

# TRIGA MARK II TIPLİ TƏDQIQAT NÜVƏ REAKTORUNDA NEYTRON SELİNİN TƏSİRİ İLƏ 3C-SiC NANOHISSƏCİKLƏRİNİN RADİOAKTİVLİK TƏDQIQI

**E.M. HÜSEYNOV, A.A. QƏRİBOV**

*Milli Nüvə Tədqiqatları Mərkəzi, AZ1073, İnşaatçı  
lar pr., 4, Bakı ş., Azərbaycan  
elchin.huse@yahoo.com, e.huseynov@mntm.az*

Silisiyum karbid (3C-SiC) TRIGA Mark II tipli nüvə reaktorunda neytron seli ( $2 \cdot 10^{13}$  neytron/sm<sup>2</sup>san) ilə 20 saata qədər kəsilməz olaraq şüalandırılmışdır. Neytronlarla şüalanmanın təsiri altında nüvə çevrilmələri nəticəsində həm əsas, həm də qarışıq atomlardan yaranan radioaktiv izotopların növləri və aktivlikləri tədqiq olunub. Neytronlarla şüalanmış nümunələrdə yaranan radioaktiv izotopların ilkin aktivlikləri 3 QBq-ə qədər yüksəlir və onların parçalanma kinetikaları 500 saat müddətində tədqiq olunub. Alınmış nəticələr əsasında istifadə olunmuş nano 3C-SiC-in təmizlik dərəcəsi və nüvə reaktoru şəraitində istifadəsi zamanı yarana biləcək radioaktiv izotopların aktivlikləri haqqında məlumat aşkar olunub.

**PACS:** 92.20.Td, 81.07.Wx, 61.46.+w, 78.70.Nx, 82.80.Jp, 61.80.Hg, 28.20.Fc

**Açar sözlər:** nano 3C-SiC, nanomaterial, nanotoz, radioaktivlik, neytron şüalanma

## 1. Giriş.

Silisiyum karbid nüvə və kosmik texnologiyalarda çox böyük əhəmiyyət kəsb edən materiallardanıdır. Bu səbəbdən, son zamanlar nano ölçülü SiC və onun müxtəlif komponentləri dünya tədqiqatçıları tərəfindən nəzəri və təcrübi öyrənilməyə başlanılmışdır [1-8]. Kubik modifikasiyalı silisiyum karbid (3C-SiC) elm və texnikanın müxtəlif sahələrində unikal fiziki, fiziki-kimyəvi xassələri və radiasiyaya davamlığına görə geniş tətbiq olunur [9-15]. Yüksək temperaturda davamlılığı, mükəmməl strukturu, mexaniki davamlığı, aşağı oksidləşmə qabiliyyəti SiC-in nüvə və kosmik material kimi tətbiq potensialını artırır [9-15]. Mükəmməl mexaniki və funksional xassələrinin kombinasiyası SiC-in müasir elektronkada yarımkeçirici kimi geniş tətbiqinin əsasıdır. SiC-in 200-dən artıq politiipi məlumdur. Bunlar içərisində elektronika sistemlərində ən geniş tətbiq olunanlar kubik (3C-SiC) və heksaqonal (4H və 6H) fazalı politiiplərdir. Kubik modifikasiyalı nano SiC qadağan olunmuş zolağın eninə (band gap (2.26eV)), termal və elektrik xassələrinə görə mikroelektronikada nanohissə kimi geniş istifadə potensialına malikdir [16-20]. Məhz bu səbəbdən, təqdim olunan işdə bütün eksperimentlərdə kubik modifikasiyalı nano 3C-SiC (həmçinin  $\beta$ -SiC kimi də tanınır) hissəciklərindən istifadə olunmuşdur. Nano 3C-SiC hissəcikləri  $2 \times 10^{13}$  n/sm<sup>2</sup>san sel sıxlığına malik neytron seli ilə 20 saata qədər fərqli müddətlərdə TRIGA Mark II tipli tədqiqat reaktorunda kəsilməz olaraq şüalandırılmışdır.

Təqdim olunmuş məqalədə  $2 \times 10^{13}$  n/sm<sup>2</sup>san intensivlikli neytronların təsiri altında 18 nm ölçülü SiC nanomaterialında neytron selinin təsiri nəticəsində əmələ gələn radioaktiv nüvələrin aktivliklərinin inteqral dozadan və şüalanmadan sonrakı parçalanma vaxtından asılılıqları tədqiq olunub. Alınmış nəticələr əsasında silisiyum karbid nanomaterialının tərkibində olan qarışıqların tipi müəyyən edilmişdir. Nüvə reaktorlarında şüalanma zamanı bu qarışıq özünü aşkar şəkildə biruzə verir və onların tərkiblərinin tədqiqi çox əhəmiyyətlidir. Məhz bu qarışıqın təsiri nəticəsində təcrübələr aparılan nümunələrin aktivliyi 3GBq -ə qədər artmışdır. Belə olan halda isə, neytron seli ilə şüalanmış nanomaterialın aktivliyi azalana qədər (təq-

ribən 500 saat müddətində) digər eksperimentlərin aparılması mümkün deyil. Belə ki, TRIGA Mark II tipli tədqiqat nüvə reaktorunda aparılan oxşar eksperimentlərdə “soyuma vaxtı” qeyd edilir [21-29]. Təqdim olunan işdə aktivliyi yaradan izotoplar və uyğun izotopların aktivliyinin standart azalma qanunauyğunluğu verilmişdir.

