

33 Ionizující záření

ÚKOL 1

Změřte závislost počtu pulzů naměřených Geiger-Müllerovým (G-M) počítačem na vzdálenosti od bodového zdroje gama záření. Zjistěte, s jakou mocninou klesá intenzita záření se vzdáleností od zdroje.

ÚKOL 2

Stanovte absorpční koeficient přiložených vzorků pro gama záření.

TEORIE

Ionizující záření je souhrnné označení pro ty druhy záření, jejichž kvanta mají energii postačující k ionizaci atomů nebo molekul ozářené látky. Ionizace je proces, při kterém se z elektricky neutrálního atomu nebo molekuly stává iont. Pokud k tomuto jevu dojde v buňkách živých organismů, může je to vážně poškodit.

Ionizující záření můžeme podle toho co je jejich podstatou rozdělit na záření korpuskulární tvořená částicemi a záření fotonová tvořená elektromagnetickým zářením

Korpuskulární záření:

- alfa záření – proud α částic, což jsou jádra helia. Jde vlastně o atom helia, z něhož byl odstraněn elektronový obal. Alfa částice tvoří dva protony a dva neutrony (alfa částice je tedy kladně nabitá s elektrickým nábojem $+2e$). Vzhledem k velikosti částic alfa záření jde o nejslabší druh jaderného záření, který může být odstíněn i listem papíru. Alfa částice se pohybují poměrně pomalu a mají malou pronikavost, ale zato mají silné ionizační účinky na okolí.
- beta záření – proud β částic, což jsou elektrony nebo pozitrony. Pohybují se velmi rychle, nesou kladný nebo záporný elektrický náboj a jejich pohyb může být tedy ovlivňován elektrickým polem. Jejich pronikavost je větší než u alfa částic, mohou pronikat materiály s nízkou hustotou nebo malou tloušťkou, k jejich zastavení stačí vrstva vzduchu silná 1 m nebo kovu o šířce 1 mm.
- neutronové záření – proud neutronů. Neutrony, byť jsou velmi pomalé, vstupují do jader a vyvolávají sekundární ionizaci prostřednictvím jaderných reakcí.

Poločas rozpadu

Korpuskulární záření vzniká rozpadem jader radioaktivního prvku či izotopu¹ (radionuklidu). Poločas rozpadu určuje, za jakou dobu se počet rozpadajících se jader zmenší na polovinu. Takto rozpadlá jádra se mění na jiné prvky. Nezáleží na absolutním počtu jader. Poločas je pro konkrétní látku stejný bez ohledu na to, na jak velkém vzorku je sledován. Rychlost rozpadu závisí na stabilitě jader daného prvku. Stabilní jádra se rozpadají pomalu (tisíce let), nestabilní rychle (mikrosekundy).

Několik příkladů poločasu rozpadu: Polonium ^{212}Po – 0,3 μs ; Thorium ^{223}Th – 0,9 s; Kobalt ^{60}Co – 5,27 let; Uhlík ^{14}C – 5730 let; Uran ^{238}U – 4,5 miliardy let.

¹ Izotop má jiný počet neutronů, než původní prvek

Fotonová záření:

- gama záření (γ) – vysoce energetické elektromagnetické záření vznikající při radioaktivních a jiných jaderných a subjaderných dějích. Do materiálů proniká γ -záření lépe než záření alfa nebo záření beta, která jsou korpuskulární, je však méně ionizující.
- rentgenové záření – je energetické elektromagnetické záření. Je tedy fyzikálně stejné jako γ -záření. V elektromagnetickém spektru sousedí s γ -zářením na straně nižších frekvencí. Mechanismus jeho vzniku je však odlišný.

PRINCIP METODY MĚŘENÍ – ZDROJ A DETEKCE IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ

Zdroj záření i G-M počítač, který budeme při měření používat, jsou výrobkem německé firmy PHYWE a jsou součástí jejího programu University Laboratory Experiments.

Zdrojem γ -záření bude pro nás vhodně zapouzdřený isotop kobaltu Co-60, jehož intenzita záření odpovídá podmínkám školního měření. Pro naše účely tím máme k dispozici γ -zářič.

Pro detekci ionizujícího záření se nejčastěji používají Geiger–Müllerovy (G–M) počítače. Lze se setkat i s názvy G–M čítače nebo G–M detektory. Využívají schopnosti záření ionizovat molekuly plynu v čítací (ionizační) trubici. Tato trubice je čidlem (G–M) počítače. Uvnitř trubice, je válcová katoda a vláknové anody, mezi nimiž je napětí v rozmezí (100 ÷ 1000) V. Trubice bývá plněna směsí plynů, převážně argonem, heliem či neonem. Na jedné základně válce je vstupní okénko, na protější je přívod kabelu. V trubici našeho čítače je argon s vhodnými příměsemi a napětí mezi anodou a katodou je kolem 600 V.

