



ISSN 1028-8546

Volume XXV, Number 4  
Section: Az  
December, 2019

# Azerbaijan Journal of Physics

# Fizika



[www.physics.gov.az](http://www.physics.gov.az)

G.M. Abdullayev Institute of Physics  
Azerbaijan National Academy of Sciences  
Department of Physical, Mathematical and Technical Sciences

Published from 1995  
Ministry of Press and Information  
of Azerbaijan Republic,  
Registration number 514, 20.02.1995

ISSN 1028-8546  
vol. XXV, Number 04, 2019  
Series: Az

## *Azerbaijan Journal of Physics*

# **FIZIKA**

*G.M. Abdullayev Institute of Physics  
Azerbaijan National Academy of Sciences  
Department of Physical, Mathematical and Technical Sciences*

### **HONORARY EDITORS**

Arif PASHAYEV

### **EDITORS-IN-CHIEF**

Nazim MAMEDOV

Chingiz QAJAR

### **SENIOR EDITOR**

Talat MEHDIYEV

### **INTERNATIONAL REVIEW BOARD**

Ivan Scherbakov, Russia  
Kerim Allahverdiyev, Azerbaijan  
Mehmet Öndr Yetiş, Turkey  
Gennadii Jablonskii, Belarus  
Rafael Imamov, Russia  
Vladimir Man'ko, Russia  
Eldar Salayev, Azerbaijan  
Dieter Hochheimer, USA  
Victor L'vov, Israel

Vyacheslav Tuzlukov, South Korea  
Majid Ebrahim-Zadeh, Spain  
Anatoly Boreysho, Russia  
Mikhail Khalin, Russia  
Hasan Bidadi, Tebriz, Iran  
Natiq Atakishiyev, Mexico  
Tayar Djafarov, Azerbaijan  
Arif Hashimov, Azerbaijan  
Javad Abdinov, Azerbaijan

Bagadur Tagiyev, Azerbaijan  
Salima Mehdiyeva, Azerbaijan  
Talat Mehdiyev, Azerbaijan  
Ayaz Bayramov, Azerbaijan  
Tofiq Mammadov, Azerbaijan  
Shakir Nagiyev, Azerbaijan  
Rauf Guseynov, Azerbaijan  
Almuk Abbasov, Azerbaijan  
Yusif Asadov, Azerbaijan

### **TECHNICAL EDITORIAL BOARD**

Senior secretary: Elmira Akhundova; Nazli Huseynova, Gulnura Jafarova  
Nigar Akhundova, Elshana Aleskerova, Rena Nayimbayeva

### **PUBLISHING OFFICE**

131, H. Javid ave., AZ-1143, Baku  
ANAS, G.M. Abdullayev Institute of Physics

Tel.: (99412) 539-51-63, 539-32-23  
Fax: (99412) 537-22-92  
E-mail: [jophphysics@gmail.com](mailto:jophphysics@gmail.com)  
Internet: [www.physics.gov.az](http://www.physics.gov.az)  
<https://jophphysics.wixsite.com/ajpphysics>

Published at "AZERİ-DİZAYN"  
196, Nizami str., Baku  
Typographer: Filipp Podosinnikov

Sent for printing on: \_\_.\_\_. 201\_\_  
Printing approved on: \_\_.\_\_. 201\_\_  
Physical binding: \_\_\_\_\_  
Number of copies: \_\_\_\_\_ 200  
Order: \_\_\_\_\_

It is authorized for printing:

# İNFORMASIYANIN TƏHLÜKƏSİZ ÖTÜRÜLMƏSİNDƏ İSTİFADƏ OLUNAN YADDAŞ VƏ MƏNTİQ QURĞULARINDA YARIMKEÇİRİCİ NANOELEKTRON ELEMENTLƏRİN TƏTBİQİ

S.N. MUSAYEVA, E.Ə. KƏRİMOV\*

Azərbaycan Texniki Universiteti

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti\*

E-mail: E\_Kerimov.fizik@mail.ru

Məntiq və yaddaş qurğularında yarımkeçirici nanoelektron elementlərin tətbiq olunması inteqrasiya dərəcəsinin təztəsinin artmasına – bunun nəticəsində də informasiyanın ötürülmənin sürətinin yüksəlməsinə səbəb olur.

**Açar sözlər:** yaddaş qurğusu, nanoelektronika, məntiq qurğusu, informasiya, kondensator, tranzistor.

**UOT:** 004.9

## GİRİŞ.

İnformasiya sistemlərində yaddaş qurğuları mühüm əhəmiyyətə malikdir. Artıq nanoelektronika miniaturlaşmanı, təkcə kompüterlərin deyil, fotoaparatu olan mobil telefonların, pleyer və başqa elektron sistemlərin funksiya və imkanlarını tezləşdirmişdir. Belə informasiya sistemlərinin mükəmməlləşməsi və müxtəlifnövlü yaddaş qurğuları (YQ) arasında rəqabətin olması nəticəsində onların rəngarəngliyi kifayət qədər artmışdır. Elektron YQ-yə misal olaraq operativ dinamik və fləş–yaddaş nəzərdən keçirəcəyik.

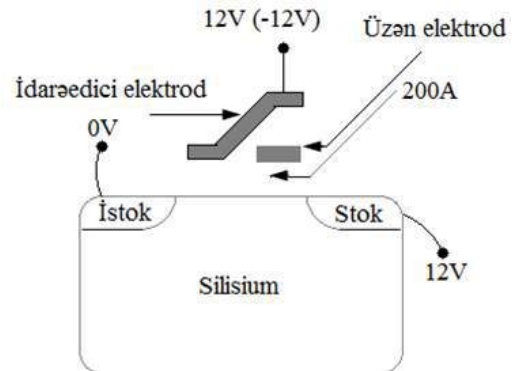
İnteqral yaddaş qurğuları verilənlərin böyük həmini lazımı qədər uzun müddət və etibarlı saxlamalı, minimal güc sərf etməklə informasiyanın daxil edilməsinə və çıxarılmasına imkan yaratmalıdır. İnteqral yaddaş qurğuların əsas funksional elementi özündə minimal sayda inteqral elementi yerləşdirən yaddaş özəyidir.

İxtiyari girişli dinamik yaddaş qurğusu (DRAM) yaddaşında bir və ya dörd bit saxlayan özləklərdən (hesablamanın binar sistemində), onlarda kondensator və tranzistorlardan ibarətdir. Əgər özəyə vahid bit daxil edilirsə kondensator yüklənmiş, özəyə sıfır bit daxil edilirsə kondensator boşalmışdır. Kondensatora ardıcıl birləşdirilmiş tranzistor onun yükü və bu yükü kondensatorda mümkün qədər uzun müddət saxlamaq üçün idarəolunan rezistor kimi lazımdır. Dinamik yaddaş qurğularında kondensatorlar o qədər də böyük həcmə malik deyildir (bu, sahənin minimallaşdırılması və qiymətlərin, həmçinin təztəsinin artırılması ilə bağlıdır).

Dinamik YQ – nanelementlərinin ölçülərinin kiçilməsi zamanı konstruktorlar sahə tranzistorunu kondensatorla birləşdirmiş və bununla da dinamik yaddaş qurğularının rekord səviyyədə kiçik ölçü və qiymətlərinə nail olunmuşdur. Bununla da miqyaslaşdırma ilə kondensator çox kiçik ölçülərə malik olur və yazılmış informasiyanın oxunması zamanı çıxarılan yükü gücləndirmək üçün onu ikinci sahə tranzistoru ilə əvəz etmək lazım gəlir. Elektrik cərəyan mənbəyi olmadıqda operativ yaddaş silinir, yəni yazılmış informasiya itir.

## ÜZƏN İDARƏEDİCİ ELEKTRODLU TRANZİSTOR.

Son illər metal-oksit-yarımkeçirici (MOY) sahə tranzistorunun rezistiv idarəolunan elementi qismində invers kanalından əlavə tunel keçidlərindən istifadə edilir. Yeni elektron YQ-in yaradılması zamanı üzən idarəedici elektrodlu sahə tranzistorlarının istifadəsi təklif olmuşdur (şəkil 1) [1].



Şəkil 1. Üzən idarəedici elektrodlu sahə tranzistorunun sxemi.

Şəkil 1-də idarəedici və üzən elektrodlar dielektrikə daxil edilmişdir. Üzən idarəedici elektroddan silisiumun səthinə qədər olan məsafə 20 nm-dən azdır (adətən 10 nm). Bu tranzistorda idarəedici elektrodda gərginlik vahidə bərabərdir.

Üzən elektrodlu tranzistorda proqramlaşdırma zamanı idarəedici elektroda yüksək (12 V) gərginlik verilir ki, bu zaman elektrik sahəsi yaranır və tunel effekti baş verir. Elektronların injeksiyası olunur (yəni, verilənlərin yazılması). Kanaldan idarəedici və üzən elektroda tunel vasitəsilə keçən elektronlara dəqiq nəzarət etmək mümkündür (kulon bloklanması yada salaq). Bir neçə il saxlana bilən yük enini və deməli, kanalın keçiriciliyini dəyişir ki, bu da yazılan informasiyanın oxunması zamanı istifadə olunur. Qeyd edək ki, verilənlərin yazılması və oxunması zamanı enerji sərfi müxtəlif ola bilər.

İnformasiyanın pozulması üçün idarəedici elektrodla mənfi gərginlik (12V) verilir və elektronlar tunel vasitəsilə üzən idarəedici elektrodun tranzistorun istokuna keçir.

Belə tranzistorun bazasında 1984-cü ildə Fudzi Masuoka (FujiMasuoka) yeni yaddaş fləş-yaddaş haqqında xəbər verdi. Bu, ən məşhur silisiumlu elektron yaddaşdır ki, 90-cı illərin ortalarında maqnit diskləri sıxışdırdı. 2005-ci ildən çoxsəviyyəli fləş-yaddaş qurğularının istehsalı başlandı ki, bunların informasiya həcmi binar qurğuların səviyyəsinə uyğun olmuşdur. Tranzistorların kanallarının uzunluğu 30-40 nm-dir. Qeyd olunmalıdır ki, fləş-yaddaş qurğuları iki növ arxitekturaya malikdir: “YOX - VƏ” və ya “YOX - VƏ YA” (NAND və NOR). “YOX - VƏ” birinci olmuş “YOX - VƏ YA” arxitekturası isə bir neçə ildən sonra yaranmışdır.

“YOX - VƏ YA” halında hər bir tranzistor sxemin ölçülərini böyüdən individual kontakt həyata keçirməlidir. “YOX - VƏ YA” arxitekturası bu birləşmənin hər bir tranzistora birləşdirilməsi olmadığından sahə, qiymət və tez təsirdə qazanır. Bu zaman bu arxitekturə həllər bir-biri ilə rəqabət aparmır və öz tətbiqlərini tapırlar.

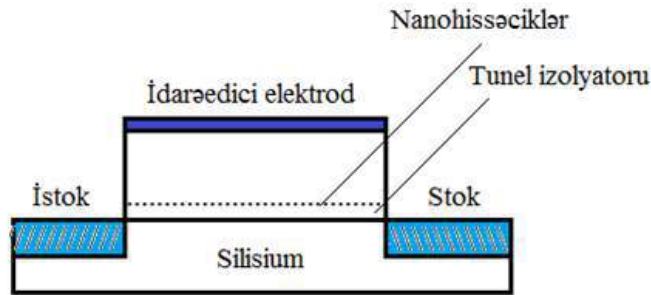
Elektron yaddaş qurğularında nanoelektron elementlərin tətbiqinin ilkin prosesi üzən idarəedici elektrodla MOY – tranzistor ideyasıdır. Bu ideya üzən idarəedici elektrodu nanohissəciklərlə (kvant nöqtələ-

ri) əvəz olunmuş kvant nöqtəvi yaddaş qurğularında sonrakı inkişafını tapmışdır. Nanoölçülü idarəedici elektrodaltı silisium oksidlə kanalın sərhəddinin yaxınlığında yerləşən silisium və ya germanium kristallik dənəciklər Lokal üzən idarəedici elektrodların rolunu oynayır (şəkil 2) [2].