## 2. Təcrübələrin metodikaları.

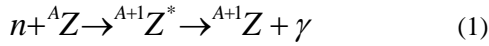
Təcrübədə istifadə olunan nanomaterial 120 m<sup>2</sup>/q xüsusi səth sahəsinə, 18nm ölçülü hissəciklərə və 0.03q/sm<sup>3</sup> (həqiqi sıxlıq 3.216 q/sm<sup>3</sup>) sıxlığa malik kubik modifikasiyalı silisiyum karbid nanohissəcikləridir (US Research Nanomaterials, Inc., TX, USA). Təcrübələr zamanı istifadə olunan nümunələr Sloveniyanın Lyublyana şəhərində Jozef Stefan İnstitutunun “Reaktor Mərkəzində” TRIGA Mark II yüngül su (light water pool type reactor) tipli tədqiqat nüvə reaktorunda mərkəzi (kanal A1) kanalda  $2 \times 10^{13}$  n/sm<sup>2</sup>san sel sıxlığına malik neytron seli ilə tam güc rejimində (250kVt) şüalandırılmışdır. Mərkəzi kanalda tam güc rejimində mövcud neytron selinin parametrləri termal neytronlar üçün  $5.107 \times 10^{12}$  n/sm<sup>2</sup>san ( $1 \pm 0.0008$ ,  $E_n < 625$ eV), epitermal neytronlar üçün  $6.502 \times 10^{12}$  n/sm<sup>2</sup>san ( $1 \pm 0.0008$ ,  $E_n \sim 625$ eV  $\pm 0.1$ MeV), sürətli neytronlar üçün  $7.585 \times 10^{12}$  n/sm<sup>2</sup>san ( $1 \pm 0.0007$ ,  $E_n > 0.1$  MeV) və nəhayət, bütün neytronlar üçün mərkəzi kanalda sel sıxlığı  $1.920 \times 10^{13}$  n/sm<sup>2</sup>san ( $1 \pm 0.0005$ ) kimidir [30-37]. Beləliklə, mərkəzi kanalda neytronların orta enerjisi təqribən epitermal neytronların enerjisinə ( $E_n \sim 625$ eV  $\pm 0.1$ MeV) uyğun gəlir.

Nano SiC xüsusi alüminium silindr içərisində şüalandırılıb. Toz halında nano SiC-in sıxlığı  $\rho_{toz} = 0,03$  q/sm<sup>3</sup> (qabda sıxlığı təqribən  $\sim 0,1$  q/sm<sup>3</sup>), kütləsi təqribən  $\sim 0,7$  q olan nümunə xüsusi presformada sıxılaraq xüsusi formaya salındıqdan sonra, onun parametrləri belə olmuşdur:  $\rho_{tablet} \sim 3.2$  q/sm<sup>3</sup>,  $V_{tablet} \sim 0,2$  sm<sup>3</sup>,  $S_{tablet} \sim 2$  sm<sup>2</sup>. Nümunələr neytron selinin  $2 \times 10^{13}$  n/sm<sup>2</sup>san intensivliyində şüalandırılıb. Tədqiq olunan nümunələrin udulma dozasının qiymətləri toz və tablet şəklində olan nümunələrin həndəsi ölçüləri, şüalanmanın intensivliyi, şüalanma vaxtları, təsir edən neytron selinin sıxlığı və neytronların energetik

spektrlərinə əsasən təyin edilmişdir. Tablet halında olan nümunələrə düşən neytron selinin qiyməti  $1,3338 \times 10^{17} \div 2,6676 \times 10^{18}$  neytron/tabletka intervalında dəyişir. Neytronla qarşılıqlı təsirdən sonra nano SiC-in tərkibində yaranan radionuklidlər “Ortec HPGe detectors (Coaxial, Low and Well-Type)” və “Canberra coaxial HPGe detector” spektrometrlərində analiz olunub. Şüalanmış nümunələrin radioaktivliyi və izotop tərkibi [27,28] metodikası üzrə təyin edilib.

### 3. Nəticə və müzakirələr.

Neytronların maddə ilə qarşılıqlı təsirinin əsas ehtimallı prosesi radiasion tutumdur [27,28, 38, 39].



$$A = \sigma \Phi \left( \frac{m}{M} \right) N_A \Theta P_\gamma \xi (1 - \exp(-\lambda \tau_{sua})) (1 - \exp(-\lambda \tau_{olcu})) \exp(-\lambda \tau_{soyuma}) \quad (2)$$

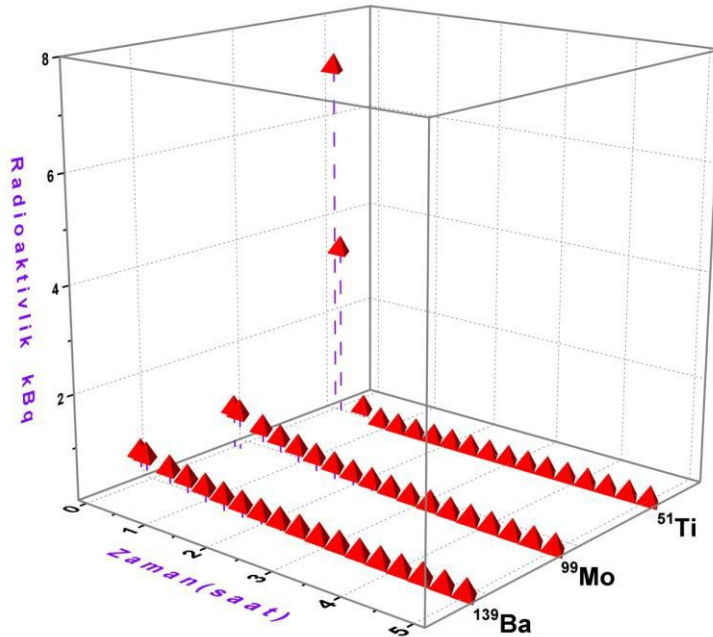
burada,  $A$  - ölçülmüş aktivlik (Bq),  $\sigma$  - təyin olunan izotopların aktivləşməsinin en kəsiyi ( $\text{sm}^2$ ),  $\Phi$  - neytron seli ( $\text{n/sm}^2 \text{ san}$ ),  $m$  - təyin olunan elementin kütləsi (q),  $M$  - təyin olunan elementin atom kütləsi (q/mol),  $N_A$  - Avaqadro ədədi (1/mol),  $\Theta$  - aktivləşən izotopun paylanması,  $P_\gamma$  -  $E$  enerjili qamma kvantın paylanma ehtimalı,  $\xi$  -  $E$  enerjisinə əsasən defektlərin effektivliyi,  $\lambda$  - əmələ gəlmiş izotopların parçalanma sabitləri,  $\tau_{sua}$ ,  $\tau_{ölçü}$ ,  $\tau_{soyuma}$  isə müvafiq olaraq nümunələrin şüalanma, ölçülmə və soyutma vaxt intervallarıdır.

