počet dílků stupnice, které byly dobře odhadnutelné a bylo s nimi možné běžným způsobem pracovat. Problematickým místem však bylo zejména velmi nestandardní chování soustavy ionizační komora-elektrometr. Při odpojování komory od zdroje napětí docházelo někdy ke skokové změně údaje na elektrometru cca o 0,5 dílku, což sice bylo možné vhodným způsobem odečtu údajů možné eliminovat, nicméně zůstává otázka, jestli příčina takového skoku neovlivňovala také proces vybíjení. Navíc při opakovaných měřeních vybíjení kondenzátoru (komory) jsem dostával velmi odlišné výsledky, daleko za hranicí náhodného rozptylu. V několika případech dokonce bylo indikováno samovolné nabíjení místo vybíjení. Několikanásobným opakováním měření bylo sice možné identifikovat ta měření, která byla zatížena hrubou chybou a ze zpracování je vyloučit, nicméně tento postup byl časově velmi náročný a při měření β komory na něj již nezbyl čas. Proto jsou zejména výsledky měření s β komorou zatíženy velkou, obtížně kvantifikovatelnou chybou a považuji je spíše za orientační. U zkoumání α komory jsem se snažil o eliminaci těchto nepříjemných efektů a udanou chybu výsledků považuji za odpovídající skutečnosti.

Obecně se mi však podařilo ověřit, že ionizační komory jsou zařízení schopná měřit a porovnávat aktivitu radioaktivních zdrojů a že dolet α částic ve vzduchu je v řádu několika centimetrů. Také jsem například zjistil, že u použitého vzorku vyletují částice pouze do jednoho poloпростору (když jsem omylem položil vzorek neaktivní stranou směrem do komory, ionizační proud byl velmi malý).

Závěr

Okalibroval jsem stupnici elektrometru vztahem $b = U / d = (0,982 \pm 0,003) V/dílek$. Proměřil jsem charakteristiku α i β komor (viz. tabulky a grafy výše) a určil oblast napětí nejvhodnější pro další experiment. Určil jsem ionizační proudy generované různými zdroji α i β záření a stanovil relativní aktivity dvojic vzorků. Slabší zdroj α vykazoval relativní aktivitu $(0,101 \pm 0,005)$ vůči zdroji silnějšímu, slabší zdroj β vykazoval relativní aktivitu $(0,8 \pm 0,2)$ vůči silnějšímu zdroji. Rovněž jsem proměřil závislost kapacity kondenzátoru tvořeného α komorou na vzdálenosti jeho desek

Literatura

- [1] studijní text k úloze č. 2; <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp>
 [2] Zpracování výsledků fyzikálních měření, J. Englich, 1999