Vnikne-li do trubice foton γ záření, způsobí primární ionizaci, která se poté rozvine v ionizaci lavinovitou, která způsobí elektrický průraz. Proudový impuls, jež tím vznikne, vytvoří na odporech obvodu impuls napěťový, který se po zesílení započítá. Proces ionizace ukončí buď samozhášecí náplň, nebo elektronický obvod. Až potom je čítač připraven k registraci další částice. Po jistou dobu, kterou nazýváme mrtvou dobou nebo rozlišovací dobou, není počítač schopen další částici započítat.

Čítací trubice je k přístroji připojena kabelem pomocí BNC konektorů. Pod velkým displejem jsou tlačítka Start/Stop, Nulování, přepínač, kterým volíme čas, po který měření trvá a tlačítko pro ovládání zvukového signálu označujícího jednotlivé pulzy.

ÚKOL 1

Změřte závislost počtu pulzů naměřených Geiger-Müllerovým (G-M) počítačem na vzdálenosti od bodového zdroje gama záření. Zjistěte, s jakou mocninou klesá intenzita záření se vzdáleností od zdroje.

Pokles počtu registrovaných pulzů s růstem vzdálenosti od zdroje záření

Počet naměřených impulsů N klesá v ideálním případě (bodový zářič, doběh všech vyzářených fotonů až k detektoru, zanedbání pozadí) se čtvercem vzdálenosti. Označíme-li písmeny k konstantu úměrnosti a r ($r \neq 0$) vzdálenost mezi zdrojem záření a sondou čítače, platí

$$N = \frac{k}{r^2} = kr^{-2}. \quad (33.1)$$

Předpokládejme, že mocnina vzdálenosti r ve vztahu (33.1) je pro nás neznámá, označme ji tedy obecně b . Pak

$$N = kr^b. \quad (33.2)$$

Pokud rovnici zlogaritmuje

$$\log N = \log k + b \log r \quad (33.3)$$

a zavedeme substituci $Y = \log N_m$, $X = \log r$, $K = \log k$, obdržíme rovnici přímky

$$Y = K + bX \quad (\underbrace{\log N}_Y = \underbrace{\log k}_K + b \underbrace{\log r}_X) \quad (33.4)$$

Její směrnice je hledanou mocninou r . Pokud se při měření nedopustíme hrubé chyby, bude hodnota b rovna přibližně -2 .

Postup při měření, zpracování a vyhodnocení – Úkol 1

- Vyjměte zářič z kontejneru a umístěte jej do přípravku.
 - Protože emise záření ze zdroje není v čase rovnoměrná, volte dostatečně dlouhou dobu trvání jednotlivého měření, nejlépe 60(nebo 100) s. Pro každou vzdálenost proveďte 3 měření.
1. Vzhledem k menší ohebnosti kabelu nechte čítací trubici ve stabilní poloze a posunujte podél pravítka zářič. K naměřeným vzdálenostem přičtěte 11 mm (geometrie uspořádání zářiče a snímací trubice). Vzhledem k chybě, která vzniká tím, že zářič a sonda nejsou přesně souosé, měřte pouze v rozmezí vzdáleností 7 mm až 30 mm.
 2. Naměřenou závislost zobrazte v logaritmických souřadnicích (log–log). Vypočtěte parametr b , který je uveden v rovnici (33.2). Parametr b určuje, s jakou (kolikátou) mocninou se mění intenzita záření se vzdáleností.

ÚKOL 2

Stanovte absorpční koeficient přiložených vzorků pro gama záření.

Absorpce gama záření v látce

Gama záření je elektromagnetické záření o vysoké frekvenci. Při průchodu hmotným prostředím dochází k interakci s atomy látky, následkem které se část záření gama absorbuje. Intenzita záření klesá exponenciálně:

$$I = I_0 e^{-ax}, \quad (33.5)$$

kde I_0 je intenzita před absorpcí a I je intenzita po průchodu absorpční látkou tloušťky x , a je absorpční koeficient dané látky.

