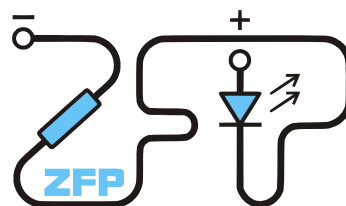


Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

## Fyzikální praktikum IV



### Atomovka



Úloha č. A2

Název úlohy: Studium plynových detektorů 

Jméno: Josef Iosephus Kučera

Datum měření: 1. 12. 2021

Připomínky opravujícího:

Protokol je psaný dost nevhodným stylem, od používání zvláštních jazykových prostředků až po s

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Theoretická část	0–2	
Výsledky a provedení měření	0–9	
Diskuse výsledků	0–4	
Závěr	0–1	
Použité knižstvo	0–1	
<b>Celkem</b>	max. 17	<b>(2,4,1,1,1)=spolu 9 bodov</b>

Posuzoval: Ingrid Knapovaknapova@ip

dne: 20.12.2021

## Pracovní úkol

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 různých vzdálenostech elektrod 1-6 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.
7. Identifikujte charakteristické oblasti V-A závislosti GM detektoru.

# Theorie

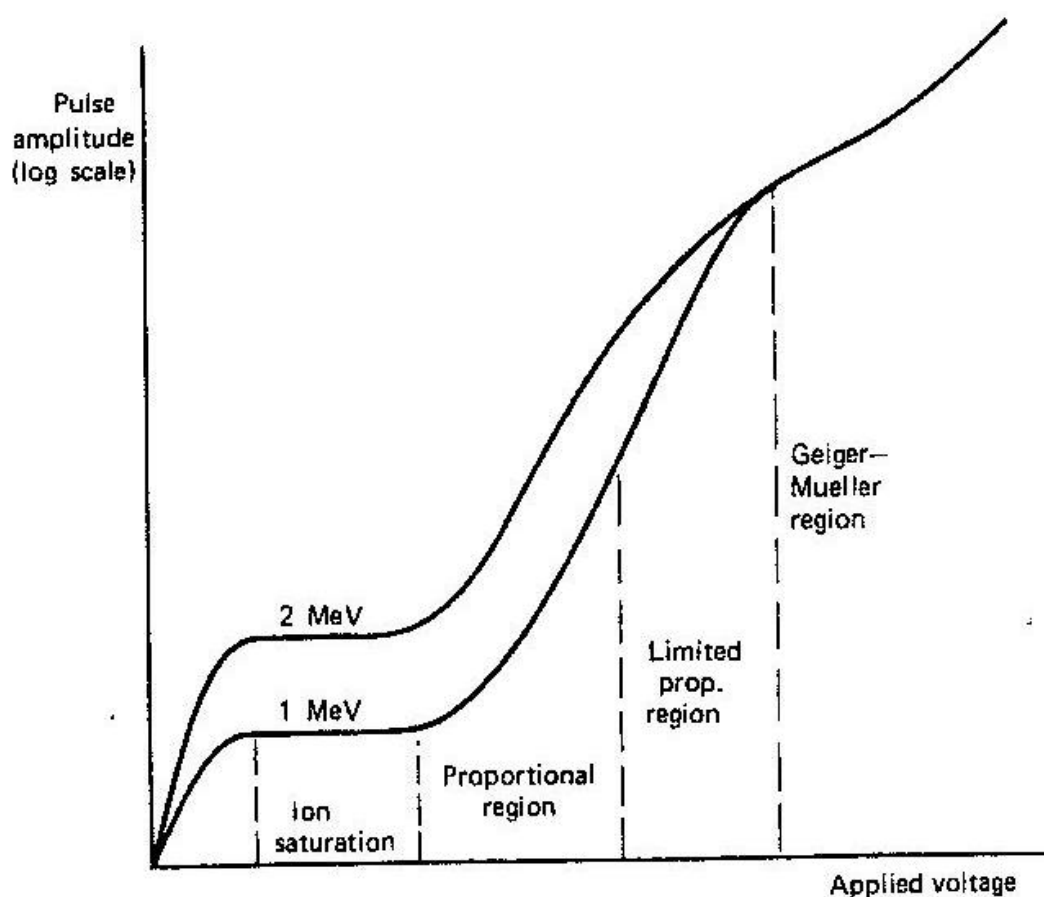
## Úvod

**ionizační** **iontová** komora (IK) jest v podstatě deskový kondensátor s dielektrikem mezi deskami, které tvoří vzduch. Jako taková jest vhodná k detekci radioaktivního záření pomocí ionisace. Plyny se totiž stávají vodivými, prochází-li jimi ionizační záření.

