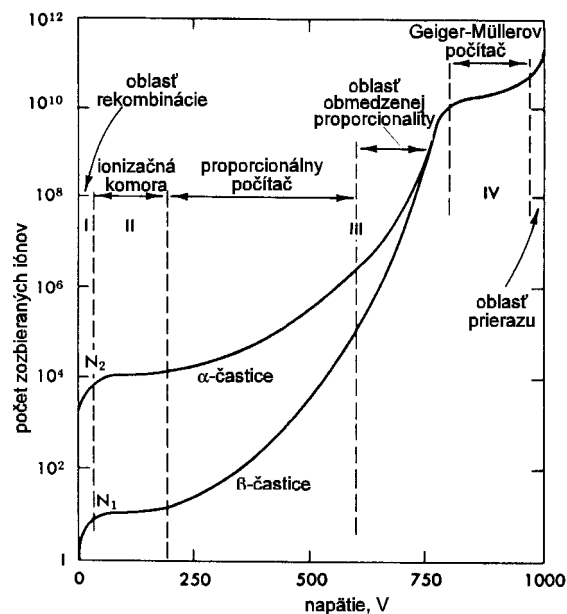


8. Geiger–Müllerov detektor

1. Všeobecná časť

Plynom plnené detektory, v ktorých sa využíva interakcia ionizujúceho žiarenia s okolitým prostredím, sú jedny z najrozšírenejších detekčných zariadení. Geometricky takéto detektory predstavujú uzatvorený priestor s elektródami, vyplnený plynom. Najčastejším geometrickým tvarom je valec (koaxiálny detektor). Pri prechode nabitých častíc detektorom vznikajú z molekúl plynu v dôsledku ionizácie elektróny a kladné ióny. Ak sa to deje v nenulovom elektrickom poli, napríklad v priestore elektród, na ktoré je pripojené napätie, kladné a záporné náboje sa pohybujú k príslušným elektródam a detektorom pretečie prúd. V závislosti od tvaru a intenzity elektrického poľa majú detektory rôzne vlastnosti (pozri obr. 8.1).



Obr. 8.1: Všeobecná charakteristika plynového ionizačného detektora pre α a β častice. Mierka napäťovej stupnice sa však pri konkrétnych typoch detektorov bude líšiť v závislosti od tvaru a rozmerov detektora.

Pri nízkej intenzite elektrického poľa prúd nezávisí od napätia na elektródach a určuje ho len počet kladných iónov a elektrónov, ktoré vznikli v dôsledku ionizačných účinkov častice. Takéto detektory sa nazývajú **ionizačné komory**. So zvyšovaním napätia (a teda aj elektrického poľa) nadobúdajú elektróny energiu, ktorá stačí na vyvolanie ďalšej (sekundárnej) ionizácie. Elektróny, vznikajúce v dôsledku sekundárnej ionizácie, sa urýchľujú a ionizujú ďalšie

neutrálne molekuly plynu. Takýto výboj nazývame nesamostatným, zväčšenie ionizácie v dôsledku tohoto výboja nazývame **plynovým zosilnením** a detektory, pracujúce v tomto režime, nazývame **proporcionálnymi detektormi** (proporcionálny počítač).

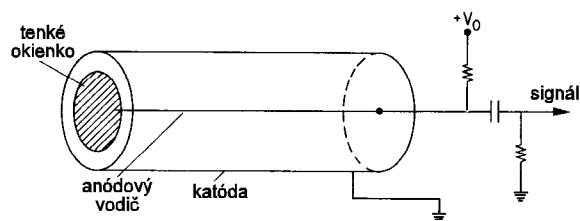
Pri ďalšom zvyšovaní napätia (a teda aj intenzity elektrického poľa) koeficient plynového zosilnenia začína prudko narastať. Tejto oblasti hovoríme *oblasť obmedzenej proporcionality*, ktorá sa však na registráciu žiarenia nevyužíva.

Ak je napätie na elektródach detektora také veľké, že každá častica, ktorá vnikne do detektora zapáli výboj, vytvorí sa v ňom veľké množstvo elektrónov a kladných iónov, nezávislých od počtu nábojov vytvorených primárnou ionizáciou. Takto vzniká oblasť samostatného výboja, v ktorej pracujú **Geiger-Müllerove detektory**. Pri ďalšom zvyšovaní napätia vzniká trvalý samostatný výboj, v oblasti ktorého pracujú korónové a iskrové detektory.

Pokiaľ takýmto detektorom chceme registrovať gama žiarenie, musia v detektore najprv vzniknúť nabité častice s dostatočnou energiou. K tomu dochádza prostredníctvom interakcie gama žiarenia s plynovou náplňou detektora.

