

Informacije o izmenama, dopunama, važenju, prethodnim verzijama ili napomenama propisa, kao i o drugim dokumentima koji su relacijski povezani sa propisom možete saznati na linku [OVDE](#).

## PRAVILNIK

### O DETEKTORIMA JONIZUJUĆEG ZRAČENJA

("Sl. glasnik RS", br. 4/2017)

#### Član 1

Ovim pravilnikom propisuju se zahtevi za detektore jonizujućeg zračenja koji se koriste u funkciji zaštite zdravlja i opšte bezbednosti i zaštiti životne sredine (u daljem tekstu: detektori), tehnička dokumentacija, natpisi i oznake, način utvrđivanja ispunjenosti zahteva za detektore, karakteristike opreme za utvrđivanje ispunjenosti zahteva, metode merenja, kao i načini i uslovi overavanja detektora.

#### Član 2

Ovaj pravilnik primenjuje se na:

- 1) poluprovodničke detektore - spektrometre gama zračenja;
- 2) poluprovodničke detektore - spektrometre alfa zračenja;
- 3) scintilacione detektore - spektrometre gama zračenja;
- 4) scintilacione detektore - spektrometre alfa zračenja;
- 5) plastične scintilacione brojače;
- 6) tečne scintilacione brojače;
- 7) proporcionalne brojače.

#### Značenje pojedinih izraza

#### Član 3

Pojedini izrazi koji se upotrebljavaju u ovom pravilniku imaju sledeće značenje:

- 1) detektor je aktivni uređaj za otkrivanje radioaktivnih zračenja i merenje njihovih karakteristika;
- 2) razlaganje sistema je veličina koja kod određene energije karakteriše mogućnost aparature da razdvoji energije detektovanih fotona i definisana je kao izmerena širina na polovini visine pika u funkciji energije;

- 3) širina na polovini visine pika (FWHM) je rastojanje između apscise dve tačke na krivoj čije su ordinate na polovini ordinate maksimuma pika;
- 4) položaj pika je energija ili redni broj kanala koji odgovara sredini pika u spektru visine impulsa;
- 5) površina pika je ukupan broj impulsa koji se nalaze ispod pika u spektru visine impulsa, korigovan na fon;
- 6) efikasnost detekcije je odnos broja detektovanih fotona i broja fotona koje emituje izvor;
- 7) poluprovodnički detektor - spektrometar gama zračenja je uređaj za merenje aktivnosti i analizu spektara energija gama-emitera proizvodnjom i pomeranjem slobodnih nosilaca naelektrisanja proizvedenih apsorpcijom upadnog gama zračenja u detektoru;
- 8) poluprovodnički detektor - spektrometar alfa zračenja je uređaj za analizu spektra energija i merenje intenziteta emisije alfa - zračenja proizvodnjom i pomeranjem slobodnih nosilaca naelektrisanja proizvedenih apsorpcijom zračenja upadnih alfa čestica u detektoru;
- 9) scintilacioni detektor - spektrometar gama zračenja je uređaj za merenje aktivnosti i analizu spektara energija gama-emitera kod koga usled interakcije gama-zračenja s materijalom detektora dolazi do emisije svetlosti koja se, posredstvom fotomultiplikatora optički povezanog sa scintilatorom, pretvara u električni impuls;
- 10) scintilacioni detektor - spektrometar alfa zračenja je uređaj za merenje aktivnosti i analizu spektara energija alfa-emitera kod koga usled interakcije alfa-zračenja s materijalom detektora dolazi do emisije svetlosti koja se, posredstvom fotomultiplikatora optički povezanog sa scintilatorom, pretvara u električni impuls;
- 11) plastični scintilacioni brojač je uređaj za merenje aktivnosti beta-emitera maksimalnih energija od 155 keV do 2,3 MeV, kod koga usled interakcije beta-čestica sa plastičnim scintilatorom dolazi do emisije svetlosti koja se, posredstvom fotomultiplikatora, pretvara u električni impuls;
- 12) tečni scintilacioni brojač je uređaj za merenje aktivnosti niskoenergetskih beta-emitera (prvenstveno  $^{3}\text{N}$  i  $^{14}\text{S}$ ), kod koga usled interakcije beta-čestica sa tečnim scintilatorom dolazi do emisije svetlosti koja se, posredstvom foto-multiplikatora, pretvara u električni impuls;
- 13) proporcionalni brojač je protočni proporcionalni brojač koji meri u prostornom uglu  $2\pi$  ili  $4\pi$  koji je namenjen za merenje ukupne alfa i beta-aktivnosti uzoraka.

Drugi izrazi upotrebljeni u ovom pravilniku koji nisu definisani u stavu 1. ovog člana imaju značenje definisano zakonima kojima se uređuje metrologija i standardizacija.

## Zahtevi

### Član 4

Zahtevi za poluprovodničke detektore - spektrometre gama zračenja, kao i način utvrđivanja ispunjenosti tih zahteva, dati su u Prilogu 1 - Poluprovodnički detektor - spektrometar gama zračenja, koji je odštampan uz ovaj pravilnik i čini njegov sastavni deo.

Zahtevi za poluprovodničke detektore - spektrometre alfa zračenja, kao i način utvrđivanja ispunjenosti tih zahteva, dati su u Prilogu 2 - Poluprovodnički detektor - spektrometar alfa zračenja, koji je odštampan uz ovaj pravilnik i čini njegov sastavni deo.

Zahtevi za scintilacione detektore - spektrometre gama zračenja, kao i način utvrđivanja ispunjenosti tih zahteva, dati su u Prilogu 3 - Scintilacioni detektor - spektrometar gama zračenja, koji je odštampan uz ovaj pravilnik i čini njegov sastavni deo.

Zahtevi za scintilacione detektore - spektrometre alfa zračenja, kao i način utvrđivanja ispunjenosti tih zahteva, dati su u Prilogu 4 - Scintilacioni detektor - spektrometar alfa zračenja, koji je odštampan uz ovaj pravilnik i čini njegov sastavni deo.

