

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.

Měření

Při měření se sleduje napětí na vzduchovém kondenzátoru. Z průběhu napětí lze určit úbytek náboje na deskách kondenzátoru za čas, který je způsoben vedením proudu v částečně ionizovaném vzduchu mezi kondenzátory. K ionizaci dochází z části přirozeně (kosmickým zářením, aktivitou pozadí,...), ale pro experiment je důležité zvýšení této přirozené ionizace vložení radioaktivního zářiče do kondenzátoru.

Počet ionizovaných atomů je přímo úměrný aktivitě zářiče, takže musí být úměrný i naměřený úbytek náboje kondenzátoru. Při nízké intenzitě pole mezi deskami nedopadnou všechny ionty na kondenzátor, takže při zvyšování napětí (a tedy i intenzity pole) se zvyšuje i vybíjecí proud. Při určitém napětí dojde k nasycenému stavu, kdy všechny vzniklé ionty přispívají k vybíjecímu proudu. Další nárůst napětí už nebude mít vliv na rychlost vybíjení. Ke změně dojde až při dalším podstatném zvýšení napětí, kdy urychlené ionty získají dostatečnou energii, aby způsobili sekundární ionizaci a tím opět zvýšili vybíjecí proud.

Velikost ionizačního proudu při daném napětí (takovém, aby nedocházelo k sekundární ionizaci) závisí na počtu částic záření, které interagují mezi deskami kondenzátoru. Tento počet je přímo úměrný aktivitě vzorku a souvisí i se střední volnou dráhou částí a s rozměry kondenzátoru. Pokud budu měřit stejné izotopy ve stejném uspořádání experimentu, bude poměr zjištěných ionizačních proudů roven poměru aktivit vzorků.

Pokud budu měnit vzdálenost elektrod deskového kondenzátoru, bude se tím měnit i množství částic interagujících v kondenzátoru. To se samozřejmě projeví na vybíjecím proudu. Za předpokladu, že většina částic opouští zářič ve směru kolmém na desku kondenzátoru mohu napsat:

$$I = 1 - \exp\left(-\frac{d - d_0}{l}\right) \quad (1)$$

kde d je vzdálenost desek kondenzátoru, d_0 vzdálenost zářiče od bližší desky a l střední volná dráha vyzařovaných α -částic.

Měření

Nejdříve jsem zkalibrovala použitý elektrometr. Hodnoty naměřené při kalibraci jsou uvedeny v Tabulce 1 a vyneseny v Grafu 1. Velikost převodního koeficientu jsem určila lineární regresí:

$$\mathbf{k = (1,038 \pm 0,002)V/dílék}$$

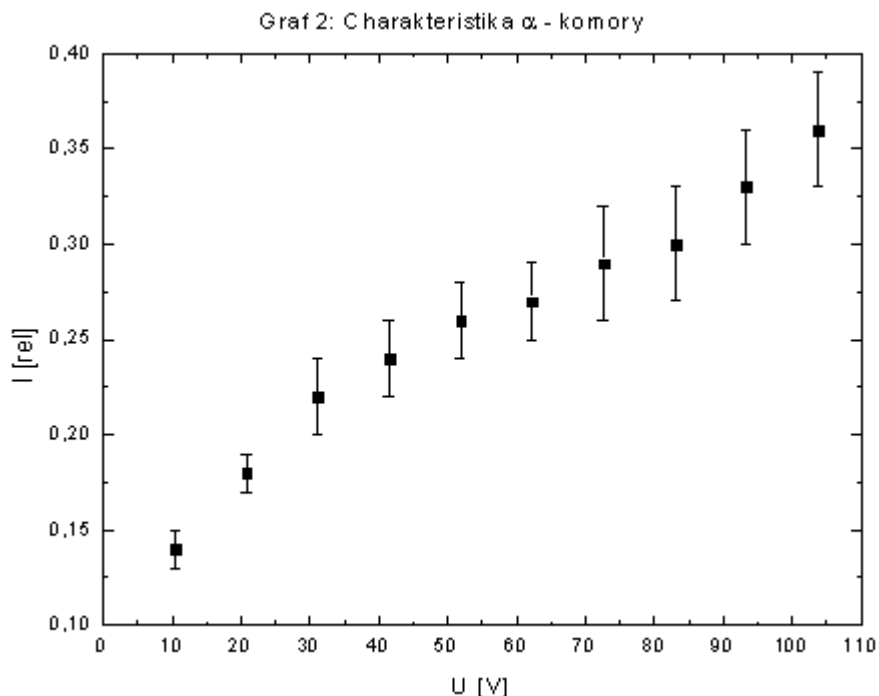
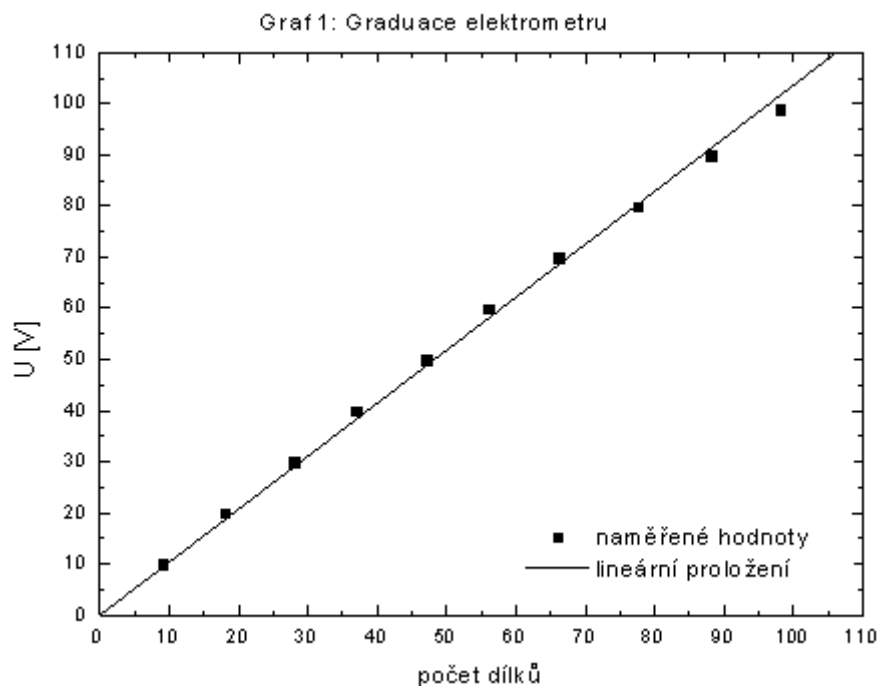
U [V]	10	20	30	40	50	60	70	80	90	99
počet dílků	9	18	28	37	47	56	66	78	88	98