Şüalanmış nümunələrdə müşahidə olunan yeni yaranmış radioaktiv izotopların aktivlikləri parçalanma sabitlərinə uyğun olaraq dəyişir. İyirmi günlük aktivlik analizləri nəticəsində müəyyən edilmiş müxtəlif tip radionuklidlərin ilkin aktivlikləri çox geniş diapozonda dəyişir. Digər tərəfdən, qarışıqda mövcud olan radionuklidlərin ya-

burada  ${}^A_Z$  - şüalanan izotop,  ${}^{A+1}_{Z^*}$  - neytron tutumu nəticəsində yaranan həyacanlanmış nüvə,  $\gamma$  - ikinci qamma şüalardır. Şüalanmış nümunələrdə göstərilən proseslər nəticəsində radioaktiv həyacanlanmış nümunələr yaranır. Onların identifikasiyası qamma spektroskopik üsulla tədqiq olunub. Qamma spektrlərində nüvə keçidlərinə müvafiq  $\gamma$  - şüaların intensivlikləri şüalanma vaxtından və parçalanma sabitlərindən asılı olaraq müxtəlifdir.

Nümunələrin neytron şüalanmadan 500 saat sonra aktivliklərinin dəyişməsi tədqiq olunub. Müəyyən edilib ki, şüalanmış nümunələrin ilkin radioaktivlikləri 0.02kBq – 3GBq intervalında dəyişir. Elementlərin qatılıqlarının təyini müvafiq energetik intervalda yaranmış aktivliklər əsasında aparılır. Mütləq variantda aktivlik nüvə sabitləri əsasında aşağıdakı formula üzrə təyin edilir [27,28, 38, 39].

rimparçalanma müddətləri  $0.037 \sim 8.5 \cdot 10^8$  saat qədər geniş diapozonda dəyişir. Belə ki, müşahidələr iki mərhələdə aparılmışdır: 20 saata qədər şüalanmış nümunələrdən uzun yaşama müddətinə malik radioizotoplar, 5 dəqiqə şüalanmış nümunələrdən isə az yaşama müddətinə malik radioizotoplar aşkar olunmuşdur. Məhz bu səbəbdən, burada bu elementlər şərti olaraq iki qrupa (uzun və nisbətən qısa yaşama müddətinə malik radioizotoplar) ayrılıb. Müşahidə olunmuş radioaktiv izotoplar aktivliklərinə və yaşama müddətlərinə görə qruplaşdırılmışdır. Radioaktiv izotopların şərti qruplar üzrə ilkin aktivliklərinin müşahidə vaxtından asılılıqları (şəkil 1-5)- də təsvir edilmişdir. Əvvəlcə neytron selinin təsiri ilə nanomaterialda yaranan nisbətən az yaşama müddətinə malik və aktivliyi 7kBq-ə qədər olan radionuklidləri nəzərdən keçirək (şəkil 1).

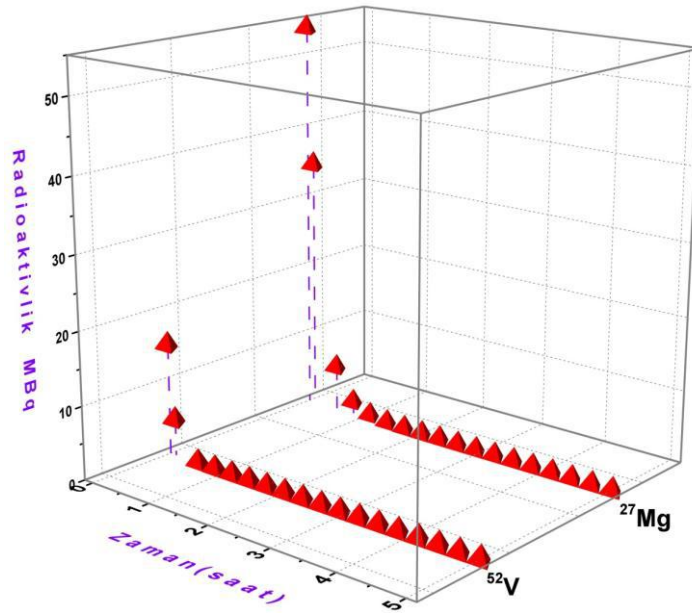


Şəkil 1. Neytron selinin təsiri ilə nano SiC-də yaranmış aşağı aktivlikli (~kBq) və az yaşama müddətinə malik radionuklidlərin aktivliyinin ölçmə vaxtından asılılığı.