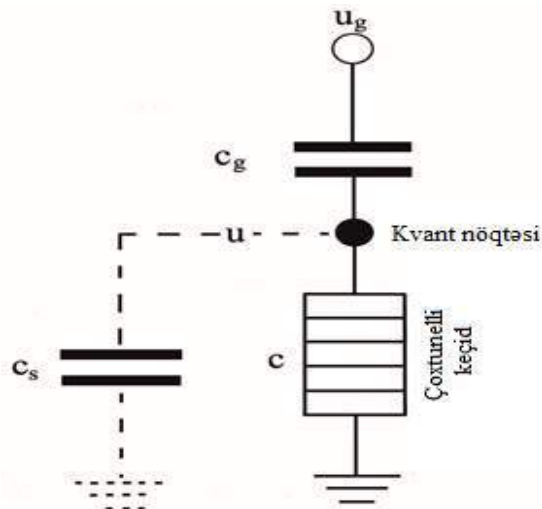
Üzən idarəedici elektrod rolunu oynayan nanohissəcikli tranzistor komplementar texnologiya ilə də hazırlana bilər. Tunelləşmə hər bir nanohissəcikdə yükü nəzarətdə saxlamağa imkan verir. Əgər üzən idarəedici elektrodla tranzistorlarda tunelləşmədə  $10^5$  elektron iştirak edərsə, burada bir hissəcikdə təxminən 10 elektron iştirak edir (etibarlılıq üçün) o da enerji sərfini azaldır.

Çatışmazlıqlar-termiki yolla təsadüfən alınmış nanokristalların ilkin olaraq yaradılmış silisium və ya germaniumun amorf, çox nazik təbəqəsindən verilmiş texnoloji proses üzrə hazırlanmış xüsusi dəqiq təyin olunmuş parametrlə strukturə keçidinin vacibliyi ilə əlaqədardır.

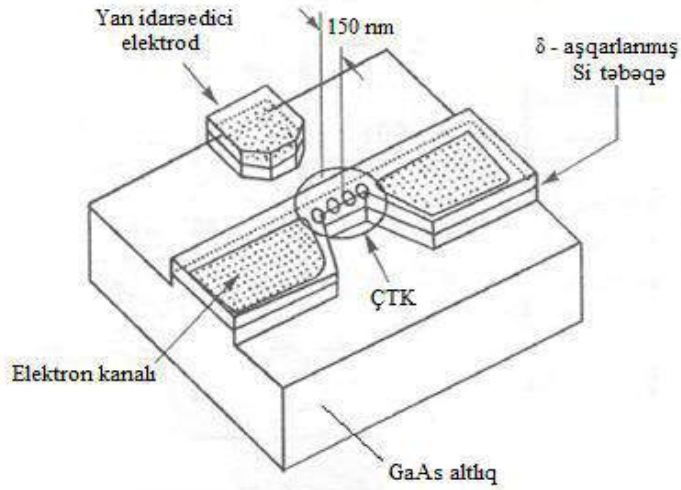
İzolyator üzərində ardıcıl yerləşdirilmiş, aralarında tunelləşmə mümkün olan keçirici adacıqlardan (kvant nöqtələri) ibarət zəncir multitunel keçidi (MTJ), ona uyğun yaddaş növü isə multitunel keçidi əsasında yaddaş adını almışdır. Bu qurğular birelektronlu tranzistorların praktiki realizasiyasıdır. Onlar həm binar, həm də bir neçə multistabil hallardan ibarət ola bilər.



Şəkil 2. Nanohissəcikli MOY – tranzistor və birelektronlu tunelləşmənin sxemi.



Şəkil 3. Birelektronlu yaddaş özəyinin prinsipial sxemi.



Şəkil 4. Multitunel keçidli və yan idarəedici elektrodlu qurğunun sxemi

Belə multitunel qurğunun prinsipial sxemi şəkil 3-də göstərilmişdir [3]. Qurğunun konstruksiyası [1, 2] arsenid qallium bazası əsasında hazırlanmışdır (şəkil 4) [4].

Arsenid qalliumdan ibarət altlıqda metal-üzvi kimyəvi çökdürmə (MOCVD) üsulu ilə Si-nin  $\delta$  - aşqarlanmış təbəqəsi formalaşır. Sonradan altlığın üzərinə 120 nm dərinliyə qədər aşındırma yolu ilə arsenid qallium yeridilir və bununla, eyni zamanda kvant nöqtəli oblast və kulon blokadası prosesini idarə etmək üçün istifadə oluna bilən yan idarəedici elektrod formalaşır.

Çoxtunelli keçidlər (ÇTK) üzərində qurğular əsasında yaddaş özəyi işlənmişdir (şəkil 3). Qiyməti kulon blokadasını adlamağa imkan verən  $U_g$  - gərginliyi verildikdə  $C_g$ - kondensatoru uyğun gərginliyə qədər yüklənir.  $U_g$  - gərginliyinin sonradan sıfıra bərabər olmaqla azaldıldıqda  $C_g$  tutumu o vaxta qədər boşalır ki, boşalma prosesini kulon blokadası saxlaya bilsin. Bu anda multitunel keçidli qurğuda elektronların sayı artıq olacaq.

Bu zaman  $U$  - gərginliyi sıfırdan kiçik olacaq.  $U \geq -U_{k,b}$  şərti daxilində  $U_{k,\delta}$  - kulon blokadası gərginliyi yaxınlığında məntiqi sıfırın yazılması baş verir.  $U_g$  -yə mənfi impuls gərginliyi qiyməti verildikdə  $U$  - sıfırdan böyük olacaq və kulon blokadasının müsbət gərginliyi yaxınlığında yerləşəcək, başqa sözlə desək,  $U \leq U_{k,b}$  və məntiqi vahidin yazılması qeydə alınacaq.

Yaddaş özəyinin konstruksiyası (şəkil 4) xarakteristikalarına ( $\delta$  - aşqarlanmış Si təbəqə,  $C=5$  pF tutuma malik GaAs təbəqə və  $C_g=200$  pF tutuma malik idarəedici elektrod;  $C_s = 200$  pF parazit tutum) görə təxminən 40 elektron istismar edərək 1 bit informasiyanı saxlamağa imkan verir. Otaq temperaturunda işləmək üçün özəyin ölçüsü 5 nm olmalıdır.

## MAQNİT YQ.

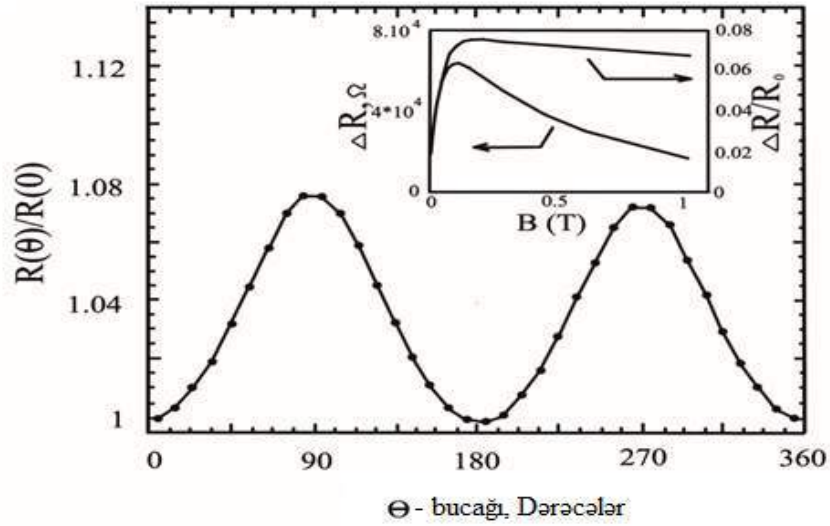
İnformasiyanın rəqəmsal saxlanması analog saxlanması üzərində üstünlüyə malikdir, belə ki, müəyyən  $\pm$  formatında yazılışın deqradasiyası zamanı

korreksiya mümkündür, lakin verilənlərin analog saxlanılmasında bir sıra yolverilən, ancaq ölçüsünə görə müxtəlif siqnallardan istifadə olunur. Əgər bir sıra verilənlər yavaş-yavaş dəyişərsə, onları bərpa etmək mümkün olmur. İndividual kristalları paralel istiqamətdə perpendikulyar istiqamətə nəzərən kifayət qədər uzun olan  $Fe_2O_3$  və ya  $CrO_2$  - kimi ferromaqnetik materiallarda maqnitləşmə uzununa olan istiqamət boyunca yönəlmişdir.

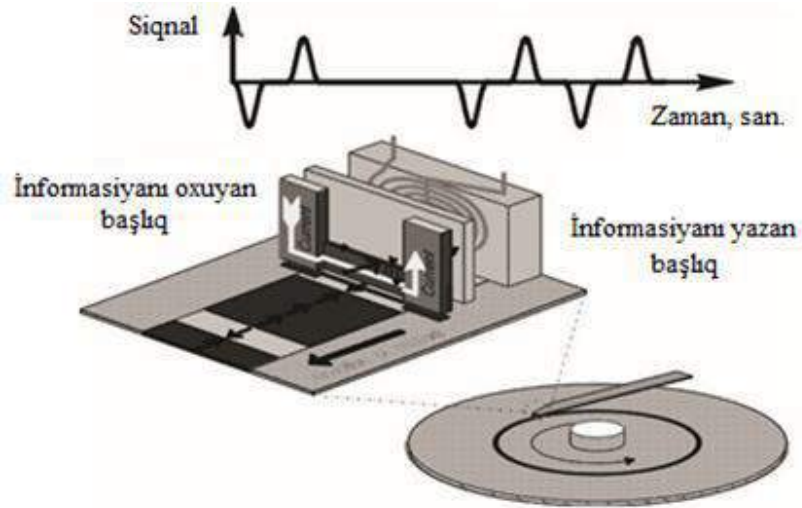
Beləliklə, hər bir kristal aralarında bir yüksək-enerjili çəpər olan maqnitləşmənin iki eyni hüquqlu istiqamətinə malikdir. Belə qurğu maqnitləşmənin iki halı arasında kifayət qədər böyük çəpərin olması nəticəsində analog yazılışı və verilənlərin oxunması üçün istifadə olunur. Maqnit domenlərin kifayət qədər kiçildilməsi problemlidir, belə ki, maqnit oblastları bir-birinə yaxındırlar və paralel maqnitləşmə istiqamətinə malik olan qonşu oblastlar antiparalel maqnitləşmənin qonşu oblastları stabilləşdirdiyi halda, qarşılıqlı maqnitizməyə can atır. Rəqəmsal yadda saxlama zamanı hər biri çoxlu sayda maqnit dənəciklərə malik olan maqnit oblastlar həm uzun, həm də dar ola bilər və bir-birindən elə uzaqlaşa bilər ki, maqnitizmə sahəsini azaldar, stabilliyi isə artırır. Rəqəmsal maqnit yazılışında hər bir belə oblast bir bit informasiya saxlayır.

Keçən əsrin 90-cı illərinin axırında maqnit daşıyıcıdan informasiyanın oxunması üçün elektromaqnit induksiya əvəzinə maqnit müqavimətinin (sadəlik üçün maqnit sahəsi mövcud olduqda elektrik müqaviməti deyək) dəyişməsindən istifadə edilməyə başlandı. Bir maqnit materialında elektrik müqaviməti cərəyanın maqnitləşməyə paralel və ya perpendikulyar axmasından asılıdır. Bir çox materiallarda bu fərq otaq temperaturunda o qədər də böyük deyildir. Adətən, orta elektrik müqavimətinin 2-3%-ni təşkil edir.

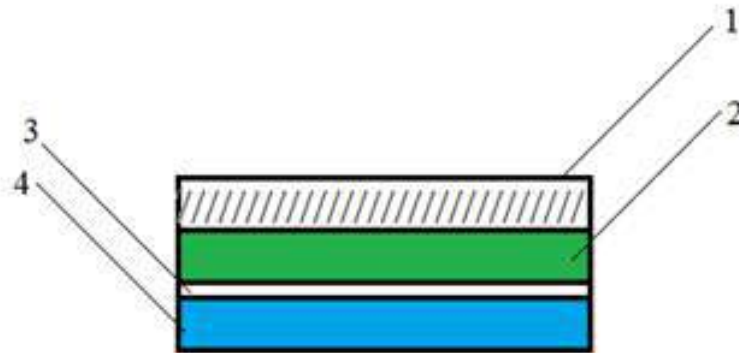
Şəkil 5-də  $La_{1-x}Ca_xMnO_3$ -nin maqnit müqavimətinin kifayət qədər böyük dəyişməsi göstərilmişdir. Burada belə dəyişmə 8% təşkil edir. Lantan-kalsium manqanatin maqnit keçiriciliyinin maqnit sahəsindən asılılığı şəkilin daxilindəki qrafikdə verilmişdir [5].



