

SZCINTILLÁCIÓS DETEKTOROK ALKALMAZÁSA KATONAI ÉS KATASZTRÓFAVÉDELMI FELADATOKRA

USE OF SCINTILLATION DETECTORS IN MILITARY AND DISASTER MANAGEMENT TASKS

PETRÁNYI János

ORCID: 0000-0001-5417-2690

rundhall@gmail.com

Absztrakt

A szcintillációs detektorokat tartalmazó berendezések alkalmazása rendkívül széleskörű. A honvédelem és katasztrófavédelem területén elsődlegesen ABV felderítési feladatokra lehet használni, mint például kézi izotóp azonosításra, járműfedélzeti, légi sugárfelderítésre. A szcintillációs technológián alapuló műszerekről elmondható, hogy igen érzékenyen és pontosan képesek a radioaktív sugárzást megmérni, azonban rendkívül kényes, nagy bonyolultságú berendezések is egyben. Ahhoz, hogy egy műszert katonai és katasztrófavédelmi feladatokra lehessen használni, különleges követelményeknek kell megfelelnie. Jelen cikk arra keres választ, hogy milyen technikákkal, milyen feladatokra, milyen megkötésekkel lehet szcintillációs technológián alapuló berendezéseket alkalmazni.

Kulcsszavak: sugárzás mérés, szcintillációs detektor, ABV felderítés,

Abstract

The use of instruments based on scintillation detectors is extremely broad. Measuring instruments can be used in the field of defense and disaster management primarily for CBRN reconnaissance tasks, such as hand-held isotope identification, aerial radiation reconnaissance. These instruments are very sensitive and capable of measuring the radiation accurately, but extremely delicate, sophisticated equipment as well. To be able to use them outside of the laboratory many difficulties had to be overcome. Military and civil protection devices requires environmental resistance and extreme usability. This article shows techniques, tasks, and restrictions related to scintillation based instruments

Keywords: radiation detection, scintillation detector, CBRN reconnaissance,

A kézirat benyújtásának dátuma (Date of the submission): 2017.05.01.

A kézirat elfogadásának dátuma (Date of the acceptance): 2017.05.19.

BEVEZETÉS

Radioaktív sugárzás mérésére több bevált technológia is létezik, mint például a Geiger-Müller csöves vagy félvezető alapú sugárzásmérők. Ez a cikk a szcintillációs alapú sugárzás mérő detektorokkal foglalkozik. A szcintillációs detektorok alapját képező szcintillációs fizikai jelenséget 1903-ban Crookes, Elster és Geitel fedezte fel, amikor észlelte, hogy a cinkszulfid kristály radioaktív sugárzás hatására fényt bocsát ki. [1]

Kezdetben a szcintillátorban keletkező felvillanásokat mikroszkóp segítségével emberek számolták össze, de ez nem bizonyult túl hatékony és pontos módszernek.

Nagy előrelépésnek számított, amikor Curran és Baker 1944-ben egy Fotoelektron-sokszorozót (továbbiakban: PMT, az angol Photon Multiplier Tube rövidítése PMT) illesztett a szcintillátorra. [3]

Ezzel a sugárzás energiájától, nagyságától függő mérhető elektromos jel jött létre. Ezután már hamar megszülettek az első mérőberendezések, amelyek már kijelzőn jelenítették meg a mért eredményt. A felfedezés óta eltelt időben tovább fejlődtek a szcintillációs detektorok és ma már megtalálhatóak orvosi, ipari és katonai célra épített berendezésekben. A szcintillációs detektorokat tartalmazó berendezések térhódításának egyik fő oka, hogy nagy érzékenységük mellett, energia szelektív mérésekre is képesek, valamint izotópok azonosítására és aktivitás meghatározására is alkalmasak. Ezek a képességek katonai, katasztrófavédelmi szempontból is különösen előnyössé teszik a szcintillációs detektorok használatát. Radioaktív anyagok minőségi, mennyiségi paramétereinek meghatározásával az iparbiztonság, katasztrófavédelem szakemberi ellenőrizhetik, hogy veszélyes áru szállítás (ADR) során valóban a szállítmány okmányainak megfelelő radioaktív anyag található a járművön vagy sem. [4],[5] Az 1. ábrán látható Katasztrófavédelmi Mobil Labor egyik feladata ADR ellenőrzések végrehajtása. A jármű eszközkészletében található szcintillációs mérőeszköz is.



