



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH **ústav automatizace**
TECHNOLOGIÍ **a měřicí techniky**

LABORATORNÍ ÚLOHA

Měření ionizujícího záření

AUTOR 1: Václav Horáček (256296)

AUTOR 2: Jan Holík (256295)

ROČNÍK: 3

PŘEDMĚT: Snímače

DATUM: 14.10.2025

MĚŘÍCÍ PODMÍNKY: $T = \text{ }^{\circ}\text{C}$, $p = \text{ hPa}$, $\phi = \text{ } \%$

ZADÁNÍ

1. Body zadání 1.-6. realizujte s β -zářiči Sr-90. Proveďte základní dozimetrická měření:
 - (a) Změřte hodnotu přirozeného pozadí ionizujícího záření pomocí dozimetru Gamma-Scout.
 - (b) Zvýšené hodnoty záření způsobené β -zářičem během laboratorního cvičení pomocí dozimetru Gamma-Scout.
 - (c) V tabulce přehledně porovnejte hodnoty naměřené dozimetrem s hodnotami odpovídajícími hygienickým limitům.
2. Proměřte impulzovou charakteristiku GM trubice, určete délku „plateau“ a jeho strmost.
3. Určete mrtvou dobu GM trubice, napájecí napětí volte ze středu plateau, porovnejte výsledky získané metodou dvou zářičů a přímým měřením na osciloskopu.
4. Určete vliv stínící přepážky při měření závislosti $I = f(d)$, kde d je tloušťka materiálu. Závislost vyneste do grafu. Určete součinitel zeslabení μ a polotloušťku $d_{1/2}$.
5. Určete hmotnostní koeficient útlu μ_m charakterizující útlum ionizujícího záření v předložených materiálech, porovnejte hodnotu získanou výpočtem pro každý materiál s hodnotou stanovenou z grafu závislosti funkce intenzity plošné hustotě.
6. Stanovte nejistotu určení hustoty pro jeden materiál.
7. S γ -zářičem Cs-137 změřte četnost impulzů pro sadu vzorků s různou hustotou a porovnejte závislost počtu pulzů na hustotě s měřením s β -zářičem z bodu 5.

Úkol 1 - Základní dozimetrická měření

Teoretický rozbor

Nuklidy jsou atomy u nichž není podstatný elektronový obal. Počet neutronů v jádře rozhoduje o stabilitě nuklidu. Buď je stabilní, a nebo tzv. radionuklid. Nuklidy se stejným počtem protonů, ale rozdílným počtem neutronů se nazývají izotopy.

Druhy ionizujícího záření:

1. α -záření - Tvořené jádru helia. Při průchodu prostředím ztrácí velmi rychle energii, proto urazí jen několik milimetrů.
2. β -záření - Tvořené elektrony nebo pozitrony. Při průchodu prostředím ztrácí energii pomaleji než α -částice, proto urazí větší vzdálenost (několik metrů).
3. γ -záření - Nenese náboj. Nejpronikavější druh záření (způsobuje popáleniny, rakovinu,...). Ke stínění se používá olovo.

Systém limitů pro omezování ozáření:

- Obecné limity radiační ochrany - 1 mSv za rok
- Limity pro radiační pracovníky - 50 mSv za rok
- Limity pro učně a studenty - 6 mSv za rok

Postup měření

1. Pomocí dozimetru Gamma-Scout bylo změřeno přirozené pozadí ionizujícího záření.
2. Následně byly změřeny zvýšené hodnoty záření způsobené β -zářičem Sr-90 v laboratorním přípravku.