Zahtevi za plastične scintilacione brojače, kao i način utvrđivanja ispunjenosti tih zahteva, dati su u Prilogu 5 - Plastični scintilacioni brojač, koji je odštampan uz ovaj pravilnik i čini njegov sastavni deo.

Zahtevi za tačne scintilacione brojače, kao i način utvrđivanja ispunjenosti tih zahteva, dati su u Prilogu 6 - Tačni scintilacioni brojač, koji je odštampan uz ovaj pravilnik i čini njegov sastavni deo.

Zahtevi za proporcionalne brojače, kao i način utvrđivanja ispunjenosti tih zahteva dati su u Prilogu 7 - Proporcionalni brojač, koji je odštampan uz ovaj pravilnik i čini njegov sastavni deo.

## **Tehnička dokumentacija**

### **Član 5**

Proizvođač detektora sačinjava tehničku dokumentaciju.

## **Natpisi i oznake**

### **Član 6**

Na detektor se postavljaju sledeći natpisi i oznake:

- 1) poslovno ime, odnosno naziv proizvođača;
- 2) serijski broj detektora;
- 3) žig.

Ukoliko se detektor sastoji od nekoliko odvojenih jedinica, svaka jedinica označava se u skladu sa stavom 1. ovog člana.

Natpisi i oznake iz st. 1. i 2. ovog člana postavljaju se tako da budu vidljive, čitljive i neizbrisive, odnosno da ih nije moguće ukloniti bez trajnog oštećenja.

### **Član 7**

Detektor se overava u skladu sa propisom kojim se uređuju vrste merila za koje je obavezno overavanje i vremenski intervali njihovog periodičnog overavanja.

Overavanje detektora može biti prvo, periodično ili vanredno, u skladu sa zakonom kojim se uređuje metrologija.

## **Overavanje merila**

### **Član 8**

Prvo, periodično i vanredno overavanje detektora obuhvata:

- 1) vizuelni pregled i proveru funkcionalnosti;
- 2) proveru metroloških svojstava.

Detektori se overavaju pojedinačno. Vizuelnim pregledom i proverom funkcionalnosti iz stava 1. tačka 1) ovog člana, proverava se da li je detektor u potpunosti u skladu sa uputstvom proizvođača, odnosno da nema oštećenja pokaznog uređaja ili drugih delova koji mogu uticati na funkcionalnost detektora.

## Član 9

Referentni uslovi za proveru metroloških svojstava su:

- 1) temperatura okoline: 20,0°C;
- 2) relativna vlažnost vazduha: 50%;
- 3) atmosferski pritisak: 1013,25 mbar.

Tokom svakog ispitivanja, temperatura i relativna vlažnost vazduha ne mogu da variraju za više od  $\pm 5$  °C, odnosno  $\pm 30\%$ , od pomenutih referentnih uslova.

## Član 10

Ukoliko se vizuelnim pregledom, proverom funkcionalnosti i ispitivanjem tačnosti utvrdi da detektor ispunjava propisane metrološke zahteve, na isti se stavlja žig u skladu sa zakonom kojim se uređuje metrologija i propisima donetim na osnovu tog zakona.

## Klauzula o uzajamnom priznavanju

### Član 11

Zahtevi ovog propisa se ne primenjuju na detektor koji je zakonito stavljen na tržište ostalih zemalja Evropske unije ili Turske, odnosno zakonito proizveden u državi potpisnici EFTA Sporazuma.

Izuzetno od stava 1. ovog člana, može se ograničiti stavljanje na tržište ili povući sa tržišta detektor iz stava 1. ovog člana, ukoliko se posle sprovedenog postupka iz Uredbe EZ br. 764/2008, utvrdi da takav detektor ne može da ispuni zahteve ekvivalentne zahtevima koji su propisani ovim propisom.

## Prelazne i završne odredbe

### Član 12

Danom stupanja na snagu ovog pravilnika prestaju da važe Pravilnik o metrološkim uslovima za poluprovodničke detektore - spektrometre alfa-zračenja ("Službeni list SRJ", broj 26/92), Pravilnik o metrološkim uslovima za scintilacione detektore - spektrometre gama-zračenja ("Službeni list SRJ", br. 31/93, 42/93 i 44/93), Pravilnik o metrološkim uslovima za scintilacione detektore alfa-zračenja ("Službeni list SRJ", broj 56/94), Pravilnik o metrološkim uslovima za 4 $\pi$  $\beta$  proporcionalne brojače ("Službeni list SRJ", broj 35/95), Metrološko uputstvo za pregled poluprovodničkih detektora - spektrometara alfa-zračenja ("Glasnik SZMDM", broj 3/92), Metrološko uputstvo za pregled scintilacionih detektora - spektrometara gama-zračenja ("Glasnik SZMDM", broj 3/93), Metrološko uputstvo za pregled scintilacionih detektora alfa-zračenja ("Glasnik SZMDM", broj 3/94) i Metrološko uputstvo za pregled 4 $\pi$  $\beta$  proporcionalnih brojača ("Glasnik SZMDM", broj 3/95).

### Član 13

Ovaj pravilnik stupa na snagu osmog dana od dana objavljivanja u "Službenom glasniku Republike Srbije", a član 11. se primenjuje danom pristupanja Republike Srbije Evropskoj uniji.

## Prilog 1

# POLUPROVODNIČKI DETEKTOR - SPEKTROMETAR GAMA ZRAČENJA

## 1. ZAHTEVI

1.1. Sastavni delovi poluprovodničkog detektora - spektrometra gama zračenja su:

- 1) detektor sa zaštitnim oklopom;
- 2) izvor napajanja visokog napona;
- 3) predpojačavač i pojačavač;
- 4) višekanalni analizator impulsa;
- 5) uređaj za zapis rezultata merjenja.

