

PACS: 07.77-n; 07.77.-Ka; 29.40Wk; 85.30De; 85.60Dw

## MIKROPIKSELLİ SELVARI FOTODİOLAR VƏ P-TERFENİL ƏSASLI RADİASIYA DETEKTORLARI

F.İ. Əhmədov

Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Radiasiya Problemləri İnstitutu

*Təqdim edilən işdə yeni nəsil MSFD-3NK fotodiodu əsasında və ölçüləri 3\*3\*35mm olan p-terfenil əsasında hazırlanmış detektorun ionlaşdırıcı radiasiya şüalanmasını qeydetmə həssaslığı tədqiq edilmişdir. Təcrübədə istifadə edilən yeni nəsil MSFD-3NK fotodiodunun aktiv sahəsi 3.7\*3.7 mm, işləmə gərginliyi 91.3 V, gücləndirmə əmsalı  $1*10^5$ , tutumu 160 pF, toplam piksel sıxlığı  $1.37*10^5$  piksel və foton qeyd etmə effektivliyi 35-40 % olmuşdur. Hazırlanmış detektor modulunun qamma şüaları geniş enerji intervalında Kompton kənarına görə xəttilik əyrisi, onun qeyd etmə bildiyi minimum və maksimum enerji müəyyən edilmişdir. Bu tip detektorların minimum qeyd etmə bildiyi enerji 59.6keV və maksimum enerji isə 2.381MeV olmuşdur. Bununla yanaşı yeni hazırlanmış detektor modulu beta zərrəciklərə də həssas olmuş və 656keV enerjili monoenergetik beta zərrəciyinə uyğun gələn enerji ayırdetməsi 22% alınmışdır.*

*Açar sözlər: Mikropikselli selvari fotodiod; MAPD; foton qeydetmə effektivliyi; fotogücləndirici; əməliyyat gücləndiricisi; ionlaşdırıcı; qamma; ssintilyator; beta zərrəcik; p-terfenil.*

### GİRİŞ

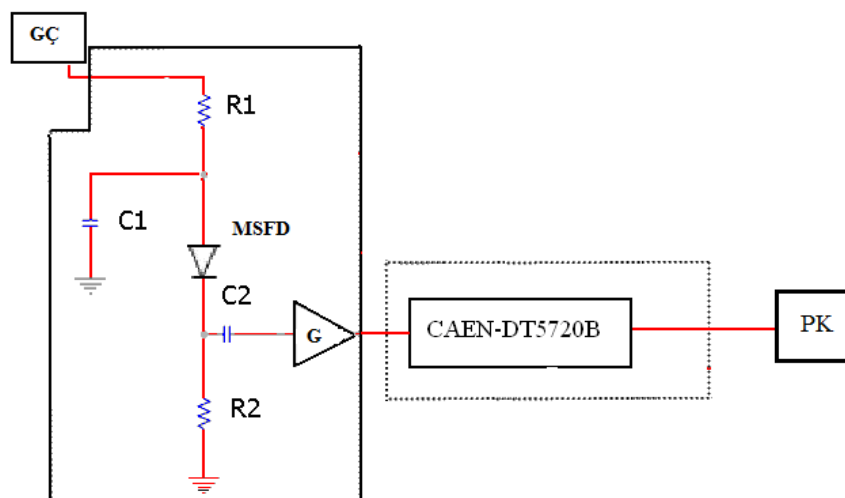
Hazırda yüksək enerjilər fizikasında və təhlükəsizlik sahəsində p-terfenil ssintilyatorları əsasında hazırlanan detektorlar əksər təcrübələr üçün optimal bir qeydedici hesab edilir [1-3].