Dále jsem měřila charakteristiku komory pro α -částice. Vzdálenost desek kondenzátoru byla konstantní $d = 60\text{mm}$, použitý vzorek označený jako EA14. Protože se během měření neměnila kapacita kondenzátoru, platí $\Delta U \sim \Delta Q$ a proto můžu určit relativní hodnotu vybíjecího proudu jako změnu napětí mezi deskami za čas. Pro různá počáteční napětí jsem měřila, za jak dlouho poklesne napětí na elektrometru o 5 dílků. Vypočítanou hodnotu jsem ještě opravila o svodový proud. (za 10min pokles o 5 dílků, tzn. $S_\alpha = (0,008 \pm 0,002)\text{dílku/s}$):

$$I = \frac{\Delta U}{\Delta t} - S_\alpha \quad (2)$$

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 2, kde jsou vypočítané i hodnoty vybíjecích proudů, a jsou vyneseny v Grafu 2.

Tabulka 2: Charakteristika α - komory										
U [V]	10,37	20,74	31,11	41,48	51,85	62,22	72,59	82,96	93,33	103,7
t [s]	34,05	27,5	22,48	21,26	19,04	18,32	17,55	16,67	15,31	14,12
I [rel]	0,14	0,18	0,22	0,24	0,26	0,27	0,29	0,3	0,33	0,36
σ_I [rel]	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03



Z Grafu 2 je patrné, že komora se ani při nejvyšších použitelných napětích nedostane do oblasti nasyceného proudu, a proto budu pro další měření používat horní část z rozsahu možných napětí.

Při určování relativní aktivity dvou vzorků, jsem měřila dobu, za kterou kleslo napětí na deskách ze 100 na 75 dílků. Pro oba dva vzorky byla vzdálenost desek nastavena na 60mm. V Tabulce 3 jsou uvedeny naměřené hodnoty a hodnoty vybíjecích proudů opravené o svod komory.

	ΔU [dílků]	5	10	15	20	25
vzorek EA14	Δt [s]	14,12	29,72	45,60	62,42	81,18
	I [rel]	0,359	0,341	0,333	0,324	0,311
vzorek EA13	Δt [s]	121,66	251,41	390,30	531,00	676,94
	I [rel]	0,034	0,033	0,032	0,031	0,030

Poměr vybíjecích proudů odpovídá poměru aktivity vzorků: $A(EA14) : A(EA13) = 10,5 \pm 1,0$

Pro měření závislosti vybíjecího proudu na vzdálenosti desek už není kapacita aparatury konstantní a platí:

$$I = \left(\frac{\Delta U}{\Delta t} - S_{\alpha} \right) C \quad (3)$$

kde C je kapacita aparatury.

Nejdříve jsem určila relativní změny kapacity kondenzátoru pro jednotlivé vzdálenosti. Protože náboj zůstává konstantní, můžu určit kapacitu pomocí změny napětí při změně vzdálenosti desek. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 4.

