

MATERIALŞUNASLIQ

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

DOI: 10.34826/NAA.2022.24.1.005

TİMEPIX PİXELLİ DETEKTOR ƏSASINDA YÜKLÜ ZƏRRƏCİKLƏRİN İDENTİFİKASIYASI ÜÇÜN $\Delta E/\Delta x$ -E ÇOX FUNKSIYALI SPEKTROMETR

Əhmədov Q.S.

Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası, Radiasiya Problemləri İnstitutu

Nüvə parçalanma proseslərində intensiv keçmiş tədqiqatlara baxmayaraq, hələ də qismən öyrənilmiş proseslər qalmaqdadır. Nadir nüvə prosesləri, eləcə də üçqat və dördqat bölünmə, hal-hazırda əsas tədqiqat obyektlərindən biridir. Bu prosesləri daha yaxşı bilmək, enerjinin və bölünmə prosesinin dinamikasının daha yaxşı öyrənilməsinə imkan yaradır. Nadir bölünmə prosesləri aşağı ehtimallı olduğundan, qeyd edilən hadisələrin sayını artırmaq üçün uzunmüddətli təcrübələr lazımdır. Bu məqsədlə yüklü zərrəciklərin eyni zamanda enerjisini, növünü, detektorla toqquşma müddətini və koordinatını qeydetməyə imkan verən dE/dx -E çox funksiyalı spektrometr hazırlanmışdır. Bundan əlavə dE/dx -E zərrəcik spektrometri üçün çoxfunksiyalı sinxronizasiya və qeydetmə sistemi hazırlanmışdır. Hazırlanmış detektor sistemi, Ra-226 alfa radioaktiv və Cf-252 spontan bölünmə mənbəyi ilə yoxlanılmışdır.

Açar sözlər: Pikselli detektor; Timepix; alfa zərrəcik; Cf-252 spontan bölünmə mənbəyi; dE/dx enerji itkisi; dE/dx metodu; nüvə prosesləri; nadir nüvə prosesləri.

Giriş

CMOS texnologiyasının (CMOS - complementary metal-oxide semiconductor, azərb. tamamlayıcı metal-oksüd yarımkeçirici) inkişafı hibrid pikselli detektorların yaranmasında mühüm rol oynamışdır. Hibrid pikselli detektorlar yarımkeçirici Timepix, Medipix hibrid pikselli detektorların təkmilləşdirilmiş formasıdır. Timepix detektoru Medipix kaloborasiyası çərçivəsində Avropa Nüvə Tədqiqatları mərkəzində yaradılmışdır [1-4]. Bu tip detektorlar, Fitpix signal oxuma çipindən və ona "Flip-Çip bump-bond" texnologiyası ilə birləşdirilmiş sensor laydan ibarətdir. Çip müxtəlif növ (Si, CdTe, GaAs və s.) və qalınlıqlı sensorlarla (300, 700, 1000 mkm və s.) istifadə oluna bilər [5-7]. Kontakt vurulması üçün sensor üzərinə nazik alüminium təbəqəsi vurulur. Detektorun bu hissəsi ümumi elektrod kimi istifadə olunur. Yüksək xüsusi müqavimətli n-tip silisium sensora edilmiş p+ implantasiya detektora əks gərginlik tətbiq etməyə imkan verir. Sensorun implantasiya olunmuş tərəfi, ölçüləri 50 mkm olan 256*256 sayda piksellərdən ibarət olan signal oxuma elementlərinə birləşdirilir. Hər bir piksel analoq və rəqəmsal hissədən ibarət olan individual signal oxuma sisteminə malikdir. Analıq hissə, gücləndirici və diskriminator, rəqəmsal hissə isə saygacdən, saygacın maksimumunu idarə edən blokdan, sinxronlaşdırma blokundan, məlumatı müvəqqəti saxlayan buferdən, piksellərin işləmə rejimini qurmaq üçün blokdan və s. ibarətdir. Bu tip detektorlarda signal şəkil kimi oxunur. Timepix detektorunda hər bir piksel individual olaraq 4 rejimdə işləyə bilər: TOT - hər bir pikseldə enerjini ölçməyə imkan verir; TOA - ionlaşdırıcı şüaların detektorla toqquşma zamanını ölçür; Medipix - ionlaşdırıcı şüaları sayır; Maskalama rejimi - pikselləri maskalamağa imkan verir [1-4].