P-terfenil ssintilyatorlarının əsas üstünlükləri, böyük ölçüdə yetişdirilmə texnologiyasının mənimsənilməsi, istənilən formaya salınması və qiymətə ucuz başa gəlməsi, bu ssintilyator materiallarının geniş tətbiq olunmasına imkan verir. Ssintilyator detektorları iki hissədən ibarətdir: ssintilyator və fotoqeydedici [1]. Ssintilyator detektorlarının əsas işləmə prinsipi ionlaşdırıcı şüalanmanın üzvi ssintilyatorun molekullarını həyəcanlandırması mexanizminə əsaslanır. Bu zaman həyəcanlanmış molekullar əsas hala qayıtdıqda görünən oblastda uyğun gələn ssintilyasiya fotonları buraxırlar. Ssintilyatorun əsas işi yüksək ionlaşdırma enerjisində malik olan enerjiləri (1keV yüksək enerjiləri) görünən dalğa uzunluqlarına çevirməkdir (2.25-4.2eV). Ssintilyator detektorunun digər hissəsi olan fotoqeydedici hissəsi isə məhz yaranan bu fotonların elektrik yükünə çevrilməsini təmin etməkdir. İstifadə edilən fotoqeydedicilər sadalanan bir sıra şərtləri ödəməlidir: yüksək kvant effektivliyinə, aşağı qaranlıq cərəyana, yüksək foton qeydetmə effektivliyinə, daxili gücləndirməyə malik olmalı, aşağı gərginlikdə işləməli, həcmi yüklər oblastının eni kiçik olmalı və radiasiyaya davamlı olmalıdır [1,4]. Hazırda istifadə edilən fotoqeydedicilər bu şərtlərin bəzilərini təmin etmirlər, məsələn: PIN fotodiodların minimum qeyd edilən foton həssaslığının 1000 foton tərtibində olması, daxili gücləndirməsinin 1 olması və eləcə də həcmi yüklər oblastının qalınlığının 100 mkm olmaması bunların geniş tətbiq olunmasını məhdudlaşdırır. Bununla yanaşı hazırda fotoqeydedici kimi istifadə edilən vakuum fotoelektron gücləndirici borular yuxarıda sadalanan parametrlərin bəzilərini ödəsə də əsas çatışmayan cəhətləri: yüksək gərginlikdə işləməsi (1000V) və foton qeydetmə effektivliyinin kiçik olması (10-20%) bu tip fotoqeydedicilərin tətbiqində çətinliklər yaradır. Son illərdə silisium əsaslı mikropikselli selvari fotodiod (MSFD) qeydediciləri sahəsində əldə edilmiş uğurlar onların ssintilyator detektorlarında geniş tətbiq edilmə imkanlarını reallığa çevirmişdir. Hazırda istifadə edilən MSFD fotoqeydedicilərinin gücləndirmə əmsalının  $\sim 10^5$ , foton qeydetmə effektivliyinin 35-40%, işləmə gərginliyinin isə  $\sim 90V$  olması məhz gələcək ssintilyator detektorlarının MSFD-lər əsasında hazırlanmasının daha optimal olduğunu göstərir [5-7].

Təqdim edilən işin əsas məqsədi MAPD üzrə əməkdaşlıq çərçivəsində bizim tərəfimizdən hazırlanmış MSFD-3NK fotodiodları və p-terfenil ssintilyator əsaslı radiasiya detektorlarının qamma şüaları və beta zərrəciyi qeydetmə həssaslığını tədqiq etməkdir.

## TƏCRÜBƏ VƏ NƏTİCƏLƏRİN MÜZAKİRƏSİ

MSFD fotodiodu və ssintilyator əsaslı detektordan alınan siqnalın qeyd edilməsi üçün şəkil 1-də verilən təcrübi dövrədən istifadə edilmişdir. Ölçmələr zamanı istifadə edilən siqnal gücləndiricisi (G) və gərginlik çeviricisi (GÇ) bizim tərəfimizdən təkmilləşdirilmişdir. Siqnal gücləndiricilərinin hazırlanmasında LMH-6657 tipli əməliyyat gücləndiricisi istifadə edilmişdir.



Şəkil 1. Amplitud paylanma spektrini çəkmək üçün istifadə edilən təcrübi dövrə

Bu tip gücləndiricinin vahid gücləndirmədə buraxma zolağı 270MHz olmuşdur. Hazırlanmış gücləndiricinin tam gücləndirməsi 36 əmsal və buraxma zolağı 45MHz olmuşdur. MSFD fotodiodu qidalandırmaq üçün yeni GÇ-i hazırlanmışdır. GÇ-i +5V gərginliyi +100V gərginliyə çevirməyə imkan vermişdir. Bu zaman çıxışda gərginlik kənara çıxması 20mV olmuşdur.