Pokud mezi desky kondensátoru, na němž je přiložené napětí, umístíme  $\alpha$ -zářič, vytvoří  $\alpha$  částice podél své dráhy kladné a záporné ionty nebo volné elektrony, které jsou uváděny elektrickým polem do pohybu směrem k elektrodám.

Takto mezi deskami kondenzátoru prochází ionizační proud. Ten závisí na intenzitě ionizačního záření, na energii ionizujících částic a na napětí mezi deskami kondenzátoru. Všechny 3 závislosti ověříme v rámci tohoto protokolu.

Abychom naše měření dokázali nějak kvantifikovat, používáme tzv. Volt-Ampérovou charakteristiku (zkráceně V-A charakteristika). Ta má při konstantní intenzitě ionizujícího záření typický průběh, který lze rozdělit dle Obrázku 1 do následujících oblastí:



Obr.1: V-A charakteristika IK a její charakteristické oblasti, přejato z [1]

1. Oblast Ohmova zákona.
2. Oblast iontového nasycení
3. Oblast plynového/lavinového zesílení
4. Oblast omezené proporcionality
5. Geiger-Müllerova oblast

Pro první oblast platí lineární přírůstek proudu vůči napětí vyjádřený Ohmovým zákonem:

$$I = \frac{U}{R} \quad (1)$$

Druhá oblast (iontového nasycení) se pak chová více méně jako konstantní funkce. Další oblasti se pak chovají spíše jako exponenciální funkce.

### ***Relativní aktivita zářičů***

Pro relativní aktivitu  $k$  2 radioaktivních zářičů v iontové komoře (IK) platí [1]:

$$k = \frac{I_1}{I_2} = \frac{A_1}{A_2} \quad (2)$$

kde  $I_{1,2}$  jest detekovaný proudový signál od 1. resp. 2. zářiče a  $A_{1,2}$  jsou (rádio)aktivity 1. resp. 2. zářiče.

### ***GM detektor***



Geiger-Müllerův detektor (zkráceně GM detektor) jest válcový kondensátor **vyplněný vzduchem**, který nám umožňuje měřiti aktivitu zářiče i pro vysoké hodnoty napětí.

## Výsledky měření

### 1) Porovnávání (rádio)aktivity 2 zářičů

Nejprve jsme se jali naměřiti, kterýžto ze 2 přiložených zářičů má vyšší aktivitu. Pro vzdálenost desek (IK)  $d = 6$  cm jsme naměřili následující data:

Zářič 1: Pu-239 EA14		Zářič 2: Pu-239 EA13	
U [V]	I [pA]	U [V]	I [pA]
500	12,3	500	0,6
500	12,4	500	0,7
500	12,6	500	1,1
500	11,9	500	0,8
500	12,5	500	0,8
500	13,2	500	0,6
500	12,4	500	0,7
500	12,9	500	0,9
	12,5		0,8

Tab.1: Hodnoty aktivity 2 zářičů

Tedy z Tabulky 1 vidíme, že pro stejné budící napětí  $U = 500$  V jsme pro 1. zářič dostali průměrný signál (s průměrnou odchylkou aritmetického průměru)  $I_1 = (12,5 \pm 0,3)$  pA zatímco pro 2. zářič  $I_2 = (0,8 \pm 0,1)$  pA.

Dále víme, že pro stejnou vzdálenost desek a stejné budící napětí jest velikost proudu  $I$  úměrná aktivitě zářiče  $A$

Můžeme s klidem v srdci prohlásiti, že zářič 1 (Pu-239 EA14) jest aktivnější než zářič 2 (Pu-239 EA13).