1.2. Poluprovodnički detektor - spektrometar gama zračenja ima sledeće karakteristike:

- 1) materijal: Ge(Li) ili čisti germanijum;
- 2) oblik kristala: planarni, koaksijalni, ili sa tunelom (jamom);
- 3) širina na poluisini vrha (FWHM): na 1332 keV ispod 2,5 keV;
- 4) širina na desetini visine vrha (FWHM): na 1332 keV ispod 5 keV;
- 5) odnos pik/Kompton: od 10 do 60:1;
- 6) relativna efikasnost:  $\geq 10\%$ .

## 2. NAČIN UTVRĐIVANJA ISPUNJENOSTI ZAHTEVA

### 2.1. Oprema za pregled

Za pregled poluprovodničkog detektora - spektrometra gama zračenja koriste se radionuklidi odabrani tako da pokriju potreban energetski opseg. Neki od radionuklida koji se preporučuju dati su u Tabeli 1 ovog priloga.

Tabela 1

Radionuklid	Vreme poluraspada	Energija (keV)	Verovatnoća emisije
<sup>241</sup> Am	432,6 godina	59,5409	0,3592
<sup>109</sup> Cd	461,9 dana	88,0336	0,0366
<sup>139</sup> Ce	137,641 dana	165,8575	0,7990
<sup>139</sup> Hg	46,594 dana	279,1952	0,8148
<sup>51</sup> Cr	27,704 dana	320,0835	0,0989
<sup>113</sup> Sn	115,09 dana	391,698	0,6497
<sup>85</sup> Sr	64,850 dana	514,0048	0,985
<sup>137</sup> Cs	30,05 godina	661,657	0,8499
<sup>54</sup> Mn	312,19 dana	834,848	0,99975
<sup>88</sup> Y	106,63 dana	898,042 1836,070	0,937 0,99346

<sup>60</sup> Co	5,2711 godina	1173,228 1332,492	0,9985 0,999826
<sup>22</sup> Na	2,6029 godina	1274,537	0,9994

Aktivnost korišćenog radionuklida treba da bude poznata sa mernom nesigurnošću manjom od 5%.

## 2.2. Način pregleda

Pregled poluprovodničkog detektora - spektrometra gama zračenja obuhvata:

- 1) spoljašnji pregled;
- 2) proveru metroloških svojstava.

2.2.1. Spoljašnjim pregledom se utvrđuje da li postoje svi delovi mernog sistema, odnosno da li odgovaraju opisu i uputstvu proizvođača.

2.2.2. Provera metroloških svojstava obuhvata:

- 1) proveru linearnosti uređaja;
- 2) proveru efikasnosti;
- 3) proveru razlaganja sistema;
- 4) proveru odnosa pik/Kompton;
- 5) proveru stabilnosti uređaja.

2.2.2.1. Provera linearnosti uređaja

Linearnost uređaja se proverava u opsegu od 40 keV do 3 MeV, koristeći neke od radionuklida iz Tabele 1 ovog priloga, čije energije obuhvataju najmanje 50% potrebnog energetskog opsega.

Radi provere linearnosti uređaja određuje se funkcija zavisnosti broja kanala od energije gama zračenja. Koristi se metoda najmanjih kvadrata, a kriva zavisnosti stvarne energije pika od njegovog položaja na spektru može se prikazati sledećom jednačinom:

$$E = a + bk$$

gde su:

E - energija gama zračenja;

k - redni broj kanala;

a i b - konstante, parametri pravca prave.

Iz dobijene prave izračunava se koeficijent korelacije, n, između stvarne energije pika (E) i njegovog položaja na spektru (k), koji je po apsolutnoj vrednosti jednak 1 sa dozvoljenim odstupanjem do 5%.

Brzina brojanja za ceo spektar za ma koji izvor i geometriju ne prelazi 2000 s<sup>-1</sup>.

2.2.2.2. Provera efikasnosti

Za proveru efikasnosti poluprovodničkog detektora - spektrometra gama zračenja koriste se radionuklidi iz Tabele 1 ovog priloga.

Provera efikasnosti poluprovodničkog detektora - spektrometra gama zračenja vrši se pomoću tačkastog izvora  $^{60}\text{Co}$  postavljenog na visinu 25 cm iznad aktivne površine detektora.

Pri proveru efikasnosti poluprovodničkog detektora - spektrometra gama zračenja u piku treba da se akumulira najmanje 10000 impulsa.

Efikasnost poluprovodničkog detektora - spektrometra gama zračenja određuje se primenom obrasca:

$$E_j = \frac{N}{t * P_\gamma * A}$$

gde su:

N - broj impulsa pod površinom pika određene energije E korigovan za fon;

t - vreme sakupljanja impulsa, odnosno vreme merenja (s);

$P_\gamma$  - verovatnoća emisije fotona energije E u jednom raspadu radionuklida;

A - aktivnost referentnog radioaktivnog materijala na dan merenja (Bq).

Dobijena vrednost za efikasnost poluprovodničkog detektora - spektrometra gama zračenja ne odstupa za više od  $\pm 10\%$  od deklarisanе vrednosti.

#### 2.2.2.3. Provera razlaganja sistema

Razlaganje poluprovodničkog detektora - spektrometra gama zračenja proverava se na energiji od 1332,50 keV pomoću tačkastog izvora  $^{60}\text{Co}$  postavljenog na visinu 25 cm iznad aktivne površine detektora. Dobijena vrednost ne odstupa za više od  $\pm 5\%$  od deklarisanе vrednosti proizvođača.

#### 2.2.2.4. Provera odnosa pik/Kompton

Odnos pik/Kompton za poluprovodnički detektor - spektrometar gama zračenja određuje se za energiju  $^{60}\text{Co}$  od 1332,50 keV. Komptonov kontinuum definisan je za ovu energiju u energetsom opsegu od 1040 keV do 1096 keV.