Təcrübədə istifadə edilən fotodioudun parametrləri cədvəl 1-də verilmişdir. İstifadə edilən fotodioudlardan MSFD-3N1P fotodioudunun istehsalı 2008-ci ildə və MSFD-3NK fotodioudunun istehsalı isə 2014 ildə olmuşdur [5, 8].

Cədvəl 1

MSFD fotodioudların parametrləri

Adı	MAPD-3N1P	MAPD-3NK
Sahəsi (mm*mm)	3*3	3.7*3.7
İşləmə gərginliyi (V)	94.5	91.3V
Gücləndirmə əmsalı	$5 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^5$
Tutumu (pF)	120	160
FQE (450-550nm) (%)	25-30	35-40%
Toplam piksel sayı	$1.35 \cdot 10^5$	$1.37 \cdot 10^5$

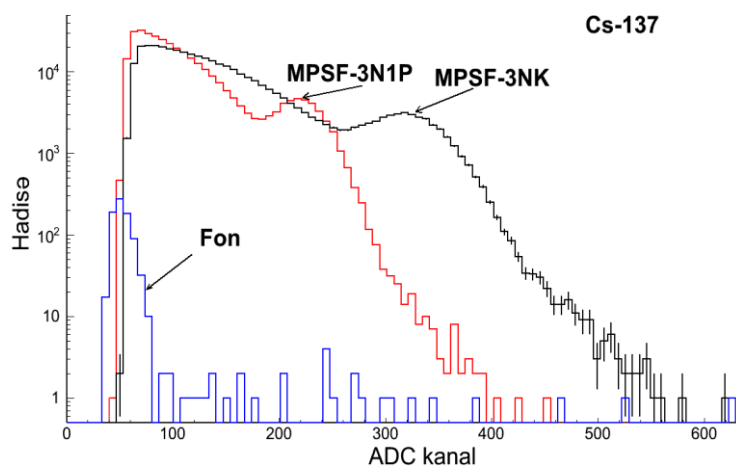
İonlaşdırıcı şüalanmanı qeyd etmək üçün istifadə edilən p-terfenil ssintilyatorların parametrləri cədvəl 2-də verilmişdir.

MSFD fotodioudlardan alınan siqnalların işlənməsi üçün CAEN -5720 analoq rəqəm çeviricisi istifadə edilmişdir. Spektrlərin işlənməsi C++ proqramlaşma dilində yazılmış alqoritm vasitəsi ilə personal kompüterdə həyata keçirilmişdir. İonlaşdırıcı mənbə olaraq: gamma şüalar üçün  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{228}\text{Th}$  və  $^{60}\text{Co}$ , betta zərrəcik üçün  $^{137}\text{Cs}$  (557keV, 605keV, daxili keçid elektronu 624 keV və 656 keV) mənbəsindən istifadə edilmişdir.

P-terfenil ssintilyatorunun parametrləri [9]

Adı	P-terfenil
Ölçüsü (mm*mm*mm)	3*3*35
Maksimal şüalanma (nm)	420
İşıq çıxışı (foton/MeV)	27000
Parçalanma müddəti (nsan)	3.7

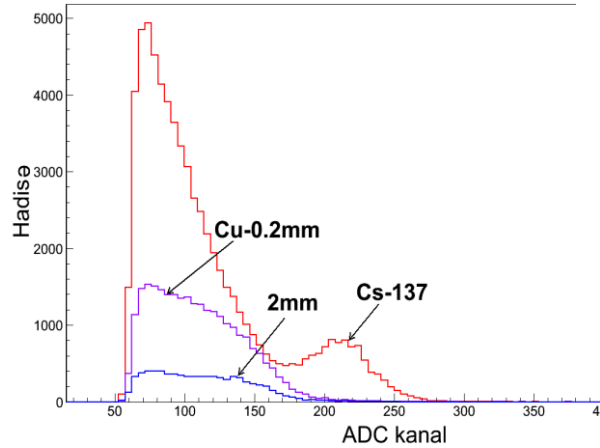
Şəkil 2-də p-terfenil ssintilyatoru və MSFD-3N1P və MSFD-3NK fotodiodu əsasında hazırlanmış detektorun qamma şüaları qeydetmə həssaslığı göstərilmişdir. P-terfenil ssintilyatorlar fotodiodlara şəffaf epoksid yapışqanı ilə yapışdırılmışdır. Detektor ilə radioizotop arası məsafə 5 mm seçilmişdir. Spektrlərin çəkilməsi zamanı təbii radiasiya fonu da nəzərə alınmışdır.