Geiger-Müllerov (G–M) detektor

G–M detektory sú obvykle kovové alebo pokovované sklené trubice, tvoriace katódu, v strede ktorých je vlákňová anóda (obr. 8.2). Trubica sa plní vhodným plynom, napr. zmesou argónu a alkoholových pár, ktoré pôsobia ako zhasacia látka (tzv. *quenching gas*). Životnosť takýchto detektorov nebýva vysoká; typicky 10^8 až 10^{10} impulzov. Ak sa ako zhasacia prímies použijú halogény, napr. chlór alebo bróm, majú G-M detektory takmer neobmedzenú životnosť; cenou za to býva nižšia kvalita detektora.



Obr. 8.2: Základné zapojenie G-M detektora.

Vo výboji, ktorý vznikne v G–M detektore, sa vyprodukuje veľký počet elektrónov, ktoré sa rýchlo zozbierajú na anóde. (Rovnakému počtu oveľa ťažších kladných iónov cesta ku katóde trvá podstatne dlhšie). Na výstupnom odpore R pritom vznikne napäťový impulz s dostatočne veľkou amplitúdou, ktorý sa dá ľahko zaregistrovať pomocou čítača impulzov.

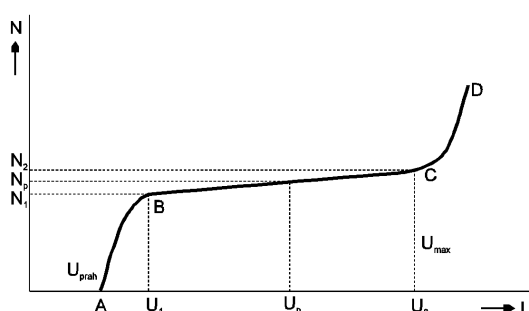
Charakteristika G–M detektora

Charakteristika G–M detektora (obr. 8.3) je závislosť počtu nameraných impulzov od pracovného napätia pri konštantnej početnosti častíc, dopadajúcich na detektor. Pri nízkych napätiach čítač nezaregistruje žiadne impulzy; tie sa objavia až pri určitom prahovom napätí (bod A). Pri ďalšom zvyšovaní napätia (po bod B) sa pomerne skoro dostaneme do oblasti, v ktorej prírastok početnosti impulzov veľmi málo závisí od prírastku napätia. Túto oblasť nazývame *plató*. Na jeho konci, od bodu C, pri ďalšom zvyšovaní napätia početnosť začína znova prudko vzrastať a dostaneme sa do oblasti nekontrolovaného výboja (impulzy registrujeme aj bez prítomnosti žiarenia), kde už hrozí zničenie trubice prierazom (bod D).

Pre trvalú prevádzku detektora volíme pracovný bod v strede plató. Šírka plató má byť u kvalitných detektorov najmenej 100–200 V, pri čo najmenšom sklone (do 5 %). (S narastajúcim časom používania detektora sa šírka znižuje a sklon plató sa zväčšuje). Sklon vypočítame ako prírastok:

$$S = \frac{N_2 - N_1}{U_2 - U_1} \quad (8.1)$$

kde N_1 a N_2 sú početnosti na začiatku a na konci plató a U_1 a U_2 sú odpovedajúce napätia.



Obr. 8.3: Charakteristika G-M detektora

Mŕtva doba

Mŕtva doba je jednou z najdôležitejších charakteristík G–M detektora. Ak počas trvania výboja vnikne do detektora ďalšia častica, nemôže vyvolať ďalší výboj. Po zaregistrovaní každej častice bude nasledovať istý nenulový čas, **mŕtva doba** τ , počas ktorej je detektor necitlivý na dopad ďalších častíc. Ak počet častíc, ktoré do detektora vniknú za jednotku času označíme N_0 , mŕtvu dobu detektora τ a počet zaregistrovaných častíc N , potom τN bude celková doba za jednotku času, počas ktorej detektor nezaregistruje žiadne častice. Počet nezaregistrovaných častíc potom bude:

$$N_0 - N = N_0 N \tau \quad (8.2)$$

z čoho:

$$N_0 = \frac{N}{1 - N\tau} \quad (8.3)$$

Pomocou vzťahu (8.3) môžeme určiť počet častíc, ktoré by detektor zaregistroval ak by mŕtva doba bola rovná nule. Tento prepočet nazývame *korekciou na mŕtvu dobu*.