1. ábra Katasztrófavédelmi Mobil Labor. [2]

Baleseti helyzetben a szennyezés beazonosítása segíti a megfelelő beavatkozás kiválasztását. Ha egy váratlan eseményt követően radioaktív anyag kerül a környezetbe és az izotópról kiderül, hogy nagyon rövid felezési idejű, elegendő lehet lezárni a területet és várni, amíg az izotóp lefeleződik és a veszélyhelyzet magától megoldódik. Azonban egy hosszú (több éves) felezési idejű izotóppal történt szennyezés esetében, elsődleges a szennyezés

terjedésének megfékezése és a dekontaminálás lehető legrövidebb időn belül történő végrehajtása.

SZCINTILLÁCIÓS DETEKTOROK

Léteznek szilárd, folyékony és gáz halmazállapotú szcintillátorok. Katonai és katasztrófavédelmi célú berendezésekben elsődlegesen a szilárd halmazállapotú szcintillátorokkal lehet számolni, mivel terepi körülmények között gázok és folyékony szcintillátorok használata körülményes lenne. A szcintillátorok anyagi összetételük alapján lehetnek szervesek vagy szervetlenek. A szerves szcintillátorok jellemzője, hogy nagy méretben gyárthatóak, azonban gamma sugárzás energia-szelektív mérésére nem alkalmasak. A szervetlen szcintillátorok izotópozonosításra jól használhatóak és jellemzően nagyobb a fényhozamuk a szerves szcintillátorokhoz képest. Katonai és katasztrófavédelmi célokra mind szerves, mind szervetlen szcintillátorokat használnak. A kémiai szerkezetük szerint további típusokat lehet megkülönböztetni pl.: talliummal aktivált nátrium jodid (Továbbiakban NaI(Tl)).

A különböző kémia összetételű szcintillátorok eltérő tulajdonságokkal rendelkeznek, ezen tulajdonságok alapján lehet meghatározni, hogy milyen feladatra is alkalmasak. Vannak szcintillátorok, amelyek nagy fényhozammal rendelkeznek, ezáltal érzékenyebbek, más szcintillátorok jó felbontású spektrumot képesek létrehozni, izotóp azonosításra alkalmasak, de vannak olyan típusok is, amelyek jól viselik a magas dózisterhelést.

Katonai, katasztrófavédelmi területen szcintillációs detektorokat tartalmazó berendezések alkalmazását megnehezíti, hogy érzékeny a külső környezeti hatásokra. Míg más alkalmazási területeken biztosíthatóak a laboratóriumi körülmények pl.: fedett tér, állandó hőmérséklet (+25 C°), fix geometriájú mérőhely, stb., addig katonai, katasztrófavédelmi feladatok végrehajtása közben, valamennyi külső környezeti paraméter megváltozhat. Az ideális terepi műszer érzéketlen a légnyomás, a páratartalom és az elektromágneses, ionizáló sugárzás változásaira, képes széles hőmérséklettartományban működni, ellenállni az extrém fizikai behatásoknak pl.: rázásnak, ejtésnek. A laboratóriumi körülményekre tervezett mérőberendezések extrém időjárás mellett vagy teljesen működésképtelenek vagy nem képesek elfogadható pontosságú eredményt szolgáltatni. Terepi használhatóság szempontjából egy szcintillációs mérő rendszer nem tekinthető ideális választásnak.



