

A2 Studium plynových detektorů

V. Vorobel
5. října 2009

Úkoly:

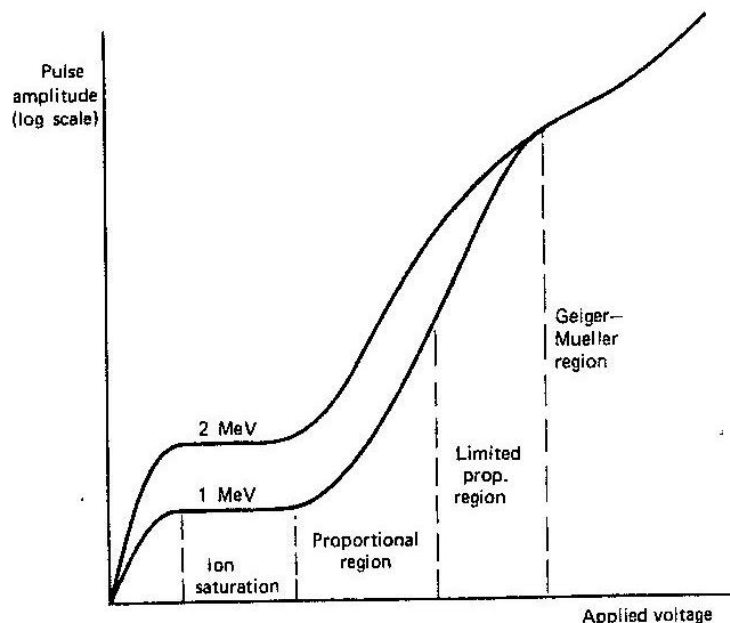
1. Pomocí ionizační komory (IK) zjistěte, který z přiložených radioaktivních zářičů má větší aktivitu.
2. Změřte V-A charakteristiky IK v rozsahu 0-500 V při různých vzdálenostech elektrod 1-6 cm. Použijte intenzivnější zářič.
3. Identifikujte charakteristické oblasti V-A závislosti. Určete optimální 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 α -částic ve vzduchu.
6. Pomocí osciloskopu změřte závislost amplitudy elektrického impulzu Geiger-Müllerova (GM) detektoru na napětí v rozsahu 0-1500 V. Nepřekračujte napětí 1500V aby nedošlo k destrukci GM detektoru!
7. Identifikujte charakteristické oblasti V-A závislosti GM detektoru.

2 Úvod

Nejstarší a dosud nejběžnější metody, kterými lze měřit a srovnávat aktivity radioaktivních zářičů, jsou založeny na ionizačních účincích záření v plynech. Plyny se stávají vodivými, prochází-li jimi ionizační záření. Vnikne-li ionizující částice do prostoru mezi desky kondenzátoru, na němž je přiložené napětí, vytvoří podél své dráhy kladné a záporné ionty nebo volné elektrony, které jsou uváděny elektrickým polem do pohybu směrem k elektrodám, a mezi deskami kondenzátoru prochází ionizační proud. Ionizační proud závisí na intenzitě ionizačního záření, na energii ionizujících částic a na napětí mezi deskami kondenzátoru. Protože ionizační ztráty závisí na druhu ionizující částice a na její počáteční energii, lze popsané zařízení využít pro rozlišení druhu částic nebo pro rozlišení mezi energiemi identického druhu záření.

2.1 Charakteristika plynového detektoru

Závislost ionizačního proudu na napětí mezi elektrodami detektoru, charakteristika komory, je důležitá pro volbu způsobu a podmínek provozu detektoru. V běžných případech má při konstantní intenzitě ionizujícího záření typický průběh, který lze rozdělit do následujících oblastí.



Obr. 1: Charakteristika plynového detektoru.