Şəkil 5.  $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ -nın 160 K dərəcə temperaturda və maqnit sahəsinin intensivliyində  $B=0,5$  T anizotrop maqnit müqaviməti.



Şəkil 6. Müasir sərt diskin quruluşu (oxlarla hərəkətin və ayrı-ayrı sahələrin lokal maqnitləşməsinin istiqaməti göstərilmişdir).

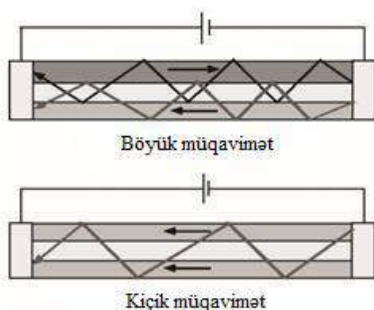


Şəkil 7. İnformasiyanı oxuyan başlıqda maqnit "sendviçi": 1 – fiksə edən təbəqə; 2, 4 – yumşaq maqnit təbəqələri; 3 – qeyri-maqnit təbəqə.

Şəkil 6-da müasir sərt diskin quruluşu və uyğun olaraq informasiyanı yazan induksiya başlığı göstərilmişdir. Bu başlıqda da informasiyanı oxuyan başlıq olduğu kimi anizotrop və ya çox böyük maqnit müqaviməti istifadə edilir [6].

Maqnit disklər səthə paralel istiqamətdə maqnitlənilir, lakin informasiya sıxlığının artması ilə səthə perpendikulyar istiqamətdə maqnitlənmə haqqında müzakirələr aparılır [7]. Baza maqnitorezistiv başlıq ikikontaktlı dəmir-nikel lentə malikdir. Cərəyan maqnitorezistiv lentin uzunluğu üzrə bu kontaktlar arasında axır və generasiya olunmuş siqnal (gərginliyin düşməsi) diskin maqnitlənmə elementini (ayrı bit) uyğun sahəni keçdiyi an oxumağa imkan verir.

Çox böyük maqnit müqaviməti effektinin açılması zamanı lent maqnit təbəqələrinin biri vasitəsi ilə (şəkil 7) fiksə olunmuş spin ventilinə birləşmişdir. Bir daha qeyd edək ki, əgər cərəyan strukturun uzunluğu boyunca axırsa, maqnit müqavimətinin dəyişməsi effekti özünü daha aşkar büruzə verir (şəkil 8).



Şəkil 8. Cərəyan "sendviçin" uzunluğu boyu axırsa, maqnit müqavimətinin daha güclü dəyişməsi aşkar olunur.

İlk informasiya oxuyan anizotrop maqnit müqavimətinə malik maqnitorezistiv başlıq 1991-ci ildə buraxılmışdır (İBM – şirkəti). Onun ölçüsü 4,5 mkm,

diskin informasiya sıxlığı isə 1,1 QB/mm<sup>2</sup> olmuşdur. Sonralar informasiya sıxlığı kifayət qədər artmışdır (1997-ci ilə kimi 30 dəfə), 1997-ci ildə isə çox böyük maqnit müqaviməti effektini istifadə edən başlıq buraxılmışdır və sonrakı 8 il ərzində başlığın eni 120nm-ə qədər kiçildilmişdir. İnformasiya sıxlığı isə təxminən informasiyanı yazan-oxuyan başlığında çoxtəbəqəli lentin eninin kvadratı qədər artmışdır.

Çox böyük maqnit müqaviməti effekti üzərində işləyən informasiyanı oxuyan başlıqlar iki növ olur: təbəqələrin uzunluğu üzrə axan spin-polyarlaşmış cərəyanlı və perpendikulyar istiqamətdə. Sərt disklərin başlıqlarındakı ferromaqnit təbəqələrdən biri demək olar ki, fiksə olunmuş maqnitlənmə, ikincisi isə maqnit-yumşaq, yəni öz maqnitlənməsi istiqamətini asanca dəyişə bilən maqnit təbəqəsidir. Bu halda, o, zəif maqnit sahələrinə, məsələn, kompüterin sərt diskində yazılmış 1 bitli maqnit qüvvəsinə həssasdır.

Lakin çox böyük maqnit müqaviməti effekti tətbiq olunan başlıqlarla yaddaş qurğularının əsas texnologiyalarında gedən inkişaf bununla bitmədi. 1999-cu ildə dielektriklə ayrılmış maqnit təbəqələrdən ibarət "sendviç" şəklində maqnit-tunel keçidləri yaradıldı. Bunun əsasında ilk böyük potensiala malik verilənlərin yazılmasının ixtiyari seçilməsi (MRAM) texnologiyalı maqnit yaddaş qurğuları alındı.

İBM – firması maqnit y – yaddaş başlıqları üçün spin ventillərinin mükəmməlləşdirilməsinə böyük səy göstərmişdir. Struktur, deqradasiyaya məruz qalmaq üçün kiçik maqnit sahələrinə həssas, ölçüləri kiçik, etibarlı olmalıdır. Cədvəl 1 və 2-də çoxtəbəqəli spin ventillərin 3000-dən çox tədqiqatlarının kombinasiyalarının nəticələri verilmişdir.

Belə spin ventilinə lokal maqnitlənməyə və domenlərin maqnit divarların hərəkətə gətirən spin cərəyanının injeksiyası üçün istifadə etmək olar.

Cədvəl 1  
Maqnit oblastlarının çevrilməsi üçün spin ventilin təbəqələrinin verilənləri

Material	NiO	Co	Cu	NiFe	Cu	Co	NiO	Si
Qalınlıq, nm	50	2,5	2,3	6,1	2,3	2,5	50	–
Funksiya	<i>P</i>	<i>FMT</i>	<i>QT</i>	<i>S</i>	<i>QT</i>	<i>FT</i>	<i>B</i>	<i>A</i>

Cədvəl 2  
Maqnit sahəsinin intensivliyinin çox kiçik qiymətlərində spin ventilin təbəqələrinin verilənləri

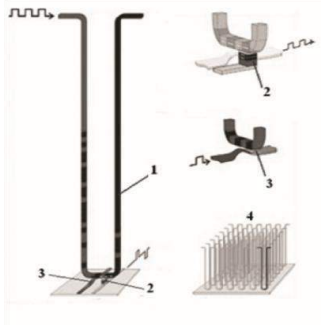
Material	Ta	FeMn	Co	Cu	NiFe	Ta	Si
Qalınlıq, nm	4,5	7,5	0,5	2,5	3,5	4,5	–
Funksiya	<i>P</i>	<i>FMT</i>	<i>FT</i>	<i>QT</i>	<i>S</i>	<i>B</i>	<i>A</i>

Cədvəl 1 və 2-də gedən işarələr: *P* – passivləşmə; *FMT* – ferromaqnit təbəqə; *QT* – qeyri-maqnit təbəqə; *S* – sensor; *B* – bufer; *A* – altlıq; *F* – fiksəedici təbəqə.

Əgər maqnit-yumşaq materialın (sensorun) altında cədvəl 2-də göstərilirdiyi kimi aşağıdakı təbəqə strukturları təkrar olunarsa: qeyri-maqnit, maqnit fiksəedici, maqnit və altdan passivləşən – simmetrik spin

ventili alınır ki, bu ventil maqnit daşıyıcıya yazılmış informasiyanın lokal kiçik maqnit sahələrinə iki dəfədən də artıq həssas olur.

Bu qurğular fləş-yaddaş və sərt diskləri tezliklə əvəz edəcəkdir. Prototip “qaçış yolu” boyunca yerləşmiş bitləri maqnit oblastlarının divarlarının idarə olunması ilə yaddaş saxlayır və oxuyur. Maqnit oblastlarının sərhədlərinin hərəkəti kütlə daşınması ilə əlaqədar olmur və bu hadisə kiçik enerji itkiləri ilə informasiyanın saxlanması və emal olunması üçün istifadə edilir. Silisium təbəqədə  $1 \times 10$  mkm sahədə prototip 100 bit yaddaş saxlaya bilər və sərt disklərlə rəqabətə girir.



Şəkil 9. U-şəkilli vertikal nanonaqillər “qaçış yolu” tipli yaddaş, ikinci variant: 1 – maqnit materialdan olan nanonaqıl; 2 – maqnit-tunel keçidli informasiyanı oxuyan başlıq; 3 – informasiyanı yazan başlıq; 4 – U-şəkilli nanonaqillər çoxluğu.

Baxılan yaddaş qurğusunda köhnələn hissələr yoxdur. İnformasiya yazılışının sıxlığı nümayiş qurğusuna nisbətən iki tərtib artacaqdır. Bu yaddaş qurğularında informasiya yazan başlığın maqnit domenlərinin divarları adı cərəyan vasitəsilə nanonaqilin (nanonaqilin eni bir neçə nm, uzunluğu isə 1 mkm-dən çoxdur) uzunluğu boyunca generasiya edir. Spin-polyarlaşmış nanosaniyəli impulsların bir qismi nanonaqilin uzunluğu boyunca yazılmış informasiyanın yazılışı və

oxunması zamanı maqnitlənmiş oblastların divarlarının hərəkəti üçün istifadə edilir.

İşlək registrdə yazılmış verilənlər yaddaşda verilir, saxlanılır və dekodlaşdırılır. Bu məqsəd üçün bir çox domen divarları informasiyanı yazan və oxuyan başlıqların kənarından hərəkət edir. İnformasiyanın oxunması maqnit-tunel tezoxuyan başlığın müqavimətinin dəyişməsinin kodsuzlaşdırılması yolu ilə həyata keçirilir. İnformasiyanın yazılma müddəti və maqnit domen divarlarının hərəkəti injeksiya olunmuş müəyyən spinli elektronların spin momentinin təsiri vasitəsilə realizə olunur. Lakin artıq U-şəkilli informasiyanı yazan və oxuyan başlıqlı vertikal nanonaqillərdən istifadə nəzərdə tutulur (şəkil 9).

## NƏTİCƏ.

Yarımkəçirici nanoelektron elementlərin tətbiqi nəticəsində yaddaş və məntiq qurğularında inteqrasiya dərəcəsi və təztəsir artır, nəticədə informasiya ötürülməsinin sürəti də artmış olur. Nanoölçülərə keçdikcə qurğuların ölçüləri nəzərəcarpacaq dərəcədə kiçilir ki, bu da iqtisadi dəyərini aşağı düşməsinə səbəb olur. Yarımkəçirici nanoelektron elementlərin tətbiqi nəticəsində müasir dövrümüzün ən vacib məsələsi olan enerji sərfinin azalması müşahidə olunur. Lakin molekulyar ölçülü cihazlara nəzərən nanoelektron cihazların elementlərinin ölçülərinin alınması bir sıra fiziki və texnoloji məhdudiyyətlərlə qarşılaşır. Deyilənlərin əldə olunması üçün əsas konsepsiyaları tətbiq etmək lazım gəlmişdir: yarımkəçirici qurğularda klassik zərrəciklərin xassələrinə malik olan elektron və deşiklərin daşınması əvəzinə elektronların dalğa təbiəti (elektronların spin halı, tunelləşmə, dalğa funksiyalarının qarşılıqlı təsiri və s.) ilə şərtlənən hal və qanunauyğunluqların dəyişməsi vəziyyətlərindən istifadə edilir.

- [1] A.A. Шука. Физматкнига, 2007, 190 с.
- [2] Б.П. Драгунов, И.Г. Неизвестный, В.А.Гридин. Москва, Логос, 2006, 186 с.
- [3] Г.М. Младенов, В.М. Спивак, Е.Г. Колева, А.Г.Богдан. Киев, 2009. 220 с.
- [4] D.B. Strukov, G.S. Snider, D.R. Steart, R.S. Williams. Moscow, v. 453, May 2008, pp. 80–83.

- [5] P.B. Магеррамов. Молодой ученый. 2017, №2, 166 р.
- [6] А.А. Давыдов. «Социологические исследования», 2007, №3, с. 119-125.
- [7] W. Bainbridge. Journal of Nanoparticle Research, 2002, №4, pp. 461-470.

S.N. Musayeva, E.A. Kerimov

## APPLICATION OF SEMICONDUCTIVE NANOELECTRONIC ELEMENTS IN LOGIC DEVICES AND MEMORIES DURING INFORMATION TRANSFER

The application of semiconductive nanoelectronic elements in logic devices and memories leads to increasing integration degree and speed capability, that also increases a rate of information transfer.