2. ábra NaI(Tl) szcintillációs kristály képe tokozással és nélküle. [2]

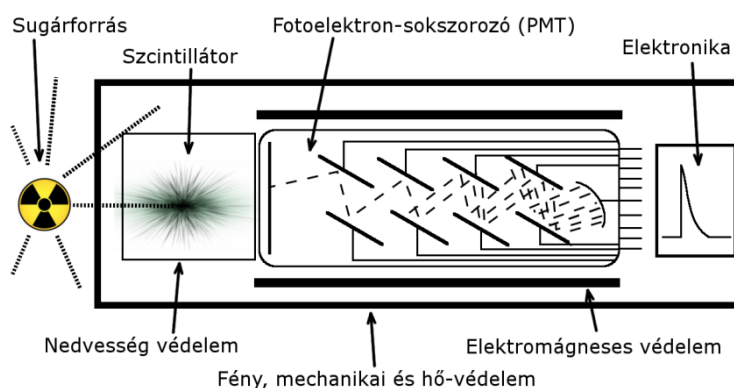
Nedvesség

Gamma sugárzás mérésére az egyik leggyakrabban használt szcintillátor a NaI(Tl) szcintillációs kristály, amely kristályból épített mérőműszer magas hatásfok mellett jó felbontású spektrum létrehozására is alkalmas.

Maga a NaI(Tl) szcintillátor higroszkópikus, azaz magába szívja a nedvességet, besárgul és romlik a minősége. A NaI(Tl) szcintillátort a nedvességtől úgy lehet a legkönnyebben megvédeni, hogy hermetikusan el kell zárni a külvilágtól, így a levegő nedvesség tartalmát nem lesz képes magába szívni.

A nedvesség elleni küzdelem már a szcintillációs kristályok gyártásakor megkezdődik. A Gamma Műszaki Zrt.-nél a NaI(Tl) kristály növesztése a tisztított nátrium jodid anyag talliummal való aktiválásával kezdődik, majd por halmazállapotban egy növesztő kályhába kerül. [6] A növesztés magas hőmérsékleten a levegőtől elzárt, üvegcsőben történik. A zárt technológia lehetővé teszi, hogy a kristály szennyeződés és nedvesség mentes közegben kristályosodhasson meg. A technológia további lépései a kristály temperálása és a növesztő tégelyből való kiszedése is kontrollált körülmények között zajlik. A nyers kristály forgácsolással, préseléssel, vágással a kívánt formára alakítható. Miután a kristály elérte a végleges formáját egy alumínium házba kerül, amit egy üveg ablak zár le teljesen hermetikusan. A kristály tokozatlan és tokozott változatait a 2. ábra mutatja be. Miután a lezárás megtörtént, a nedvesség már nem juthat a szcintillátorhoz.

A szcintillátor minőségét a lezárást követően egy célműszer segítségével lehet ellenőrizni. A kristályt a célműszerre illesztve, ismert dózistérbe helyezve, a keletkező jel mennyiségét és minőségét lehet vizsgálni. A fényhozamnak adott tartományon belül kell mozognia. Ha túl sok impulzus keletkezik, akkor feltehetően a fényzárás nem megfelelő, a külső fény, mint zaj, hozzáadódik a mért értékhez. Ha túl kevés impulzus keletkezik a detektorban, akkor az illesztéseket vagy az anyagminőséget érdemes ellenőrizni. Az amplitúdó spektrumban a mért izotóphoz tartozó csúcs szélessége szintén egy minőségi paraméter, amit fél-érték szélességnek neveznek. Minél keskenyebb a csúcs, azaz kisebb a fél-érték szélessége a kristálynak, annál jobban használható az eszköz izotóp azonosításra. Ha minőségi probléma merülne fel a szcintillátort újra lehet tokozni, vagy újranoveszthető. Az újrahasonosítás lehetősége különösen fontos régi, kidobásra szánt kristályoknál is, mivel a tallium tartalom miatt a kristály veszélyes anyagnak számít.