- *Oblast Ohmova zákona.* Není-li na elektrody detektoru přivedeno žádné napětí, neprochází komorou elektrický proud. Ionty a elektrony vytvořené zářením úplně rekombinují, případně difundují mimo aktivní oblast detektoru. Připojení malého napětí vede k rozdělení volných nosičů náboje opačných znamének. Rychlost jejich pohybu k odpovídajícím elektrodám je přímo úměrná intenzitě elektrického pole. Ionizační proud proto roste přímo úměrně s napětím.
- Při vzrůstajícím napětí jsou nosiče náboje rychleji odsávány k elektrodám, klesá množství iontů v aktivní oblasti a tím klesá i šance pro jejich rekombinaci. Úměrnost proudu s napětím přestává platit. Stoupání proudu s napětím se zvolňuje.
- *Oblast nasyceného proudu* je charakterizovaná stálou hodnotou ionizačního proudu, nezávislou na napětí. Při dostatečně vysokém napětí je rychlost rekombinace potlačena na zanedbatelnou úroveň a veškerý volný náboj, vytvořený ionizací přispívá k ionizačnímu proudu. Další zvyšování napětí již nemůže vést ke zvyšování proudu, jelikož veškerý volný náboj je již sebrán a rychlost tvorby náboje je konstantní. Tato oblast je typická pro provoz ionizačních komor.
- *Oblast plynového/lavinového zesílení.* Ionty a elektrony na své cestě k elektrodám procházejí mnoha srážkami s neutrálními molekulami/atomy plynové náplně detektoru. Při dostatečně vysoké intenzitě elektrického pole (10^6 V/m pro typické plyny) získají elektrony mezi srážkami energii vyšší než je ionizační energie. V následné srážce pak mohou vytvořit nový iontový pár. Sekundární iontový pár je pak také urychlen elektrickým polem a vytváří další iontové páry. Tímto způsobem vzniká tzv. lavinové zesílení, kdy každý elektron uvolněný v primární ionizaci zářením generuje určité množství sekundárních volných elektronů přispívajících k elektrickému proudu.

- *Oblast proporcionality.* V této oblasti je plynové zesílení nezávislé na primární ionizaci. Ionizační proud je tedy úměrný počtu iontových párů vzniklých přímým působením záření, tedy i celkové ztrátě energie záření v komoře.
- *Oblast omezené proporcionality.* Při dalším zvyšování napětí se začne projevovat, že zatímco volné elektrony dospějí k anodě velice rychle, kladné ionty se během stejné doby téměř nepohnou z místa jejich vzniku a pomalu driftují ke katodě. Je-li koncentrace kladných iontů v objemu detektoru dostatečně velká, představují prostorový náboj, který významně redukuje intenzitu elektrického pole. Tím je zeslabeno další plynové zesílení a dochází k porušení úměrnosti mezi signálem a primární ionizací. I nadále platí, že větší deponované energii v detektoru odpovídá větší signál, nejde však již o přímou úměrnost.
- *Geiger-Müllerova oblast.* Při dostatečně vysokém napětí rozvoj laviny probíhá jen do okamžiku, než vznikající kladný prostorový náboj redukuje intenzitu elektrického pole na úroveň, kdy již nemůže docházet k plynovému zesílení. Tehdy všechny impulsy detektoru mají stejnou amplitudu, nezávislou na druhu a energii záření.

2.2 Typy plynových detektorů

Na ionizaci je založena celá řada přístrojů určených k měření jaderného záření. Jednotlivé oblasti charakteristiky popsaného zařízení využívají různé typy plynových počítačů. Oblast Ohmova zákona není vhodná k detekci částic, protože výsledné ionizační proudy jsou velmi malé a zároveň je jejich velikost citlivá na přiloženém napětí.

Oblast nasyceného proudu, kde pracují ionizační komory, je k detekci částic mnohem výhodnější. V oblasti je ionizační proud procházející komorou nezávislý na velikosti přiloženého napětí a stejné částice s různými energiemi jsou dobře rozlišitelné. Nevýhodou ionizačních komor jsou stále ještě velmi malé ionizační proudy a z toho plynoucí nároky na následné elektronické zpracování, a sice značné lineární zesílení, nízká úroveň šumu a podobně.

Za touto oblastí následuje oblast proporcionálních počítačů. Jejich velkou předností je tak zvané plynové zesílení, které dosahuje tří až pěti řádů. Tyto počítače využívají zvyšování počtu iontů v plynové náplni sekundární ionizací ve srážkách. Protože závislost velikosti ionizačního proudu na přiloženém napětí je v této oblasti značně strmá, potřebují proporcionální počítače pro svoji správnou činnost velmi dobře stabilizovaný zdroj napětí. Na horním okraji oblasti proporcionality, tak zvaná oblast omezené proporcionality, se charakteristiky komory pro různé druhy částic začínají přibližovat a tato část oblasti není prakticky využívána.

