

## POROVNANIE PLYNOVÝCH A SCINTILAČNÝCH DETEKTOROV NA MERANIE ŽIARENIA GAMA V ŽIVOTNOM PROSTREDÍ

Štefan Húšťava

Katedra fyziky, Pedagogická fakulta, Trnavská univerzita  
Priemyselná 4, P.O. Box, 918 43 Trnava, SR  
e-mail: shustava@hotmail.com

**Abstract:** The paper describes the most important properties and possibilities of utilization of the gas filled and scintillation detectors for measuring the gamma radiation. As a gas filled detector was chosen the proportional detector RS 03/232 with an intelligent sond and for scintillations the detector with anorganic scintillator NaI(Tl). For this two types of detectors the possibilities of utilization for measuring the gamma radiation in environment were compared. In the next part are evaluated and interpreted the results of comparative measurements of these two types of detectors. In the conclusion are summarised advantages and disadvantages of the usage of both these detector types for measuring the gamma radiation in environment.

**Key words:** Gas filled detectors, scintillation detectors, sensitivity, gamma radiation, environment measuring.

### 1. Úvod

Vlastnosti detektora ionizujúceho žiarenia určujú základné parametre meracieho systému a musí im byť prispôbené vyhodnocovacie zariadenie a metódy spracovania ním získaných informácií. Pri výbere detektora ionizujúceho žiarenia musíme brať do úvahy interakciu žiarenia s hmotou. Detektory ionizujúceho žiarenia možno rozdeliť do skupín podľa rôznych hľadísk: spektrometrické - schopné rozlíšiť energiu žiarenia, nespektrometrické, plynové - plynom plnené, založené na priamej ionizácii plynu (výnimkou sú napr. plynové scintilátory). Všeobecne môžu byť detektory ionizujúceho žiarenia rozdelené aj podľa druhu látkového prostredia, kde dochádza k interakcii žiarenia, alebo aj podľa detekčného mechanizmu. V tejto práci bude venovaná pozornosť z plynových detektorov ionizačnej komore, proporcionálnemu detektoru, Geiger-Müllerovmu detektoru a korónovému detektoru a budú porovnávané ich vlastnosti so scintilačným detektorom a vhodnosť ich použitia na merania žiarenia gama hlavne v životnom prostredí. Pri výbere porovnávaných detektorov sa vychádzalo z doterajších skúseností z dlhodobých meraní s proporcionálnym detektorom a z bohatých literárnych prameňov často používaného a veľmi dobre osvedčeného scintilačného detektora s anorganickým scintilátorom NaI(Tl), ktorý má veľmi dobré spektrometrické vlastnosti.

### 2. Plynové detektory

Za štandardných laboratórnych podmienok sa plyny chovajú ako veľmi dobré izolanty. Pôsobením priamo ionizujúceho žiarenia sa niektoré atómy, alebo molekuly, pôvodne neutrálne sa menia ionizáciou na kladne nabité ióny a elektróny. Pri interakcii nepriamo ionizujúceho žiarenia túto ionizáciu spôsobujú sekundárne nabité častice. Dôsledkom toho vodivosť plynu narastá. Detektory využívajúce tento jav sa označujú ako plynové detektory. Patria k nim nasledujúce druhy detektorov:

- a) ionizačné komory

- b) proporcionálne detektory
- c) Geiger - Müllerove detektory
- d) korónové detektory

ktoré sa od seba líšia predovšetkým veľkosťou a rozložením intenzity elektrického poľa, určené geometriou detektora a použitým napájacím napätím a ďalej druhom a tlakom použitého pracovného plynu.

**Ionizačné komory** – väčšinou sú využívané v dozimetrii pri stanovení veličín expozície, kermy a dávky vo vzduchu. V súlade s definíciou je komora naplnená vzduchom. Najčastejším geometrickým tvarom je dosková alebo valcová, zriedka sférická komora. V aplikáciách sa ionizačné komory najčastejšie používajú v prevádzkach, kde sú vysoké teploty. Schopnosť práce za týchto podmienok je bezkonkurenčná, žiadny z ostatných známych detektorov túto vlastnosť nemá. Preto sa s nimi stretávame napríklad pri meraniach v aktívnej zóne jadrových reaktorov, hút a valcovniach. Veľmi často sú využívané na oddeleniach nukleárnej medicíny pre meranie aplikovanej aktivity rádiofarmák, pretože umožňujú merať v dynamickom rozsahu niekoľko rádov. Používajú sa tiež v spektrometrii ťažkých nabitých častíc, zvlášť v prípadoch, kde je treba merať veľkoplošné vzorky malých aktivít (filtre ventilačných komínov). Pracujú podľa potreby užívateľa v prúdovom, alebo impulznom režime [1] .