## 2, 3) V-A charakteristika IK pro různá $d$

V dalším našem smělém počínu chopili jsme se pouze zářiče aktivnějšího (Pu-239 EA14) a jali jsme se měřiti V-A charakteristiky pro různé vzdálenosti deskových elektrod  $d$ . Jmenovitě jsme naměřili V-A charakteristiky pro vzdálenost desek  $d = 2\text{cm}$  a  $d = 6\text{cm}$ .



*Při tomto měření jsme ještě netušili, že přístroji trvá nějakou dobu, než se ustálí na stále hodnotě, proto jsme v následujících tabulkách začervenili body, které měly příliš velkou systematickou chybu a ty jsme pak vynechali při vynášení do grafu.*

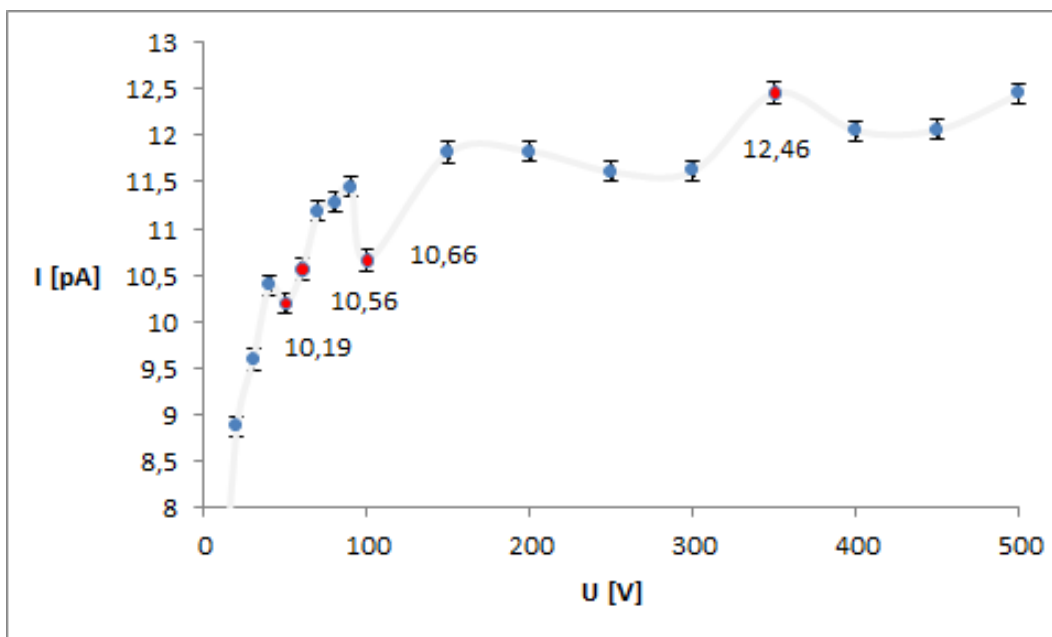
*Toto jsme provedli jen v grafu pro  $d = 6\text{cm}$ , kde V-A charakteristika byla pozvolnější a lépe jsme tak mohli odlišit patologické body od náhodných elektronických fluktuací. Křivka tak byla vyhlazena.*