3. ábra Szcintillációs detektor elvi felépítése

Fény

A szcintillátor az ionizáló sugárzást 300-700 nm hullámhosszú fény-felvillanássá alakítja. A fény a szcintillátorból kizárólag az optikai ablakon keresztül tud csak távozni. A távozó fény az optikai ablakra illesztett Fotoelektron-sokszorozó segítségével alakul át elektromos jellé. A szcintillációs detektorokhoz gyártott PMT-k a szcintillátorból kilépő fény hullámhossz tartományában a legérzékenyebbek, azonban érzékelnek más hullámhossz tartományba eső fénysugarakat is. Ezért biztosítani kell, hogy csak a szcintillátorból érkező fény juthasson be a PMT belsejébe. Szcintillációs detektorok használatakor számolni kell a külső fényforrások által okozott zajjal. A külső fény zavaró hatásának kiküszöbölésére a detektort úgy kell lezárni, hogy a lehető legtökéletesebb fényzárás valósuljon meg. A fényzárás egyszerű feladatnak tűnik, de ez sok esetben nehezen kivitelezhető, ennek oka, hogy a fényzáráshoz az egész detektort kellően sűrű és vastag anyaggal kell befedni, ami alfa, béta vagy alacsony energiás gamma sugárzás mérésekor egyszerűen elnyeli a mérni kívánt sugárzást, mielőtt az elérné a szcintillátort és felvillanást eredményezhetne. Ezeknél a méréseknél a detektort a lehető legvékonyabb anyaggal (pl.: fémgőzölt fóliával) szokták csak burkolni, valamint a lehető legközelebb viszik a szcintillátort a mérni kívánt sugárforráshoz. Azonban ilyen esetekben ez a vékony védő réteg könnyen sérülhet, mechanikai védelmet csak a mérési eredmény pontosságának lerontásával lehet elérni (pl.: távtartóval, ráccsal).

A jó fél-érték szélesség elérésében játszik fontos szerepet a szcintillátor és a PMT illeszkedése. A fél-érték szélesség a spektrumban az adott nuklidhoz tartozó csúcs maximumának feléhez tartozó pontok távolsága, amely távolság minél keskenyebb, annál könnyebbé tesz a nuklidok megkülönböztethetőségét. Amikor a fény kilép a szcintillátorból keresztül kell haladnia két rétegen is, hogy eljuthasson a PMT belsejében lévő katódhoz. Minden egyes közeghatáron fénytörés jelensége zajlik le, ami megváltoztathatja a mérés eredményét. A megfelelő illesztés elérésének érdekében optikai csatolóanyag alkalmazása szükséges, mind a szcintillátor és azt lezáró üveg lemez, mind a PMT és a szcintillátor közé. A szcintillátor mérete, anyaga és kialakítása meghatározza, hogy milyen sugárzást lehet vele mérni. A különböző méréstartományok, eltérő sugárzás fajták méréséhez más-más szcintillátort érdemes használni, ezért születtek olyan detektorok, amelyekben lehet cserélni a szcintillátort. A szcintillátor leszerelése a PMT-ről pormentes, tiszta helységben végezhető, az illesztés időigényes és szakképzet technikust igényel, ezért terepi körülmények között ezt a műveletet nem szokták végrehajtani, a megfelelő megoldás önálló intelligens detektorok alkalmazása.



4. ábra Különböző szcintillációs detektorok. [2]