Məlum olduğu kimi, silisium əsaslı detektorlar müxtəlif sahələrdə geniş tətbiq olunur [5-12]. Bu tip detektorların tətbiq olunduğu sahələrdən biri də yüklü zərrəciklərin növünü ayırd etməyə imkan verən ΔE -E zərrəcik teleskoplarıdır [3,8,13]. Nüvə parçalanma proseslərində intensiv keçmiş

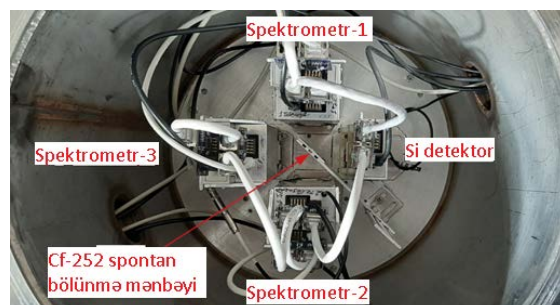
tədqiqatlara baxmayaraq, nadir nüvə prosesləri (eləcə də üçqat və dördqat bölünmə) kimi qismən öyrənilmiş proseslər qalmaqdadır. Bu nüvə proseslərinin tədqiq olunması bölünmə prosesinin dinamikasının və kinematikasının daha yaxşı öyrənilməsinə imkan verir. Nadir bölünmə prosesləri aşağı ehtimallı olduğundan, qeyd edilən hadisələrin sayını artırmaq üçün uzunmüddətli təcrübələr lazımdır. Bölünmə prosesində yaranan yüngül bölünmə məhsullarının çıxımını, enerjisini, çıxma bucağını və zərrəciklərin növünü təyin etmək üçün qeydetmə sistemlərinin hazırlanması əsas şərtlərdəndir. Bu məqsədlə, nazik silisium detektordan (15 mkm) və hibrid pikselli Timepix (300 və 600 mkm) detektordan ibarət dE/dx -E çox funksiyalı spektrometr hazırlanmışdır.

Təqdim edilən işin əsas məqsədi hazırlanmış dE/dx -E çox funksiyalı spektrometrin müxtəlif zərrəciklərə həssaslığını, enerjiyə və zamana görə ayırd etməsini tədqiq etməkdir.

Təcrübə və nəticələrin müzakirəsi

Spektrometrdə ΔE detektoru kimi 15 mkm qalınlıqlı nazik PAD detektordan istifadə olunduğu halda, 300 və 600 mkm qalınlıqlı Timepix detektoru isə E detektoru kimi istifadə edilmişdir. ΔE detektorunun qalınlığa görə qeyri-bircinsliliyi 8% olmuşdur. ΔE -E spektrometrini yoxlamaq üçün spektrometrdə istifadə olunan detektorlar əvvəlcə ayrı-ayrı yoxlanılmışdır. Təcrübədə 3 ΔE -E spektrometri istifadə edilmişdir. Spektrometrlər radioaktiv mənbədən 5 mm məsafədə vakuum kamerasında yerləşdirilmişdir. Timepix detektorunu idarə etmək üçün FITPix COMBO and ΔE detektoru üçün isə Spectrig modulundan istifadə edilmişdir [14-15]. FITPix COMBO və Spectrig USB ilə idarə olunur və detektorları idarə etmək üçün bütün imkanları (gərginlik mənbəyi, gücləndirici, analoq rəqəmsal çevirici və s.) özlərində birləşdirir [14-15].

Şəkil 1-də təcrübə qurğunun real şəkli göstərilmişdir.