С.Н. Мусаева, Э.А. Керимов

## ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ НАНОЭЛЕКТРОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЛОГИЧЕСКИХ ПРИБОРАХ И ПРИБОРАХ ПАМЯТИ ПРИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Применение полупроводниковых нанoelektronных элементов в логических приборах и приборах памяти приводит к повышению степени интеграции и быстродействия, что в итоге повышает и скорость передачи информации.

Qəbul olunma tarixi: 10.07.2019



## KARBON NANOBORULARIN FUNKSIONALLAŞDIRILMASI VƏ RAMAN SƏPİLMƏSİ VASİTƏSİ İLƏ ANALİZİ

R.Q. ABASZADƏ<sup>1</sup>, S.A. MƏMMƏDOVA<sup>1</sup>, R.İ. ƏLƏKBƏROV<sup>1</sup>, O.Ə. ƏLİYEV<sup>1</sup>,  
A.M. NƏBİYEV<sup>2</sup>, E.M. ƏLİYEV<sup>3</sup>, O.A. KAPUŞ<sup>4</sup>, Ş.K. SƏFƏRƏLİYEV<sup>5</sup>

<sup>1</sup>AMEA-nın H.M.Abdullayev adına Fizika İnstitutu,

Az-1143, Bakı şəhəri, H. Cavid pr. 131.

<sup>2</sup>Bakı Dövlət Universiteti, Z.Xəlilov küç., 23, Bakı, 1048, Azərbaycan.

<sup>3</sup>Helmholts-Centrum Polimer Araşdırmaları İnstitutu,

Almaniya, Maks-Plank küç.1, 21502, Gestac şəhəri, Almaniya.

<sup>4</sup>Ukrayna Milli Elmlər Akademiyası, V.E.Laşkarov adına Yarımkeçiricilər Fizikası İnstitutu,

Nauky pros.41, 02000, Kiev, Ukrayna.

<sup>5</sup>Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası,

Az1000, Bakı şəhəri, Z.Əliyeva küç., 18.

e-mail: [abaszada@gmail.com](mailto:abaszada@gmail.com) [samira-1984@inbox.ru](mailto:samira-1984@inbox.ru)

Məqalədə elektrik qövsü metodu ilə alınmış karbon nanoboruları karboksil qrupları vasitəsilə funksionallaşdırılmış və Raman səpilməsi metodu vasitəsilə tədqiq edilmişdir. İlk mərhələdə qrafitin, təmiz və funksionallaşdırılmış karbon nanoborularının Raman səpilmə spektrləri müqayisəli şəkildə tədqiq olunmuşdur. Müəyyən olunmuşdur ki, qrafitin Raman səpilməsi spektrində əsasən vəziyyətləri  $1595\text{sm}^{-1}$ ,  $2676\text{sm}^{-1}$  -ə uyğun gələn  $G$  və  $2D$ , təmiz karbon nanoborularında isə vəziyyətləri  $1338\text{sm}^{-1}$ ,  $1595\text{sm}^{-1}$ ,  $2676\text{sm}^{-1}$ , intensivlikləri isə uyğun olaraq 1075, 827, 565 olan  $D$ ,  $G$ ,  $2D$  pikləri müşahidə olunmuşdur. Göstərilmişdir ki, təmiz karbon nanoborusunu funksionallaşdırdıqda müşahidə olunan  $D$ ,  $G$ ,  $2D$  -piklərinin intensivlikləri azalaraq 817, 703, 421 qiymətləri tərtibində olmuşdur.

**Açar sözlər:** nanoquruluşlar, qrafit, karbon nanoboru, funksionallaşdırılmış karbon nanoboru, Raman səpilməsi.

**Pacs:** 61.46.+w, 73.63.-b, 73.63.Fg, 78.30.-j

### 1. GİRİŞ.

Son dövrdə aparılan tədqiqat işləri əsasən ikiölçülü sistemlərdən hesab olunan karbon nanoboruların öyrənilməsinə həsr olunmuşdur. 1991-ci ildə ilk dəfə yapon alimi İidjima tərəfindən alınan karbon nanoboruları mühüm xüsusiyyətlərinin mövcudluğu ilə dünya elmində öz unikallığını qorumaqdadır [8]. Sözü gedən tədqiqatlarda göstərilir ki, karbon nanoborularının diametr ölçüləri  $1\div 100\text{nm}$ -dən bir neçə mikrometrə kimi, dəyişə bilər. Həmçinin, karbon nanoborularının ən mühüm xüsusiyyəti onun diametrinin ölçüsündən asılı olaraq metallik, yarımkeçirici və dielektrik xassələrə malik olmasıdır. Oudur ki, karbon nanoquruluşlarının mexaniki, fiziki, termik, kimyəvi və elektrik xüsusiyyətlərinin tədqiqi olduqca əhəmiyyətlidir. Elmi ədəbiyyatda karbon nanoquruluşlarına füllerenlər, karbon nanoboruları, qrafen, qrafen oksid, karbon və onun əsasında formalaşdırılan digər nanoquruluşlar aid edilir [19]. Karbon nanoboruları bir neçə quruluşu özündə saxlayır. Həmin quruluşlar, qalınlığına, uzunluğuna və layların sayına görə fərqləndirilir. Karbon qapalı və ya açıq şəraitdə hazırlana bilər.  $C_{60}$  molekulu ilk belə quruluş olub və Krotonun işlərində 1985-ci ildən başlayaraq ətraflı araşdırılmağa başlanmışdır [13]. Karbon nanoboruları qrafen laylarının silindrik bükülməsi nəticəsində alınmışdır [6,22]. Karbon nanoboruların mühüm kinetik və optik xassələrə malik olması onların ifrat həssas qaz datçiklərində [2], elektrokimyəvi sensorlarda [20], infraqırmızı şüalanma datçiklərində [5] uğurlu tətbiqinə səbəb olmuşdur.

### 2. NÜMUNƏNİN ALINMASI VƏ EKSPERİMENTİN METODİKASI.

Karbon nanoboruların alınması üsulların ən çox istifadə olunanları aerosol [18], qövs boşalması [9], lazer ablyasiya [7], kimyəvi buxar çökdürülmə [12] metodları hesab olunur.

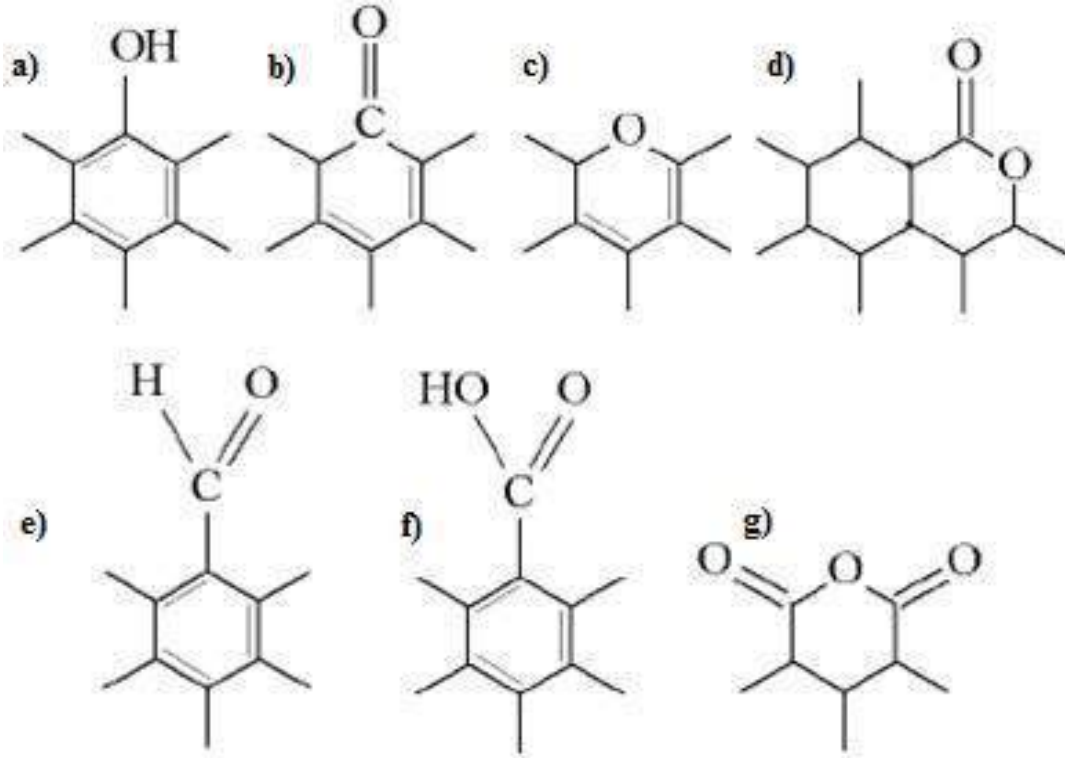
Qrupumuz tərəfindən karbon nanoboruların sintezi elektrik qövsü metodu vasitəsilə həyata keçirilmişdir [1]. Məlum olduğu kimi, karbon nanoboruların müxtəlif nümunələrlə zənginləşdirilməsi üçün onun funksionallaşdırılması tələb olunur [3, 15, 16, 23]. Çoxdivarlı karbon nanoboruların səthinin funksionallaşdırılması ilə nanoborunun səthinin morfologiyası ilə bağlı geniş tədqiqatlar aparılmışdır [20]. Funksionallaşdırma, eyni zamanda, karbon nanoboruların elektrokimyəvi oksidləşdirilməsi vasitəsi ilə də həyata keçirilə bilər. Bu zaman səthdə funksional qruplar formalaşır [17]. İkidivərli karbon nanoboruların funksionallaşdırılması zamanı borunun uclarında funksionallaşdırılma həyata keçirilir [25]. Funksionallaşdırılma zamanı nanoborunun daxili divarı toxunulmur və bu bütün karbon nanoboruları üçün spesifik olaraq qalır [5].

Bizim qrupumuz tərəfindən alınmış karbon nanoborularının növbəti mərhələdə funksionallaşdırılması həyata keçirilmişdir. Elektrik qövsü üsulu ilə alınmış yüksək təmizlikli karbon nanoborudan 0,5qr analitik tərəzidə çəkilmişdir. 250ml 8M qatılıqlı sulfat turşusu 500ml-lik kimyəvi stəkana əlavə edilmişdir. Qızdırıcı ilə təchiz olunmuş maqnit qarışdırıcıda karbon nanoboru ilə sulfat turşusu [11] davamlı olaraq orta sürətlə qarışdırılmışdır. Proses  $50^{\circ}\text{C}$  temperaturda və 3saat

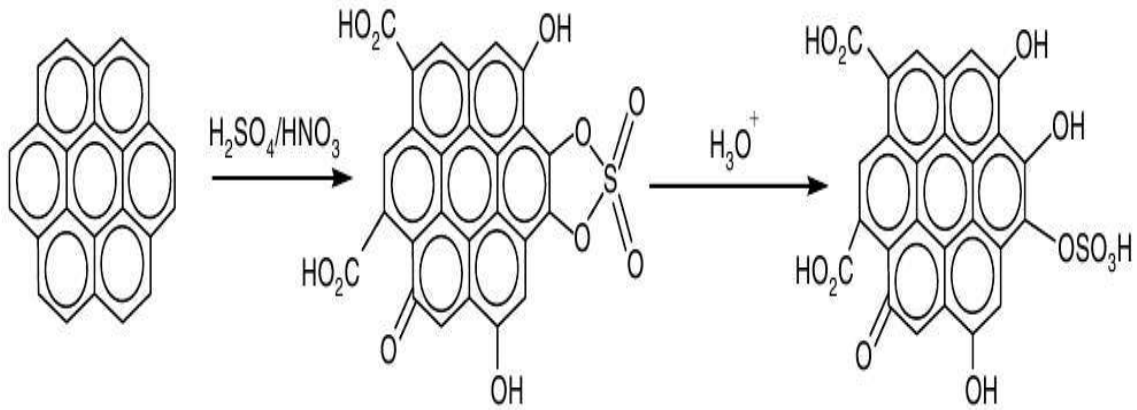
boyunca aparılmışdır. Alınan birləşmə (funksionallaşmış karbon nano-boru) neytral mühit alınana kimi distillə suyu ilə yuyulub, süzölmüşdür. Petri şüşəsində vakuüm quruducuda qurudulmuşdur. 24saat sonra funksionallaşdırılmış karbon nanoboru raman səpilmələri öyrənilmişdir. Nanoboruların nəzəri araşdırılmala-

rı onların mexaniki möhkəmliyə malik olan materiallar olduğunu göstərmiş və sonrakı təcrübi tədqiqatları onları sübut etmişdir [2].