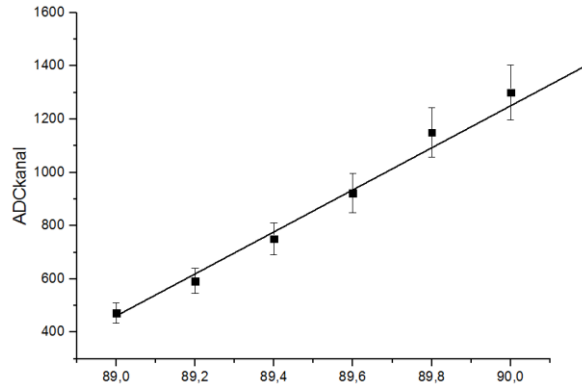
Şəkil 2. MSFD (3N1P və 3NK) fotodiod və plastik ssintilyator əsasında hazırlanmış detektorun  $^{137}\text{Cs}$  izotopunun buraxdığı ionlaşdırıcı şüalanmanın amplitud spektri

İlkin olaraq  $^{137}\text{Cs}$  radioizotopunun spektri çəkilmişdir. Şəkil 2-də MSFD (3N1P və 3NK) fotodiodları ilə qeyd edilən  $^{137}\text{Cs}$  radioizotopunun amplituda görə paylanma spektri verilmişdir. Spekrtdən görüldüyü kimi MSFD-3N1P fotodiodu ilə qeyd edilən hadisələrin maksimumu ADC-in 400-cü kanalında və MSFD-3NK fotodiodlarında isə bu 550-ci kanalda müşahidə edilmişdir. Məlumdur ki,  $^{137}\text{Cs}$  radioizotopunun parçalanması zamanı parçalanmanın 93,5 % hissəsi enerjisi 661,7 keV olan səviyyəyə keçir. Lakin bu keçiddən 661,7 keV enerjili qamma şüalarının buraxılması 85,1 % təşkil edir. Yerdə qalan hissəsi 8,4 %-i daxili keçidlə müşahidə edilir [8]. Belə daxili keçid zamanı 661,7 keV enerjili qamma şüası udulur və enerjisi təqribən 626 keV olan monoenergetik elektronun buraxılması ilə nəticələnir. Bununla yanaşı  $^{137}\text{Cs}$  mənbəsi maksimal enerjiləri 0,84 MeV və 0,5 MeV olan iki beta zərrəciklərini buraxır. Məhz bu səbəbdən də spekrtdə qamma şüalarının yaratdığı hadisələrlə yanaşı beta zərrəciklərinin yaratdığı hadisələrdə müşahidə edilmişdir. Spekrtdə müşahidə edilən hadisələrdən hansı hissəsinin beta zərrəciklərə məxsus olmasını müəyyən etmək olduqca vacibdir. Bu məqsədlə şəkil 3-də MSFD-3N1P fotodiodu ilə  $^{137}\text{Cs}$  radioizotopunun amplituda görə çəkilən spektri göstərilmişdir. Amplitud paylanma spektrinin 186–400-cü kanallarındakı hadisələrin beta zərrəciklərə məxsus olmasını yoxlamaq üçün qalınlıqları 100 – 2000 mkm arasında dəyişən mis lövhələr detektorla  $^{137}\text{Cs}$  mənbəsi arasında yerləşdirilmişdir. Spekrtdən görüldüyü kimi 100 mkm qalınlıqlı mis lövhə detektorla radioizotop arasında yerləşdirildikdə beta zərrəciklərə uyğun gələn hadisələrin sayı azalmışdır. Mis təbəqələrin qalınlığı 2 mm olduqda 626 keV enerjili beta zərrəciklər tam udulmuş və bu zaman spekrtdə yalnız 662 keV enerjili qamma şüaların Kompton kənarı müşahidə edilmişdir. Xüsusi ilə 50–150 kanallara düşən hadisələrə baxsaq görərik ki, bu oblastdakı hadisələrin sayı daha kəskin azalır. Bu hissədəki hadisələrdə mis təbəqənin qalınlığı artdıqca isə spekrtdə hadisələrin sayının ümumi azalması

