

## **Ionizující záření II**

**Cíl úlohy:** Získání zkušeností stanovením mrtvé doby metodou dvou zářičů a jejího vlivu na hodnoty odečítané z GM počítače.

### **Úkol měření**

1) Změřte mrtvou dobu GM počítače metodou dvou zářičů. Vezměte v úvahu vliv pozadí.

### **Teoretický základ řešení úlohy**

Geiger-Müllerův (GM) detektor je ionizační komora, hermeticky uzavřená, naplněná plynem o tlaku většinou nižším než atmosférický a pracuje v impulsním režimu. Elektrody této komory jsou zapojeny v elektrickém obvodu na napětí cca 600 až 1000 V. Po vniknutí kvanta ionizujícího záření nastane v plynu ionizace, načež se elektrony začnou pohybovat k anodě a kladné ionty ke katodě. Jelikož plyn je zředěný, nebo napětí na elektrodách dostatečně vysoké, je střední volná dráha každého elektronu natolik dlouhá, že v elektrickém poli získá takovou kinetickou energii, že při nárazu na atom plynu je schopen vyrazit další elektrony (a ionty). Tyto sekundární elektrony pak vyřáží další sekundární elektrony atd. Tento proces sekundární ionizace probíhá lavinovitě (z jednoho primárního elektronu vzniká až  $10^{10}$  sekundárních elektronů) – vzniká elektrický výboj v prostoru mezi elektrodami. Obvodem projde poměrně silný proudový impuls a na pracovním odporu tak vzniká poměrně vysoký napěťový impuls, který se přes oddělovací kondenzátor vede ke zpracování v příslušné elektronické jednotce (zesilovač, čítač, integrátor) – je tak uskutečněna detekce kvanta příslušného ionizujícího záření převedením na elektrický impuls. Takto vzniklé elektrické impulsy mají stejnou velikost i tvar, nezávisle na druhu a energii detekovaného kvanta.

Výboj, který vznikne při detekci částice v prostoru mezi elektrodami, je nutno co nejdříve přerušit, protože po dobu výboje nelze registrovat další částice. Na přerušení výboje se podílejí dvě okolnosti. Tou první je úbytek napětí na poměrně vysokém pracovním odporu (řádově  $M\Omega$ ), čímž se napětí na elektrodách sníží a produkce sekundárních elektronů se omezí. V ionizované plynové náplni však dochází k rekombinaci iontů a deexcitaci vzbuzených atomů, při čemž dochází k emisi fotonů ultrafialového záření. Fotony UV záření jsou schopny ionizovat a vyřázet fotoefektem z katody další elektrony, což má tendenci prodlužovat výboj. Proto se do plynové náplně přidává zhasací látka (bývají to páry metylalkoholu, bromu apod.), jejíž molekuly absorbují ultrafialové fotony a přispívají tak k rychlému přerušení výboje.

Mrtvá doba detektorů – V době trvání lavinovitého výboje v GM trubici je detektor necitlivý k dalším dopadajícím kvantům. Doba od registrace jednoho impulsu, po kterou detektor není schopen registrovat další impulsy, se nazývá mrtvá doba detektoru, značí se  $\tau$  a měří se v mikrosekundách. U GM detektorů je mrtvá doba řádově  $10^{-4}$  sekundy, tj.  $\tau \cong 100 \mu s$  (což je mrtvá doba poměrně dlouhá!), u scintilačních detektorů je často kratší než  $1 \mu s$ . Mrtvá doba způsobuje, že nejsou detekována všechna interagující kvanta záření, ale dochází k určité ztrátě detekovaných impulsů, přičemž tato ztráta v důsledku mrtvé doby roste s četností (tokem) kvant

měřeného záření. Místo skutečné průměrné vstupní (teoretické) četnosti  $N$  [imp./s] přicházejících kvant záření naměříme registrovanou četnost impulsů  $n$  [imp./s], přičemž  $n < N$ .

Jsou dva typy mrtvé doby (non-paralyzabilní a paralyzabilní) podle typu detektoru. Mrtvá doba non-paralyzabilní je charakterizovaná tím, že během této mrtvé doby detektor neregistruje přilétající částice, přičemž tyto částice nemají na jeho činnost žádný vliv a po uplynutí mrtvé doby je detektor okamžitě připraven k detekci dalšího impulsu. Paralyzabilní mrtvá doba (zvaná též kumulativní) je taková, že během ní detektor nejen že neregistruje další částice, ale každá taková částice jež během mrtvé doby vletí do detektoru, znovu prodlouží o tutéž dobu jeho necitlivost - "paralyzuje" činnost detektoru, mrtvá doba se "kumuluje".

Stanovit mrtvou dobu můžeme metodou dvou zářičů. Předpokládejme, že za jednotku času projde počítačem, jehož mrtvá doba je  $t_D$   $N$  částic, z nichž je registrováno pouze  $n$ . Platí, že  $n < N$ , neboť po každé zaregistrované částici je GM počítač po dobu  $t_D$  necitlivý. Neuvažujeme-li překryv jednotlivých počítacích dob, je při registrování  $n$  částic GM počítač necitlivý po dobu  $n \cdot t_D$ , takže doba, po kterou je počítač schopen registrovat impulsy je  $1 - n \cdot t_D$ . Poměr mezi počtem prošlých a registrovaných částic za jednotku času je tedy

$$\frac{N}{n} = \frac{1}{1 - n \cdot t_D} \quad (1)$$

Skutečný počet částic, které za jednotku času prošly GM počítač můžeme tudíž počítat