Funksionallaşdırılmanı həyata keçirdikdən sonra aşağıdakı sxemdə göstərilədiyi kimi qrup formalaşır.



Şəkil 1. Karbon nanoborularının funksionallaşdırılmasının sxematik təsviri. a) hidroksil, b) keton, c) efir, d) lakton qrupları, e) karboksil, f) aldehid, g) anhidrid [7].



Şəkil 2. Karbon nanoborularının səthində funksionallaşdırılma zamanı yaranan qruplar [14].

### 3. NƏTİCƏLƏRİN MÜZAKİRƏSİ.

İşığın Raman səpilməsi metodu elm və texnikanın müxtəlif sahələrində geniş tətbiq olunur. Bu, mühüm metod olduğundan, nümunənin kimyəvi tərkibini və quruluşun xüsusiyyətləri haqqında dolğun informasiya əldə etməyə imkan verir. İşığın Raman səpilməsi və ya işığın konbinasiyalı səpilməsi Raman effektinə əsaslanır. Belə ki, nümunənin üzərinə monoxromatik işıq şüaları düşdükdə, işığın həm elastiki, həm də

qeyri-elastiki səpilməsi baş verir. Bu halda elastiki səpilmədə işığın dalğa uzunluğu dəyişir. Qeyri-elastiki səpilmə zamanı işığın dalğa uzunluğu qırmızı və ya mavi tezlikli şüalar tərəfə sürüşür [5]. Bu sürüşmələrin ölçüsü və istiqaməti spektrdə əyani olaraq görünür. Raman səpilməsi spektrində xətlərin eni və intensivliyi nanoboruların müxtəlif xassələrinə əsasən baş verir [22]. Çoxdivarlı karbon nanoborularının raman səpilməsi spektrində iki xarakterik mod müşahidə olunur. Bunlardan biri G pikidir ki, vəziyyəti əsasən

1500÷1600 $\text{sm}^{-1}$  intervalında dəyişir. Bu qrafen layında karbon atomlarının həyəcanlanması nəticəsində baş verir. Digər pik isə *D* pikidir ki, onun vəziyyəti isə 1250÷1450 $\text{sm}^{-1}$  inervalında dəyişir. Müxtəlif tədqiqatlar göstərir ki, bu dəyişmə qrafit layının simmetriyasının pozulması səbəbindən yaranır [10]. Göstərilir ki, *D* piki karbon nanoborunun yan səthlərində mövcud olan amorf karbon qatı ilə də bağlı ola bilər. Digər tərəfdən, *D* və *G* nisbəti nümunənin funksionallaşma dərəcəsini və defektlərin miqdarını [21], həmçinin işığın raman səpilməsi spektri vasitəsi ilə karbon nanoboruların tezliyini, layların sayını, diametrini, xırallığını, keçiriciliyin tipini, divarda mövcud olan defektlərin təbiətini araşdırmağa imkan verir [4, 24].

Raman səpilməsi spektrlərinin ölçülməsi Nanofinder 30 (Tokyo Instr, Japan) konfokal Raman mikrospektrometrində aparılmışdır. Həyəcanlandırıcı mənbə kimi 532nm dalğa uzunluğu və 10mVt olan maksimal gücə malik Nd:YAG lazerindən istifadə olunmuşdur. Bu zaman spektral ayırdetmə qabiliyyəti 0,5 $\text{sm}^{-1}$ -dir. Detektor kimi (-70°C)-ə qədər soyudulan və fonon hesabı rejimində işləyən CCD kamerasından istifadə edilmişdir [1].

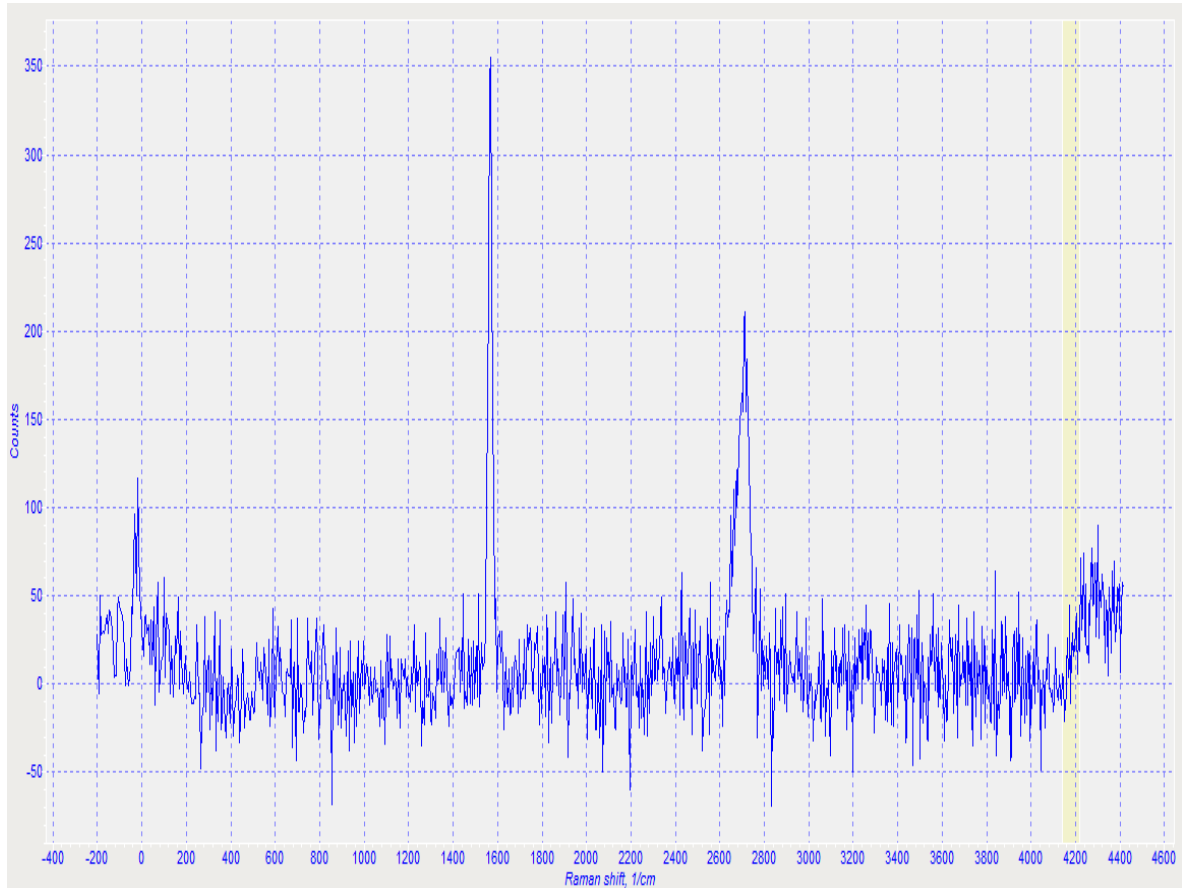
Şəkil 3-də Raman səpilməsi analizinə əsasən *G* piki uyğun olaraq 1595 $\text{sm}^{-1}$  və pikin intensivliyi isə

320, 2*D* piki isə 2676 $\text{sm}^{-1}$  və pikin intensivliyi isə 228 kimi müşahidə olunur. Raman səpilməsi analizinin bu nəticələri göstərir ki, tədqiq olunan material yüksək keyfiyyətli qrafitdir.

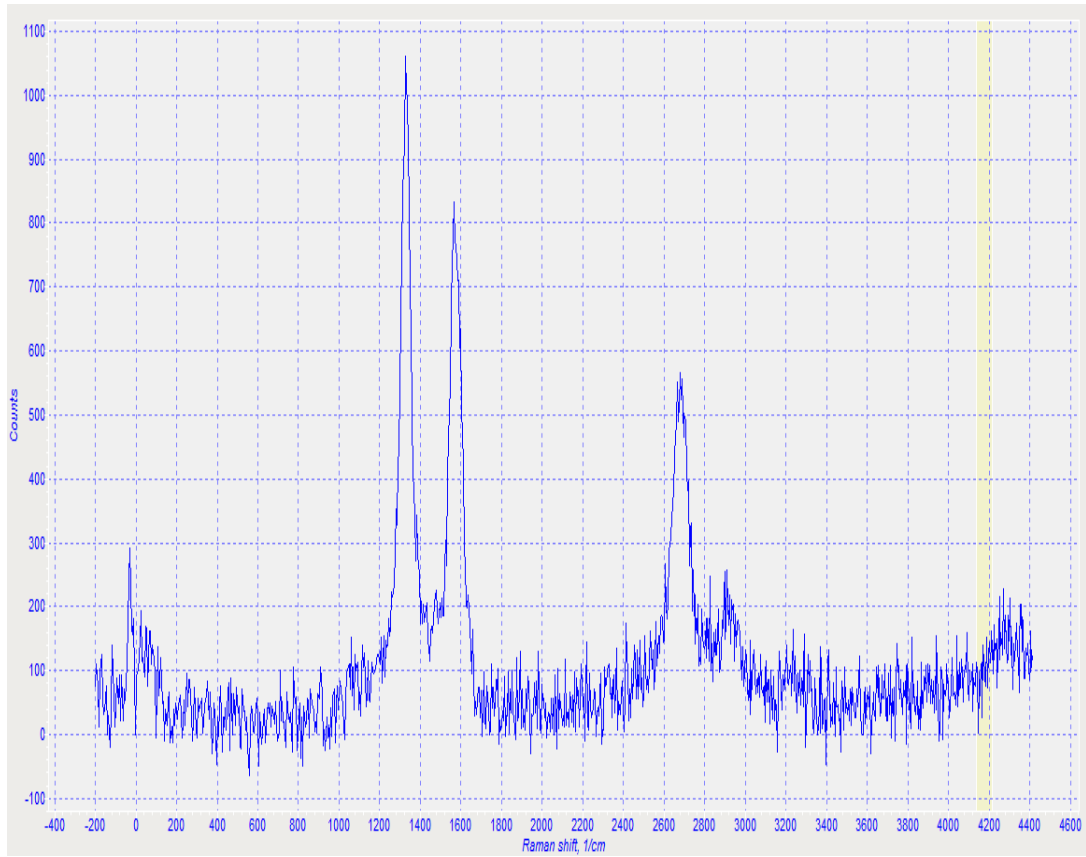
Şəkil 4-də Raman səpilməsi analizinə əsasən *D* piki 1338 $\text{sm}^{-1}$  və pikin intensivliyi isə 1075, *G* piki uyğun olaraq 1595 $\text{sm}^{-1}$  və pikin intensivliyi isə 827, 2*D* piki isə 2676 $\text{sm}^{-1}$  və pikin intensivliyi isə 565 müşahidə olunur. Raman səpilməsi analizinin bu nəticələri göstərir ki, tədqiq olunan material yüksək keyfiyyətli karbon nanoborudur.

Belə ki, şəkil 5-də Raman səpilməsi analizinə əsasən *D* piki uyğun olaraq 1338 $\text{sm}^{-1}$ -də və pikin intensivliyi isə 817, *G* piki uyğun olaraq 1595 $\text{sm}^{-1}$  və pikin intensivliyi isə 703, 2*D* piki isə 2676 $\text{sm}^{-1}$  və pikin intensivliyi isə 421 kimi müşahidə olunur. Raman səpilməsi analizinin bu nəticələri göstərir ki, yüksək keyfiyyətli karbon nanoborunu funksionallaşdırmaq mümkün olmuşdur.

