

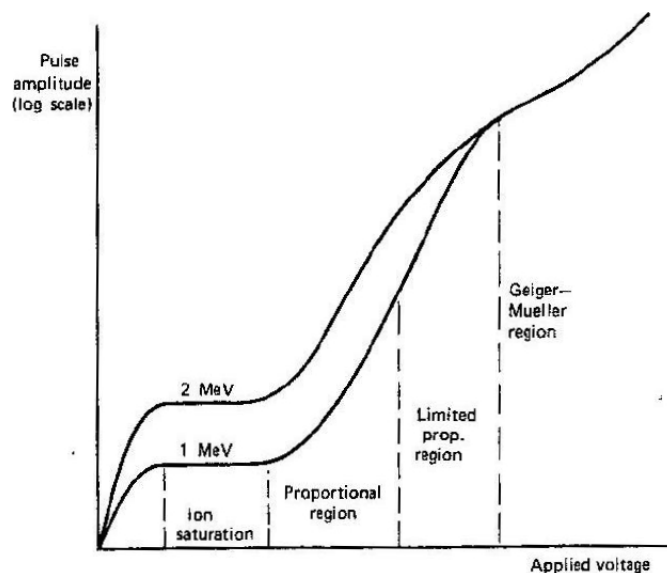
## 1 Pracovní úkoly

1. Pomocí ionizační komory (IK) zjistěte, který z přiložených radioaktivních zářičů má větší aktivitu.
2. Změřte V–A charakteristiky IK v rozsahu 0 – 500 V při vzdálenostech elektrod 2 cm a 6 cm. Použijte intenzivnější zářič.
3. Identifikujte charakteristické oblasti V–A závislosti. Určete optimální napětí a optimální vzdálenost elektrod IK.
4. Změřte závislost svodového proudu na napětí v rozsahu 0 – 500 V při optimální vzdálenosti elektrod.
5. Změřte poměr aktivit přiložených zářičů, odhadněte jejich absolutní aktivity (střední energie na vytvoření iontového páru ve vzduchu je 35 eV). Stanovte dosah  $\alpha$ -částic ve vzduchu.
6. Pomocí osciloskopu změřte závislost amplitudy elektrického impulzu Geiger-Müllerova (GM) detektoru na napětí v rozsahu 0 – 1500 V. Nepřekračujte napětí 1500 V aby nedošlo k destrukci GM detektoru!
7. Identifikujte charakteristické oblasti V–A závislosti GM detektoru.

## 2 Teoretický úvod

Obvyklé metody měření aktivity radioaktivních zářičů jsou založeny na ionizačních účincích záření a to nejčastěji v plynech a to mezi dvěma elektrodami. Vysokoenergetické nabitě částice, které vniknou do prostoru mezi elektrodami detektoru vyvolají ionizaci plynu a následně jsou ionty přitahovány k elektrodám, což vytváří ionizační proud. V klasických případech má voltampérová charakteristika průběh, který je znázorněný na obr. č. 1, ve kterém jsou znatelné následující oblasti:

- **Oblast Ohmova zákona**, ve které se část iontů rekombinuje předtím než dosáhne elektrody a proud je závislý na přiloženém napětí.
- Při rostoucím napětí jsou stále rychleji odsávány ionty k elektrodám a nestačí se rekombinovat. Přestává platit úměrnost mezi napětím a proudem.
- **Oblast nasyceného proudu** je region, kde je již proud konstantní a nezávisí na napětí. Téměř veškerý náboj, který se uvolní díky ionizaci je odnesen na elektrody. Tato oblast je typická pro funkci ionizačních komor.
- **Oblast plynového/lavinového zesílení** je oblastí, kdy je zase proud závislý na přiloženém napětí. Ionty a elektrony prodělávají mnoho srážek s neutrálními atomy, či molekulami plynové náplně. Napětí je tak vysoké, že elektrony během srážek mohou získat takovou energii, že mohou ionizovat další neutrální částice plynu. To je právě jev lavinového zesílení - každý elektron uvolněný v primární ionizaci zářením generuje určité množství sekundárních elektronů, které přispívají elektrickému proudu.
- V **oblasti proporcionality** není plynové zesílení závislé na primární ionizaci a ionizační proud je úměrný počtu iontových párů vzniklých přímým působením záření.
- Další zvyšování napětí vede do **oblasti omezené proporcionality**, kde se již projevuje to, že kladné ionty se pohybují vůči elektronům relativně pomalu a kladné ionty zůstávají v objemu detektoru, což vede ke zeslabení elektrického pole a je omezována úměrnost mezi signálem a prvotní ionizací.
- **Geiger-Müllerova oblast** je typická tím, že již vůbec nezávisí na síle původního signálu. Zesílení v detektoru lavinovým jevem vyvolá signál, který je stejný pro všechny intenzity prvotního signálu.