Odnos pik/Kompton se izračunava tako što se uzima maksimalan broj impulsa po kanalu u piku (korigovan za fon) i srednji broj impulsa prave linije Komptonovog kontinuum (korigovan za fon) između kanala koji odgovaraju energijama navedenim u stavu 1. ove podtačke.

Dobijena vrednost ne odstupa za više od  $\pm 10\%$  od deklarisanе vrednosti.

#### 2.2.2.5. Provera stabilnosti uređaja

Provera stabilnosti poluprovodničkog detektora - spektrometra gama zračenja vrši se proverom stabilnosti merenja brzine brojanja radioaktivnog izvora.

Sprovodi se serija od deset merenja, pri čemu vreme jednog merenja treba da bude 100 s. Određuje se srednja vrednost ( $x_{sr}$ ) i standardna devijacija ( $\sigma$ ).

Poluprovodnički detektor - spektrometar gama zračenja radi stabilno ako je  $0,3649 < \sigma/x_{sr} < 1,8799$ .

## Prilog 2 POLUPROVODNIČKI DETEKTOR - SPEKTROMETAR ALFA ZRAČENJA

### 1. ZAHTEVI

1.1. Sastavni delovi poluprovodničkog detektora - spektrometra alfa zračenja su:

- 1) silicijumski detektor sa površinskom barijerom u vakuumskoj komori;
- 2) izvor napajanja;
- 3) predpojačavač i pojačavač;
- 4) vakuumska pumpa;
- 5) višekanalni analizator impulsa;
- 6) uređaj za zapis rezultata merenja.

1.2. Poluprovodnički detektor - spektrometar alfa zračenja ima sledeće karakteristike:

- 1) aktivna površina silicijumskog detektora: od 100 mm<sup>2</sup> do 1000 mm<sup>2</sup>;
- 2) debljina osetljivog sloja silicijumskog detektora od 50 μm do 100 μm;
- 3) napon napajanja silicijumskog detektora: od 50 V do 100 V, odnosno prema uputstvu proizvođača;
- 4) šum silicijumskog detektora i elektronike (širina na polovini visine pika): od 24 keV do 50 keV (zavisno od aktivne površine silicijumskog detektora);
- 5) širina na polovini visine pika za energiju 5,4856 MeV: < 30 keV;
- 6) linearnost uređaja za energetski opseg od 3 MeV do 8 MeV: < ± 0,1 %;
- 7) fon u energetskom opsegu od 3 MeV do 8 MeV: < 100 impulsa za 24 časa;
- 8) pritisak u vakuumskoj komori: od 0,1 Pa do 1 Pa.

### 2. NAČIN UTVRĐIVANJA ISPUNJENOSTI ZAHTEVA

#### 2.1. Oprema za pregled

Za pregled poluprovodničkog detektora - spektrometra alfa zračenja preporučuju se neki od radionuklida čije su karakteristike date u Tabeli 1 ovog priloga.

Tabela 1

Radionuklid	Vreme poluraspada $T_{1/2}$	Energija MeV	Verovatnoća emisije
<sup>238</sup> U	4,468. 10 <sup>9</sup> godina	4,151 4,198	0,2233 0,7754
<sup>235</sup> U	7,04. 10 <sup>8</sup> godina	4,2147 4,3661 4,3978 4,556	0,0595 0,1880 0,5719 0,0379



		4,4964	0,0474
<sup>234</sup> U	2,455. 10 <sup>5</sup> godina	4,7224 4,7746	0,2842 0,7137
<sup>233</sup> U	1,592. 10 <sup>5</sup> godina	4,7292 4,7830 4,8247	0,016 0,132 0,844
<sup>239</sup> Pu	2,41. 10 <sup>5</sup> godina	5,10581 5,14382 5,15659	0,1187 0,1714 0,7079
<sup>210</sup> Po	138,376 dana	5,30433	0,999876
<sup>241</sup> Am	432,6 godina	5,38825 5,44286 5,48556	0,0166 0,1323 0,8445
<sup>244</sup> Cm	18,11 godina	5,76265 5,80477	0,233 0,767
<sup>226</sup> Ra <sup>222</sup> Rn <sup>210</sup> Po <sup>214</sup> Po	1600 godina	4,78334 5,4848 5,30433 7,68682	0,94083 0,9992 0,999876 0,999895

Za pregled poluprovodničkog detektora - spektrometra alfa zračenja koristi se impulsni generator sa direktnim izlazom od 0 V do 10 V.

## 2.2. Način pregleda

Pregled poluprovodničkog detektora - spektrometra alfa zračenja obuhvata:

- 1) spoljašnji pregled;
- 2) proveru metroloških svojstava.

2.2.1. Spoljašnjim pregledom utvrđuje se da li postoje svi delovi u mernoj grupi, odnosno da li odgovaraju opisu i uputstvu proizvođača.

2.2.2. Provera metroloških svojstava obuhvata:

- 1) proveru linearnosti uređaja;
- 2) proveru razlaganja sistema;
- 3) proveru šuma detektora i elektronike;
- 4) proveru fona.

2.2.2.1. Provera linearnosti uređaja

Linearnost uređaja u energetsom opsegu od 3 MeV do 8 MeV proverava se na jedan od sledećih načina:

- 1) korišćenjem tankih alfa-izvora radionuklida čije su karakteristike date u Tabeli 1 ovog priloga;
- 2) korišćenjem impulsnog generatora.

Radi provere linearnosti uređaja određuje se funkcija zavisnosti broja kanala od energije alfa-zračenja, odnosno amplitude impulsa iz impulsnog generatora.

Za proveru linearnosti uređaja potrebno je odrediti metodom najmanjih kvadrata, krivu zavisnosti stvarne energije pika od njegovog položaja na spektru, koja se može prikazati sledećom jednačinom:

$$E = a + bk$$

gde su:

E - energija alfa zračenja;

k - redni broj kanala;

a i b - konstante, parametri pravca prave.