**Proporcionálne detektory** – tento typ detektora podobne ako Geiger – Müllerov a korónový detektor využíva jav plynového zosilnenia (nárazovou ionizáciou) k znásobeniu počtu nosičov nábojov vytvorených ionizáciou v plynovej náplni detektora. Pracujú takmer vždy v impulznom režime. Výstupné impulzy majú vďaka plynovému zosilneniu podstatne väčšie amplitúdy, než u impulzne pracujúcich ionizačných komôr. Je to výhodné vtedy, keď je počet ionizáciou vytvorených nábojov taký malý, že nezabezpečí dostatočnú amplitúdu signálu z ionizačnej komory. Takýto problém môže nastať, keď sa detekuje nízko energetické žiarenie gama. V lavíne, ktorá je základom činnosti proporcionálneho detektora vznikajú elektróny a kladné ióny. V okolí anódy je intenzita elektrického poľa veľmi vysoká a dostatočná k tvorbe lavíny, elektróny sú veľmi rýchle odvedené z okolia anódy. Kladné ióny sa pohybujú podstatne pomalšie k vzdialenej katóde a vzdialenosťou ich rýchlosť klesá, čo ovplyvňuje rozloženie elektrického poľa v detektore. Dôsledkom toho je pokles amplitúdy signálu a zhoršenie energetickej rozlišovacej schopnosti. Štatistická fluktuácia pri vzniku signálu v detektore a šumy predzosilňovača a lineárneho zosilňovača sú príčinou toho, že pik monoenergetického žiarenia nie je zobrazený ako delta funkcia, ale ako gausián. Proporcionálne detektory boli do začiatku osemdesiatych rokov najlepšimi spektrometrickými detektormi mäkkého fotónového žiarenia s energiami v rozsahu od 250 eV do 100 keV. Vývoj planárnych polovodičových detektorov ich vytlačil z oblasti špičkovej laboratórnej spektrometrie. Stále však ostávajú veľmi dobrými spektrometrickými detektormi najmä pre širokú oblasť aplikovanej analytiky (napr. RFA – roentgen fluorescenčná analýza). Ich prednosťou je cena, rozmery a nenáročnosť v prevádzke – na rozdiel od polovodičových detektorov nevyžadujú chladenie v mobilných terénnych prístrojoch. V oblasti spektrometrie a detekcie fotónového žiarenia energií menších než 1000 eV ( napr. roentgenová difraktografia) sú vďaka svojmu plynovému zosilneniu doteraz nenahraditeľné akýmkoľvek inými doteraz známymi typmi detektorov. V porovnaní so scintilačnými detektormi je veľkou výhodou proporcionálnych detektorov podstatne lepšia (asi trojnásobne) energetická rozlišovacia schopnosť, malá citlivosť na vysoko energetické pozadie a schopnosť merania energií v oblasti 100 eV. Touto vlastnosťou úspešne konkurujú aj najmodernejším polovodičovým detektorom. O energetickej rozlišovacej schopnosti pre rôzne typy proporcionálnych detektorov možno nájsť v práci [2] Ako jedny z mála detektorov môžu byť použité i v prostredí s veľkými zmenami teplôt, tlakov a magnetických polí.

**Geiger - Müllerove (G-M) detektory** – patria k najstarším detektorom žiarenia, pre svoju jednoduchosť, nízku cenu a jednoduchú aplikovateľnosť sú hojne používané na bežnú detekciu pri nízkej početnosti interakcií. Ich vývoj už prakticky nepokračuje a ich problematika je podrobne analyzovaná v práci [3]. Pri proporcionálnych detektoroch sa uplatňoval mechanizmus nárazovej ionizácie a následný vznik lavín, ktoré sa šíria z miesta vzniku primárnej ionizácie akýmsi „kanálom“ v smere elektrického poľa. Ak na takomto detektore s výrazne nehomogénnym elektrickým poľom budeme zvyšovať vysoké napätie, budú v dôsledku veľkej intenzity elektrického poľa v oblasti anódy elektróny lavíny natoľko urýchlené, že okrem nárazovej ionizácie môžu byť excitované atómy a molekuly plynovej náplne. Pravdepodobnosť excitácie veľmi rýchlo rastie s rastúcou energiou elektrónov a teda aj s pracovným napätím na detektore. Deexcitácia je sprevádzaná fotónovým žiarením a ak energia tohto žiarenia je väčšia ako výstupná práca elektrónu z katódy, dojde k emisii fotoelektrónu. Fotoelektróny pri pohybe k anóde vyvolajú vznik ďalších lavín a celý proces sa opakuje. Zásluhou fotoelektrónov sa tento tzv. Geiger - Müllerov výboj z miesta primárnej ionizácie rozšíri behom niekoľkých mikrosekúnd v celom detektore a výsledné plynové zosilnenie dosiahne rádu  $10^6$  až  $10^{10}$ . Teda výsledkom interakcie jednej častice nie je jeden impulz. Po registrácii jednej častice je schopný registrovať ďalšiu, tieto detektory sa vyznačujú dosť veľkou mŕtvou dobou. Na veľkosť mŕtvej doby má veľký vplyv pracovné napätie detektora, jeho zvyšovaním mŕtva doba klesá.