Naměřené hodnoty

Tabulka 1: Naměřené hodnoty ionizujícího záření pomocí dozimetru Gamma-Scout

Umístění zářiče	Olověný kryt	Laboratorní přípravek
Dose Rate[μ Sv/h]	0.160	44.6

Zpracované výsledky měření

t - doba expozice = 3 h

$$H_{T_{vyp}} = \text{Dose Rate}_{\text{přip}} \cdot t = 44.6 \cdot 3 = 133.8 \mu\text{Sv} \quad (1)$$

Tabulka 2: Porovnání naměřených hodnot s limitními

	Obecné lim.	Radiační prac.	Učni studenti
$H_{Tlim}[\text{mSv}]$	1	50	6
$H_{T_{vyp}}[\text{mSv}]$	0.134	0.134	0.134

Závěr

Byla změřena hodnota ionizujícího záření při umístění zářiče v olověném krytu 0,160 μSv a v laboratorním přípravku 44,6 μSv . Z toho je jasné patrné, že olověný kryt velmi účinně stíní ionizující záření. Dále jsme spočítali hodnotu záření, kterému jsme byli vystaveni za dobu měření (3 hodiny), která činí 133,8 μSv . Tato hodnota je výrazně nižší než obecný limit radiační ochrany (1 mSv za rok), limit pro radiační pracovníky (50 mSv za rok) a limit pro učně a studenty (6 mSv za rok). Z toho vyplývá, že měření bylo provedeno v bezpečných podmínkách a nedošlo k překročení stanovených limitů.

Úkol 2 - Impulzová charakteristika GM trubice

Teoretický rozbor

Geiger-Müllerova (GM) trubice je zařízení používané k detekci ionizujícího záření. Levná a jednoduchá. Impulsní charakteristika G-M čítače je závislost počtu detekovaných impulsů na napětí přiváděném k trubici. U_P - napětí u něhož je počet pulzů téměř nezávislý na napětí. U_k - koncové napětí. Mezi U_P a U_k je oblast zvaná plateau, kde je počet pulzů téměř konstantní. Strmost stoupání a délka plateau určují kvalitu GM trubice.

Postup měření

1. Nejprve bylo zapnuto napájení přípravku.
2. Následně pomocí stínících fólií byla nastavena četnost impulsů na 180-220 za minutu při napětí 600 V.
3. Bylo zjištěno napětí U_S
4. V rozsahu od U_S do 750 V byla měřena četnost impulsů po dobu 1 minuty.

Naměřené hodnoty

$$U_S = 405 \text{ V}$$

Tabulka 3: Naměřené hodnoty impulsové charakteristiky GM trubice

U[V]	410	430	450	470
N[pulzů/min]	45	486	1296	4780
U[V]	490	510	560	610
N[pulzů/min]	10354	10955	11292	11379
U[V]	660	710	760	X
N[pulzů/min]	11622	12117	13458	X

Zpracované výsledky měření

Z grafu jsme určili U_p a U_k :

$$U_p = 510 \text{ V}$$

$$U_k = 710 \text{ V}$$

Délka plateau:

$$U_{\text{plateau}} = U_k - U_p = 710 - 510 = 200 \text{ V} \quad (2)$$

Strmost plateau:

$$S = \frac{\frac{N_2 - N_1}{(N_2 + N_1)/2}}{U_2 - U_1} \cdot 100 = \frac{\frac{12117 - 10955}{(12117 + 10955)/2}}{710 - 510} \cdot 100 = 0.05\%/V \quad (3)$$

Závěr

Z naměřených hodnot byl vytvořen graf impulsové charakteristiky GM trubice. Z grafu byla určena napětí $U_p = 510 \text{ V}$ a $U_k = 710 \text{ V}$. Dále byla spočtena délka plateau, která činí 200 V, a strmost plateau, která je 0,05 %/V. Tyto hodnoty nám poskytují informace o kvalitě GM trubice a její schopnosti detekovat ionizující záření v daném napětovém rozsahu.

Úkol 3 - Mrtvá doba GM trubice

Teoretický rozbor

Mrtvá doba t_u je časový úsek, ve kterém detektor není schopen registrovat záření. Obvykle 100-500 μs . Pokud $t_u \ll$ platí:

$$t_u = \frac{N_1 + N_2 - N_{12}}{2N_1N_2} [\text{s}] \quad (4)$$

Postup měření

1. Jeden β -zářič byl umístěn do laboratorního přípravku a byla provedena 3 nezávislá měření impulzů.
2. Následně k němu byl přidán druhý β -zářič a provedena 3 nezávislá měření impulzů.
3. Nakonec byl odebrán první β -zářič a provedena 3 nezávislá měření impulzů druhého β -zářiče.