Iz dobijene prave izračunava se koeficijent korelacije,  $r$ , između stvarne energije pika (E) i njegovog položaja na spektru (k), koji je po apsolutnoj vrednosti jednak 1 sa dozvoljenim odstupanjem do 5%.

Brzina brojanja za ceo spektar za ma koji izvor i geometriju ne prelazi  $200 \text{ s}^{-1}$ .

#### 2.2.2.2. Provera razlaganja sistema

Razlaganje sistema proverava se na energiji od 5,4856 MeV.

Ha spektar se locira redni broj kanala pod pikom i izmeri se širina pika (u kanalima) na polovini visine pika, pri čemu u kanalu pika treba da bude najmanje 1000 odbroja, a broj kanala na polovini visine treba da bude najmanje šest.

Razlaganje sistema se dobija prema sledećem obrascu:

$$\Delta E = k_{1/2} b$$

gde su:

$k_{1/2}$  - širina na polovini visine (u kanalima);

b - parametar određen u tački 2.2.2.1. ovog priloga.

Dobijena vrednost ne odstupa za više od  $\pm 5\%$  od deklarisanе vrednosti za razlaganje sistema.

#### 2.2.2.3. Provera šuma detektora i elektronike

Šum detektora i elektronike proverava se pomoću impulsnog generatora povezanog na test - ulaz na pretpojačavač.

Određuje se širina pika (u kanalima) na polovini visine pika, na način dat u tački 2.2.2.2. ovog priloga. Dobijena vrednost ne odstupa za više od  $\pm 5\%$  od deklarisanе vrednosti.

#### 2.2.2.4. Provera fona

Fon se proverava u energetskom opsegu od 3 MeV do 6 MeV merenjem u toku 24 časa. Ukupan broj impulsa u ovom opsegu tokom merenja od 24 časa treba da je  $< 100$ .

## **Prilog 3** **SCINTILACIONI DETEKTOR - SPEKTROMETAR GAMA ZRAČENJA**

### **1. ZAHTEVI**

1.1 Sastavni delovi scintilacionog detektora - spektrometra gama zračenja su:

- 1) scintilacioni detektor sa NaI(Tl) kristalom;
- 2) fotomultiplikator;
- 3) izvor napajanja visokog napona;
- 4) predpojačavač i pojačavač;
- 5) višekanalni analizator impulsa;
- 6) uređaj za zapis rezultata merenja;
- 7) zaštitni oklop.

1.2. Scintilacioni detektor - spektrometar gama zračenja ima sledeće karakteristike:

- 1) prečnik i visina cilindričnog kristala od 51 mm do 76 mm;
- 2) efikasnost za tačkasti izvor u kontakt geometriji na energiji od 661,66 keV: veća od vrednosti koje se nalaze u opsegu od 6% do 14% (zavisno od dimenzije kristala);
- 3) razlaganje za energiju  $661,66 \text{ keV} < 60 \text{ keV}$ ;
- 4) odnos pik/Kompton:  $\geq 10$ .

## 2. NAČIN UTVRĐIVANJA ISPUNJENOSTI ZAHTEVA

### 2.1. Oprema za pregled

Za pregled scintilacionog detektora - spektrometra gama zračenja koriste se radionuklidi odabrani tako da pokriju potreban energetski opseg. Neki od radionuklida koji se preporučuju su dati u Tabeli 1 ovog priloga.

Tabela 1

Radionuklid	Vreme poluraspada	Energija (keV)	Verovatnoća emisije
<sup>241</sup> Am	432,6 godina	59,5409	0,3592
<sup>109</sup> Cd	461,9 dana	88,0336	0,0366
<sup>139</sup> Ce	137,641 dana	165,8575	0,7990
<sup>139</sup> Hg	46,594 dana	279,1952	0,8148
<sup>51</sup> Cr	27,704 dana	320,0835	0,0989
<sup>113</sup> Sn	115,09 dana	391,698	0,6497
<sup>85</sup> Sr	64,850 dana	514,0048	0,985
<sup>137</sup> Cs	30,05 godina	661,657	0,8499
<sup>54</sup> Mn	312,19 dana	834,848	0,99975
<sup>88</sup> Y	106,63 dana	898,042 1836,070	0,937 0,99346
<sup>60</sup> Co	5,2711 godina	1173,228	0,9985

		1332,492	0,999826
<sup>22</sup> Na	2,6029 godina	1274,537	0,9994

Aktivnost korišćenog radionuklida treba da bude poznata sa mernom nesigurnošću manjom od 5%.

## 2.2. Način pregleda

Pregled scintilacionog detektora - spektrometra gama zračenja obuhvata:

- 1) spoljašnji pregled;
- 2) proveru metroloških svojstava.

2.2.1. Spoljašnjim pregledom se utvrđuje da li postoje svi delovi mernog sistema, odnosno da li odgovaraju opisu i uputstvu proizvođača.

2.2.2. Provera metroloških svojstava obuhvata:

- 1) proveru linearnosti uređaja;
- 2) proveru efikasnosti;
- 3) proveru razlaganja sistema;
- 4) proveru odnosa pik/Kompton;
- 5) proveru stabilnosti uređaja.

2.2.2.1. Provera linearnosti uređaja

Linearnost uređaja se proverava u opsegu od 40 keV do 3 MeV, koristeći neke od radionuklida iz Tabele 1 ovog priloga, čije energije obuhvataju najmanje 50% potrebnog energetskog opsega.

Radi provere linearnosti uređaja određuje se funkcija zavisnosti broja kanala od energije gama zračenja. Koristi se metoda najmanjih kvadrata, a kriva zavisnosti stvarne energije pika od njegovog položaja na spektru se može prikazati sledećom jednačinom:

$$E = a + bk$$

gde su:

E - energija gama zračenja;

k - redni broj kanala;

a i b - konstante, parametri pravca prave.

Iz dobijene prave izračunava se koeficijent korelacije,  $n$ , između stvarne energije pika (E) i njegovog položaja na spektru (k), koji je po apsolutnoj vrednosti jednak 1 sa dozvoljenim odstupanjem do 5%.