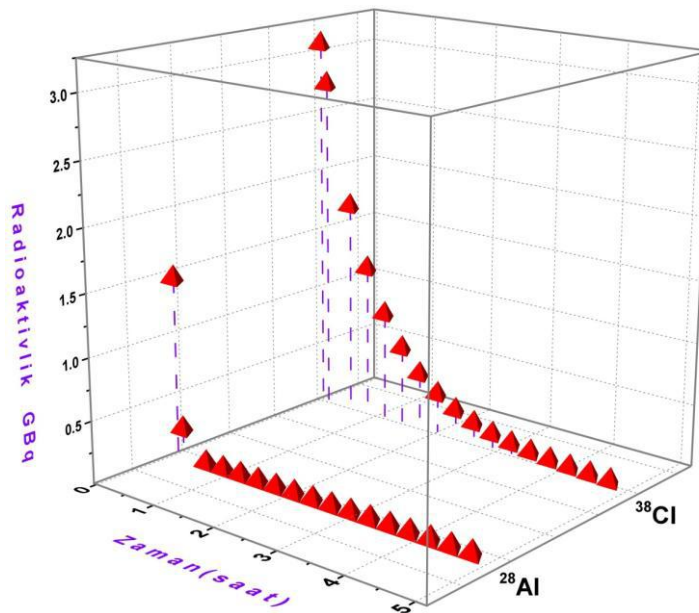
Ümumilikdə 3 tip radionuklid müşahidə olunmuşdur ki, onların da yarımparçalanma dövrləri 0.095 saatdan 1.38 saata qədər dəyişir. Burada, mövcud radionuklidlərin ilkin aktivlikləri 0.6 kBq-dən 7kBq-ə qədər dəyişir. Müşahidə olunan bu radionuklidləri yaşama müddətlərinə uyğun  $^{51}\text{Ti}$  (0.095 saat),  $^{99}\text{Mo}$  (1.1 saat) və  $^{139}\text{Ba}$  (1.38 saat) kimi sıralaya bilərik.

Az yaşama müddətinə malik digər radionuklidlərin ilkin aktivliyi təqribən 54MBq-ə qədərdir (şəkil 2). Burada iki növ -  $^{52}\text{V}$  və  $^{27}\text{Mg}$  radionuklidlər müşahidə olunmuşdur ki, onların da yarımparçalanma müddətləri uyğun olaraq  $^{52}\text{V}$  üçün 0.062 saat,  $^{27}\text{Mg}$  üçün isə 0.16 saatdır. Şəkil 2-dən görüldüyü 5 saatdan sonra hər iki radio-

nuklidlərin aktivlikləri təqribən sıfıra qədər azalmışdır. Az yaşama müddətinə malik olan digər qrup radionuklidlərin ilkin aktivliyi təqribən 3GBq-ə qədər olub. Müşahidə olunan yüksək aktivlikli  $^{38}\text{Cl}$  izotopunun yarımparçalanma müddəti 0.62 saatdır və ölçmələrin aparıldığı beş saatın sonunda  $^{38}\text{Cl}$  izotopunun aktivliyi təqribən 11.5kBq-ə qədər azalmışdır (şəkil 3). Bu qrupa daxil olan  $^{28}\text{Al}$  izotopunun isə ilkin aktivliyi 1.4GBq və yarımparçalanma müddəti 0.037 saatdır (ölçmələrin aparıldığı 5 saatın sonunda  $^{28}\text{Al}$  izotopunun aktivliyi təqribən sıfıra qədər azalmışdır). Digərlərindən dəfələrlə çox aktivliyə malik  $^{38}\text{Cl}$  izotopu qarışığın əsas hissəsini təşkil edir.



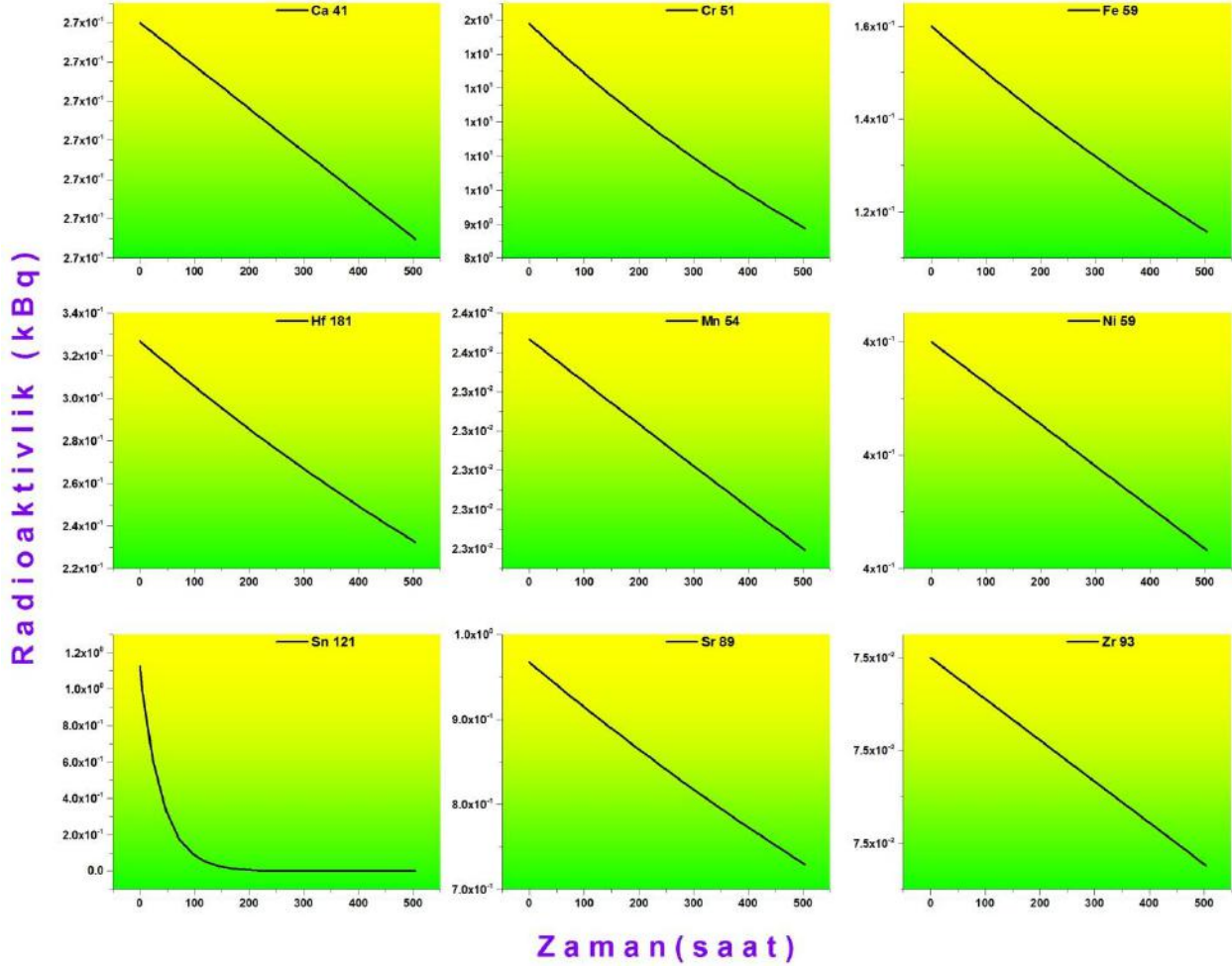
Şəkil 2. Neytron selinin təsiri ilə nano SiC- də yaranmış orta aktivlikli (~MBq) və az yaşama müddətinə malik radionuklidlərin aktivliyinin ölçmə vaxtından asılılığı.