Obrázek 1: Voltampérová charakteristika plynového detektoru - převzato z [1]

Plynová komora používaná v praktiku je v podstatě vzduchovým kondenzátorem, ve kterém se působením prakticky konstantního ionizačního záření na konstantního napětí udržuje zhruba konstantní ionizační proud, který můžeme měřit pikoampérmetrem.

Pokud označíme střední kinetickou energii uvolnění  $\alpha$ -částice  $T_\alpha$  a  $E_i$  energii potřebnou na vytvoření iontového páru ve vzduchu. Dle [1] pak pro neenergičtější částice vyletující z používaného zářiče  $^{212}\text{Po}$  platí, že mají energii  $T_\alpha = 8,78 \text{ MeV}$ , čemuž ve vzduchu za normálních podmínek odpovídá dolet menší než 9 cm a ionizační energie má hodnotu  $E_i = 35 \text{ eV}$ . Pokud by se všechna energie  $\alpha$ -částice spotřebovala pouze na vytvoření iontových párů, pak by při ionizačním proudu  $I$  byla absolutní aktivita zářiče

$$A = \frac{I E_i}{e T_\alpha}. \quad (1)$$

Toto ale bude spíše spodní odhad aktivity, protože ne všechny  $\alpha$  částice a ne všechna jejich energie se přemění právě pouze v ionizační energii.

### 3 Měření

Svodový proud je v podstatě měření proudu procházejícího kondenzátorem bez přítomnosti zářiče. Svodový proud je téměř nulový a proto zanedbatelný v dalších měřeních, jak je vidět z tabulky č. 1, kde jsou naměřené svodové proudy v rozsahu od 0 V do 500 V. Měření svodového proudu proběhlo pro vzdálenost elektrod 6 cm.

K dispozici pro měření byly dva zářiče, z nichž silnější byl vybrán pro proměření V–A charakteristiky pro vzdálenosti elektrod 2 cm a 6 cm. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 2. Jako  $I_2$  je označen proud naměřený pro vzdálenost elektrod 2 cm a  $I_6$  je pro 6 cm. Tyto hodnoty jsou pak graficky znázorněny v grafu na obr. č. 2.

Z grafu je vidět, že plato nastává u obou vzdáleností elektrod pro hodnoty napětí nad 100 V. Je spekulativní, jestli nenastává již o něco dříve, ale od této hodnoty je zcela zřejmé. A v oblasti plata zůstáváme až do 500 V. Z tohoto rozmezí napětí jsem pak vypočítal střední hodnoty nasycených proudů pro obě vzdálenosti desek (jako chybu беру statistickou chybu)

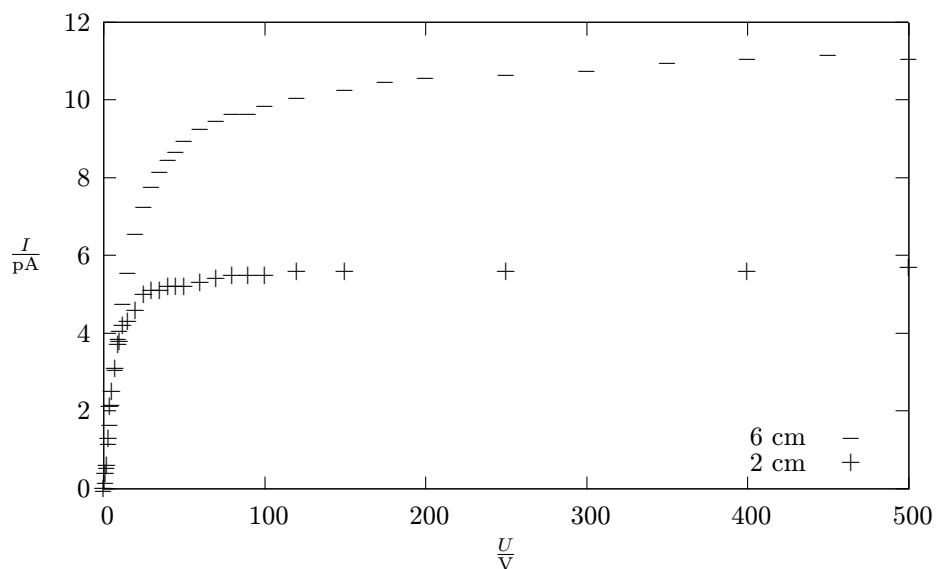
$$\bar{I}_2 = (5,6 \pm 0,1) \text{ pA}$$