müşahidə edilmişdir. Bu intervaldakı hadisələrin azalması məhz maksimal enerjiləri 0,5 MeV və 0,84 MeV olan beta zərrəciklərin aşağı enerji oblastının udulması nəticəsində baş vermişdir. Spekrtdən görüldüyü bu tip detektorun qeyd etdiyi beta zərrəciklərinin orta sayı təqribən 10500 hadisə olmuşdur.



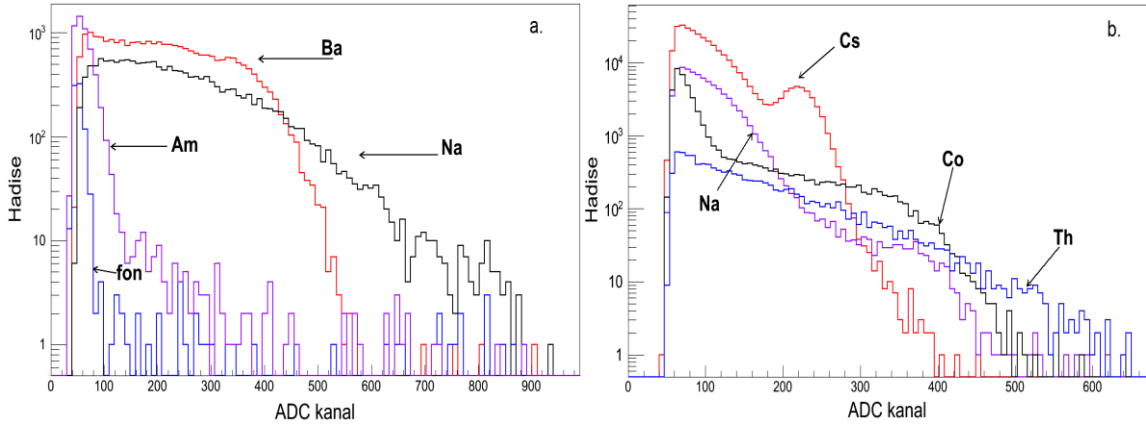
Şəkil 3. Müxtəlif qalınlıqlı mis təbəqə ilə  $^{137}\text{Cs}$  radioizotopunun amplituda görə çəkilmiş spektri



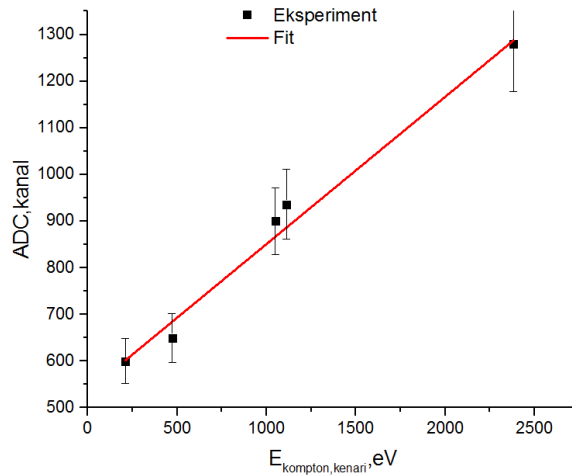
Şəkil 4. MSFD-3NK fotodiodu və p-terfenil ssintilyatoru əsasında hazırlanmış detektor ilə qeyd edilən monoenergetik beta zərrəciklərin amplitudunun gərginlikdən asılılığı