Rázás, ejtés

A detektorban több olyan alkatrész is helyet foglal, amelyek érzékenyek a külső, fizikai behatásokra. A rázkódás, ejtés elleni védelem kialakítása elengedhetetlen a katonai alkalmazásokban. A detektor belső alkatrészeihez illetve a detektort a külvilággal összekötő rögzítéshez amortizátorokat terveznek. Ha ismertek az elvárt rezgésállósági, ejtésállósági követelmények és a védendő eszköz méretei, meghatározható és le is szimulálható, hogy fog viselkedni az adott berendezés. Sajnos a szimuláción kapott eredmény és a valóságban megépített rendszer vizsgálati eredményei sokszor eltérnek, ezért ilyen berendezéseknél szükséges mintadarabok vizsgálata, hogy a konstrukciós problémákra fény derüljön, és igazolható legyen a megfelelés. Terepi műszereknél a mindendarabos vizsgálat elengedhetetlen, annak érdekében, hogy az egyedi gyártási hibák kiszűrhetőek legyenek. Minden műszert úgy kell legyártani, hogy extrém környezeti körülmények között kalibrált, bizonyos műszertípusok esetében hiteles, módon képes legyen mérni.

Talán az egyik legnagyobb igénybevételnek kitett szcintillációs detektor a Légi Sugárfelderítő rendszerben (LABV) teljesít szolgálatot. Az LABV egy magyar fejlesztés eredményeként született meg, és már több éve rendszeresítve van a Magyar Honvédségnél. Az LABV feladata, hogy a szennyezett terepszakasz fölött elrepülve mérje a gamma sugárzást, találja meg a pont illetve kiterjedt szennyezéseket, valamint határozza meg a földön mérhető sugárszintet. [7] A 60-80 méter magasságban végrehajtott sugárfelderítés lehetővé teszi nagy területek, gyors átvizsgálását, viszont a nagy sebesség és távolság miatt a sugárzásnak csak töredéke jut el az érzékelőig. [8] Az LABV rendszerbe épített nagyméretű NaI(Tl) alapú detektor képes a kis intenzitású sugárzás hatékony kimutatására. A szcintillátorra egy kollimátor (ólom gyűrű) lett felszerelve, amelynek szerepe, hogy a detektor elsődlegesen a földről, adott irányból érkező sugárzásra legyen érzékeny. A nagy kristálynak és az ólom kollimátornak köszönhetően a detektor súlya meghaladja a 20 kg-ot. A mérő rendszer egy konténerben került elhelyezésre a szárny alatt, amely önmagában rendelkezik rázkódás elleni védelemmel, valamint a konténeren belül külön felépítményen rugós amortizátorok védik a detektort.



5. ábra LABV légi sugárfelderítő rendszer bevetés közben. [2]

Elektromágneses zaj

A szcintillációs detektorokban alkalmazott elektromos alkatrészek, ezen belül is a PMT érzékeny az elektromágneses zajokra. Olyan berendezések, mint például egy radar vagy távközlési központ, amelyek jelentős elektromágneses sugárzást bocsátanak ki, zavarhatják egy nem megfelelően megtervezett műszer működését.

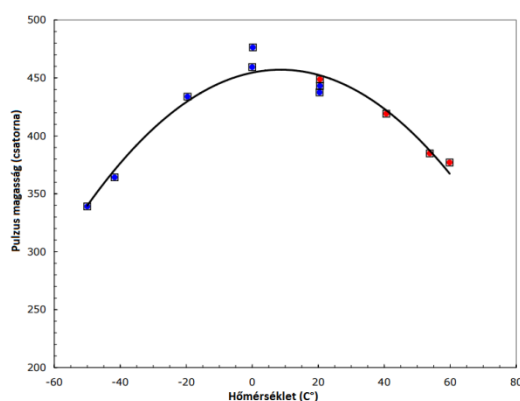
A PMT köré helyezett árnyékolás csökkenti az elektromágneses sugárzás hatását. Tovább javítja a helyzetet, ha a detektor háza is fémből készül, ami megfelelő földelés esetén, megvédi a műszerházon belülrre szerelt elektronikát.

A PMT működéséhez nagyfeszültségre kb. 1000V-ra van szükség. A nagyfeszültség előállításához használt tápegységek, a kapcsolóüzemű működésükből kifolyólag, elektromágneses sugárzást bocsátanak ki. A detektoroktól elvárt, hogy a kibocsátott elektromágneses sugárzás ne zavarja más elektromos berendezések működését, illetve életvédelmi szempontból a felhasználó ne férhessen hozzá árnyékolatlan, elektromosan aktív felületekhez. Mindezek figyelembevételével érdemes az elektromos alkatrészeket, kapcsolásokat, árnyékolásokat megválasztani. A detektor által kibocsátott elektromágneses sugárzás és az elektromágneses sugárzással szembeni ellenálló képesség célműszerek segítségével objektíven vizsgálható.