Výslednou závislost ionizačního proudu opraveného o svodový proud zachycují Tabulka 5 a Graf 3.

d [mm]	počet dílků	C/C_0	σ_{CC0}
60	100	1,00	0,02
50	98	0,98	0,02
40	95	0,95	0,02
30	90	0,90	0,02
20	81	0,81	0,02
10	60	0,60	0,02

d [mm]	t [s]	počet dílků	I [rel]	σ [rel]
60	14,12	5	0,359	0,090
50	13,89	5	0,361	0,091
40	14,58	5	0,333	0,083
30	17,91	5	0,259	0,061
20	30,57	5	0,134	0,030
10	115,66	5	0,022	0,006

Poslední úkol je měření relativní aktivity dvou zářičů beta, k čemuž stačí porovnat vybíjecí proudy. Měřila jsem pokles napětí o 10 dílků. Pro zářič: 3536: $t = (555,31 \pm 5)s$; 3537: $t = (527,26 \pm 5)s$. Z těchto hodnot přímo plyne poměr aktivit:

$$A(3537) : A(3536) = 1,053 \pm 0,020$$

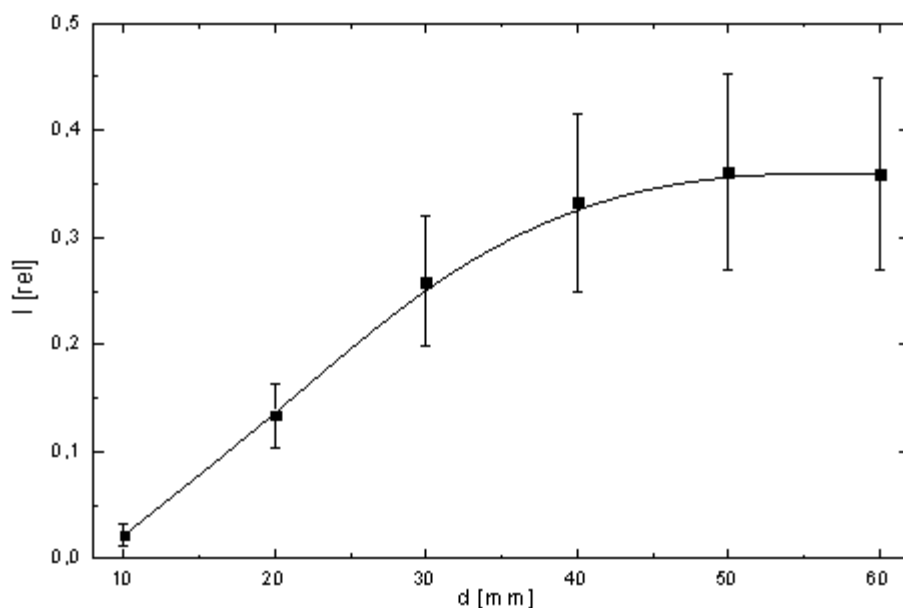
Diskuze

Z charakteristiky komory vyplývá, že možný rozsah napětí pokrývá oblast Ohmova zákona ionizačního proudu. Proto jsem při dalším měření používala maximální hodnotu napětí na kondenzátoru.

Hodnota svodového proudu je poměrně malá, není však zanedbatelná. Naměřila jsem ji s poměrně velkou chybou, což vzhledem k přesnosti měření času a napětí, nepovažuji za problém, i když to ovlivnilo chyby dalších měření.

V Grafu 3 závislosti ionizačního proudu komory pro záření alfa na vzdálenosti elektrod

Graf 3: Závislost ionizačního proudu na vzdálenosti desek



kondenzátoru je patrný růst až do hodnoty kolem 50 mm. Pak následuje prudký pokles proudu. Nárůst je způsoben tím, že se zprvu při zkracování vzdálenosti mezi zdrojem záření a elektrodami zároveň zmenšuje oblast, kde mohou ionty zpátky rekombinovat. Elektrometr pak registruje maximální část ze všech vytvořených iontů. Prudký pokles nastává ve chvíli, kdy je vzdálenost zářiče a elektrod menší než hodnota středního doletu α částic. Ty potom nepoužijí veškerou svoji kinetickou energii k ionizaci prostředí. Množství vytvořených iontů (ionizační proud) se tak prudce zmenšuje.

Závěr

Provedla jsem kalibraci stupnice elektrometru ve voltech. Zjištěné hodnoty jsou uvedeny Tabulce 1 a Grafu 1. Lineární regresí spočtený koeficient úměrnosti je:

$$k = (1,038 \pm 0,002)V/\text{dílek}$$

Změřila jsem charakteristiku komory pro záření alfa. Měření dokumentuje Tabulka 2 a Graf 2.

Stanovila jsem relativní aktivity dvou α zářičů, což shrnuje Tabulka 3. Relativní aktivita zářičů je:

$$A(\text{EA14}) : A(\text{EA13}) = 10,5 \pm 1,0$$

Změřila jsem ionizační proud komory pro záření alfa v závislosti na vzdálenosti elektrod kondenzátoru. Měření je zachyceno v Tabulce 5 a též Grafu 3.

Určila jsem relativní aktivity dvou β zářičů.

$$A(3537) : A(3536) = 1,053 \pm 0,020$$

Literatura

- [1] Studijní text k fyzikálnímu praktiku IV. - <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/>