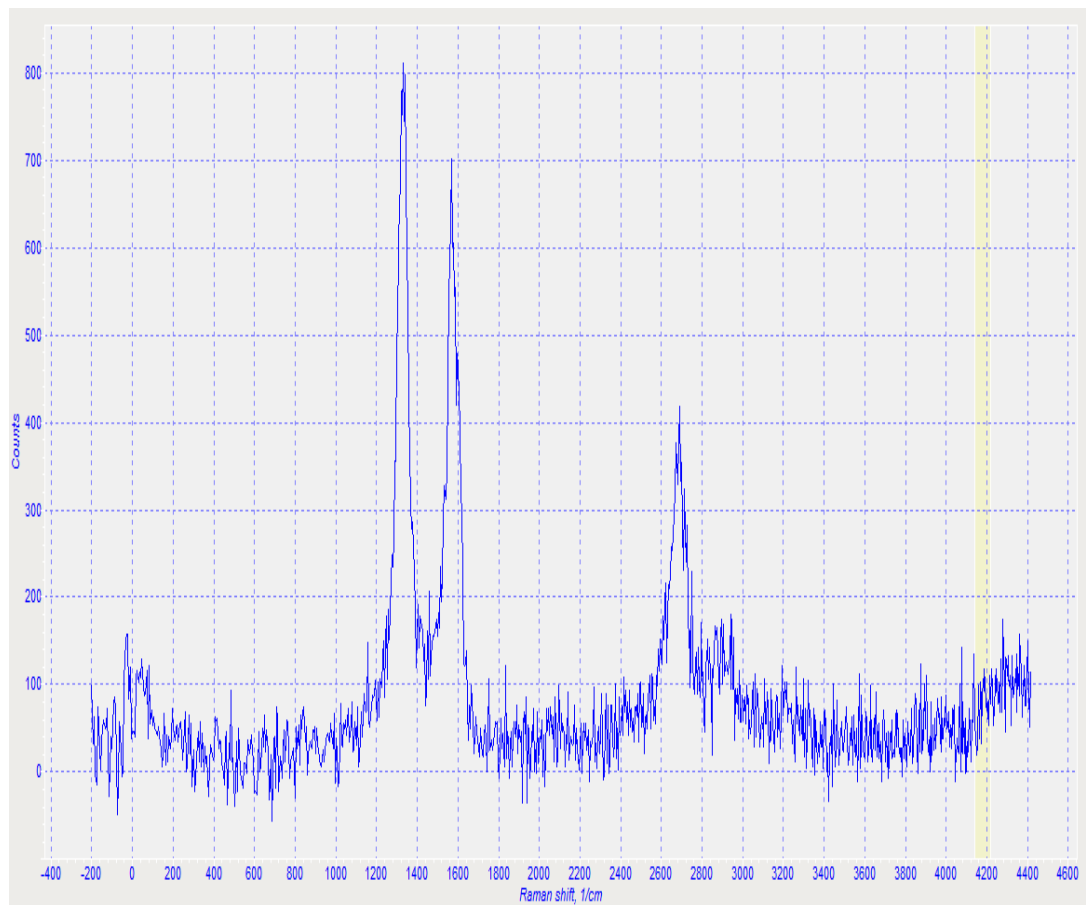
Qövs boşalması metodu ilə alınmış karbon nanoboru hidroksil qruplarının köməyi ilə funksionallaşdırılmışdır. İlk mərhələdə qrafitin, karbon nanoborunun və funksionallaşdırılmış karbon nanoborunun Raman səpilməsi müqayisəli şəkildə öyrənilmişdir.



Şəkil 3. Qrafitin Raman səpilməsi spektri.



Şəkil 4. Karbon nanoborunun Raman səpilməsi spektri.



Şəkil 5. Funksionallaşdırılmış karbon nanoborunun Raman səpilməsi spektri.

#### 4. NƏTİCƏ.

Qrafitin Raman səpilməsi analizinə əsasən  $G$  pikinin uyğun olaraq  $1595\text{cm}^{-1}$ -də,  $2D$  pikinin isə  $2676\text{cm}^{-1}$ -də müşahidə olunması tədqiq olunan materialın yüksək keyfiyyətli qrafit olduğunu sübut edir. Həmçinin, karbon nanoboruların Raman səpilməsi analizinə əsasən intensivliyi  $I=1075$  olan  $D$  pikinin  $1338\text{cm}^{-1}$ -də, intensivliyi  $I=827$  olan  $G$  pikinin uyğun olaraq  $1595\text{cm}^{-1}$ -də və intensivliyi  $I=565$  olan  $2D$  pikinin isə  $2676\text{cm}^{-1}$ -də müşahidə olunması ilə tədqiq olunan materialın yüksək keyfiyyətli karbon nanoboru olması müəyyən olunmuşdur. Funksionallaşdırılan karbon nanoborunun Raman səpilməsinə əsasən intensivliyi  $I=817$  olan  $D$  piki  $1338\text{cm}^{-1}$ -də, intensivliyi  $I=703$  olan  $G$  piki  $1595\text{cm}^{-1}$ -də və intensivliyi  $I=421$  olan  $2D$

piki isə uyğun olaraq  $2676\text{cm}^{-1}$ -də müşahidə olunmuşdur. Qrafitdə  $C-C$  əlaqəsi səpilmədə  $G$  pikinin formalaşmasına səbəb olub, bütün  $sp^2$  sistemləri üçün özünü göstərir. Səpilmə spektrində  $D$  və  $2D$  piklərinin müşahidə olunması nümunədə defektlərin olması ilə izah edilir. Nəticədə, Raman səpilmə spektrlərindən alınan nəticələr bizə karbon nanoborunun funksionallaşdırılmasının həyata keçirildiyini deməyə imkan verir.

#### 5. TƏŞƏKKÜRLƏR.

Müəlliflər Raman səpilməsi analizinin aparılmasına imkan yaratdığı üçün isə dosentlər Sərdar Babayev və İradə Məmmədovaya dərin təşəkkürlərini bildirirlər.

- [1] R.Q.Abaszadə, S.A.Məmmədova, R.İ. Ələkbərov, A.M. Nəbiyev, E.M. Əliyev, O.A. Kapuş, Ş.K. Səfəraliyev. Azərbaycan Texniki Universitetinin elmi əsərləri, n. 3, 2019, s.11-18.
- [2] P.M. Ajayan, Nanostructured Materials and Nanotechnology, Academic Press, San Diego, 2002, pp.329-360.
- [3] J.N. Coleman, U. Khan, W.J. Blau, Y.K.Gun'ko. Carbon, 2006, vol.44, pp. 1624-1652.
- [4] M.S. Dresselhaus, G. Dresselhaus, R. Saito, A. Jorio. Physics Reports, 2005, vol.409, №2, pp.47-99.
- [5] Т.П. Дьячкова, А.Г. Ткачев. Методы функционализации и модифицирования углеродных нанотрубок, М.: Издательский дом «Спектр», 2013, 152 с.
- [6] E.N. Ganesh. Int. J. Innovat. Technol. Expl. Eng. (IJITEE) 2, 2013, pp. 311-320.
- [7] T. Guo, P. Nikolaev, A. Tess, D.T. Colbert, and R.E. Smalley. Chem.Phys.Lett., 1995, vol. 243, pp. 49-52.
- [8] S. Iijima. Synthesis of Carbon Nanotubes, Nature, 354, 1991, pp.56-58.
- [9] C. Journet, W.K. Maser, P. Bernier, A. Loiseau, M. Lamy de la Chapelle, S. Lefrant, P. Deniard, R. Lee, J.E. Fischer. Large-scale production of single-walled carbon nanotubes by the electric-arc technique, Nature, 1997, vol.388, pp.756-758.
- [10] A.M.Keszler, L. Nemes, S.R. Ahmad, X. Fang. Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, 2004, vol.6, №4, pp.1269-1274.
- [11] Y.T. Kim, T. Mitani. Appl. Phys. Lett., 2006, vol.89, p. 033107.
- [12] J. Kong, A.M. Cassell, H.J. Dai. Chem. Phys. Lett., 1998, vol. 292, pp. 567-574.
- [13] H.W.Kroto, J.R.Heath, S.C.O'Brien, R.F.Curl, R.E.Smalley.  $C_{60}$ : buckminsterfullerene, Nature 318, 1985 p.162.
- [14] T. Lin, V. Bajpai, T. Ji, L. Dai. Chemistry of Carbon Nanotubes, Aust. Jour. Chem. 2003, vol.56, pp. 635-651.
- [15] P.C. Ma, N.A. Siddiqui, G. Marom, J.K.Kim, A Review. Composites: Part A., 2010, vol. 41, pp.1345-1367.
- [16] M.Moniruzzaman, K.I.Winey. Polymer Macromolecules, 2006, vol. 39, pp. 5194-5205.
- [17] G. Moratis, Z. Spitalisky, F. Ravani, A.E.Siokou. Carbon, 2011, vol. 49, pp. 2702-2708.
- [18] A.G. Nasibulin, A. Moisala, D.P. Brown, H.Jiang, E.I. Kauppinen. Chemical Physics Letters, 402, 2005, pp. 227-232.
- [19] S. Nizamuddin, S.A. Abbasi, A.S. Jatoi, M.T.H. Siddiqui, H.A. Baloch, N.M. Mubarak, G.J. Griffin, E.C. Abdullah, K. Qureshi, R.R. Karri. Elsevier, 2019, pp.121-147.
- [20] G. Overney, W. Zhong, D. Tománek. Z. Phy., D 27, 1993, pp.93-96.
- [21] A.M. Rao, J. Chen, E. Richter, U. Schlecht. Phys. Rev. Lett., 2001, vol. 86, pp. 3895-3898.
- [22] В.Г. Удовицкий. Физическая инженерия поверхности, 2009, том 3, №1, с.351-373.
- [23] W. Xia, C. Jin, S. Kundu, M. Muhler. Carbon, 2009, vol. 47, pp. 919-922.
- [24] I.B. Yanchuk, E.O. Koval's'ka, A.V. Brichka, S.Ya. Brichka. Ukrai. Jour. Phys., 2009, vol. 54, N4, pp.407-412.
- [25] K.J. Ziegler, Z. Gu, H. Peng, L.E. Flor, R.H.Hauge, R.E. Smalley. Jour. Amer. Chem. Soc., 2005, vol.127, №5, pp.1541-1547.

R.G. Abaszade, S.A. Mamadova, R.İ. Alakbarov, O.A. Aliyev, A.M. Nabiev, E.M. Aliyev, O.A. Kapush, Sh.K. Safaraliyev

#### FUNCTIONALIZATION AND ANALYSIS OF RAMAN SCATTERING OF CARBON NANOTUBES

In this paper, carbon nanotubes obtained by the arc method were functionalized by carboxyl groups and investigated using Raman scattering. At the initial stage, Raman spectra of graphite and pure and functionalized carbon nanotubes were compared. In the Raman spectra, peaks  $G$  ( $1595\text{cm}^{-1}$ ) and  $2D$  ( $2676\text{cm}^{-1}$ ) were obtained for graphite, and peaks  $D$  ( $1338\text{cm}^{-1}$ ),

G ( $1595\text{ cm}^{-1}$ ), 2D ( $2676\text{ cm}^{-1}$ ) for pure carbon nanotubes with intensities of 1075, 827, 565, respectively. During the functionalization of pure carbon nanotubes, a decrease in the intensity of D, G, and 2D peaks to 817, 703, 421, respectively, was observed.

**Р.Г. Абасзаде, С.А. Мамедова, Р.И. Алекберов, О.А. Алиев, А.М. Набиев,  
Е.М. Алиев, О.А. Капуш, Ш.К. Сафаралиев**

**ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ И АНАЛИЗ РАМАНОВСКОГО РАССЕЙНИЯ  
УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК**

В статье углеродные нанотрубки, полученные дуговым методом, были функционализированы посредством карбоксильных групп и исследованы с помощью метода комбинационного рассеяния. На начальном этапе сравнивались спектры комбинационного рассеяния графита, чистых и функционализированных углеродных нанотрубок. В спектре комбинационного рассеяния были получены для графита пики G ( $1595\text{cm}^{-1}$ ) и 2D ( $2676\text{cm}^{-1}$ ), а для нанотрубок чистого углерода пики D ( $1338\text{cm}^{-1}$ ), G ( $1595\text{cm}^{-1}$ ), 2D ( $2676\text{cm}^{-1}$ ) с интенсивностями 1075, 827, 565, соответственно. При функционализации нанотрубок чистого углерода наблюдалось уменьшение интенсивности D, G, 2D-пики до 817, 703, 421, соответственно.