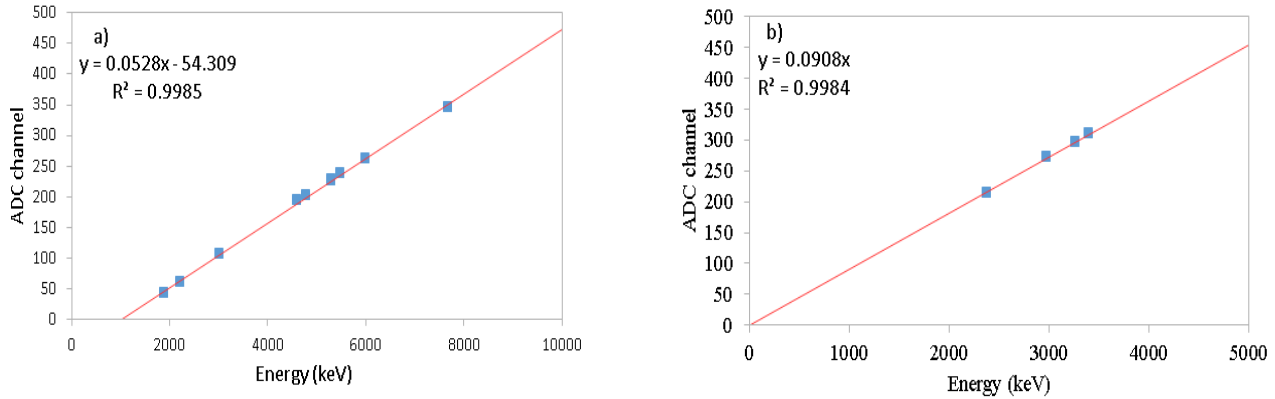


Şəkil 1. Təcrübə qurğu

Hazırlanmış sinxronizasiya modulları detektorları dəqiq trigger etməyə imkan verir. Bunun üçün istifadə edilən modullardan (detektorlardan) biri “əsas” kimi qəbul edilir. Bütün detektorların zaman qeydetməsi “əsas” detektora əsasən işləyir. Hazırlanan modullar müxtəlif tipli sinxronlaşdırmağa imkan verir. Modulları elə sinxronlaşdırmaq olur ki, əgər bütün detektorlarda signal yaranırsa sistem işləyir. Belə sinxronlaşdırma imkan verir ki, lazım olmayan hadisələr qeyd edilməsin və təsadüfi hadisələrin sayını minimuma endirmək olsun. Detektorda qeyd olunan hadisələrin müddətini bilmək üçün modullar zaman sayğacı ilə təchiz olunmuşdur. Sayğacın köməyi ilə 10 ns dəqiqliklə hadisələrin qeyd olunma müddətini qeyd etmək olur. Detektorların enerjiyə görə kalibrlənməsi Ra-226 alfa mənbəyi ilə aparılmışdır. Ra-226 alfa mənbəyi 6 müxtəlif enerjili alfa zərrəcik (4601, 4784.34, 5489.48, 6002.35, 5304.33 və 7686.82 keV) buraxır.