Zářič 1; $d=6\text{cm}$			Zářič 1; $d=2\text{cm}$		
U [V]	I [pA]	$\pm\epsilon$ (I [pA])	U [V]	I [pA]	$\pm\epsilon$ (I [pA])
0	0,13	0,11	0	0,13	0,11
1	0,17	0,11	1	1,72	0,11
2	0,89	0,11	2	3,53	0,11
3	1,75	0,11	3	4,22	0,11
4	2,56	0,11	4	4,78	0,11
5	3,45	0,11	5	5,05	0,11
6	4,2	0,11	6	4,99	0,11
7	4,93	0,11	7	5,41	0,11
8	5,54	0,11	8	5,07	0,11
9	6,14	0,11	9	5,45	0,11
10	6,55	0,11	10	5,5	0,11
20	8,87	0,11	20	5,77	0,11
30	9,59	0,11	30	6,2	0,11
40	10,39	0,11	40	5,94	0,11
50	10,19	0,11	50	6,23	0,11
60	10,56	0,11	60	6,06	0,11
70	11,19	0,11	70	6,19	0,11
80	11,28	0,11	80	6,3	0,11
90	11,45	0,11	90	6,57	0,11
100	10,66	0,11	100	6,26	0,11
150	11,82	0,11	150	6,12	0,11
200	11,83	0,11	200	6,43	0,11
250	11,61	0,11	250	6,6	0,11
300	11,62	0,11	300	6,3	0,11
350	12,46	0,11	350	6,53	0,11
400	12,05	0,11	400	6,57	0,11
450	12,06	0,11	450	6,35	0,11
500	12,45	0,11	500	6,45	0,11

Tab.2: V-A charakteristika pro vzdálenost mezi elektrodami  $d=6$  a  $d=2$  cm

*Chyba je určena z průměrných hodnot šumu pro 28 hodnot, kdy jsme měřili s vypnutým zdrojem.*

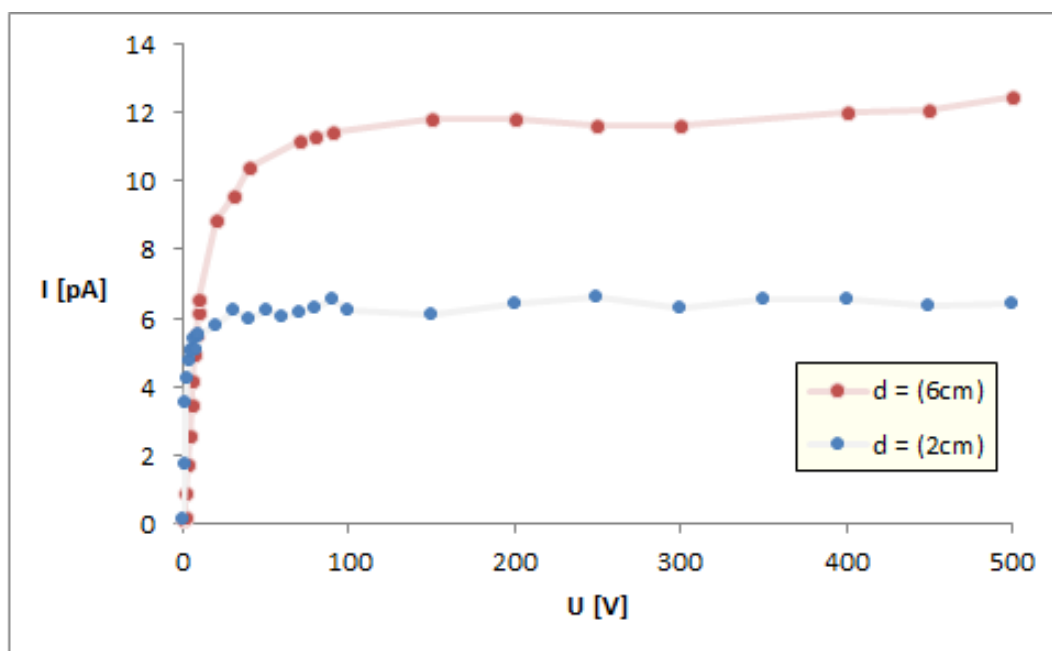




Graf.1: Eliminace hodnot zatížených systematickou chybou

Implicitně jsme zde aplikovali pravidlo  $3\sigma$ , které jsme dokonce ani nemuseli dopočítávat, neboť z grafu je hned vidět, že s danými 4 hodnotami je něco špatně, pokud má daná závislost vypadat jako ta na Obrázku 1.