Naměřené hodnoty

Tabulka 4: Měření metodou dvou zářičů

Měření	1	2	3
N_1 [pulzů/min]	21397	21635	21651
N_{12} [pulzů/min]	42056	42328	42309
N_2 [pulzů/min]	24503	24439	24434

Zpracované výsledky měření

Měření bylo prováděno při napájecím napětí 600 V.

$$\overline{N}_1 = \frac{N_{1,1} + N_{1,2} + N_{1,3}}{3} = \frac{21397 + 21635 + 21651}{3} = 21561 \text{ pulzů/min} \quad (5)$$

Pro přepočítání na pulzy za sekundu podělíme 60:

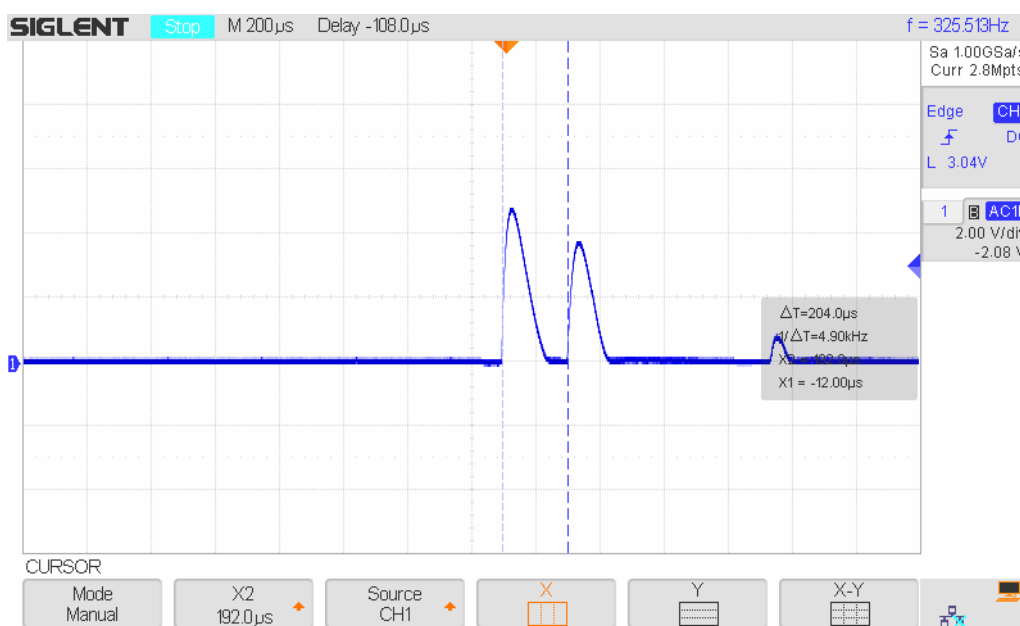
$$\overline{N}_1 = 359.35 \text{ pulzů/s}$$

$$\overline{N}_{12} = 703.85 \text{ pulzů/s}$$

$$\overline{N}_2 = 407.64 \text{ pulzů/s}$$

Mrtvá doba:

$$t_{uvyp} = \frac{\overline{N}_1 + \overline{N}_2 - \overline{N}_{12}}{2\overline{N}_1\overline{N}_2} = \frac{359.35 + 407.64 - 703.85}{2 \cdot 359.35 \cdot 407.64} = 226.5 \text{ } \mu\text{s} \quad (6)$$



Obrázek 1: Mrtvá doba změřená na osciloskopu

$$t_{umer} = 204 \text{ } \mu\text{s}$$

Závěr

Metodou dvou zářičů byla změřena mrtvá doba GM trubice, která činí 226,5 μs . Pro porovnání byla také změřena mrtvá doba přímo na osciloskopu, která je 204 μs . Naměřené hodnoty jsou si velmi podobné. Rozdíl mezi vypočtenou a naměřenou hodnotou může být způsoben nepřesností metody a tolerancemi přístrojů.