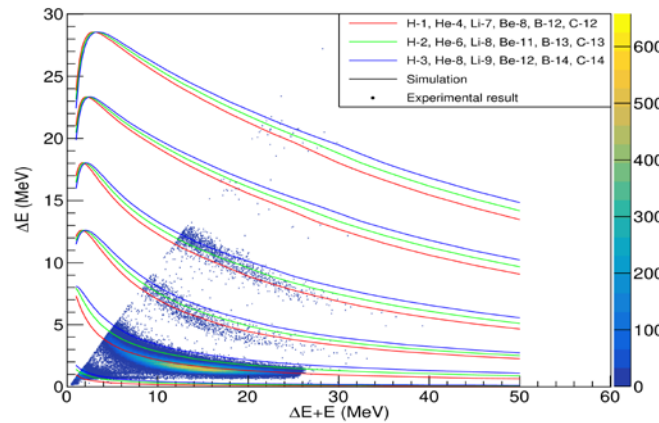
Şəkil 2 (a)-da E detektoru üçün enerjiyə görə kalibrlənmə asılılığı göstərilmişdir. Enerjinin kanaldan asılılığını tapmaq üçün hər bir enerjiyə uyğun gələn analoq rəqəmsal çeviricinin kanalı tapılmışdır. Kanalları tapmaq üçün amplituda görə paylanma spektrində uyğun piklər Gauss funksiyası ilə aproksimasiya edilmişdir. Şəkildən göründüyü kimi iki E detektor üçün enerjinin kanaldan asılılığı tədqiq olunan enerji oblastında xəttidir. 2-ci və 3-cü detektor üçün analoji asılılıq alındığından hesabatda göstərilməmişdir. Alınan bu asılılıqdan amplituda görə asılılıq spektri

enerjiyə görə asılılığa çevrilir. ΔE detektorlarının enerjiyə görə kalibrlənməsi E detektorlarının kalibrlənmədən sonra alınan enerji spektrlərindən alınan enerji nəticələrinə görə yerinə yetirilmişdir. ΔE detektorunda itirilən enerji başlanğıc enerjinin E detektorundan alınan enerjinin fərqindən tapılmışdır. Şəkil 2 (b)-də ΔE detektorları üçün alınan enerjinin kanaldan asılılıqları göstərilmişdir.



Şəkil 2. E (a) və ΔE (b) detektoru üçün kanalın enerjiden asılılığı.
Kalibrləmə Ra-226 mənbəyi ilə 4601 –7686.82 keV enerji intervalında aparılmışdır

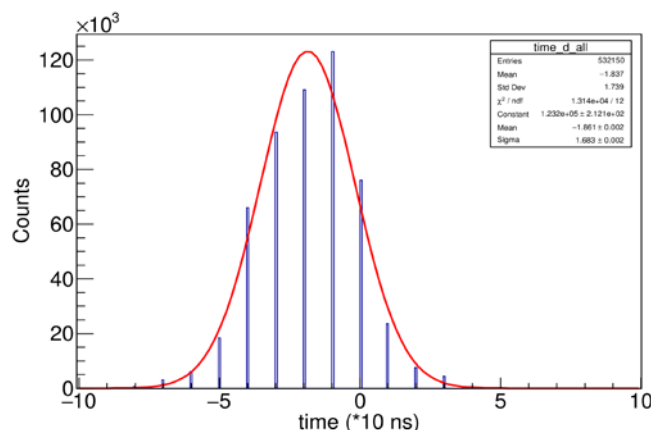
ΔE -E metodunun və hazırlanmış sinxronizasiya modullarını yoxlamaq üçün Cf-252 spontan bölünmə mənbəyindən istifadə edilmişdir. Şəkil 3-də bir spektrometr üçün iki ölçülü ΔE -E spektri verilmişdir. Spektrdə SRİM proqramdan əldə olunmuş simulyasiya nəticələri verilmişdir. Simulyasiyadan alınan nəticələr təcrübədən alınan nəticələrlə yaxşı uyğunlaşır.



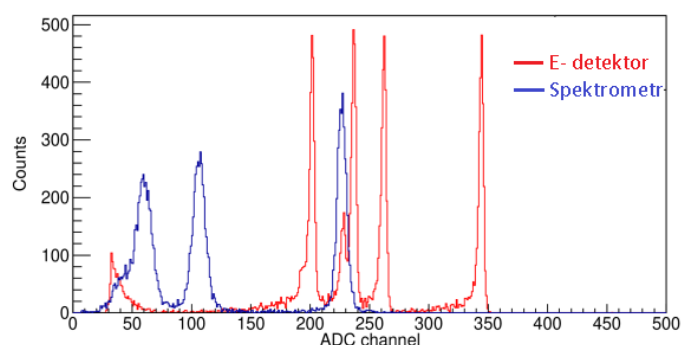
Şəkil 3. ΔE -E spektrometr üçün iki ölçülü ΔE -E spektri