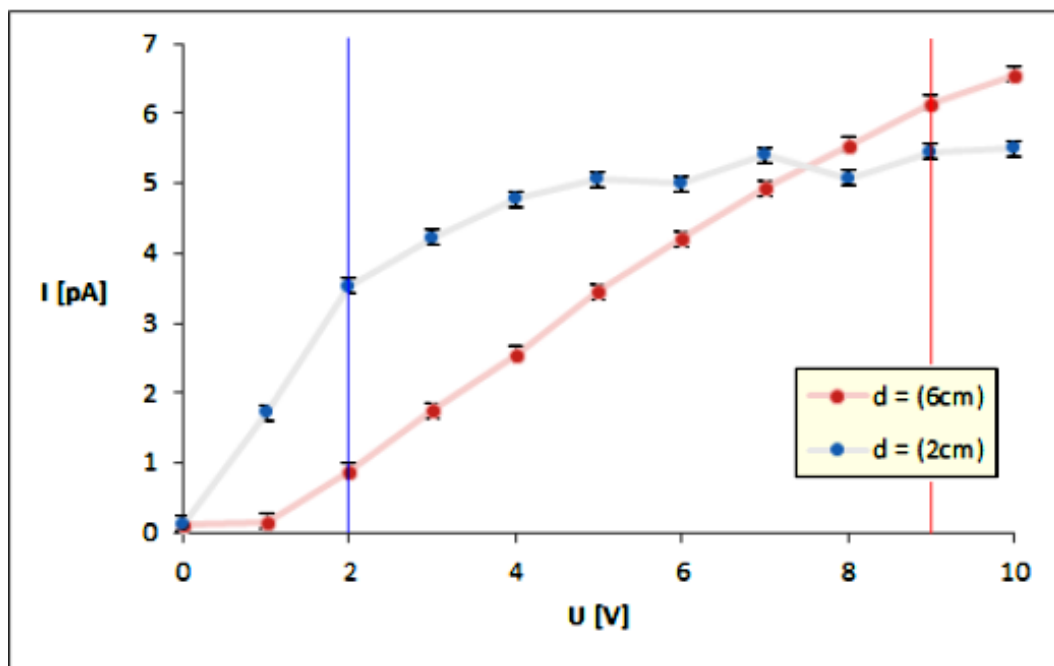
Pokud nyní vyneseme všechna data z Tabulky 2 do Grafu, dostaneme následující:



Graf.2: V-A charakteristika pro  $d=6$  cm a  $d=2$  cm

*Chybové úsečky jsme do Grafu 2 nevynesli, protože jsou vůči použitému měřítku grafu tak malé, že takměř nejsou vidět. Aby byla vidět lépe okometricky proložená závislost, jali jsme se je zanedbati.*

Jelikož jest V-A charakteristika z Grafu 2 pro nízké hodnoty napětí ( $U = 0-10 \text{ V}$ ) poměrně nečitelná, rozhodli jsme se vynést její detail pro obě vzdálenosti desek:



Graf.3: Detail V-A charakteristiky pro  $U = 0-10\text{V}$

V tomto přiblížení je názorně viděti, že oblast, kde se kondensátor chová lineárně dle Ohmova zákona (1) jest pro vzdálenost desek  $d = 6\text{cm}$  rozpětí  $U = 1-9\text{V}$  a pro  $d = 2\text{cm}$  rozpětí  $U = 0-2\text{V}$ .

Na zbytku charakteristik (tedy na intervalu  $U = 9-500\text{V}$  pro  $6\text{cm}$ ;  $U = 2-500\text{V}$  pro  $2\text{cm}$ ) jsme v oblasti iontové saturace (viz. Obr.1)