Úkol 4 - Vliv stínící přepážky

Teoretický rozbor

Absorpce u β -záření i u γ -záření je popsána vztahem:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu d} \quad [s^{-1} \cdot m^{-2}] \quad (7)$$

Součinitel zeslabení μ je popsán vztahem:

$$\mu = \mu_m \cdot \rho \quad [m^{-1}; m^2 \cdot kg^{-1}, kg \cdot m^{-3}] \quad (8)$$

γ -záření narozdíl od β -záření klesá asymptoticky k nule. K charakterizování záření slouží polotloušťka $d_{1/2}$. Ta je definována jako tloušťka materiálu, při které intenzita klesne na polovinu původní hodnoty. Polotloušťka je dána vztahem:

$$d_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} \quad [m; m^{-1}] \quad (9)$$

Postup měření

1. Zářič byl ponechán v laboratorním přípravku a změřila se četnost impulzů bez stínící přepážky.
2. Následně byla přidána jedna stínící přepážka a změřila se četnost impulzů.
3. Tento postup byl opakován až do přidání 10 stínících přepážek.

Naměřené hodnoty

Tloušťka jedné stínící přepážky $d = 0.2 \text{ mm} = 0.0002 \text{ m}$

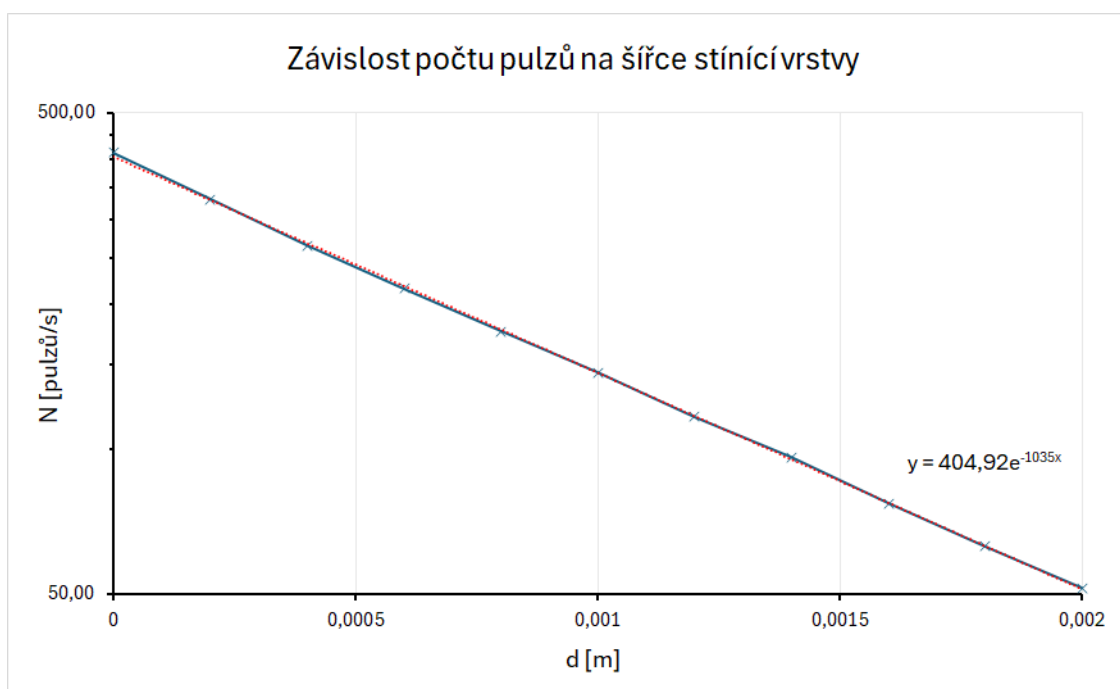
Tabulka 5: Naměřené hodnoty závislosti impulzů na počtu stínících přepážek

Počet vzorků	0	1	2	3
N[pulzů/min]	24785	19798	15853	12912
Počet vzorků	4	5	6	7
N[pulzů/min]	10535	8636	6994	5765
Počet vzorků	8	9	10	X
N[pulzů/min]	4624	3771	3089	X