*Qəbul olunma tarixi: 06.09.2019*

## ELEKTRİK BOŞALMASI TƏSİRİ ŞƏRAİTİNDƏ POLİMER DİELEKTRİKLƏRDƏ HƏCMI YÜKÜN FORMALAŞMA XÜSUSİYYƏTLƏRİ

H.S. ƏLİYEV

Azərbaycan Texniki Universiteti, H. Cavid pros. 23, AZ 1073

E-mail: [hikmet\\_2005@mail.ru](mailto:hikmet_2005@mail.ru)

Polimerlər və onların kompozitlərində həcmi yükün formalaşması və kvazistasionar yük halının yaranması polimer materiallara xarici faktorların təsiri şəraitində baş verir ki, bu faktorlardan da ən maraqlısı dielektriklər arasındakı havada mikroboşalmaların plazma kanalları ilə kontaktıdır. Mikroboşalmaların yaranması zamanı inkişaf edən fiziki-kimyəvi proseslər kompleksində ən maraqlısı dielektrikə, sonradan stabilləşən yüklərin daxil edilməsidir. Həcmi yükün formalaşması, mikroboşalma kanalının inkişaf zonasından daxil olan yükün səth təbəqədən həcmə keçməsi yolu ilə baş verir ki, bu zaman əsas rol diffuziya prosesi oynayır.

**Açar sözlər:** Kompozit, polimer, həcmi yük, mikroboşalma, diffuziya, dielektrik, seqnetoelektrik.

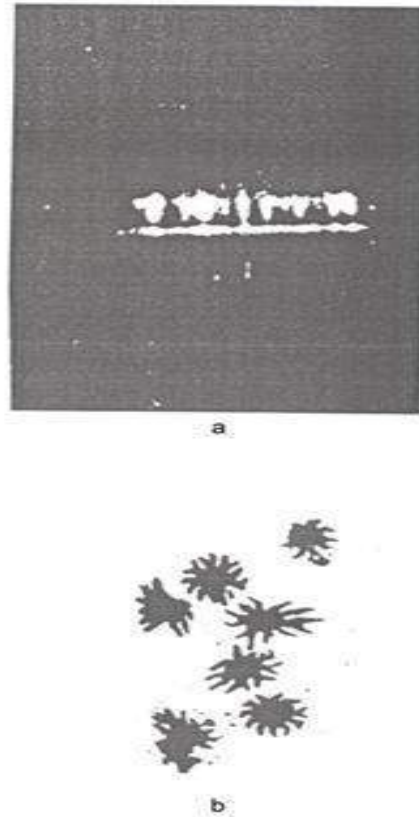
**UOT:** 666.9-129

**PACS:** 73.40.Ns, 73.40.Sx, 72.10.-d

Mikroboşalmanın başlığının polimerin səthi ilə kontaktının ilkin anında səth təbəqəsində yüklərin konsentrasiyasının qradiyenti böyük olur. Elektrotermopolyarlaşma zamanı mikroboşalma kanalından yükün dielektrikə injeksiyası ilə metal elektrodan analoji injeksiya prosesini fərqləndirən mühüm cəhətləri ayırmaq lazımdır. Əgər metal-polimer kontaktı zamanı daşıyıcı, metalın kristallik qəfəsinin qırılması səbəbindən yaranan enerji çəpərini əşaraq metalın Fermi səviyyəsindən keçirsə, mikroboşalmanın qaz boşalması plazması ilə kontakt zamanı onun ilkin enerji halı kəsilməz spektrə malik olur və bir qayda olaraq, polimer-elektrod sərhəddində səthi çəpərdən böyük olur. Böyük başlanğıc enerjiyə malik olmağı nəticəsində, kifayət qədər dərinliyə nüfuz edə bilən yükdaşıyıcısı əvvəlcə keçiricilik zonasına düşür, sonradan enerjini səpələyərək, yavaş-yavaş kvaziqadağan zonasında tutulmamış lokallaşmış hallara qədər enir və Fermi səviyyəsini yerini dəyişir. Boşalmanın təsiri şəraitində həcmi yükün formalaşması prosesinin effektivliyinin artması polimerin səthində mikroboşalmanın yarandığı yerlərdə yük ləkəsinin formalaşmasından və qaz mühitinin elektromənfiliyindən asılıdır. Burada əsas məsələ polimerin polyarlığı və mikroboşalmaların yarandığı hava mühitində oksigenin (elektromənfli komponent) mövcudluğudur.

Polimer dielektriklərə və onların kompozitlərinə xas olan polyarlaşma mexanizmləri onların zaman xarakterlərinə uyğun olaraq tez və yavaş polyarlaşma (dipol-orientasiya, domen-orientasiya və miqrasiya) növlərinə ayrılır. Polimer dielektriklər arasındakı qaz aralığında mikroboşalmaların 50 Hs tezlikli dəyişən gərginliyin təsiri altında inisiasiyası zamanı polyarlaşmanın yavaş növləri gərginliyin yarımperiodu ərzində ( $10^{-2}$ san) inkişaf etməyə imkan tapmır.  $10^{-2}$  san müddətində polyarlaşmanın tez növləri sözsüz ki, sahənin arxasınca imkan tapa bilirlər, lakin tətbiq olunmuş gərginliyin periodunda və polyarlaşma müddətində onların orta qiyməti sifıra bərabər olur. Ona görə də, polimerdə boşalma təsiri şəraitində həcmi yükün müşahidə olunan formalaşması effektini yalnız polimerin səthinə boşalma kanalından yüklərin diffuziyası ilə izah etmək olar. Sonradan göstərəcəyik ki, dielektrik

çəpərlər arasında hava aralığında elektrik boşalması fəza və zamanda diskret mikroboşalmaların yaranması ilə müşayiət olunur [1]. Boşalma aralığında və dielektrik çəpərlərin səthində müxtəlif konsentrasiyalı yük daşıyıcıları yaranır. Təqdim olunan optik təsvirlərdən (EOÇ-qram, şəkil 1a və elektronogram şəkil 1b) görünür ki, mikroboşalmalar dielektrikin səthinin müxtəlif hissələrində yaranır. Elektronqramlar göstərir ki, mikroboşalma kanalının mərkəzinə doğru səthi yüklər də inkişaf edir (şəkil 1b).



Şəkil 1. Boşalmanın inkişafının optik mənzərəsi (a) və mikroboşalma yarıdan sonra dielektrik anodun səthinin elektronqramı (b).

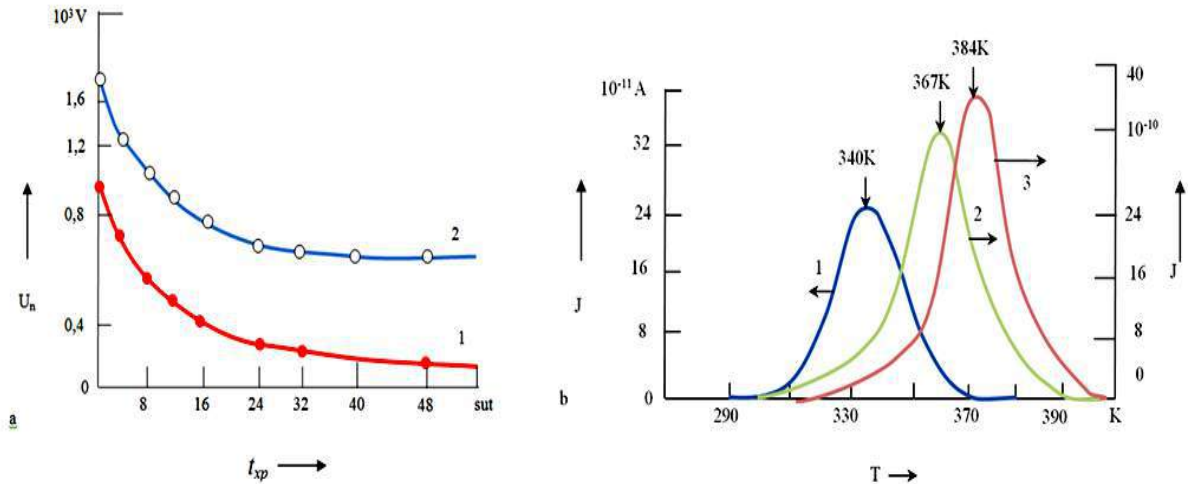
Beləliklə, dielektrik divarlar arasında qazda boşalma zamanı ayrı-ayrı mikroboşalmaların yaranmasının diskret xarakter daşmasına baxmayaraq, bir neçə boşalmalardan sonra, səthin ardıcıl mikroboşalmaları və eninə səthi boşalmalar hesabına potensial relyefinin hamarlaşması nəticəsində hesab etmək olar ki, dielektrik çəpərin səthində yük daşıyıcıların – elektron və ionların hər hansı orta sıxlıqlı yük təbəqəsi formalaşır [2].

Ayrı-ayrı mikroboşalmaların inkişafının moment və koordinatlarının statistik paylanması da dielektrik çəpərlərin səthinin potensial relyefinin hamarlanmasına kömək edir. Yük halının öyrənilməsi zamanı alınmış eksperimental nəticələr göstərir ki, polimerlərdə elektrik boşalmasının təsiri şəraitində monopolyar həcmi yük formalaşır və o, elektret potensiallar fərqi-nin və termostimullaşdırılmış cərəyanın ölçülməsi ilə aşkar edilmişdir. Polimer dielektrikdə səthdə lokallaşmış hallarda tutulmuş elektronların diffuziyasını analiz etmək. Mikroboşalmanın kanalında alınmış enerji hesabına polimerin dərinliyinə daxil olmuş elektronlar özlərinin, dielektriklərin səth səviyyələrindən yeni yüklərin diffuziyasına mane olan məxsusi  $E$  – elektrik sahələrini yaradırlar. Bu yüklərin sahəsi diffuziya nəticəsində yaranan yüklər selinin əksinə istiqamətlənmiş keçiricilik cərəyanının yaranmasına gətirir. PE-də TSD – üsulu ilə qismi boşalmaların təsiri şəraitində

emaldan sonra formalaşmış həcmi yükün qiyməti təyin edilmişdir (şəkil 2).

Şəkil 2-dən görünür ki, boşalma və temperaturun birgə təsirində polyarlaşma zamanı TSD – cərəyanının maksimumu yüksək temperaturlar tərəfə sürüşür (şəkil 2, 2, 3 ayrılırları). YSPE-nin qurğuşun-sirkonat-titanat (QST-19) pyezokeramikasının hissəcikləri ilə disperqasiyası elektrik boşalmasının təsiri ilə formalaşmış həcmi yükün nəzərəcarpacaq dərəcədə artmasına gətirir. Həcmi yükün və TSD – cərəyanlarının maksimumu YSPE və onun əsasında alınmış kompozitlər (YSPE+QST-19) üçün də kifayət qədər fərqlənir. Kompozit halında (YSPE+QST-19) TSD-nin temperaturunun artması göstərir ki, bu halda polyarlaşmanın inkişafı başqa mexanizm üzrə gedir [3].

TSD-nin maksimumunun temperaturunun dəyişməsi (artması) ilə müşayiət olunan nisbətən yüksək temperaturlarda polyarlaşma da yüklərin tutulmasının hər hansı başqa mexanizmlərini özündə birləşdirir. Xüsusən də bu, oriyentasiya olunmuş domenlər, polimerin termooksidləşmə destruksiyasına və deməli, yüklərin yeni, daha dərin tutulma mərkəzlərinin yaranmasına gətirən, boşalma və temperaturun birgə təsiri zamanı polimerin intensiv fiziki-kimyəvi modifikasiyası ola bilər. Beləliklə, fəza və zamanda diskret mikroboşalmaların kanalları ilə kontaktda olan kompozit materialda həcmi yükün formalaşması və kompozitdə sabit polyarlaşmanın yaranması baş verir.



Şəkil 2. a – potensialların elektret fərqi-nin saxlama müddətindən asılılığı: 1 – YSPE; 2 – YSPE+10% QST-19.  
 b – depolyarlaşma cərəyanının temperatur asılılığı: 1 – YSPE; 2 – YSPE+10% QST-19,  $T = 293$  K;  
 3 – YSPE+ 10% QST – 19,  $T = 393$  K; elektrik boşalması  $4 \cdot 10^3$  V təsiri altında YSPE və YSPE+10% həcmi QST – 19 təbəqələri arasında 0,4 mm hava aralığında yaranmışdır. Emal müddəti 0,5 saat.