### *Ideální vzdálenost desek $d$*

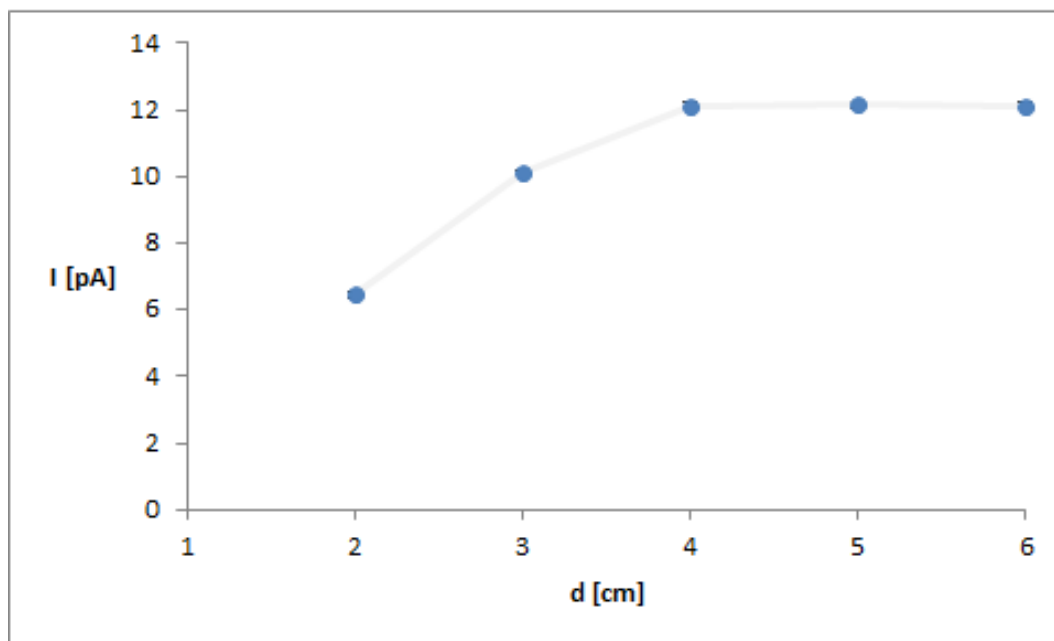
Pro konstantní hodnoty napětí  $U = 500\text{V}$  jsme měřili ideální vzdálenost desek kondensátoru  $d$  pro  $2-6\text{cm}$  a dostali jsme následující:

U [V]	d [cm]	I [pA]	$\pm\epsilon$ (I [pA])
500	2	6,45	0,11
500	3	10,10	0,11
500	4	12,12	0,11
500	5	12,14	0,11
500	6	12,13	0,11

Tab.3: Závislost maximální hodnoty  $I$  na  $d$



Když vyneseme Tabulku 3 do grafu, dostaneme:



Graf.4: Závislost maximální hodnoty  $I$  na  $d$

Tedy vidíme, že ideální vzdálenost desek kondensátoru jest 4 a více cm. Tedy dále si volíme pouze maximální vzdálenost 6cm.

#### 4) Svodový proud

V Tabulce 3 uvádíme naměřené hodnoty svodového proudu pro vzdálenost desek  $d = 6$ cm. Bylo nám řečeno na experimentu, že 4 body jsou až příliš.

SVODOVÝ PROUD	
U [V]	I [pA]
3	0,02
10	0,02
100	0,03
500	0,02

Tab.4: Svodový proud

A vidíme, že svodový proud je nesmírně malý, zanedbatelný vzhledem k velikosti šumu.

### 5) Poměr aktivit

Pokud se ještě jednou vrátíme k měření v Tabulce 1, zjistíme:

Zářič 1: Pu-239 EA14		Zářič 2: Pu-239 EA13	
U [V]	I [pA]	U [V]	I [pA]
500	12,3	500	0,6
500	12,4	500	0,7
500	12,6	500	1,1
500	11,9	500	0,8
500	12,5	500	0,8
500	13,2	500	0,6
500	12,4	500	0,7
500	12,9	500	0,9
	12,5		0,8

Tab.1: Hodnoty aktivity 2 zářičů

Tedy vidíme, že relativní aktivita dle rovnice (1) činí  $k = 16,5$ .

1. zářič produkuje cca  $16,5 \times$  silnější signál za stejných experimentálních podmínek než 2. zářič.




Jejich aktivitu můžeme odhadnout jako  $35 < 50 \text{ eV}$  pro 2. zářič a  $850 \text{ eV}$  pro 1. zářič.