A detektor működését befolyásolhatják a betáplálási, kommunikációs vonalakon keresztül érkező zajok is. Léteznek monitoring rendszerek, ahol előfordulhatnak akár kilométer hosszúságú vezeték szakaszok is. Hosszú vezetéseken a jel-zaj viszony sokat romlik, ami adat-torzuláshoz, vesztéshez vezethet, ezért árnyékolat vezetéseken, a detektorok digitális adatokat küldenek, hiba védelemmel ellátott protokollokkal. Ez az adatküldési mód lényegesen zajtűrőbb, mint az analóg jelek, ráadásul ezzel a módszerrel több műszert is egy vezetékre lehet kapcsolni. Egy villámcsapást követően vagy egyéb a hálózatba kötött berendezés meghibásodásakor az eredeti tápfeszültség többszöröse is megjelenhet a detektor bemenetén, ezért a megfelelően megtervezett detektorok bemeneti fokozatát túlfeszültség és zaj védelemmel látják el.

Hőmérséklet

A szcintillációs detektorok terepi alkalmazhatóságát a működési hőmérséklet tartomány korlátozza, valamint a hőmérséklet változásának intenzitása is befolyásolja. Azonos sugárzási teret különböző hőmérsékleten mérve eltérő mérési eredmény keletkezik. A változás mértéke attól is függ, hogy a hőmérséklet változásának milyen a dinamikája, mennyire gyorsan nő, vagy csökken. A 6. ábrán látható, hogy a hőmérséklet milyen mértékben befolyásolja a mért eredményt. Bizonyos szcintillátorok adott hőmérséklet fölött fizikai változáson mennek keresztül pl.: a felületükön elszíneződés keletkezik, ami gátolja a fény áthaladását, ezáltal használhatatlanná válnak. Ebben a tekintetben a legextrémebb alkalmazás nem is a katonai, vagy katasztrófavédelmi felhasználáshoz köthető, hanem a földtani mérésekhez, ahol a detektornak tartósan akár 120°C fokot is el kell viselnie.



6. ábra A Cs-137 izotóphoz tartozó 662keV-es csúcs változása a hőmérséklet függvényében egy 2x4-es NaI(Tl) detektorral mérve. [10]

A NaI(Tl) szcintillátorok különösen érzékenyek a gyors hőmérséklet növekedésre. A legegyszerűbb megoldás, ha megfelelő szigetelő anyaggal védik a detektort. A szigetelő anyag védelmet nyújt a gyors hőmérsékletváltozásokkal szemben, a detektor belseje csak sokkal lassabban veszi át a külső hőmérsékletet.

A hőmérséklet függés kompenzálására minden darabos szabályozást szoktak alkalmazni. A szabályozás során a detektor bekerül egy klíma kamrába, ahol különböző hőmérsékleteken méréseket végeznek, és meghatározzák az adott hőmérséklethez tartozó kalibrációs faktorokat.

Normál működés során a detektor folyamatosan méri a hőmérsékletét és az adott hőmérséklethez tartozó korrekciós faktortal módosítja a mért eredményt. Ezzel a módszerrel minden hőmérsékleten pontosan lesz képes mérni a detektor.

Egy másik megoldás a kompenzálásra, a detektor etalon fényforrással történő kalibrálása. Az etalon fény származhat egy beépített kis forrás által kiváltott felvillanásból, vagy közvetlenül a szcintillátorba belevilágító LED-ből. A szabályozás azon alapszik, hogy az etalon csúcsának a helye a spektrumban nem változik, így az elektronika automatikusan be tudja szabályozni magát.