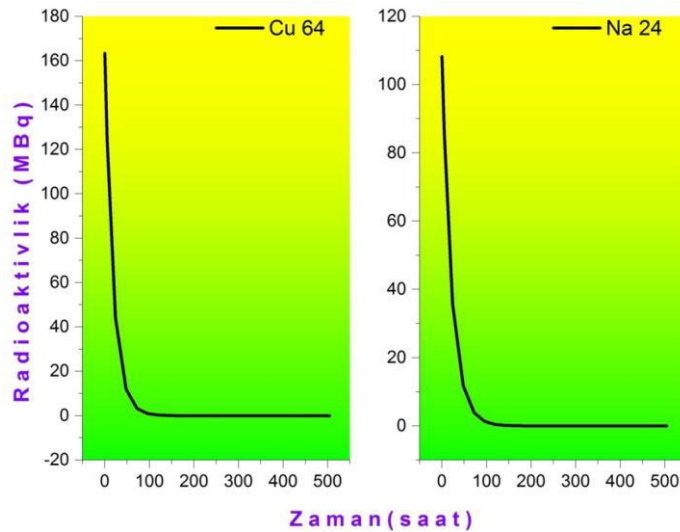
Şəkil 3. Neytron selinin təsiri ilə nano SiC- də yaranmış yüksək aktivlikli (~GBq) və az yaşama müddətinə malik radionuklidlərin aktivliyinin ölçmə vaxtından asılılığı.

Çox yaşama müddətinə malik radionuklidlər iyirmi gün (təqribən 500 saat) müddətində analiz edilmişdir. Analizlər nəticəsində məlum olmuşdur ki, çox yaşama müddətinə malik radionuklidləri, ilkin aktivliklərinə əsasən, iki fərqli qrupa ayırmaq olar. Birinci qrupa aktivlikləri təqribən 15kBq-ə qədər olan radionuklidlər daxildir

(şəkil 4). Burada, müşahidə olunan radionuklidlərin yarımparçalanma müddətləri 27 saat ( $^{121}\text{Sn}$ ), 676 saat ( $^{51}\text{Cr}$ ), 1023 saat ( $^{181}\text{Hf}$ ), 1077 saat ( $^{59}\text{Fe}$ ), 1238 saat ( $^{88}\text{Sr}$ ), 7508 saat ( $^{54}\text{Mn}$ ),  $5.8 \cdot 10^8$  saat ( $^{93}\text{Zr}$ ),  $6.7 \cdot 10^8$  saat ( $^{59}\text{Ni}$ ) və  $8.6 \cdot 10^8$  saat ( $^{41}\text{Ca}$ ) kimidir. Təqribən iyirmi gün sonra bütün radionuklidlərin aktivliyi 8.8kBq-dən az olmuşdur.



Şəkil 4. Neytron selinin təsiri ilə nano SiC- də yaranmış aşağı aktivlikli və nisbətən çox yaşama müddətinə malik radionuklidlərin aktivliyinin ölçmə vaxtından asılılığı.



Şəkil 5. Neytron selinin təsiri ilə nano SiC-də yaranmış nisbətən yüksək aktivlikli və çox yaşama müddətinə malik radionuklidlərin aktivliyinin ölçmə vaxtından asılılığı.

Çox yaşama müddətinə malik, digər qrupa daxil olan radionuklidlərin sayı ikidir (şəkil 5). Bu radionuklidlərin ilkin aktivlikləri təqribən 163 MBq-dir. Bu qrupda müşahidə olunan radionuklidlər <sup>64</sup>Cu 12.7 saat və <sup>24</sup>Na 15 saat kimi yarımparçalanma müddətinə malikdirlər. Bu radionuklidlərin yarımparçalanma müddətlərinin nisbətən az olmasının nəticəsidir ki, iyirmi gün sonra hər iki radionuklidin aktivliyi sifra qədər azalmışdır.