Şəkil 4-də MSFD-3NK fotodiodu və p-terfenil ssintilyatoru əsasında hazırlanmış detektorun  $^{137}\text{Cs}$  mənbəsindən buraxılan monoenergetik beta zərrəciklərinin amplitudunun gərginlikdən asılılığı göstərilmişdir. MSFD-3NK fotodioduna tətbiq edilən gərginliyi dəyişərək siqnalın amplitudunun və enerji ayırdetməsinin dəyişməsi müşahidə edilmişdir. MSFD-3NK fotodiodlarına tətbiq edilən gərginliyin 89 – 90 V intervalında dəyişməsi 0,2 V addımla edilmişdir. Hər ölçmə müddəti 7 dəqiqə seçilmişdir. MSFD-3NK fotodioduna tətbiq edilən gərginliyin 89 V qiymətində monoenergetik beta zərrəciyinə uyğun gələn amplitud 472-ci kanalda müşahidə edilmişdir. Gərginliyin sonrakı qiymətlərində beta zərrəciyinə uyğun gələn amplitud 1,25 dəfədən başlayaraq 3 dəfəyə qədər artmışdır. Amplitudun kəskin dəyişməsi 89,8 V (1340kanal) gərginliyindən başlayaraq 90 V (1450kanal) gərginliyə kimi müşahidə edilmişdir. Amplitudun bu oblastda belə kəskin dəyişməsi selvari oblastda gücləndirmə əmsalının və fotodiodun foton qeydetmə effektivliyinin artması hesabına baş vermişdir. Gərginliyin sonrakı böyük qiymətlərində MSFD-3NK fotodiodlarının xarakteristikalarının idarə edilməsi çətinləşmişdir. MSFD-3NK fotodiodlarına tətbiq edilən gərginliyin müxtəlif qiymətlərində monoenergetik beta zərrəciyinə uyğun gələn enerji ayırdetməsi 22–24% arasında dəyişmişdir. Maksimum amplitudun yarım eni tətbiq edilən gərginlikdən asılı olaraq 122–364 kanal arasında dəyişmişdir. Spekrilər çəkilən zaman tam qeyd edilən hadisələrin sayı 26808 hadisə olmuşdur. Monoenergetik beta zərrəciklərinə uyğun gələn hadisə tam hadisələrin 26%-ni təşkil etmişdir.

Bununla yanaşı p-terfenil ssintilyatoru və MSFD fotodiodundan ibarət detektorun enerjiləri 60 keV–3 MeV intervalında olan ionlaşdırıcı qamma şüalarını qeyd etməsini yoxlamaq üçün  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$  və  $^{228}\text{Th}$  nöqtəvi radioizotopundan istifadə edilmişdir. Bu zaman plastik ssintilyatorla qeyd edilən qamma şüalarının Kompton kənarına uyğun gələn enerjiləri 60 keV–2,381 MeV arasında dəyişmişdir (şəkil 5).



Şəkil 5. MSFD-3N1P və plastik ssintilyator əsasında hazırlanmış detektor ilə qeyd edilən müxtəlif enerjili qamma şüaların amplituda görə paylanma spektri



Şəkil 6. MSFD-3N1P fotodiodu və plastik ssintilyator əsasında hazırlanmış detektorun kalibrənmə əyrisi

Şəkil 6-da p-terfenil əsasında hazırlanmış detektorun Kompton kənarına görə kalibrənmə əyrisi verilmişdir. Əyridən görüldüyü kimi bu asılılıq xəttidir və belə ifadə edilir:

$$\text{ADC} = 535.22 + E_{\text{Kompton kənarı}} \times 0.31 \quad (1)$$

Burada ADC Kompton kənarına uyğun gələn siqnalın amplitudu və  $E_{\text{Kompton kənarı}}$  - Kompton kənarına uyğun gələn enerjidir və keV ilə ifadə edilmişdir.

MSFD və p-terfenil ssintilyatoru əsasında hazırlanmış detektorların amplitud paylanma spektrindən görünür ki, bu tip detektorların minimum qeyd etdiyi enerji  $^{241}\text{Am}$  izotopunun buraxdığı 59,6 keV enerjili qamma şüaları olmuş və hazırlanmış detektor bloku öz xəttiliyini 2.381 MeV enerjiyə qədər tam saxlamışdır.