G–M detektory mávajú mŕtvu dobu rádovo 10^{-4} až 10^{-3} s (závisí aj od početnosti). Orientačne a veľmi približne ju môžeme určiť meraním pomocou dvoch žiaričov. Z merania so žiaričom **A**, potom so žiaričom **B** a s oboma (**A+B**) dostaneme pre jednotlivé početnosti:

$$\left. \begin{aligned} N_{01} &= \frac{N_1}{1 - N_1 \tau} \\ N_{02} &= \frac{N_2}{1 - N_2 \tau} \\ N_{012} &= \frac{N_{12}}{1 - N_{12} \tau} \end{aligned} \right\} \quad (8.4)$$

Z týchto vzťahov, za predpokladu $N_1 \tau \ll 1$ a $N_2 \tau \ll 1$ dostaneme pre mŕtvu dobu výraz:

$$\tau = \frac{N_1 + N_2 - N_{12}}{2N_1 N_2} \quad (8.5)$$

2. Zadanie a postup merania

Meranie vykonáme na jednonábovom analyzátoze s čítačom impulzov. Pri konštantnej predvolenej dobe merania budeme zvyšovať napätie na G-M trubici s krokom 50 V, až kým neprejdeme celú oblasť plató.

Postup pri meraní charakteristiky Geiger-Müllerovej trubice

Začnite merať orientačne od napätia 900 V (predpokladáme ešte nulovú početnosť), po každom meraní zvýšte napätie o 50 V. Pokračujte až do cca 1500 V. Výsledky merania a výpočtu zapíšte do tab. 8.1.

Ak by sa pri niektorom napätí nad 1400 V početnosť už prudko zvýšila, ďalej nemerajte a znížte napätie. Pravdepodobne už vznikol samostatný výboj.

Predvolená doba merania : 300 sekúnd.

Tabuľka nameraných a vypočítaných hodnôt

Tab. 8.1

Typ a číslo G-M trubice:

Žiarič:

| $U_{(V)}$ | $N_{(300s)}$ | $n = N/t$ | $\sigma_N = \sqrt{N}$ | $\sigma_n = \frac{1}{t} \sqrt{N}$ |
|-----------|--------------|-----------|-----------------------|-----------------------------------|
| 900 | | | | |
| 950 | | | | |
| 1000 | | | | |
| 1050 | | | | |
| 1100 | | | | |
| 1150 | | | | |
| 1200 | | | | |
| 1250 | | | | |
| 1300 | | | | |
| 1350 | | | | |
| 1400 | | | | |
| 1450 | | | | |
| 1500 | | | | |
| 1550 | | | | |

Nájdite pracovný bod, ohraničte si plató a na tomto úseku (okolo pracovného bodu) vypočítajte sklon nameranej charakteristiky G-M trubice.

Namerané hodnoty vyneste do grafu. Okrem hodnôt početnosti n vyneste aj hodnoty smerodajnej odchýlky, $N \pm \sigma_n$.

Upozornenie: Smerodajnú odchýlku kreslite len ako prostú čiaru okolo nameraného bodu, na koncoch žiadne šípky ani trojuholníčky (táto chyba sa často opakuje).

Postup pri meraní mŕtvej doby Geiger-Müllerovej trubice

V navrhnutom pracovnom bode zmerajte orientačnú hodnotu mŕtvej doby G–M trubice pomocou dvoch žiaričov. Merajte 600 sekúnd.

Poznámka: Pri týchto meraniach sa so žiaričom nesmie pohnúť. Ak by sme žiarič odložili a znova umiestnili na pôvodné miesto, veľmi pravdepodobne by sme namerali inú hodnotu. Preto toto meranie robíme tak, že najprv vykonáme meranie s prvým žiaričom (**A**), potom s obidvomi (**A+B**) a nakoniec len s druhým žiaričom (**B**).

Namerané hodnoty: (U = napätie pracovného bodu, ktoré ste si zvolili)

Tabuľka nameraných a vypočítaných hodnôt

Tab. 8.2

Typ a číslo G-M trubice: Žiarič A: Žiarič B:

| $U =$ | $N_{(600s)}$ | $n = N/t$ | $\sigma_N = \sqrt{N}$ | $\sigma_n = \frac{1}{t} \sqrt{N}$ |
|---------------|--------------|-----------|-----------------------|-----------------------------------|
| žiarič A | | | | |
| žiariče A + B | | | | |
| žiarič B | | | | |

Podľa vzťahov (8.2) až (8.5) vypočítajte približnú hodnotu mŕtvej doby trubice. (Pozor na rozmer a na rozdiel medzi počtom a početnosťou impulzov; výsledok musí mať rozmer času).

Mŕtva doba $\tau_D =$

3. Literatúra

- [1] Sitek J.: Metódy merania rádioaktívneho žiarenia, skriptum, Bratislava, EF SVŠT, 1985.
- [2] Leo W.R.: Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments (a How-to Approach), Springer-Verlag, Berlin, 1987.