Koncový bod oblasti proporcionality, kde charakteristiky komory pro různé druhy částic se sbíhají v jeden bod, je tak zvaný Geigerův práh. Nad tímto prahem pracují Geiger-Müllerovy počítače. Jejich předností je vysoké plynové zesílení. Geiger-Müllerovy počítače však nerozliší ani energie ani druhy částic dopadajícího záření.

2.3 Ionizační komora

Nejvyužívanějšími komorami jsou statické nízkotlaké komory s konstantní ionizací [1]. Jsou to vlastně plynové (vzduchové) kondenzátory. Působením ionizačního záření se udržuje

konstantní ionizační proud, kterým se komora vybíjí, a velikost ionizačního proudu se vhodným způsobem měří. Jen u velmi silných zářičů je možné měřit tento proud velmi citlivým galvanometrem. Většinou se užívá elektrometru, na němž se zjišťuje časová změna napětí.

Při práci s ionizační komorou lze použít buď impulsní nebo integrální zapojení. V prvním případě je snímán buď proudový nebo výhodněji napěťový impuls z odporu vřazeného do napájecího obvodu komory, zesiluje se a registruje. Ionizační komora v integrálním zapojení jako detektor dávky ionizujícího záření. V tomto případě je na kondenzátor představující ionizační komoru přiloženo napětí U a je na něm náboj $Q = CU$, kde C je konstantní kapacita kondenzátoru. Ionizující částice procházejí účinným objemem komory zanechávají zde po sobě ionty, které jsou odneseny na elektrody, kde svůj náboj zneutralizují. Dochází tak k přenosu náboje mezi elektrodami kondenzátoru a kondenzátor se vybíjí. Protože kapacita kondenzátoru je při daném uspořádání konstantní, pokles napětí odpovídá dávce záření, kterou komora zaregistrovala. Časová změna napětí na kondenzátoru pak odpovídá intenzitě registrovaného záření.

Vzduch v ionizační komoře není za obvyklých podmínek dokonalým izolátorem. Díky tomu a díky kosmickému záření či díky stopovým množstvím radioaktivních prvků, které jsou přítomny ve všech látkách, se komora vybíjí. I když je tento tak zvaný svodový proud velmi malý, je srovnatelný s ionizačním proudem. Proto musí být výsledná měření vždy opravena na tento efekt.

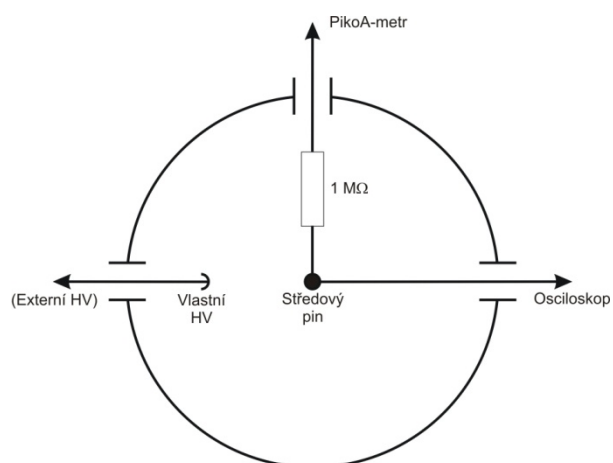
Ačkoli jsou ionizační komory principiálně stejné pro detekci různých druhů záření, konstrukčně se liší. Částice α pocházejí z přirozeně radioaktivních vzorků mají ve vzduchu malý dolet. Například dolet nejenergičtějších α -částic, které vylétují z radioaktivního izotopu polonia ^{212}Po a mají kinetickou energii $T_0 = 8.776 \text{ MeV}$, je ve vzduchu za normálních podmínek menší než 9 cm. Proto se zářiče α vkládají dovnitř do komory válcového tvaru o průměru asi 18 cm tak, aby většina α -částic zanechala svou energii v komoře.