**Korónové detektory** – pracujú v oblasti naväzujúcej na oblasť Geiger – Müllerovu. Pre túto oblasť je charakteristický samostatný trvalý korónový výboj, vplyvom silne nehomogénneho elektrického poľa. Zápalné napätie koróny je minimálne napätie, pri ktorom je dosiahnutá intenzita elektrického poľa pre Townsendovu podmienku [4], pre súvislú sériu lavín. Priama úmernosť amplitúdy výstupných impulzov veľkosti ionizačnej straty v objeme detektora predurčuje korónové detektory k detekcii veľmi silne ionizujúcich častíc. Keď na vnútorný povrch detektora nanesieme látku konvertujúcu neutróny ( $^{10}\text{B}$ , štiepny materiál) na silne ionizujúce častice (alfa, protóny) možno využiť korónový detektor aj na detekciu neutrónov. Prednosťou korónových detektorov je ich minimálna citlivosť na fotónové žiarenie.

### 3. Scintilačné detektory

Scintilačné detektory absorbujú merané žiarenie scintilátorom a konvertujú absorbovanú energiu žiarenia na energiu scintilačných fotónov, ktoré postupujú do fotonásobiča v ktorom sa mení na elektrický signál – impulz úmerný energii registrovaného žiarenia. Toto dáva spektrometrické vlastnosti scintilačným detektorom. V tejto práci budeme porovnávať anorganický scintilátor NaI(Tl) s plynovými detektormi, preto sa zameriame trochu podrobnejšie na tento detektor. Dosahuje veľmi dobrú energetickú rozlišovaciu schopnosť a využíva sa na spektrometriu žiarenia gama a X [5]. Detekčná účinnosť závisí od troch hlavných mechanizmov interakcie – fotoefekt, Comptonov efekt a tvorba párov elektrón pozitron pre dané rozmery scintilátora.

### 4. Porovnanie vlastností proporcionálneho detektora a scintilačného detektora

Proporcionálny detektor vzhľadom na jeho citlivosť, mŕtvu dobu, životnosť, spoľahlivosť, cenu, vyplňa medzeru medzi Geiger-Müllerovými detektormi a ionizačnými komorami. Vyžaduje zložitejšiu a náročnejšiu elektroniku, ale to vzhľadom na dnešnú úroveň elektrotechniky nerobí žiadne technické problémy. Podrobnejšie je toto porovnanie vykonané v [6]. Proporcionálne detektory sú porovnateľné aj so scintilačnými detektormi, síce majú nižšiu citlivosť, ale na druhej strane sú teplotne menej závislé. Nižšia citlivosť sa dá vylepšiť použitím väčšieho počtu proporcionálnych detektorov. Ďalším dôležitým parametrom pri

výbere detektora je nízky prah detekcie vzhľadom na merací rozsah. Použitý proporcionálny detektor bol porovnávaný so scintilačným detektorom, ktorý bol kalibrovaný a meral príkon dávkového ekvivalentu s prahom  $10 \text{ nSv.h}^{-1}$ . Na to aby sme mohli vykonávať merania na úrovni pozadia v životnom prostredí, čo v bežných podmienkach býva v rozsahu 80 až  $120 \text{ nSv.h}^{-1}$ , treba použiť detektory s prahom detekcie aspoň o rád nižším. Túto podmienku spĺňa porovnávaný proporcionálny detektor.

Najdôležitejšie technické parametre porovnávaného proporcionálneho detektora [7] :

**Tab. 1.**

Meraná veličina:	$H^*(10) (\text{Sv.h}^{-1})$
Merací rozsah:	$10 \text{ nSv.h}^{-1}$ až $10 \text{ Sv.h}^{-1}$
Relatívna chyba:	< 5% v celom meracom rozsahu
Energetická závislosť:	$\pm 20\%$ , 70 – 1500 keV vzhľadom na $^{137}\text{Cs}$
Teplotný rozsah:	-30 až $+70 \text{ }^\circ\text{C}$
Citlivosť detekcie:	$4 \text{ imp.s}^{-1}$ na $100 \text{ nSv.h}^{-1}$

Experimentálne porovnanie detekčných vlastností scintilačného a proporcionálneho detektora vidieť z tabuľky 2. Ako rádioaktívny etalón bol použitý  $^{60}\text{Co}$  o aktivite  $13,4 \text{ kBq}$ . Ako proporcionálny detektor bol použitý detektor RS 03/232 so základnými parametrami v tabuľke 1.