Spektrometrdəki detektorlar və spektrometrlər arasındakı zaman fərqi şəkil 4-də verilmişdir. Qeyd edilən zamanlar hər bir siqnal üçün moduldakı zaman sayğacından əldə olunmuşdur. Şəkildən görüldüyü kimi zaman fərqi təqribən 10 ns-dir (siqma). Həm spektrometr, həm də tək E detektoru üçün enerji spektri şəkil 5-də göstərilmişdir.

Şəkildən görüldüyü kimi Ra-226 mənbəyindən buraxılan bütün alfa zərrəciklərə uyğun gələn piklər aydın müşahidə olunur. E detektoru üçün spektrometrdə olduğu halda alınan enerji ayırdetməsi 160 keV, ayrılıqda isə 88 keV olmuşdur. Bunun səbəbi ΔE detektorundakı bircinslikdir. Alınan nəticələr digər dE/dx -E spektrometrləri üçün də eyni olmuşdur.



Şəkil 4. ΔE -E spektrometrdə detektorlar və spektrometrlər arasındakı zaman fərqi



Şəkil 5. E detektorunun spektrometrdə və tək hal üçün enerji spektri

Nəticə.

Spontan və neytronların təsiri ilə baş verən nadir nüvə bölünmə reaksiyalarını öyrənmək məqsədilə Timepix hibrid piksellə və nazik silisium (15-20 mkm) detektorları əsasında $\Delta E/\Delta x$ -E çox funksiyalı yüklü zərrəcik spektrometri hazırlanmışdır. Spektrometr üçün sinxronizasiya və məlumatların əldə edilməsi üçün qeydetmə sistemi qurulmuş və yoxlanılmışdır. Timepix detektoruna ΔE -E metodunun tətbiqi təkcə zərrəciklərin enerjisi və koordinatı haqqında deyil, həm də zərrəciklərin qeyd edilmə vaxtı və növləri (yük) haqqında eyni vaxtda məlumat almağa imkan verir. Tək spektrometr üçün əldə edilən zamana görə kənara çıxma 11 ns (siqma), iki spektrometr üçün isə 13.18 ns (siqma) təşkil etmişdir. ΔE detektoru olmayan halda enerji ayırdetməsi üçün 88 keV (enerjisi 7686.82 keV olan alfa zərrəcikləri üçün), ΔE olan halda isə hər iki Timepix detektoru üçün (spektrometrdə) 160 keV olmuşdur. ΔE -E metodu yüklü zərrəciklər üçün uğurla yoxlanılmış və simulyasiya edilmiş nəticələrlə müqayisə edilmişdir. Eksperimental nəticələr simulyasiyadan alınan nəticələrlə yaxşı uyğunlaşır. Hazırlanmış spektrometr protondan başlayaraq karbona kimi yüklü zərrəcikləri (bəzi elementlərin izotopları da daxil olmaqla) identifikasiya etmək qabiliyyətinə malik olub, nüvə tədqiqatları təcrübələrində istifadə oluna bilər.

Aparılan işlər Azərbaycan Respublikasının Prezidenti Yanında Elmin İnkişafı Fondunun № EIF—BGM-5-AZTURK-1/2018-2/01/1-M-01 nömrəli, SOCAR Elm Fondunun və Çex Respublikasının Birləşmiş Nüvə Tədqiqatları İnstitutundakı səlahiyyətli nümayəndəsinin qrant layihələri çərçivəsində yerinə yetirilmişdir.

ƏDƏBİYYAT

1. X. Llopart, R. Ballabriga, M. Campbell, L. Tlustos, and W. Wong, Timepix, a 65k programmable pixel readout chip for arrival time, energy, and/or photon counting measurements, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A 581, 2007, 485–494.