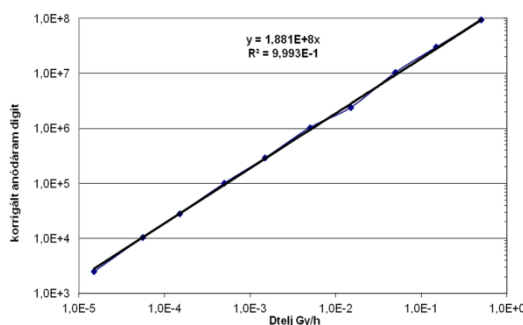
Ionizáló sugárzás

Szcintillátorral szerelt detektorokat előszeretettel alkalmaznak sugárvédelmi mérő rendszerekben. Ennek oka a nagy érzékenységükben és izotóp szelektív mérő képességükben keresendő. Ezeket a detektorokat nagy dózisteljesítményű terek mérésére nem szokták használni, mert hamar lefulladnak. Nukleáris baleseti helyzeteknél előfordulhatnak nagy dózisteljesítményű terek, ezért fontos tudni, hogy milyen körülmények között használhatóak a katasztrófavédelmi célú műszerek. A szcintillációs detektorok impulzusüzemű alkalmazása 30000 cps felett komoly problémákat vet fel. A holtidő növekedése mellett a mért amplitúdó spektrum jelentősen torzul, a jellemző fotocsúcs kiszélesedik, energiája változik, a spektrum felismerhetetlenné, kiértékelhetetlenné válik. A besugárzás hatására mind a szcintillátor anyaga, mind a fotoelektron-sokszorozó hosszabb-rövidebb időre működésképtelenné válhat, a detektor jellemzői a sugárzás lecsökkenése után lassan vagy egyáltalán nem állnak vissza kezdeti értékükre.

A méréstartomány növelhető, ha nagyobb dózisteljesítmény esetén, lemondva az izotóp szelektív mérésről, a fotoelektron-sokszorozó anódáramából lehet meghatározni a sugárzás intenzitását. A megoldáshoz az anódáram átlagának és az impulzusok amplitúdó és szélesség spektrumának együttes mérése szükséges.

A jelfeldolgozó részegységtől különváltan működő impulzus-számláló extrém magas holtidő mellett is jól kiértékelhető spektrumot eredményez.

Magas dózisteljesítmény mellett a nagyfeszültség csökkentése több nagyságrenden át lehetővé teszi az anódáram mérésével a lefulladás megakadályozását, a sugárzás mértékének becslését. A szcintillátor anyagának optimális kiválasztásával a feléledési idő másodperc alá csökkenthető. Erre alkalmas szcintillátor a BGO, amelynek anódáram mérési eredménye a 7. ábrán látható. A detektor előtt kialakított alacsony háttérű mérőhely és a mintatartó speciális kialakításával, valamint a minta-detektor távolság változtatásával a mérési tartomány tovább szélesíthető.



7. ábra BGO kristály anódáramának linearitása nagy sugártérben

KÖVETKEZTETÉSEK

Szcintillációs detektorok alkalmazása katonai és katasztrófavédelmi célokra lehetséges, sőt előnyös a magas számlálási hatások, mint érzékenység miatt, de ehhez különböző mérnöki megoldásokat kell segítségül hívni a szélsőséges terepi körülményekhez igazodva. A detektor összeállításánál a csatoló anyagok és a fényzárás segít abban, hogy a külső fény ne befolyásolja a mérést. A rázás és ejtés követelmények nehezen teljesíthetőek a szcintillációs detektorok esetében, a bennük alkalmazott törekeny részegységek miatt, de külső és belső amortizálási technikákkal képes lehet ellenállni a fizikai behatásoknak. Az elektromágneses sugárzás (mind a kibocsátott, mind az elnyelt) okozhat gondot a detektor működésében. Az elektromos alkatrészek, árnyékolások valamint földelések jól megtervezett kombinációjával meg lehet akadályozni, hogy a detektort külső elektromágneses sugárzás zavarja, vagy a detektor zavarjon más elektromos berendezéseket. A hőmérséklet változása jelentős hibát visz a mérési eredményekbe, ezért hőmérsékletkompenzálást érdemes alkalmazni, amely alapulhat a hőmérséklet mérésén, vagy egy etalonhoz történő automatikus kalibráláson. A hirtelen hőmérsékletváltozások elleni védelmet a megfelelő szigetelés alkalmazása biztosíthatja.