Z předchozího pododstavěčku můžeme určit dosah  $\alpha$ -záření ve vzduchu jako  $< 4 \text{ cm}$  nad touto mezí se již veškerá radioaktivní energie disipuje do ionisace vzdušných plynů.



## 6, 7) Elektrický impuls v GM detektoru

 Nakonec jsme zkoumali **výtěžky elektrických impulsů** GM detektoru v osciloskopu.


*Toto měření mělo spíše kvalitativní charakter, tedy velikosti impulsů uvádíme v dílcích a nikoliv v jednotkách proudu.*

U [V]	dílek	±ε(dílek)
100	0	1
200	0	1
300	0	1
400	0	1
500	0	1
600	0	1
700	1	1
800	2	1
900	4	1
1000	8	1
1100	20	2
1200	48	4
1300	100	8
1400	220	16
1500	1000	80

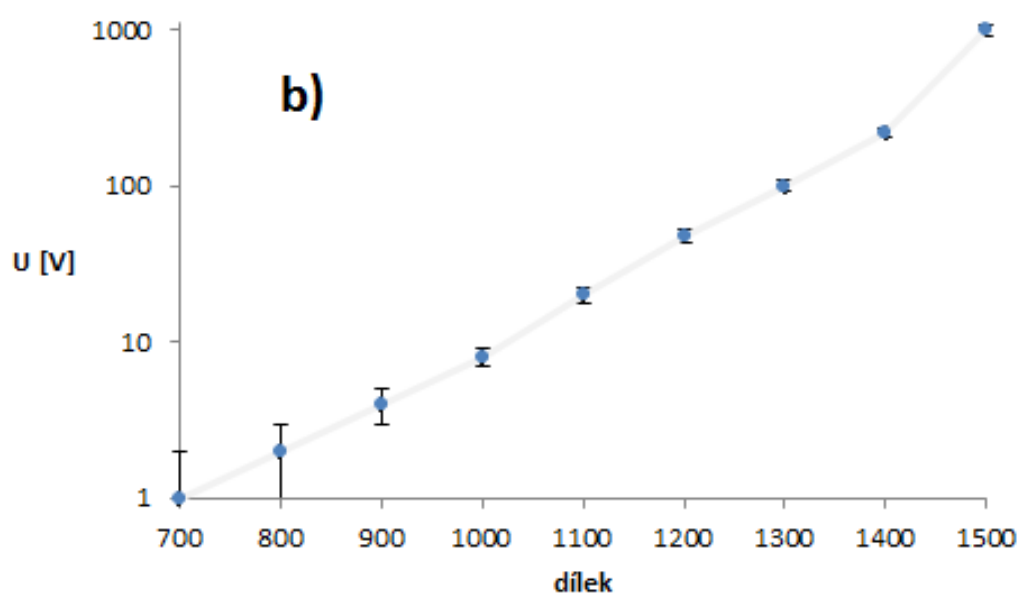
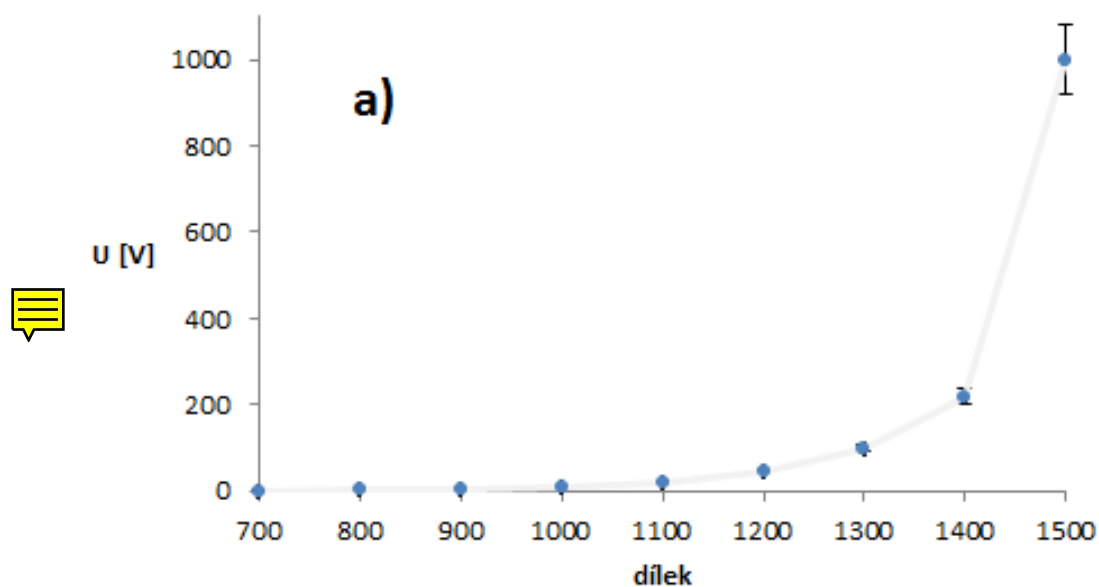
Tab.5: Zkoumání GM detektoru