2. V. Kraus, M Holik, J. Jakubek, M. Kroupa, P. Soukup and Z Vykydal, FITPix — fast interface for Timepix pixel detectors, JINST 6, 2011, C01079.
3. G.S. Ahmadov, Y.N. Kopatch, S.A. Telezhnikov, F.I. Ahmadov, C. Granja, A.A. Garibov et al., Detection of ternary and quaternary fission fragments from ^{252}Cf with a position-sensitive ΔE -E telescope based on silicon detectors, Phys. Part. Nuclei Lett. 12 (2015) 542.
4. M. Holik et al., Alpha calibration of the Timepix pixel detector exploiting energy information gained from a common electrode signal, JINST 14 , 2019, C06022.
5. F. Ahmadov, G. Ahmadov, E. Guliyev, R. Madatov, A. Sadigov, Z. Sadygov et al., New gamma detector modules based on micropixel avalanche photodiode, JINST 12 ,2017, C01003.
6. G. Ahmadov, F. Ahmadov, M. Holik et al., Gamma-ray spectroscopy with MAPD array in the readout of $\text{LaBr}_3\text{:Ce}$ scintillator, JINST 16 , 2021, P07020.
7. M. Holik et al., Miniaturized read-out interface “Spectrig MAPD” dedicated for silicon photomultipliers, Nucl. Instrum. Meth. A 978 (2020) 164440.
8. M. Holik et al., A synchronization and data acquisition system for silicon detectors, JINST 13, 2018 C11019.
9. Akbarov R. et al. Scintillation light detection with MAPD-3NK and MPPC-S12572-010P readout //KnE Energy, 2018, p.357–362.
10. Akbarov, R. A., Ahmadov, G. S., Ahmadov, F. I., Berikov, D., Holik, M., Mammadov, R., & Tyutyunnikov, S. I.. Fast neutron detectors with silicon photomultiplier readouts. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, Volume 936, 2019, p.549-551.
11. F. Ahmadov, F. Abdullayev, G. Ahmadov, A. Sadigov, Z. Sadygov, R. Madatov, New phoswich detector based on LFS and p-terphenyl scintillators coupled to micro pixel avalanche photodiode, Functional Materials 24(2):005, 2017, p.-344
12. Ahmadov, F., Ahmadov, G., Anfimov, N., Garibov, A., Guliyev, E., Krumshtein, Z., & Zhezher, V. Alpha particle detector based on micropixel avalanche photodiodes. Physics of Particles and Nuclei Letters, 10(7) 2013, p. 778-779.
13. M. Holik, G. Ahmadov, D. Berikov, Yu. Kopatch et al., Advanced Physical Research, Vol.2, No.2, 2020, p. 71-78.
14. Holik, M., Kraus, V., Georgiev, V., Granja, C., FITPix COMBO — Timepix detector with integrated analog signal spectrometric readout, JINST 11 2016 C02032.
15. Holik, M., Ahmadov, G., Broulim, J., Zich, J. et al., Alpha calibration of the Timepix pixel detector exploiting energy information gained from a common electrode signal, JINST 14 , 2019, C06022.

REFERENCES

1. X. Llopert, R. Ballabriga, M. Campbell, L. Tlustos, and W. Wong, Timepix, a 65k programmable pixel readout chip for arrival time, energy, and/or photon counting measurements, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A 581, 2007,485–494
2. V. Kraus, M Holik, J. Jakubek, M Kroupa, P. Soukup and Z Vykydal, FITPix — fast interface for Timepix pixel detectors, JINST 6, 2011, C01079.
3. G.S. Ahmadov, Y.N. Kopatch, S.A. Telezhnikov, F.I. Ahmadov, C. Granja, A.A. Garibov et al., Detection of ternary and quaternary fission fragments from ^{252}Cf with a position-sensitive ΔE -E telescope based on silicon detectors, Phys. Part. Nuclei Lett. 12 (2015) 542.
4. M. Holik et al., Alpha calibration of the Timepix pixel detector exploiting energy information gained from a common electrode signal, JINST 14 2019 C06022.
5. F. Ahmadov, G. Ahmadov, E. Guliyev, R. Madatov, A. Sadigov, Z. Sadygov et al., New gamma detector modules based on micropixel avalanche photodiode, JINST 12 2017 C01003.
6. G. Ahmadov, F. Ahmadov, M. Holik et al., Gamma-ray spectroscopy with MAPD array in the readout of $\text{LaBr}_3\text{:Ce}$ scintillator, JINST 16 2021 P07020.
7. M. Holik et al., Miniaturized read-out interface “Spectrig MAPD” dedicated for silicon photomultipliers, Nucl. Instrum. Meth. A 978 (2020) 164440.