Vészhelyzetekben kialakuló extrém nagy dózisteljesítmény esetén a NaI(Tl) és a CsI(Na) szcintillátorok csak órák múlva állnak vissza az eredeti értékre, illetve adott beütésszám fölött nem képesek már mérni a sugárzást. Ezekre a problémákra nyújthat megoldást a BGO szcintillátor, amely képes a sugárzás intenzitásának a folyamatos mérésére, után világítási hatás nélkül, illetve az anódáram mérés, amely magas dózisterek esetében is alkalmazható.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] NAGY G., KOVÁCS T.: *A szcintillációs detektorok jelene és jövője.* http://www.zmne.hu/kulso/mhht/hadtudomany/2005/3/2005_3_11.html (letöltve: 2017.03.08.)
- [2] ZSITNYÁNYI A.: *GAMMA Technical Corporation presentation.* http://gammatech.hu/downloads/cat/Gamma_Technical_Corporation.pdf (letöltve: 2017.03.08.)
- [3] *Wikipedia Scintillator* <https://en.wikipedia.org/wiki/Scintillator> (letöltve: 2017.03.08.)
- [4] VASS GY.: *Veszélyes anyagok osztályozási rendszerének változása és a SEVESO II. Irányelv módosulása.* Védelem - katasztrófa- tűz- és polgári védelmi szemle 17:(2) pp. 42-43. (2010)
- [5] HOFFMANN I., KOVÁCS B., VASS GY.: *A katasztrófavédelmi mobil laborok működési tapasztalatainak értékelése.* Bolyai szemle 2015 (2): pp. 92-105. (2015)
- [6] PETRÁNYI J., ALBERT-T I., SARKADI A., KÖRMENDY G., HORVÁTH J., a nátrium-jodid szcintillációs kristály gyártástechnológiájának fejlesztése, korszerűsítése Sugárvédelem III. Évfolyam 1. Szám - 2010 http://www.sugarvedelem.hu/sugarvedelem/docs/V3i1/Pet_V3_II.pdf (letöltve: 2017.03.08.)
- [7] ZELENÁK J., CSURGAI J., HALÁSZ L., SOLYMOSI J., VINCZE Á.: *A légi sugárfelderítés képességei alkalmazhatóságának vizsgálata elveszett vagy elloptott sugárforrások felkutatása, illetve szennyezett terepszakaszok felderítése során;* HADMÉRNÖK 4:(1) pp. 46-62. (2009) http://hadmernok.hu/2009_1_zelenak.pdf 2016. 08. 03. (letöltve: 2017.03.08.)

- [8] CSURGAI J.: *Nukleárisbaleset-elhárítás és vegyi katasztrófák összefüggésrendszerének tudományos vizsgálata*: Doktori (PhD) értekezés, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Budapest 2003. <http://ludita.uninke.hu/repozitorium/handle/11410/9508> (letöltve: 2017.03.08.)
- [9] VASS Gy.: *Molari rendszer meteorológiai és vegyi monitoring eleme*. KATASZTRÓFAVÉDELEM 48:(4) pp. 2-3. (2006)
- [10] REEDER P. L., STROMSWOLD D. C.: *Performance of Large NaI(Tl) Gamma-Ray Detectors Over Temperature -50°C to +60°C* http://www.pnl.gov/main/publications/external/technical_reports/pnnl-14735.pdf (letöltve: 2017.03.08.)