Ako scintilačný detektor bol použitý štandardný NaI(Tl) scintilačný kryštál  $\Phi 100 \times 100 \text{ mm}$ . Hodnota pozadia nameraná so scintilačným detektorom  $B_{sc} = 135,6 \text{ imp.s}^{-1}$ .

Hodnota pozadia nameraná s proporcionálnym detektorom  $B_{pr} = 4,0512 \text{ imp.s}^{-1}$ .

Pre merania so scintilačným aj proporcionálnym detektorom bol volený dostatočne dlhý čas merania s potrebnou štatistikou, aby chyba merania bola v rozsahu 1 až 3 %.

**Tab. 2.**

D[mm]	$\Delta E[\text{keV}]$	N[imp.s <sup>-1</sup> ]	N-B [imp.s <sup>-1</sup> ]	N/B [imp.s <sup>-1</sup> ]	(N-B)/B	
500	400 - 1600	212	76,4	1,56	0,56	NaI.scint. detektor
1000	400 - 1600	156,3	20,7	1,15	0,152	
500	400 - 1600	6,16	2,1088	1,52	0,52	Proporc. detektor
1000	400 - 1600	4,6	0,5488	1,135	0,135	

D je vzdialenosť scintilačného detektora od kobaltového etalónu.  $\Delta E$  je energetická šírka okna scintilačného aj proporcionálneho detektora. N celková početnosť nameraných impulzov, B početnosť impulzov pozadia. Z tabuľky 2 vidieť, že scintilačný detektor dáva značne väčšiu početnosť impulzov, čiže je možné merať s lepšou štatistikou. Pomer signálu N aj užitočného signálu (N-B) k pozadiu je pre obidva typy detektorov porovnateľný.

## 5. Záver

Z tabuľky 2 vidieť, že z hľadiska štatistiky merania je vhodnejší scintilačný detektor. Keď ale uvážime ďalšie vlastnosti a požiadavky merania možno povedať, že pre merania v životnom prostredí mimo laboratórnych podmienok je vhodnejší proporcionálny detektor vzhľadom na stabilitu, teplotnú závislosť, otrasuvzdornosť, ... Pre krátkodobé merania aj

mimo laboratórne je možné úspešne využiť aj scintilačné detektory, napriek tomu, že obsahujú fotonásobič citlivý na otrasy. Podľa charakteru merania v životnom prostredí treba voliť výber detektora. Vo väčšine prípadov meraní prírodného pozadia sa ukazuje ako vhodnejší proporcionálny detektor vzhľadom na stabilitu teplotnú závislosť a spoľahlivosť. Kvalitný proporcionálny detektor svojimi parametrami sa významne približuje parametrom ionizačnej komory a cenovo na komerčné účely je značne výhodnejší. Možno povedať, že proporcionálny detektor dobre vyplní medzeru medzi ionizačnou komorou a Geiger-Müllerovým detektorom, lebo z hľadiska presnosti merania a spoľahlivosti sa blíži k ionizačnej komore. Čo sa týka štatistiky merania je porovnateľný s Geiger-Müllerovým detektorom, vyžaduje však trochu zložitejšiu elektroniku na spracovávanie menších výstupných impulzov, čo pri dnešnej úrovni elektroniky nerobí zvláštne problémy. Proporcionálny detektor je možné prevádzkovať aj v režime, keď má aj spektrometrické vlastnosti v porovnaní s Geiger-Müllerovými detektormi, ktoré sú schopné merať len integrálne, teda nespektrometricky. V prospech proporcionálnych detektorov hovorí aj ich veľmi krátka mŕtva doba ( $\sim 1\mu\text{s}$ ) porovnateľná s mŕtvou dobou elektroniky detekčnej sondy.

### Literatúra

- [1] B. ROSSI, H. STAUB.: Ionization Chambres and Counters. New York, Mc Graw-Hill, 1949
- [2] G. F. KNOLL: Radiation Detection and Measurement. New York, John Wiley and Sons, 1989
- [3] E. FÜNFER, H. NEUERT: Zahlrohre und Szintillationszähler. Karlsruhe, Verlag G. Braun, 1959
- [4] L. B. LOEB.: Electrical Coronas, Their Basic Physical Mechanism, Berkley Univ. of California Press, 1965
- [5] J. D. GRAYBEAL.: Molecular Spectroskopy New York, McGraw-Hill, 1988
- [6] Š. HÚŠŤAVA: Monitorovanie rádioaktivity v životnom prostredí, Projekt dizertačnej práce MFF - UK Katedra jadrovej fyziky, Bratislava , 1998
- [7] Manual of company BITT Technology GmbH for Intelligent Sond with Proportional Detector RS 03 , Wiener Strasse 70, A-2104 Spillern, Austria, 2004