Tabulka 1: Měření svodového proudu

$U/V$	$I_S/pA$
0	0
50	0,01
100	0,02
150	0,02
200	0,03
350	0,03
500	0,03

Tabulka 2: Měření V–A charakteristiky detektoru pro různé vzdálenosti elektrod

$U/V$	$I_2/pA$	$I_6/pA$	$U/V$	$I_2/pA$	$I_6/pA$	$U/V$	$I_2/pA$	$I_6/pA$
0	0	0	20	4,6	6,6	100	5,5	9,9
1	0,4	0,2	25	5,0	7,3	120	5,6	10,1
2	0,6	0,6	30	5,1	7,8	150	5,6	10,3
3	1,3	1,2	35	5,1	8,2	175		10,5
4	2,1	1,7	40	5,2	8,5	200		10,6
5	2,5	2,2	45	5,2	8,7	250	5,6	10,7
7	3,1	3,1	50	5,2	9,0	300		10,8
9	3,7	3,9	60	5,3	9,3	350		11,0
10	3,8	4,1	70	5,4	9,5	400	5,6	11,1
12	4,2	4,8	80	5,5	9,7	450		11,2
15	4,3	5,6	90	5,5	9,7	500	5,7	11,1



Obrázek 2: V–A charakteristiky detektoru se silnějším zářičem pro vzdálenost elektrod 2 a 6 cm

Tabulka 3: Závislost amplitudy elektrického impulsu GM detektoru na přivedeném napětí

$U/\text{V}$	$U_s/\text{mV}$
914	0,5
1000	1
1076	2
1100	5
1186	10
1266	20
1350	40
1420	80
1452	100
1478	150
1496	200

$$\bar{I}_6 = (10,7 \pm 0,4) \text{ pA}$$

Oblast, kde alespoň zhruba platí Ohmův zákon je pro menší vzdálenost elektrod zhruba do 25 V a pro větší vzdálenost elektrod je to zhruba do 40 V.

Vzhledem k tomu, že vyšší hodnoty proudu byly naměřeny pro vyšší vzdálenost elektrod a maximální dolet částic je 9 cm, tak je vhodnější použít detektor nastavený na vzdálenost elektrod 6 cm.

Druhý zářič byl proměřen pro vzdálenost elektrod 6 cm a 500 V a byla naměřena hodnota ionizačního proudu  $I' = 1,1 \text{ pA}$ . Poměr aktivit zářičů má smysl určovat za stejných podmínek, kdy byla hodnota proudu u prvního vzorku  $I = 11,1 \text{ pA}$ . Pro poměr aktivit platí

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{I}{I'} \approx 10$$

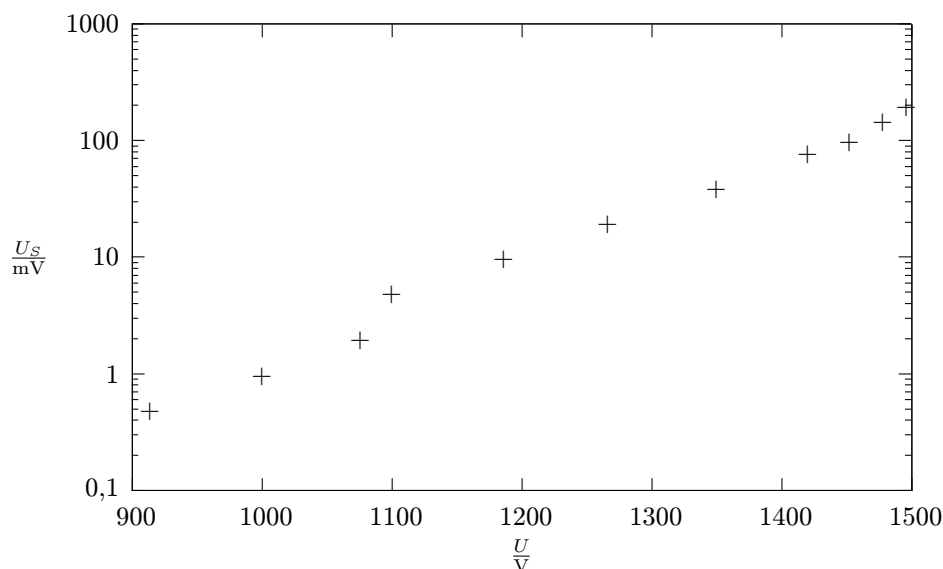
A řádový odhad absolutní aktivity zářičů založený na velikosti naměřeného proudu a předpokladech uvedených v teorii je