8. M. Holik et al., A synchronization and data acquisition system for silicon detectors, JINST 13 2018 C11019.
9. Akbarov R. et al. Scintillation light detection with MAPD-3NK and MPPC-S12572-010P readout //KnE Energy, 2018, p.357–362.
10. Akbarov, R.A., Ahmadov, G.S., Ahmadov, F.I., Berikov D., Holik M., Mammadov R., & Tyutyunnikov, S.I.. Fast neutron detectors with silicon photomultiplier readouts. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, Volume 936, 2019, p.549-551.
11. F. Ahmadov, F. Abdullayev, G. Ahmadov, A. Sadigov, Z. Sadygov, R. Madatov, New phoswich detector based on LFS and p-terphenyl scintillators coupled to micro pixel avalanche photodiode, Functional Materials 24(2):005, 2017, p.-344
12. Ahmadov, F., Ahmadov, G., Anfimov, N., Garibov, A., Guliyev, E., Krumshtein, Z., & Zhezher, V. Alpha particle detector based on micropixel avalanche photodiodes. Physics of Particles and Nuclei Letters, 10(7) 2013, p. 778-779.
13. M. Holik, G. Ahmadov, D. Berikov, Yu. Kopatch et al., Advanced Physical Research, Vol.2, No.2, 2020, p. 71-78.
14. Holik, M., Kraus, V., Georgiev, V., Granja, C., FITPix COMBO — Timepix detector with integrated analog signal spectrometric readout, JINST 11 2016 C02032.
15. Holik, M., Ahmadov, G., Broulim, J., Zich, J. et al., Alpha calibration of the Timepix pixel detector exploiting energy information gained from a common electrode signal, JINST 14 2019 C06022.

$\Delta E/\Delta x$ -E MULTIFUNCTIONAL SPECTROMETER BASED ON PIXEL DETECTOR-TIMEPIX FOR IDENTIFICATION OF CHARGED PARTICLES

Ahmadov G.S.

Institute of Radiation Problems of ANAS

Despite intensive studies on nuclear fission processes, there are still partially studied processes. Rare nuclear processes, as well as ternary and quaternary fission, are currently one of the main objects of nuclear researches. A better understanding of these processes allows a better understanding of the dynamics of the fission process. Since rare fission processes are less likely, long-term experiments are needed to increase the number of collected events. For these purposes, it has been developed a multifunctional dE/dx -E spectrometer which allows to simultaneously record the energy, type, interaction time, and coordinates of charged particles. In addition, a multifunctional synchronization and readout system has been developed for the dE/dx -E particle spectrometer. The developed detector system was tested with Ra-226 alpha radioactive and a Cf-252 spontaneous fission source.

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

Rəyçi: t.f.d., dos. R.M. Muxtarov

Müəllif haqqında məlumat

Soyadı,adı, atasının adı	İş yeri	Vəzifəsi, elmi dərəcəsi, elmi adı	Əlaqə
Əhmədov Qadir Səttar oğlu	AMEA, Radiasiya Problemləri İnstitutu, “İnnovativ ionlaşdırıcı şüa mənbələri qəbulediciləri” şöbəsi	Böyük elmi işçi, f.f.d.	ahmadovqadir@gmail.com