Şəkil 4, 5-də verilmiş asılılıqdan görünür ki, radioaktiv parçalanma sabiti az və yarımparçalanma vaxtı nisbətən çox olan izotopların aktivlikləri təcrübi müşahidə zamanı az dəyişir və nano SiC-in xassələrinin sonrakı tədqiqi zamanı onların radioaktiv parçalanmasının təsiri gözənlənildir. Ümumiyyətlə, neytron selinin nano SiC hissəciklərinə təsiri zamanı aşqar elementlərin radionuklidlərinin müxtəlif müddətlərdə hesablanmış radioaktivliyi cədvəllərdə təqdim olunmuşdur (Cədvəl 1 və 2).

Cədvəl 1. Neytron selinin təsiri ilə SiC nanomaterialında yaranmış nisbətən çox yaşama müddətinə malik radioizotoplar

Zaman (saat)	Aktivlik (kBq)									Aktivlik (MBq)	
	Ca 41	Cr 51	Fe 59	Hf 181	Mn 54	Ni 59	Sn 121	Sr 89	Zr 93	Cu 64	Na 24
0	0.273	14.8943	0.160034	0.326954	0.023668	0.351	1.126551	0.967156	0.075	163.419	108.2264
5	0.273	14.81813	0.15952	0.325848	0.023657	0.351	0.990842	0.964452	0.075	124.3904	85.89935
24	0.273	14.53224	0.157581	0.32168	0.023616	0.351	0.608371	0.954247	0.075	44.09882	35.7014
48	0.273	14.17899	0.155166	0.316492	0.023563	0.351	0.328539	0.94151	0.075	11.90012	11.77707
72	0.273	13.83432	0.152787	0.311387	0.023511	0.351	0.177421	0.928943	0.075	3.211262	3.884984
96	0.273	13.49803	0.150446	0.306364	0.023459	0.351	0.095812	0.916544	0.075	0.866563	1.281567
120	0.273	13.16991	0.14814	0.301422	0.023407	0.351	0.051742	0.90431	0.075	0.233843	0.422759
144	0.273	12.84977	0.145869	0.29656	0.023355	0.351	0.027942	0.89224	0.075	0.063103	0.139459
168	0.273	12.53741	0.143633	0.291777	0.023304	0.351	0.01509	0.880331	0.075	0.017028	0.046004
192	0.273	12.23265	0.141432	0.28707	0.023252	0.351	0.008149	0.868581	0.075	0.004595	0.015176
216	0.273	11.93529	0.139264	0.28244	0.023201	0.351	0.004401	0.856987	0.075	0.00124	0.005006
240	0.2729999	11.64516	0.137129	0.277884	0.023149	0.351	0.002376	0.845549	0.075	0.000335	0.001651
264	0.2729999	11.36209	0.135027	0.273402	0.023098	0.351	0.001283	0.834263	0.075	9.03E-05	0.000545
288	0.2729999	11.08589	0.132958	0.268992	0.023047	0.351	0.000693	0.823127	0.075	2.44E-05	0.00018
312	0.2729999	10.81641	0.13092	0.264653	0.022996	0.351	0.000374	0.81214	0.075	6.58E-06	5.93E-05
336	0.2729999	10.55348	0.128913	0.260384	0.022945	0.351	0.000202	0.8013	0.075	1.77E-06	1.96E-05
360	0.2729999	10.29694	0.126937	0.256184	0.022894	0.351	0.000109	0.790605	0.075	4.79E-07	6.45E-06
384	0.2729999	10.04664	0.124992	0.252052	0.022844	0.351	5.89E-05	0.780052	0.075	1.29E-07	2.13E-06
408	0.2729999	9.802421	0.123076	0.247986	0.022793	0.351	3.18E-05	0.769641	0.075	3.49E-08	7.02E-07
432	0.2729999	9.564139	0.121189	0.243986	0.022743	0.351	1.72E-05	0.759368	0.075	9.41E-09	2.32E-07
456	0.2729999	9.331165	0.119332	0.240051	0.022692	0.351	9.28E-06	0.749232	0.075	2.54E-09	7.64E-08
480	0.2729999	9.104812	0.117503	0.236179	0.022642	0.351	5.01E-06	0.739232	0.075	6.85E-10	2.52E-08
504	0.2729999	8.883488	0.115702	0.232369	0.022592	0.351	2.71E-06	0.729365	0.075	1.85E-10	8.31E-09

Cədvəl 2. Neytron selinin təsiri ilə SiC nanomaterialında yaranmış nisbətən az yaşama müddətinə malik radioizotoplar