$$A_1 \approx 300\text{s}^{-1}$$

Nakonec jsem provedl na osciloskopu měření závislosti amplitudy elektrického pulzu Geiger-Müllerova detektoru na napětí. Naměřená data jsou v tabulce č. 3, kde  $U$  je budící napětí a  $U_s$  je amplituda naměřeného signálu. Graficky je pak tato bulka zpracovaná v grafu s logaritickým měřítkem na obr. č. 3. Naměřené hodnoty jsou evidentně z oblasti proporcionality, resp. omezené proporcionality a do typické oblasti GM detektoru jsem se při měření nedostal, protože maximální dovolené napětí při měření bylo 1500 V.

## 4 Diskuse

Všechna měření voltampérové charakteristiky jsou ovlivněná určitou chybou kvůli tomu, že při změně napětí na elektrodách dochází k nabíjení/vybíjení kondenzátoru (detektoru), které má exponenciální závislost na čase a proud je během tohoto procesu vyšší/nížší než proud, který chceme měřit. Při téměř všech měřeních jsem postupoval směrem od nejnižších hodnot napětí po ty nejvyšší, čímž se tato chyba stává ryze systematickou a to v mém případě se jedná o nadhodnocování procházejícího proudu. Při měření jsem se samozřejmě snažil počkat než se hodnota proudu ustálila, ale pro přesnější měření by bylo potřeba jenom několik hodin proměřovat jedinou voltampérovou charakteristiku.



Obrázek 3: Závislost amplitudy elektrického impulsu GM detektoru na přivedeném napětí

Na druhou stranu byla přesnost použitých přístrojů velice vysoká. Svodový proud byl velice nízký - ve skutečnosti nejspíš prakticky nulový, pokud bych při měření počkal delší dobu. Proto jsem mohl vliv svodového proudu na měření zanedbat.

Zapomněl jsem ověřit, že použitý zářič je  $^{212}\text{Po}$ , což by mělo vliv na určení maximální energie  $\alpha$ -částice vyletující z radioaktivního rozpadu. Na druhou stranu by tato energie měla být řádově stejná i pro možná jiný použitý zářič. Navíc jsem při určování počtu vyletujících částic neuvažoval to, že se energie vyletujících částic přeměňuje i v jiné formy energie než ionizační, přičemž pro výpočet bylo předpokládáno, že se všechna energie přemění právě v ionizační energii. Navíc některé částice uniknou mimo detektorovou oblast a k ionizaci dojde mimo detektor. To je další důvod pro to považovat tento odhad za značně podceněný. Myslím si, že skutečná aktivita zářiče je zhruba o řád výše než určená měřením a výpočtem. Na druhou stranu určení poměru relativní aktivity zářičů je nejspíše relativně přesné s chybou nejspíše pod 10%.

Při měření pomocí Geiger-Müllerova detektoru jsem pomocí osciloskopu odhadoval, kdy střední hodnota impulsů odpovídá určitým hodnotám napětí signálu, což mohlo vést k tomu, že jsem mírně systematicky podhodnocoval, či nadhodnocoval naměřené hodnoty.

## 5 Závěr

Změřil jsem V–A charakteristiky detektoru pro vzdálenosti 2 a 6 cm v rozsahu napětí 0 – 500 V pro silnější zářič a výsledky jsem graficky zpracoval. Určil jsem silnější zářič a zjistil, že poměr aktivit intenzivnějšího a slabšího zářiče je  $\frac{A_1}{A_2} \approx 10$ . Pokusil jsem se odhadnout absolutní aktivitu zářičů.

Změřil jsem charakteristiku GM pulzů detektoru.

## 6 Literatura

- [1] **Studijní text k fyzikálnímu praktiku**  
 Studium plynových detektorů  
[http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt\\_402.pdf](http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt_402.pdf)