Chyba u tohoto měření jest způsobena naším špatným odečtením údajů z osciloskopku. Jsme vinni! Sypejme si popel na hlavu! S rostoucím rozsahem se naše absolutní chyba stává ještě větší, neboť se mění proporcionálně s rozsahem.

Už z tabulky vidíme, že až do hodnoty napětí  $U = 700\text{V}$  nedostáváme na osciloskopu žádný signál. Tedy tato oblast by měla pokrývat původní lineární část, část konstantní iontové saturace a patrně i část proporčního regionu (viz. Obr.1).

 **Dále ale již dochází k exponenciálnímu nárůstu, tedy od 700V procházíme určitě regionem limitované propagace a přecházíme později i do regionu Geiger-Müllerova.**

Pokud si data z tabulky vyneseme do grafu, dostaneme následující:



Graf.5: a) GM charakteristika, b) GM charakteristika s logaritmickou škálou




Tedy pro logaritmické měřítko vidíme krásnou lineární závislost, což implikuje celkovou exponenciální závislost impulsu na napětí v regionu  $U = 700-1500V$ .

## Diskuze

Svodový proud je tak malý, že žádnou chybu nezpůsobil. Vrásky nám ale dělal elektronický šum v přístroji, který měřil nezanedbatelné hodnoty i v případě, kdy napětí bylo nulové.

Dále nám též vznikaly systematické chyby, pokud jsme nepočkali dostatečně dlouho, než se měřicí přístroj ustálil. Nebylo výjimkou, že před ustálením vykazoval přístroj klidně i 10× vyšších hodnot, než po ustálení.

Co se týče GM detektoru, tak tam jsme prováděli pouze kvalitativní analýzu. Odečítat přesné hodnoty z osciloskopu jest takměř nadlidský ne-li nemožný úkol. **Tedy tam ani nemá smysl bavit se o chybách.** 

## Závěr

Pro 1. zářič jsme dostali průměrný signál (s průměrnou odchylkou aritmetického průměru)  $I_1 = (12,5 \pm 0,3)$  pA zatímco pro 2. zářič  $I_2 = (0,8 \pm 0,1)$  pA.

Relativní aktivita těchto dvou zářičů nám vyšla jako  $k = \mathbf{16,5}$ . 1. zářič produkuje cca  $16,5 \times$  silnější signál za stejných experimentálních podmínek než 2. zářič.

Zjistili jsme, že ideální vzdálenost desek kondensatoru v IK jest **4 a více cm**.

Identifikovali jsme klíčové oblasti IK. Zjistili jsme, že s rostoucím napětím  $U$  jest funkce proudu  $I$  **neklesající**.

Identifikovali jsme klíčové oblasti GM. Zjistili jsme, že s rostoucím napětím  $U$  jest funkce proudu  $I$  **exponenciální**.

## Reference

- [1] (A2) Studium plynových detektorů. [Základní fyzikální praktikum]. [online][cit. 1.12.2021]. Dostupné z: [https://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/\\_media/zadani/texty/txt\\_402.pdf](https://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_402.pdf)