## NƏTİCƏ

P-terfenil və MSFD fotodiodlar əsasında hazırlanmış detektorların qamma və beta zərrəcikləri qeydetmə həssaslığı tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, yeni hazırlanmış detektorlar öz xəttiliyini geniş enerji oblastında 59.6 keV-2.381 MeV tam saxlayır. Yaranan siqnalın

amplitudu enerjiden asılı olaraq xətti dəyişir. Bununla yanaşı, bu tip detektorların beta zərrəcikləri qeyd etmə həssaslığı da tədqiq edilmişdir. Monoenergetik beta zərrəciyi üçün enerji ayırdetməsi 22% alınmışdır. Alınan nəticələrdən müəyyən edilmişdir ki, MSFD fotodiod və p-terfenil əsaslı yeni detektorlar ionlaşdırıcı dozimetriya sahəsində uğurla tətbiq oluna bilər.

### **ƏDƏBİYYAT**

1. Knoll G.F. Radiation Detection and Measurement 3rd edition: USA: Wiley Publishers., 2000, 802 p.
2. Renker D. Properties of avalanche photodiodes for applications in high energy physics, astrophysics and medical imaging. Nucl. Instrum. Meth. A, 2002, V. 486, p.164-169.
3. Ivashkin A., Akhmadov F., Asfandiyarov R., Bravar A., Blondel A., Dominik W., Fodor Z., Gazdzicki M., Golubeva M., Guber F., Hasler A., Korzenev A., Kuleshov S., Kurepin A., Hadron calorimeter with MAPD readout in the NA61/SHINE experiment, arXiv preprint arXiv:1205.4864.
4. Renker D, Geiger-mode avalanche photodiodes, history, properties and problems. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. A 56, 2006, pp 48–56.
5. Sadygov Z, Olshevski O., Chirikov I. et al. Three advanced designs of micro-pixel avalanche photodiodes: Their present status, maximum possibilities and limitations. Nucl. Instrum. Meth. A, 2006, V. 567, p. 70-73.
6. Ahmadov F., Ahmadov G., Guliyev E., Khorev S., Sadigov A., Sadygov Z., Suleymanov S., Development of compact radiation detectors based on MAPD photodiodes with Lutetium Fine Silicate and Stilbene scintillators. Journal of Instrumentation, vol.10, 2015, p.1-7.
7. Z. Sadygov, F. Ahmadov, X. Abdullaev et al. Development of scintillation detectors based on micro-pixels avalanche photodiodes, Proceedings of Science, 2012, (PhotoDet 2012) 37.
8. Ahmadov F., Ahmadov G., Guliyev E., Madatov R., Sadigov A., Sadygov Z., Suleymanov S., New gamma detector modules based on micropixel avalanche photodiode, Journal of Instrumentation, V12, N01, 2017, p. C01003.
9. [www.amcrys-h.com](http://www.amcrys-h.com).

### **REFERENCES**

1. Knoll G. F. Radiation Detection and Measurement 3rd edition: USA: Wiley Publishers., 2000, 802 p.
2. Renker D. Properties of avalanche photodiodes for applications in high energy physics, astrophysics and medical imaging. Nucl. Instrum. Meth. A, 2002, V. 486, p.164-169.
3. Ivashkin A., Akhmadov F., Asfandiyarov R., Bravar A., Blondel A., Dominik W., Fodor Z., Gazdzicki M., Golubeva M., Guber F., Hasler A., Korzenev A., Kuleshov S., Kurepin A., Hadron calorimeter with MAPD readout in the NA61/SHINE experiment, arXiv preprint arXiv:1205.4864.
4. Renker D, Geiger-mode avalanche photodiodes, history, properties and problems. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. A 56, 2006, pp. 48–56.
5. Sadygov Z, Olshevski O., Chirikov I. et al. Three advanced designs of micro-pixel avalanche photodiodes: Their present status, maximum possibilities and limitations. Nucl. Instrum. Meth. A, 2006, V. 567, p. 70-73.
6. Ahmadov F., Ahmadov G., Guliyev E., Khorev S., Sadigov A., Sadygov Z., Suleymanov S., Development of compact radiation detectors based on MAPD photodiodes with Lutetium Fine Silicate and Stilbene scintillators. Journal of Instrumentation, vol.10, 2015, p.1-7.
7. Z. Sadygov, F. Ahmadov, X. Abdullaev et al. Development of scintillation detectors based on micro-pixels avalanche photodiodes, Proceedings of Science, 2012, (PhotoDet 2012) 37.
8. Ahmadov F., Ahmadov G., Guliyev E., Madatov R., Sadigov A., Sadygov Z., Suleymanov S., New gamma detector modules based on micropixel avalanche photodiode, Journal of Instrumentation, V12, N01, 2017, p. C01003.
9. [www.amcrys-h.com](http://www.amcrys-h.com).