Zpracované výsledky měření

Tabulka 6: Přepočtené hodnoty závislosti impulzů na šířce stínící přepážky

d[m]	0	0.0002	0.0004	0.0006
N[pulzů/s]	413.08	329.97	264.22	215.20
d[m]	0.0008	0.0010	0.0012	0.0014
N[pulzů/s]	175.58	143.93	116.57	96.08
d[m]	0.0016	0.0018	0.0020	X
N[pulzů/s]	77.07	62.85	51.48	X



Obrázek 2: Závislost počtu pulzů na šířce stínící vrstvy

Z rovnice proložené funkce lze určit součinitel zeslabení $\mu = 1035 \text{ m}^{-1}$.

Z toho jsme schopni vypočítat polotloušťku:

$$d_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{\ln 2}{1035} = 6.7 \cdot 10^{-4} \text{ m} \quad (10)$$

Závěr

V této úloze byla změřena závislost počtu pulzů na šířce stínící přepážky. Z naměřených hodnot byl vytvořen graf, ze kterého byl určen součinitel zeslabení μ , který činí 1035 m^{-1} . Dále jsme spočítali polotloušťku $d_{1/2}$, která je $6.7 \cdot 10^{-4} \text{ m}$.

Úkol 5 - Hmotnostní koeficient útlumu

Teoretický rozbor

Postup měření

Naměřené hodnoty

Zpracované výsledky měření

Závěr

Úkol 6 - Nejistota určení hustoty

Teoretický rozbor

Postup měření

Naměřené hodnoty

Zpracované výsledky měření

Závěr

Úkol 7 - Závislost počtu pulzů na hustotě Cs-137

Teoretický rozbor

Postup měření

Naměřené hodnoty

Zpracované výsledky měření

Závěr

Závěr

V prvním úkolu bylo nejprve změřeno přirozené pozadí ionizujícího záření pomocí dozimetru Gamma-Scout, které činilo $0,160 \mu\text{Sv/h}$. Následně bylo změřeno zvýšené záření způsobené β -zářičem Sr-90 v laboratorním přípravku, které dosáhlo hodnoty $44,6 \mu\text{Sv/h}$. Z těchto měření bylo vypočteno celkové ozáření za dobu 3 hodin (doba trvání měření), které činilo $133,8 \mu\text{Sv}$, což je výrazně pod stanovenými limity radiční ochrany.

V druhém úkolu byla změřena impulzová charakteristika GM trubice. Z naměřených hodnot byly určeny napětí $U_p = 510 \text{ V}$ a $U_k = 710 \text{ V}$. Dále byla spočítána délka plateau, která činí 200 V , a strmost plateau, která je $0,05 \text{ \%}/\text{V}$.

Ve třetím úkolu byla metodou dvou zářičů změřena mrtvá doba GM trubice, která činí $226,5 \mu\text{s}$. Pro porovnání byla také změřena mrtvá doba přímo na osciloskopu, která je $204 \mu\text{s}$. Odchyłka mezi těmito hodnotami může být způsobena nepřesnostmi měření a tolerancemi přístrojů.

Ve čtvrtém úkolu byla změřena závislost počtu pulzů na šířce stínící přepážky. Z naměřených hodnot byl vytvořen graf. Závislost má charakter klesající exponenciály, což lze vidět z grafu, kde po nastavení osy Y do logaritmického měřítka je závislost téměř lineární. Z rovnice proložené funkce byl určen součinitel zeslabení μ , který činí 1035 m^{-1} . Dále byla spočítána polotloušťka $d_{1/2}$, která je $6,7 \cdot 10^{-4} \text{ m}$.

[1] [2]

Seznam použitých přístrojů

Reference

- [1] BENEŠ, P. A. K. *Návod k úloze 6 - Měření ionizujícího záření*. Ústav automatizace a měřicí techniky, Fakulta elektrotechniky a komunikační techniky, VUT, Brno, 2025. [cit. 25-10-2025].
- [2] SBÍRKA PŘEDPISŮ ČR. *Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost o radiční ochraně*. citace 307/2002 Sb.