Brzina brojanja za ceo spektar za ma koji izvor i geometriju ne prelazi 2000 s<sup>-1</sup>.

2.2.2.2. Provera efikasnosti

Za proveru efikasnosti scintilacionog detektora - spektrometra gama zračenja koriste se radionuklidi iz Tabele 1 ovog priloga.

Provera efikasnosti scintilacionog detektora - spektrometra gama zračenja vrši se pomoću tačkastog izvora  $^{137}\text{Cs}$  u kontakt geometriji na energiji od 661,66 keV.

Pri proveru efikasnosti scintilacionog detektora - spektrometra gama zračenja u piku treba da se akumulira najmanje 10000 impulsa.

Efikasnost detektora se određuje primenom obrasca:

$$E_f = \frac{N}{t * P_\gamma * A}$$

gde su:

N - broj impulsa pod površinom pika određene energije E korigovan za fon;

t - vreme sakupljanja impulsa, odnosno vreme merenja (s);

$P_\gamma$  - verovatnoća emisije fotona energije E u jednom raspadu radionuklida;

A - aktivnost referentnog radioaktivnog materijala na dan merenja (Bq).

Dobijena vrednost za efikasnost ne odstupa za više od  $\pm 10\%$  od deklarisanе vrednosti.

#### 2.2.2.3. Provera razlaganja sistema

Razlaganje sistema proverava se na energiji od 661,66 keV.

Ha spektar se locira redni broj kanala pod pikom i izmeri se širina pika (u kanalima) na polovini visine pika, pri čemu u kanalu pika treba da bude najmanje 5000 odbroja, a broj kanala na polovini visine treba da bude najmanje četiri.

Razlaganje sistema se dobija prema sledećem obrascu:

$$\Delta E = k_{1/2} b$$

gde su:

$k_{1/2}$  - širina na polovini visine (u kanalima);

b - parametar određen u tački 2.2.2.1. ovog priloga.

Dobijena vrednost ne sme da odstupa za više od  $\pm 5\%$  od deklarisanе vrednosti za razlaganje sistema.

Dobijena vrednost za razlaganje sistema treba da bude manja od 60 keV.

#### 2.2.2.4. Provera odnosa pik/Kompton

Odnos pik/Kompton za scintilacioni detektor - spektrometar gama zračenja određuje se za energiju  $^{137}\text{Cs}$  od 661,66 keV. Komptonov kontinuum je definisan za ovu energiju u energetskom opsegu od 358 keV do 382 keV.

Odnos pik/Kompton se izračunava tako što se uzima maksimalan broj impulsa po kanalu u piku (korigovan za fon) i srednji broj impulsa prave linije Komptonovog kontinuuma (korigovan za fon) između kanala koji odgovaraju energijama navedenim u prethodnom stavu.

Dobijena vrednost ne odstupa za više od  $\pm 10\%$  od deklarisanе vrednosti.

#### 2.2.2.5. Provera stabilnosti uređaja

Provera stabilnosti scintilacionog detektora - spektrometra gama zračenja se vrši proverom stabilnosti merenja brzine brojanja radioaktivnog izvora.

Sprovodi se serija od deset merenja, pri čemu vreme jednog merenja treba da bude 100 s. Određuje se srednja vrednost ( $x_{sr}$ ) i standardna devijacija ( $\sigma$ ).

Scintilacioni detektor - spektrometar gama zračenja radi stabilno ako je  $0,3649 < \sigma/x_{sr} < 1,8799$ .

## **Prilog 4** **SCINTILACIONI DETEKTOR - SPEKTROMETAR ALFA ZRAČENJA**

### **1. ZAHTEVI**

1.1. Sastavni delovi scintilacionog detektora - spektrometra alfa zračenja su:

- 1) scintilator;
- 2) fotomultiplikator;
- 3) izvor napajanja;
- 4) pretpojačavač i pojačavač;
- 5) diskriminator;
- 6) uređaj za zapis rezultata merenja.

1.2. Scintilacioni detektor - spektrometar alfa zračenja ima sledeće karakteristike:

- 1) površinska masa sloja scintilatora na staklenoj ili transparentnoj pločici: od 10 mg/cm<sup>2</sup> do 25 mg/cm<sup>2</sup>;
- 2) površinska masa prozora detektora:  $\leq 1$  mg/cm<sup>2</sup>;
- 3) prečnik prozora detektora: od 24 mm do 76 mm;
- 4) radni napon: od 900 V do 1100 V ili prema uputstvu proizvođača;
- 5) mrtvo vreme:  $\leq 10$   $\mu$ s;
- 6) brzina brojanja fona: manja od vrednosti koja se nalazi u opsegu od 0,01 s<sup>-1</sup> do 0,2 s<sup>-1</sup> (zavisno od dimenzija sloja scintilatora).

### **2. NAČIN UTVRĐIVANJA ISPUNJENOSTI ZAHTEVA**

#### *2.1. Oprema za pregled*

Za pregled scintilacionog detektora - spektrometra alfa zračenja preporučuju se neki od sledećih radionuklida:  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{228}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{233}\text{U}$  i prirodni uran.

Aktivnost korišćenih radionuklida treba da bude poznata sa mernom nesigurnošću manjom od  $\pm 5\%$ .

## 2.2. Način pregleda

Pregled scintilacionog detektora - spektrometra alfa zračenja obuhvata:

- 1) spoljašnji pregled;
- 2) proveru metroloških svojstava.

2.2.1. Spoljašnjim pregledom utvrđuje se da li postoje svi delovi u mernoj grupi, odnosno da li odgovaraju opisu i uputstvu proizvođača.

2.2.2. Provera metroloških svojstava obuhvata:

- 1) proveru fona;
- 2) proveru stabilnosti uređaja.

2.2.2.1. Provera fona

Fon se proverava merenjem u trajanju od 1 000 s.