Vzhledem k tomu, že $I \approx N$, bude i pro počty naměřených pulsů platit

$$N = N_0 e^{-ax}. \quad (33.6)$$

Postup při měření, zpracování a vyhodnocení – Úkol 2

- Pokud již nemáte zářič v přípravku, vyjměte jej z kontejneru a umístěte do přípravku.
 - Protože emise záření ze zdroje není v čase rovnoměrná, volte dostatečně dlouhou dobu trvání jednotlivého měření, nejlépe 60(nebo 100) s. Pro stanovení počtu pulzů N proveďte 3 měření.
1. Změřte tloušťku destiček zvoleného materiálu a spočítejte její průměrnou hodnotu d . Pro další práci předpokládejte, že tloušťka destiček je stejná a rovna zjištěnému průměru.
 2. Změřte hodnotu N_0 . Pozor, měříte bez vložení studovaného materiálu. Pro upevnění gama zářiče i detektoru do předem definované vzdálenosti použijete distanční rozpěrku, která je zároveň držákem pro následné vkládání měřených vzorků.
 3. Vložte první absorpční destičku měřeného materiálu a změřte N_1 .
 4. Přidejte další absorpční destičku téhož materiálu a změřte N_2 . Postup opakujte pro všechny destičky daného materiálu.
 5. Stejným způsobem proměřte další zvolený materiál, každý student změří nejméně dva různé materiály.
 6. Do semilogaritmického zobrazení vynesete závislosti $N = N(x)$ všech měřených materiálů. Stanovte absorpční koeficienty a . Výsledky porovnejte.
 7. Máme také možnost využít toho, že tloušťka absorbující látky je celistvým násobkem tloušťky d jedné vrstvy. Potom ve vztahu (33.6) je

$$x_n = nd \quad \text{a} \quad N_n = N_0 e^{-and}.$$

8. Vyneseme-li na lineární osu počet vrstev n , bude mít směrnice hodnotu ad . Dělením hodnotou d pak získáme hledaný absorpční koeficient.

Otázky k zamyšlení

V testu připravenosti k úloze se objevují i příklady. Jsou to příklady typu:

- Při průchodu destičkou z materiálu o absorpčním koeficientu 60 m^{-1} klesla intenzita gama záření na 0,1%. Nalezněte tloušťku destičky.

Postup: Výsledek dostaneme použitím (rov. 33.5).

$$\begin{aligned} \frac{I}{I_0} = e^{-ax} &\Rightarrow \ln \frac{I}{I_0} = -ax \Rightarrow x = -\frac{\ln I/I_0}{a} \Rightarrow \\ x = -\frac{\ln 0,1/100}{60} &= -\frac{\ln 0,001}{60} = -\frac{-6,9077}{60} \doteq 0,115 \text{ m} = 115 \text{ mm} . \end{aligned}$$

Pozor. Protože logaritmuje exponenciální funkci musíme použít Přirozený logaritmus – \ln .

- Při průchodu gama záření destičkou tloušťky $d = 1 \cdot 10^{-2}$ m klesla jeho intenzita na $A = 0,1\%$. Nalezněte absorpční koeficient materiálu destičky.

Postup: Počítáme ze stejného vztahu jako předchozí, tedy z (rov. 33.5). V tomto případě je použito trochu jiné označení

$$\frac{I}{I_0} = e^{-ax} \Leftrightarrow \frac{A}{A_0} = e^{-ad} \Rightarrow \ln \frac{A}{A_0} = -ad \Rightarrow a = -\frac{\ln \frac{I}{I_0}}{d} \Rightarrow$$

$$a = -\frac{\ln 0,1/100}{1 \cdot 10^{-2}} = -\frac{\ln 0,001}{0,01} = -\frac{-6,9077}{0,01} = 690,77 \text{ m}^{-1} \doteq 6,91 \text{ m}^{-1}.$$

Pozor. Protože logaritmujeme exponenciální funkci musíme použít Přirozený logaritmus – ln.

- Počet částic registrovaných GM trubicí ve vzdálenosti 1,0 m od bodového zářiče je 4000. Jaký počet částic můžeme přibližně očekávat ve vzdálenosti $R = 0,2$ m při použití téže trubice?

Postup: Výsledek dostaneme použitím (rov. 33.3). Označíme indexem 2 vzdálenost r_2 a počet částic registrovaných v této vzdálenosti N_2 . Indexem 1 označíme vzdálenost bližší k zářiči r_1 a počet zde registrovaných částic, který máme zjistit, označíme N_1 . O hodnotě b víme, že $b \cong -2$.

Postupovat lze několika způsoby. Zde je rovnice (33.3) napsána pro N_1 a potom pro N_2 . Rovnice jsou odečteny a pak provedeny obvyklé úpravy.

$$\left\{ \begin{array}{l} \log N_1 = \log k + b \log r_1 \\ \log N_2 = \log k + b \log r_2 \end{array} \right\} \Rightarrow \log N_1 - \log N_2 = b(\log r_1 - \log r_2) \Rightarrow \log \frac{N_1}{N_2} = b \log \frac{r_1}{r_2} \vee$$

$$\log \frac{N_1}{N_2} = -2 \log \frac{r_1}{r_2} \Rightarrow \log \frac{N_1}{N_2} = \log \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^{-2} \Rightarrow \frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^{-2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow N_1 = N_2 \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^{-2} = N_2 \left(\frac{r_2}{r_1} \right)^2 = 4000 \left(\frac{1}{0,2} \right)^2 = 4000 \cdot 25 = 1 \cdot 10^5$$