Zaman (saat)	Aktivlik (kBq)			Aktivlik (MBq)		Aktivlik (GBq)	
	Ba 139	Mo 99	Ti 51	Mg 27	V 52	Al 28	Cl 38
0	5.79E-01	7.71E-01	6.98E+00	5.36E+01	1.51E+01	1.43E+00	3.04E+00
0.1	5.51E-01	7.24E-01	3.36E+00	3.48E+01	4.95E+00	2.20E-01	2.72E+00
0.5	4.51E-01	5.62E-01	1.82E-01	6.15E+00	5.65E-02	1.23E-04	1.74E+00
0.8	3.88E-01	4.65E-01	2.04E-02	1.68E+00	1.97E-03	4.45E-07	1.24E+00
1.1	3.33E-01	3.85E-01	2.28E-03	4.57E-01	6.90E-05	1.61E-09	8.89E-01
1.4	2.87E-01	3.19E-01	2.56E-04	1.25E-01	2.41E-06	5.84E-12	6.36E-01
1.7	2.47E-01	2.64E-01	2.86E-05	3.40E-02	8.43E-08	2.12E-14	4.54E-01
2	2.12E-01	2.19E-01	3.21E-06	9.26E-03	2.94E-09	7.67E-17	3.25E-01
2.3	1.82E-01	1.81E-01	3.59E-07	2.52E-03	1.03E-10	2.78E-19	2.32E-01
2.6	1.57E-01	1.50E-01	4.03E-08	6.88E-04	3.60E-12	1.01E-21	1.66E-01
2.9	1.35E-01	1.24E-01	4.51E-09	1.88E-04	1.26E-13	3.65E-24	1.19E-01
3.2	1.16E-01	1.03E-01	5.06E-10	5.11E-05	4.39E-15	1.32E-26	8.50E-02
3.5	9.98E-02	8.49E-02	5.66E-11	1.39E-05	1.53E-16	4.80E-29	6.08E-02
3.8	8.59E-02	7.03E-02	6.35E-12	3.80E-06	5.36E-18	1.74E-31	4.34E-02
4.1	7.39E-02	5.82E-02	7.11E-13	1.04E-06	1.87E-19	6.30E-34	3.11E-02
4.4	6.35E-02	4.82E-02	7.97E-14	2.83E-07	6.55E-21	2.28E-36	2.22E-02
4.7	5.46E-02	3.99E-02	8.93E-15	7.70E-08	2.29E-22	8.28E-39	1.59E-02
5	4.70E-02	3.30E-02	1.00E-15	2.10E-08	8.00E-24	3.00E-41	1.14E-02

Cədvəl 1-də nisbətən çox yaşama müddətinə malik radioizotoplar və onların aktivlikləri kBq və MBq ilə verilmişdir. Cədvəl 2-də isə az yaşama müddətinə malik ra-

dioizotoplar və onların aktivlikləri kBq, MBq və GBq ilə sıralanmışdır.



## 4. Nəticələr.

Neytron selinin təsiri altında nano SiC-də əmələ gələn radioaktiv izotopların identifikasiyası aparılıb. Nümunələrin aktivliyinin şüalanma vaxtından asılılıqları tədqiq olunub. Müəyyən olunub ki, nümunə daxilində qarışıq elementlərinin ilkin aktivlikləri və yaşama müddətləri bir-birindən kəskin fərqlənir. Belə ki, neytron seli ilə şüalan-

mış nano SiC-də mövcud aşkar izotopların ilkin aktivlikləri 0.02kBq-3GBq intervalında dəyişir. Aşkar olunmuş izotopların radioaktivliklərinin müşahidə vaxtından asılılıqları və qarışıq elementlərinin tipi təyin edilib. Tədqiq olunmuş nano SiC nümunələrində nisbətən böyük yarım-parçalanma vaxtına malik izotoplar aşkar olunub ki, onların şüalanmadan sonrakı dövrdə nano SiC-in fiziki xassələrinin şərhində nəzərə alınması təklif olunur.