Brzina brojanja fona treba da ima vrednost manju od vrednosti date u pododeljku 1.2. ovog priloga.

2.2.2.2. Provera stabilnosti uređaja

Provera stabilnosti uređaja vrši se proverom stabilnosti merenja brzine brojanja radioaktivnih izvora.

Vrši se serija od deset merenja, pri čemu vreme jednog merenja treba da bude 100 s, a zatim se određuje srednja vrednost ( $x_{sr}$ ) i standardna devijacija ( $\sigma$ ).

Uređaj radi stabilno sa statističkom sigurnošću 90%, ako je  $0,3649 < \sigma/x_{sr} < 1,8799$ .

## Prilog 5 PLASTIČNI SCINTILACIONI BROJAČ

### 1. ZAHTEVI

1.1. Sastavni delovi plastičnog scintilacionog brojača su:

- 1) plastični scintikator;
- 2) fotomultiplikator;
- 3) izvor napajanja visokog napona;
- 4) predpojačavač i pojačavač;
- 5) diskriminator;
- 6) uređaj za zapis rezultata merenja;

7) zaštitni oklop.

1.2. Plastični scintilacioni brojač ima sledeće karakteristike:

- 1) gustina plastičnog scintilatora:  $\approx 0,1 \text{ g/cm}^3$ ;
- 2) površinska masa prozora:  $\approx 0,5 \text{ mg/cm}^2$ ;
- 3) efikasnost za izvor površinske mase  $< 0,1 \text{ mg/cm}^2$ :  $\geq 20\%$ ;
- 4) brzina brojanja fona:  $\leq 3 \text{ s}^{-1}$ ;
- 5) mrtvo vreme:  $\leq 5 \text{ } \mu\text{s}$ .

## 2. NAČIN UTVRĐIVANJA ISPUNJENOSTI ZAHTEVA

### 2.1. Oprema za pregled

Za pregled plastičnog scintilacionog brojača mogu se koristiti neki od sledećih radionuklida:  $^{14}\text{S}$ ,  $^{147}\text{Pm}$ ,  $^{204}\text{Tl}$ ,  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ .

Aktivnost korišćenih radionuklida treba da bude poznata sa mernom nesigurnošću manjom od  $\pm 5\%$ .

### 2.2. Način pregleda

Pregled plastičnog scintilacionog brojača obuhvata:

- 1) spoljašnji pregled;
- 2) proveru metrološkog svojstva.

2.2.1. Spoljašnjim pregledom utvrđuje se da li postoje svi delovi plastičnog scintilacionog brojača koji su dati u pododeljku 1.1. ovog priloga, odnosno da li odgovaraju opisu i uputstvu proizvođača.

2.2.2. Provera metroloških svojstava obuhvata:

- 1) proveru efikasnosti;
- 2) proveru fona;
- 3) proveru stabilnosti uređaja.

2.2.2.1. Provera efikasnosti

Za proveru efikasnosti koristi se neki od radionuklida datih u odeljku 2. Priloga 1 ovog pravilnika.

Prilikom provere efikasnosti potrebno je akumulirati oko 100000 impulsa.

Efikasnost se određuje iz sledećeg odnosa:

$$\varepsilon = N/A \cdot t$$

gde je:

N - broj akumuliranih impulsa;



A - aktivnost korišćenog radionuklida;

t - vreme merenja.

Efikasnost treba da je u skladu sa pododeljkom 1.2. ovog priloga.

#### 2.2.2.2. Provera fona

Prilikom provere fona treba akumulirati najmanje 100000 impulsa.

Brzina brojanja fona treba da je u skladu sa pododeljkom 1.2. ovog priloga.

#### 2.2.2.3. Provera stabilnosti uređaja

Provera stabilnosti uređaja vrši se proverom stabilnosti merenja brzine brojanja radioaktivnog izvora.

Sprovodi se serija od deset merenja pri kojima treba akumulirati najmanje 10000 impulsa, a zatim se određuje srednja vrednost ( $x_{sr}$ ) i standardna devijacija ( $\sigma$ ).

Uređaj radi stabilno sa statističkom sigurnošću 90%, ako je  $0,3649 < \sigma/x_{sr} < 1,8799$ .

## **Prilog 6 TEČNI SCINTILACIONI BROJAČ**

### **1. ZAHTEVI**

1.1. Sastavni delovi tečnog scintilacionog brojača su:

- 1) tečni scintilator u providnoj bočici;
- 2) jedan ili dva fotomultiplikatora;
- 3) izvor napajanja visokog napona;
- 4) pretpojačavač i pojačavač;
- 5) diskriminator;
- 6) uređaj za zapis rezultata merenja.

1.2. Tečni scintilacioni brojač ima sledeće karakteristike:

- 1) efikasnost za neugašeni standardni izvor  $^3\text{H}$ :  $\geq 50\%$ ;
- 2) brzina brojanja fona:  $\leq 0,7 \text{ s}^{-1}$ ;
- 3) mrtvo vreme:  $\leq 2 \mu\text{s}$ .

### **2. NAČIN UTVRĐIVANJA ISPUNJENOSTI ZAHTEVA**

#### *2.1. Oprema za pregled*

Za pregled tečnog scintilacionog brojača potreban je neugašeni standardni izvor  $^3\text{H}$ .

Aktivnost neugašenog standardnog izvora  $^3\text{H}$  treba da bude poznata sa mernom nesigurnošću manjom od  $\pm 5\%$ .

## 2.2. Način pregleda

Pregled tečnog scintilacionog brojača obuhvata:

- 1) spoljašnji pregled;
- 2) proveru metroloških svojstava.

2.2.1. Spoljašnjim pregledom se utvrđuje da li postoje svi delovi tečnog scintilacionog brojača, odnosno da li odgovaraju opisu i uputstvu proizvođača.

2.2.2. Provera metroloških svojstava obuhvata:

- 1) proveru efikasnosti;
- 2) proveru fona;
- 3) proveru stabilnosti uređaja.