**МИКРОПИКСЕЛЬНЫЕ ЛАВИННЫЕ ФОТОДИОДЫ И ДЕТЕКТОРЫ РАДИАЦИИ НА ОСНОВЕ P-ТЕРФЕНИЛ****Ф.И. Ахмедов**

В представленной работе была исследована чувствительность регистрации ионизирующего излучения детектора на основе нового МЛФД-3НК и сцинтиллятора *p*-терфенил, размером 3\*3\*35 мм. Чувствительная поверхность фотодиода МЛФД-3НК, используемая в эксперименте, составляла 3,7\*3,7 мм, рабочее напряжение 91,3 В, коэффициент усиления  $1*10^5$ , емкость 160 пФ, общая плотность пикселей  $1,37*10^5$  пикселей, а эффективность регистрации фотонов 35-40%. Была определена минимальная и максимальная энергия регистрации детекторным модулем по линейной кривой границы комптоновского распределения. Минимальная энергия регистрации составила 59,6 кэВ, а максимальная энергия 2,318 МэВ. Кроме того, новый детекторный модуль был чувствителен к бета-частицам, и энергетическое разрешение моноэнергетического бета-излучения 656 кэВ составило 22%.

**Ключевые слова:** Микропиксельный лавинный фотодиод; MAPD; эффективность детектирования фотонов; фотоумножитель; операционный усилитель; ионизация; гамма; сцинтиллятор; бета-частица; *p*-терфенил.

**MICRO-PIXEL AVALANCHE PHOTODIODES AND RADIATION DETECTORS BASED ON P-TERPHENYL****F.I. Ahmadov**

The detection sensitivity of the ionizing radiation detector based on the new MAPD-3NK and *p*-terphenyl scintillator, with the dimensions as 3\*3\*35 mm, has been investigated in the article. The sensitive surface of the MAPD-3NK photodiode was 3.7\*3.7 mm, the operating voltage was 91.3 V, the gain was  $1*10^5$ , the capacity was 160 pF, the total pixel density was  $1.37*10^5$  pixels, and the photon detection efficiency about 35-40%. The minimum and maximum detection energy of the detector module was determined from the linear curve of the Compton distribution boundary. The minimum registration energy was 59.6 keV, and the maximum energy was 2.318 MeV.

In addition, the new detector module was sensitive to beta particles, and the energy resolution of 656 keV monoenergetic beta radiation was 22%.

**Keywords:** Micropixel Avalanche Photodiode; MAPD; photon detection efficiency; photomultiplier; operational amplifier; ionization; gamma; scintillator; beta particle; *p*-terphenyl.

**Müəllif haqqında məlumat:****Soyadı, adı, atasının adı:** Əhmədov Fərid İbrahim oğlu**İş yeri:** AMEA-nın Radiasiya Problemləri İnstitutu**Vəzifəsi:** "İnnovativ ionlaşdırıcı şüa mənbələri qəbulediciləri" laboratoriyasının böyük elmi işçisi, t.f.d.**Maraq sahəsi:** yarımkeçirici foto qeydedicilər, ionlaşdırıcı detektorlar, dozimetrlər, spektroskopiya və radiasiya davamlığı**E-mail:** farid-akhmedov@yandex.ru**Əlaqə telefonu:** +994 51 420 08 20**Rəyçi:** t.e.d., dos. X.İ. Abdullayev