$$N = \frac{n}{1 - n \cdot t_D} \quad (2)$$

Princip metody dvou zářičů spočívá ve srovnání počtu pulsů registrovaných od dvou totožných zářičů, přičemž nejdříve se měří počet impulsů registrovaných od každého zářiče zvlášť, potom od obou současně. Je nutné, aby oba zářiče měly přibližně stejné parametry. Jestliže  $N_1$  a  $N_2$  jsou počty částic, které dopadnou na počítač od zářičů 1 a 2, počet částic, které dopadnou na počítač od obou zářičů současně potom bude

$$N_{12} = N_1 + N_2 \quad (3)$$

Je-li počet pulsů registrovaných od prvního zářiče  $n_1$  a od druhého  $n_2$ , bude dosazením vztahu 3 do vztahu 2 platit

$$\frac{n_{12}}{1 - n_{12} \cdot t_D} = \frac{n_1}{1 - n_1 \cdot t_D} + \frac{n_2}{1 - n_2 \cdot t_D} \quad (4)$$

Vyjádřením  $t_D$  z této rovnice a zanedbáním  $t_D^2$  (velmi malé číslo), dostáváme vztah pro výpočet mrtvé doby

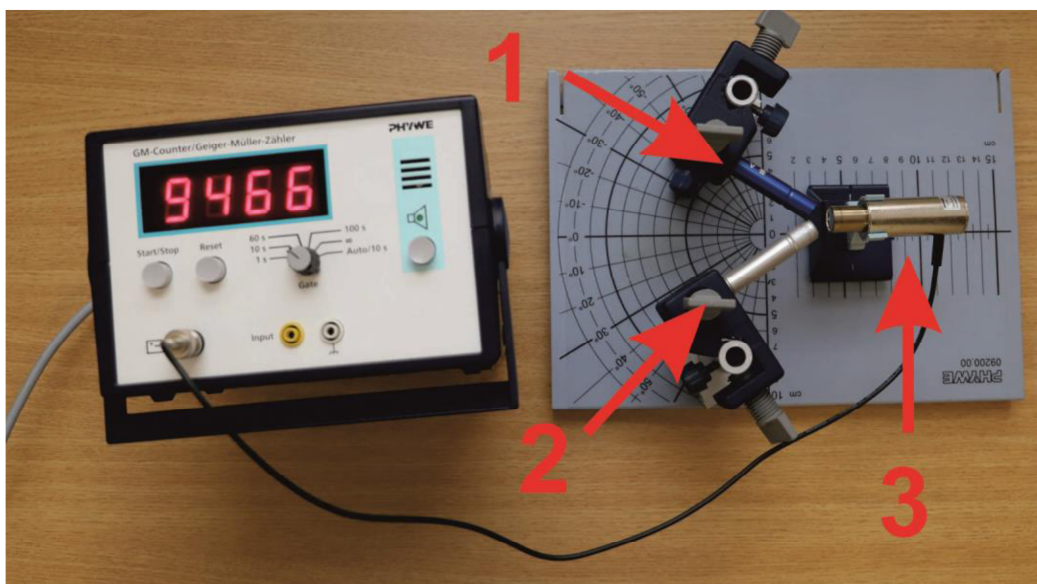
$$t_D = \frac{n_1 + n_2 - n_{12}}{2 \cdot n_1 \cdot n_2} \quad (5)$$

V případě, že nelze zanedbat pozadí vzhledem k naměřeným četnostem, je nutné jeho hodnotu od naměřených četností odečíst. Při hodnotě pozadí  $n_p$  potom  $t_D$  počítáme

$$t_D = \frac{n_1 + n_2 - n_{12} - n_p}{2 \cdot (n_1 - n_p) \cdot (n_2 - n_p)} \quad (6)$$

## Postup měření

- 1) Změřte několikrát hodnotu pozadí  $n_p$ .
- 2) Změřte několikrát četnost impulsů  $n_1$  s prvním zářičem a četnost impulsů  $n_2$  s druhým zářičem.
- 3) Stejně tak změřte několikrát četnost impulsů  $n_{12}$  od obou zářičů zároveň (obr. 1). Dbejte na to, abyste dodržovali stejnou geometrii uspořádání experimentu!
- 4) Podle vztahu 5 a 6 spočítejte mrtvou dobu počítače  $t_D$ . Výsledky porovnejte.



Obrázek 1: Ukázka geometrie uspořádání experimentu

1 – Zdroj 1, 2 – Zdroj 2 a 3 – Detektor

## Reference:

- [1] Gerndt, J.; Průša, P.: Detektory ionizujícího záření. 2. přepracované vydání. Vydavatelství ČVUT, Praha, 2011. ISBN: 978-80-01-04710-1.
- [2] Usačev, S., Chrapan, J., Chudý, M., Vanovič, J.: Experimentální jadrová fyzika, ALFA Bratislava, SNTL Praha, 1982.
- [3] Špatenka, P., Kalčík, J.: Fyzikální praktikum IV. 1. vyd. České Budějovice: PdF 1979. 129 s. ISBN 80-7040-014-5.
- [4] Mittasch, M.: Geiger - Müllerův počítač v jaderném praktiku. Bakalářská práce. 2008. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Pedagogická fakulta.
- [5] Detekce a spektrometrická analýza fotonového a korpuskulárního záření pro výzkum, technologické aplikace a medicínu. AstroNuklFyzika. [online]. [cit. 25. srpna 2023]. Dostupné z: <https://astronuklfyzika.cz/DetekceSpektrometrie.htm>