2.2.2.1. Provera efikasnosti

Efikasnost se proverava za neugašeni standardni izvor  $^3\text{H}$ .

Prilikom provere efikasnosti za neugašeni standardni izvor  $^3\text{H}$  potrebno je da se akumulira oko 100000 impulsa.

Efikasnost brojača  $\varepsilon$  za neugašeni standardni izvor  $^3\text{H}$  određuje se iz sledećeg odnosa:

$$\varepsilon = N/A \cdot t$$

gde je:

N - broj akumuliranih impulsa;

A - aktivnost neugašenog standardnog izvora  $^3\text{H}$ ;

t - vreme merenja.

Efikasnost brojača za neugašeni standardni izvor  $^3\text{H}$  treba da je u saglasnosti sa zahtevima utvrđenim u pododeljku 1.2. ovog priloga.

2.2.2.2. Provera fona

Za proveru fona koristi se neugašeni blanko izvor. Blanko izvor treba da ima istu geometriju i tačni scintilator kao i neugašeni standardni izvor  $^3\text{H}$  korišćen za proveru efikasnosti u podtački 2.2.2.1. ovog priloga.

Fon se proverava merenjem sa standardnom statističkom greškom od 0,3%.

Brzina brojanja fona treba da je u saglasnosti sa zahtevima utvrđenim u pododeljku 1.2. ovog priloga.

2.2.2.3. Provera stabilnosti uređaja

Stabilnost uređaja je stabilnost merenja brzine brojanja neugašenog standardnog izvora  $^3\text{H}$ .

Vrši se serija od deset merenja sa standardnom statističkom greškom od 1%, a zatim se određuju srednja vrednost ( $\bar{x}_{sr}$ ) i standardna devijacija ( $\sigma$ ).

Uređaj radi stabilno sa statističkom sigurnošću 90%, ako je  $0,3649 < \sigma/\bar{x}_{sr} < 1,8799$ .

## **Prilog 7 PROPORCIONALNI BROJAČ**

### **1. ZAHTEVI**

1.1. Sastavni delovi proporcionalnog brojača su:

- 1) izvor napajanja visokog napona;
- 2) pretpojačavač i pojačavač;
- 3) diskriminator;
- 4) uređaj za zapis rezultata merenja;
- 5) zaštitni oklop.

1.2. Proporcionalni brojač mora da ima sledeće karakteristike:

- 1) početni napon:  $\geq 1000$  V;
- 2) dužina platoa:  $\geq 200$  V;
- 3) nagib platoa: 0,3%/100 V;
- 4) radni napon: polovina platoa;
- 5) vrednost fona:  $\leq 0,1$  s<sup>-1</sup> za alfa zračenje i  $\leq 1$  s<sup>-1</sup> za beta zračenje;
- 6) radni gas: metan, 90% argon-10% metan, butan, ksenon, propan;
- 7) efikasnost brojača:  $\geq 20\%$  za alfa zračenje i  $\geq 30\%$  za beta zračenje.

### **2. NAČIN UTVRĐIVANJA ISPUNJENOSTI ZAHTEVA**

#### *2.1. Oprema za pregled*

Za pregled proporcionalnog brojača preporučuju se neki od sledećih radionuklida: <sup>14</sup>S, <sup>147</sup>Pm, <sup>204</sup>Tl, <sup>36</sup>Cl i <sup>90</sup>Sr/<sup>90</sup>Y.

Aktivnost korišćenih radionuklida treba da bude poznata sa mernom nesigurnošću manjom od  $\pm 5\%$ .

#### *2.2. Način pregleda*

Pregled proporcionalnog brojača obuhvata:

- 1) spoljašnji pregled;
- 2) proveru metroloških svojstava.

2.2.1. Spoljašnjim pregledom se utvrđuje da li postoje svi delovi u mernoj grupi, odnosno da li odgovaraju opisu i uputstvu proizvođača.

2.2.2. Provera metroloških svojstava obuhvata:

- 1) proveru dužine platoa;
- 2) proveru nagiba platoa;
- 3) proveru fona;
- 4) proveru stabilnosti uređaja.

2.2.2.1. Provera dužine platoa

Za proveru dužine platoa snima se kriva platoa proporcionalnog brojača. Polazi se od najnižih vrednosti visokog napona, a snimanje krive počinje kada se dostigne početni napon. Napon se menja u intervalima od po 20 V.

Svaka tačka platoa se određuje standardnom statističkom greškom od 1%.

Prava platoa se određuje metodom najmanjih kvadrata.

Dužina platoa treba da je saglasna sa zahtevima iz pododeljka 1.2. ovog priloga.

2.2.2.2. Provera nagiba platoa

Na platou se odrede dve tačke na međusobnom rastojanju od 100 V, a onda se nagib platoa određuje prema sledećoj jednačini:

$$s = \frac{N2 - N1}{(N1 + N2)/2}$$

gde su:

N1 - broj impulsa pri naponu U1 i

N2 - broj impulsa pri naponu U2, pri čemu je U2-U1 = 100 V.

Nagib platoa treba da je saglasan sa zahtevima iz pododeljka 1.2. ovog priloga.

2.2.2.3. Provera fona

Fon se proverava merenjem sa standardnom statističkom greškom od 0,3% u tački radnog napona.

Brzina brojanja fona treba da je saglasna sa zahtevima pododeljka 1.2. ovog priloga.

2.2.2.4. Provera stabilnosti uređaja

Stabilnost uređaja je stabilnost merenja brzine brojanja radioaktivnog izvora u tački radnog napona.

Vrši se serija od deset merenja sa standardnom statističkom greškom od 1%, a zatim se određuju srednja vrednost ( $x_{sr}$ ) i standardna devijacija ( $\sigma$ ).

Uređaj radi stabilno sa statističkom sigurnošću 90%, ako je  $0,3649 < \sigma/x_{sr} < 1,8799$ .