- [1] T. Koyanagi, K. Shimoda, S. Kondo, T. Hinoki, K. Ozawa, Y. Katoh. Journal of Nuclear Materials 455, 1-3, 2014, 73-80.
- [2] G. Meenakshi, A. Sivasamy, G.A. Suganya Josephine, S. Kavithaa. Journal of Molecular Catalysis A: Chemical 411, 2016, 167-178.
- [3] J.H. van Laar, J.F.M. Slabber, J.P. Meyer, I.J. van der Walt, G.J. Puts, P.L. Crouse. Ceramics International 41, 3, Part B, 2015, 4326-4333.
- [4] K.E. Bae, K.W. Chae, J.K. Park, W.S. Lee, Y.J. Baik. Surface and Coatings Technology 276, 2015, 55-58.
- [5] Gopal C. Pradhan, Satyabrata Dash, Sarat K. Swain. Carbohydrate Polymers 134, 2015, 60-65
- [6] H. Xie, J. Wang, T. Xi and Y. Liu. International Journal of Thermophysics 23, 2, 2002.
- [7] Toan Dinh, Dzung Viet Dao, Hoang-Phuong Phan et. al. Applied Physics Express 8, 061303, 2015.
- [8] Hui-wang Cui, Dong-sheng Li and Qiong Fan. Electronic Materials Letters 9, 1, 2013, 1-5.
- [9] M. Bruzzi, F. Nava, S. Pini, S. Russo. Applied Surface Science 184, 1-4, 2001, 425-430
- [10] F. Aguado and V. G. Baonza. Phys. Rev. B 73, 024111, 2006
- [11] Paul G. McMullin, Donovan L. Barrett, Richard H. Hopkins et. al.. "Silicon carbide devices for radiation hard applications" AIP Conf. Proc. 271, 625 (1993)
- [12] D. Singh, E. Timofeeva, W. Yu et. al.. J. Appl. Phys. 105, 064306, 2009.
- [13] Narendra Singh, Kirandeep Singh, Akhilesh Pandey, Davinder Kaur. Materials Letters 164, 2016, 28-31
- [14] G. Ivanov, A. Stelmach, M. Kleverman, and E. Janzén. Phys. Rev. B 73, 045205, 2006.
- [15] Yutai Katoh, Lance L. Snead, Izabela Szlufarska, William J. Weber. Current Opinion in Solid State and Materials Science 16, 3, 2012, 143-152.
- [16] DOU Yan-Kun, QI Xin, JIN Hai-Bo, CAO Mao-Sheng, Usman Zahid, HOU Zhi-Ling. CHIN. PHYS. LETT. 29, 7, 077701, 2012.
- [17] Debopriyo Mallick, Omprakash Chakrabarti, Dipten Bhattacharya, Manabendra Mukherjee, Himadri S. Maiti and Rabindranath Majumdar. Journal of Applied Physics 101, 033707, 2007.
- [18] Yang Zhonghua, Liu Guilin, Qu Yingdong, Li Rongde. Journal of Semiconductors 36, 10, 2015.
- [19] Hui-wang Cui, Dong-sheng Li and Qiong Fan. Electronic Materials Letters 9, 1, 2013, 1-5.
- [20] H. Xie, J. Wang, T. Xi and Y. Liu. International Journal of Thermophysics 23, 2, 2002.
- [21] Elchin Huseynov, Adil Garibov, Ravan Mehdiyeva. Physica B: Condensed Matter 450, 77-83, 2014.
- [22] Elchin Huseynov, Adil Garibov, Ravan Mehdiyeva. Journal of Electrostatics 74, 73-78, 2015.
- [23] Elchin Huseynov, Adil Garibov, Ravan Mehdiyeva, Eršte Andreja, Anar Rustamov. American Institute of Physics, Advances, v.4, N11, 2014, 117122.
- [24] Elchin Huseynov, Aydan Garibli. Revista Mexicana de Física 62, 2016.
- [25] Elchin Huseynov, Adil Garibov, Ravan Mehdiyeva, Efsane Huseynova. Silicon, 2016
- [26] Elchin Huseynov, Adil Garibov, Ravan Mehdiyeva, Efsane Huseynova. Modern Physics Letters B 30, N8, 1650115, 2016.
- [27] Elchin Huseynov, Adil Garibov and Ravan Mehdiyeva. Nano Convergence, 2014, 1, 21.
- [28] Aydan Garibli, Elchin Huseynov, Adil Garibov, Ravan Mehdiyeva. International Journal of Modern Physics B 30, N10, 1650040, 2016.
- [29] Elchin Huseynov, Aydan Garibli. Silicon, 2016
- [30] Luka Snoj, Gasper Zerovnik, Andrej Trkov. Applied Radiation and Isotopes 70, 2012, 483-488.
- [31] Gasper Zerovnik, Manca Podvratnik, Luka Snoj. Ann. Nucl. Energy, 2014, 63, 126-128.
- [32] G. Zerovnik et al.. Applied Radiation and Isotopes, 2015, 96, 27-35.
- [33] R. Henry, I. Tiselj, L. Snoj. Applied Radiation and Isotopes, 2015, 97, 140-148.
- [34] Luka Snoj, Andrej Kavcic, Gasper Zerovnik, Matjaz Ravnik. Ann. Nucl. Energy, 2010, 37 (2), 223-229.
- [35] P. Filliatre et al.. Annals of Nuclear Energy 83, 2015, 236-245.
- [36] Žerovnik, G et al.. Measurements of thermal power at the TRIGA Mark II reactor in Ljubljana using multiple detectors, IEEE Transactions on Nuclear Science, 61 (5), Article number 2356014, Pages 2527-2531, 2014.
- [37] A. Kolšek, V. Radulović, A. Trkov, L. Snoj. Using TRIGA Mark II research reactor for irradiation with thermal neutrons, Nuclear Engineering and Design, 2015, 283, 155-161.
- [38] M.V. Frontasyeva. Neutron Activation Analysis in the Life Sciences. Russia, Physics of Elementary Particles and Atomic Nuclei, ISSN 0367-2026, Volume 42, part 2, 2011, 636-718.
- [39] Ghania Medkour Ishak-Boushaki, Khelifa Boukeffoussa, Zahir Idiri, Malika Allab. Applied Radiation and Isotopes, Volume 70, Issue 3 2012, 515-519.

**E.M.Huseynov, A.A.Garibov**

**RESEARCH OF 3C-SiC NANOPARTICLES RADIOACTIVITY EXPOSED TO INFLUENCE OF NEUTRON FLUX IN THE TRIGA MARK II TYPE RESEARCH REACTOR**

The investigation of neutron irradiation ( $2 \times 10^{13}$  neutron /  $\text{cm}^2\text{sec}$ ) in nuclear reactor of TRIGA Mark II type on silicon carbide (3C-SiC) during 20 hours is investigated in continuous operation. It is established that the radioactive isotopes form from the both the basic and impuritive atoms as a result of the nuclear transformation under influence of neutron flux. The kinetic regularities of the radioactive atom decay during 500 hours formed in the result of neutron irradiation the initial activity of which is achieved 3GBq, are revealed. The degree of purity and radioactivity at neutron irradiation of the initial 3C-SiC nano-sample in the work conditions of nuclear reactor are obtained.

**Э.М. Гусейнов, А.А. Гарибов**

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОАКТИВНОСТИ НАНОЧАСТИЦ 3C-SiC ПОД ВЛИЯНИЕМ НЕЙТРОННОГО ПОТОКА В ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ РЕАКТОРЕ ТИПА TRIGA MARK II**

Исследовано влияние нейтронного облучения ( $2 \times 10^{13}$  нейтрон /  $\text{см}^2\text{с}$ ) в ядерном реакторе типа TRIGA Mark II на карбид кремния (3C-SiC) в течение 20 часов в непрерывном режиме. Установлено, что в результате ядерного превращения под действием нейтронного потока, образуются радиоактивные изотопы как из основных, так и примесных атомов. Выявлены кинетические закономерности распада радиоактивных изотопов в течение 500 часов, образовавшихся в результате нейтронного облучения, начальная активность которых достигла 3ГБк. На основе полученных результатов определены степень чистоты и радиоактивность при нейтронном облучении исходного образца нано 3C-SiC в условиях работы ядерных реакторов.

*Qəbul olunma tarixi: 11.05.2016*