Protože dolet β -částic z přirozeně radioaktivních vzorků je ve vzduchu za normálních podmínek několika metrů, ionizační komory pro registraci záření β se konstruují co největší. I tak se v účinném prostoru komory absorbuje jen část elektronů a toto zařízení se nejčastěji používá na srovnávací měření pro stejné druhy částic o stejné energii.

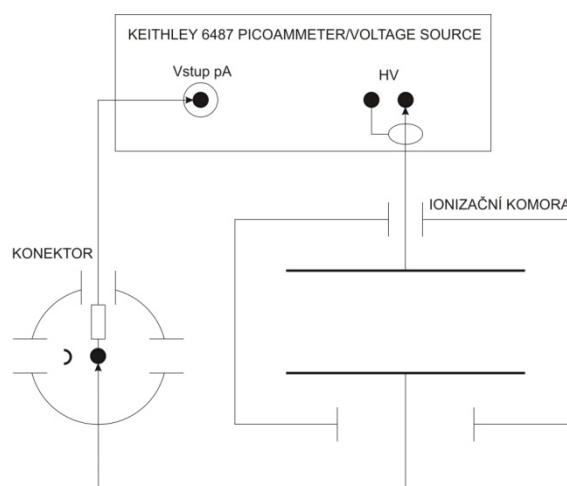
Přímá ionizace vzduchu záření γ je velmi malá. Proto je konstrukce ionizačních komor pro γ -záření značně odlišná od předcházejících dvou zařízení. Zářič je umístěn vně komory a stěny komory pracují jako konvertor záření γ na elektrony. Protože pravděpodobnost interakce γ -záření s hmotou roste s protonovým číslem látky, používají se komory se silnými stěnami z olova, oceli nebo mosazi.

3 Experimentální uspořádání

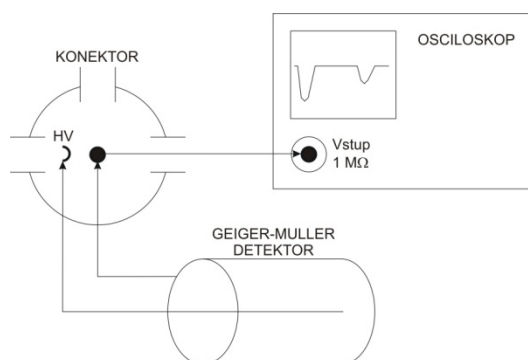
Předmětem studia jsou dva plynové detektory – desková IK s nastavitelnou vzdáleností elektrod a GM detektor. Oba detektory se připojují ke stejnému konektoru. Funkce tohoto konektoru jsou však různé při připojení IK nebo GM detektoru. Schéma konektoru je na obr.2.



Obr 2: Schéma konektoru pro připojení plynového detektoru.



Obr.3: Schéma zapojení pro studium IK.



Obr.4: Schéma zapojení pro studium GM detektoru.

Pro měření ionizačního proudu IK je používán pikoampérmetr KEITHLEY 6487. Tento přístroj má vestavěn zdroj napětí 0-500 V. Schema zapojení viz obr.3. Nastavení napětí se nastavuje pomocí tlačítek na čelním panelu přístroje v oblasti V-SOURCE. Šipkami nahoru, dolů volíme hodnotu napětí. Stisknutím tlačítka OPER dojde k zapnutí nastaveného napětí, současně se rozsvítí kontrolka VOLTAGE SOURCE OPERATE. Opětovným stiskem tlačítka OPER se napětí vypne a kontrolka zhasne.

Pro studium GM detektoru je používán zdroj vysokého napětí 0-2000 V přístroje NEMEC. Při měření nepřekračujte napětí 1500 V aby nedošlo k destrukci GM detektoru! Amplituda impulsů je měřena pomocí osciloskopu se vstupním odporem 1 M Ω . Schéma zapojení viz obr.4.

Reference

W.R.Leo, Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments, Springer Verlag Berlin-Heidelberg 1987

http://en.wikibooks.org/wiki/Basic_Physics_of_Nuclear_Medicine/Gas-Filled_Radiation_Detectors

Příloha

Model 6487 front and rear panel familiarization