Qaz aralığının verilmiş təzyiqində zərrəciklərin sərbəst qaçış yolunun uzunluğu dəyişmir və buna görə də yükdaşıyıcıların mütəhərrikliliyi və zərbə ionlaşması əmsalı, müəyyən elektrofiziki şəraitdə mikroboşalmaların formalaşması zamanı praktiki olaraq sabit kəmiyyətlər olur. Polimer–hava aralığı–polimer sistemində cərəyan, dielektrikdə yerdəyişmə cərəyanının qiyməti ilə təyin olunur və mikroboşalmanın kiçik formalaşma müddəti ( $\sim 10^{-8}$ san) və dielektrikin xüsusi həcmi müqavimətinin böyük qiymətləri səbəbindən keçiricilik cərəyanından asılı olmur. Yerdəyişmə cərəyanı əsasən,

polimer çəpərlərin dielektrik nüfuzluğundan asılıdır [4, 5].

Optik və elektrik tədqiqatlar göstərir ki, həcmi yükün sıxlığı, mikroboşalmanın kanalında həyəcanlanmış molekulların konsentrasiyası polimer–qaz aralığı–polimer sistemində qaz fazasının qalınlığının artması ilə artır. Daşınan yükün  $\Delta q$ – və mikroboşalmanın ayrılan enerjisinin  $\Delta W$  – miqdarları qaz fazasının qalınlığından ( $d$ ) asılı olaraq xətti qanuna nisbətən daha sürətlə artırlar (cədvəl 1).

Alınmış nəticələr, kompozit dielektrikin ayrı-ayrı boşalmaların yarıdığı yerlərdə çökmüş yüklərin sa-



həsi və tətbiq olunan gərginlik nəzərə alınmaqla, yüklənməsinin başlanğıc mərhələsinin mümkün olan mexanizmini təklif etməyə imkan verir. Hesab edirik ki, boşalma aralığında  $U_d$ -dəşilmə gərginliyinin qiymətinə bərabər gərginlik alındıqdan sonra, hava aralığında qaz molekullunun ionlaşma prosesi nəticəsində elektronların sıxlığının adi artması baş verir. Tətbiq olunmuş elektrik sahəsinin təsiri altında dielektrik anoda dreyf edən elektronlar qazı ionlaşdırır, fotoionlaşdırıcı şüalanma həyəcanlandırır və bununla da, birlikdə qarşılıqlı təsirlə yeni elektronlar yaradırlar. Qaz molekulları tərəfindən buraxılan işıq kvantları dielektrikin səthindən elektronların emissiyasını yaradır ki, bu hadisə də boşalmanın həm ilkin boşalma kanalında, həm də dielektriklər arasında hava aralığının bütün həcmi boyu özünü saxlamasına səbəb olur. Bu zaman mikroboşalmaların inkişafını stimullaşdıran, həm də onların inkişafını ləngidən faktorlar mövcud olur. İnkişafına səbəb olan faktor kimi tətbiq olunan sahə, ləngidən faktor kimi isə çökən zərrəciklərin sahəsini göstərmək olar. Ona görə də, mikroboşalmaların yarandığı yerdə boşalma aralığında sahənin intensivliyinin onun tam formalaşmasına qədər inkişaf müddətində ( $t_{mb}$ ) dəyişməsi aşağıdakı kimi ifadə oluna bilər:

$$E(t_{mb}) = E_d + \frac{V(t_{mb})}{d} - E_\zeta(t_{mb}),$$

burada,

$$E_\zeta(t_{mb}) \approx \frac{dU(t_{i\delta})}{d} \approx \frac{dq(t_{i\delta})}{d(\Delta C_g + dC_b)}, \quad (1)$$

$$\Delta q(t_{mb}) = \int_0^{t_{mb}} idt$$

Burada,  $E_p$  – sahənin  $Un/d$  kimi təyin olunan dəşilmə intensivliyi;  $V(t_{mb})/d$  – mənbə hesabına sahənin intensivliyinin  $t_{mb}$  – sərhəddində artma sürəti;  $E_\zeta(t_{mb})$  – mikroboşalmanın inkişafı ilə dielektrik çəpərlərə çökmüş yüklərin sahəsinin təsirini xarakterizə edir. Qeyd etmək lazımdır ki, yük selinin anoddan katoda axdığı zaman yaranan ionların əksəriyyəti anodətrafi oblastda yerləşəcək, belə ki, onların dreyf sürəti elek-

tronların analogi parametridən nəzərəcarpacaq dərəcədə kiçikdir. Deməli, yalnız bu oblastda sahənin nəzərəcarpacaq dərəcədə azalması baş verəcək. Elektronların daşınması qurtardıqdan sonra, nisbətən böyük zaman müddətindən sonra ionlar da anod-katod məsafəsini keçəcək və deməli, ayrı mikroboşalmanın yarandığı yerlərdə gərginliyin hər hansı  $U_{Ms}$  – mikroboşalmanı söndürən gərginlik adlanan orta qiyməti qərarlaşacaq. Burada qeyd olunmalıdır ki, ionlar praktiki olaraq aralıqda gərginlik  $U_{Ms}$ -yə bərabər olduqda, yəni, sahənin intensivliyi  $U_{Ms}/d$  qiymətini aldıqda daşınır. İonların belə zəif sahə zamanı daşınması, onların praktiki olaraq polimerin dərinliyinə injeksiyasını sıfıra endirir. Ona görə də, boşalma ilə stimullaşdırılmış müşahidə olunan yük halı, ionların injeksiyası ilə izah edilə bilməz. Elektronlar daha yüksək intensivliyə malik, təxmini olaraq  $U_d/d$  və  $U_{Ms}$  arasında ədədi orta qiymət kimi qiymətləndirilən sahəyə keçirlər, yəni:

$$E_e = \frac{U_d + U_{Ms}}{2d} \quad (2)$$

Bu səbəbdən, dəyişən elektrik sahəsi ilə inisiyasiya edilən dielektriklər arasında havada elektrik boşalmalarının təsiri altında dielektrik çəpərlərdə monopol-yar yük formalaşır. Mikroboşalmanın inkişaf müddətinin  $t_{mb} \approx 10^{-8}$  san. olduğu halda mikroboşalmanın inkişaf müddətində sahənin intensivliyinin 50 Hs tezlikli xarici gərginliyin təsiri şəraitində artmasını nəzərə almamaq olar, yəni 1 – ifadəsində ikinci həddi atmaq olar. Bu səbəbdən, dielektriklər arasında mikroboşalmaların və ya selin yarandığı boşalma aralığında elektrik sahəsi, onların inkişafı prosesində iki sahənin superpozisiyası olacaq: xarici  $E_p$  - və çökmüş yüklərin –  $E_\zeta$  sahəsi.

Qaz mühitinin qalnlığının və təzyiqinin variasiyası ilə qaz aralığını məhdudlaşdıran dielektriklərin səthinə daxil olan yükdaşıyıcıların konsentrasiyasını, enerjisini və bununla da, formalaşan həcmi yükün qiymətini dəyişmək mümkündür. Cədvəl 1-də polietilen təbəqələr arasında hava aralığında mikroboşalmaların  $\Delta q$ ,  $\Delta W$  və  $d$ -dən asılı olaraq  $\Delta W/\Delta q$  nisbətinin qiymətləri verilmişdir.

Cədvəl 1.

Mikroboşalmanın parametrlərinin qiymətləri

Boşalma aralığının qalnlığı, mm	1	2	3	4	5
Mikroboşalmanın parametrləri					
$\Delta q, 10^{-9}$ Kl	0,11	0,31	0,69	1,3	1,82
$\Delta W, 10^{-6}$ C	0,22	0,72	3,13	8,2	14,5
$\Delta W/\Delta q, 10^3$ C/Kl	2,0	2,3	4,5	6,3	8,0

Göründüyü kimi,  $d$ -dən asılı olaraq  $\Delta W$ -nin artması  $\Delta q$ -nün  $d$ -dən asılılığını qabaqlayır. Bu onu göstərir ki, daşıyıcıların orta enerjisi artır və deməli, hər bir mikroboşalma tərəfindən polimerin səthinə verilən enerji sıxlığı da artır. Həqiqətən də,  $d$  böyük olduqca,

elektronlar, anod-katod məsafəsini keçərkən sahədən daha çox enerji alırlar. Fərz edək ki,  $x = 0$  koordinat başlanğıcıdır və elementar boşalma kanalında yüklərin sayı Taunsendə görə aşağıdakı kimi artır, yəni:

$$n = n_0 e^{\alpha d}, \quad (3)$$

burada,  $n_0$  – başlanğıc effektiv elektronların sayı,  $\alpha$  – zərbə ionlaşma əmsalidir. Dreyf yolunun  $x$ -dan  $x+dx$ -a qədər olan parçasında yaranan elektron selinin sahədən aldığı enerji:

$$dA_e = eE \cdot n_0 e^{\alpha x} dx, \quad (4)$$

burada,  $E$ - elektrik sahəsinin intensivliyi;  $e$  – elektronun yüküdür.

4 ifadəsini  $x = 0$  -dan  $x = d$ -yə kimi inteqrallaşaq, selin elektronlarının tam enerjisini almış olarıq:

$$A_e = \int_0^d eE \cdot n_0 e^{\alpha x} dx = eEn_0 \int_0^d e^{\alpha x} dx = \frac{eEn_0}{\alpha} (e^{\alpha d} - 1) \quad (5)$$

Göründüyü kimi,  $d$ -nin artması ilə elektronların enerjisi və bununla da mikroboşalmaların kanalından polimerin həcminə yüklərin köçürülməsi ehtimalı artır.

$d = \text{const}$  olduqda, elektronların enerjisini qaz boşalması aralığının təzyiqini, yəni, yüklənmiş zərrəciklərin sərbəst qaçış yolunun uzunluğunu dəyişməklə variyasi-

ya etmək olar. Bu eksperimentlər, yüklənmiş zərrəciklərin enerjisinin və elektromənfı komponentlərin konsentrasiyasının mikroboşalmaların təsiri şəraitində polimerdə yüklərin stabilləşməsində rolunu aşkar etməyə imkan yaradır.

- [1] H.S. Aliyev, M.M. Quliyev. Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 2016, 52(5), p. 494-498.
- [2] Kh.S. Aliev, M.M. Quliyev. Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 2018, vol.54. №2. Allerton Press. Inc. 2018, p.117-124.
- [3] H.S. Aliyev. Influence of electric discharge processing of polyethylene on heat conductivity, electric and mechanical durabilities of composites on its basis. МОСКВА, Министерство Образования и Науки РФ, XV Международная Научно-Техническая Конферен-

ция. “Научно-технологические химические технологии-2014” (22-26 сентября 2014 г. Сбор. Докладов. стр.238-239.

- [4] F.L. Matthews, R.D. Rawling, Overview. In Composite materials: Engineering and Science. 2<sup>nd</sup> ed.: CRC Press, Word head Publishing Limited: Cambridge, UK, 1999, 1-28.
- [5] T. Tanaka, G.C. Montanari, R. Mulhaupt. Polymer nanocomposites as dielectrics an electrical insulation – Perspectives for processing technologies, material characterization and future applications. IFFF Trans. Dielectr. Electr. Insul. 2004, 11,763-784.

## H.S. Aliyev

### FEATURES OF FORMING VOLUME DISCHARGES IN POLYMER DIELECTRICS UNDER THE INFLUENCE OF ELECTRIC DISCHARGES

The formation of space charges and the emergence of a quasistationary charge state in polymers and composites based on them takes place under the influence of external factors. The most attractive factor is the contact of the plasma channels with microcharge in the air between the dielectrics. And the most interesting phenomenon developing in the complex of physicochemical processes in the event of microcharges can be considered as the introduction of stabilized charges into a dielectric.

## X.C. Алиев

### ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ОБЪЕМНЫХ РАЗРЯДОВ В ПОЛИМЕРНЫХ ДИЭЛЕКТРИКАХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ

Формирование объемных зарядов и возникновение квазистационарного зарядового состояния в полимерах и композитах на их основе происходит под действием наружных факторов. Самым привлекательным фактором является контакт плазменных каналов с микрозарядами в воздухе между диэлектриками. А самым интересным явлением, развивающимся в комплексе физико-химических процессов при возникновении микрозарядов, можем считать ввод стабилизированных зарядов в диэлектрик.

Qəbul olunma tarixi: 10.09.2019

## AdS/KXD-NİN YUMŞAQ DİVAR MODELİNDƏ NUKLONLARIN AKSİAL – VEKTOR FORM FAKTORUNUN HESABLANMASI

Ş.Ə. MƏMMƏDOV<sup>1</sup>, İ.İ. ATAYEV<sup>2</sup>

*Nəzəri fizika kafedrası, Bakı Dövlət Universiteti<sup>1</sup>*

*AZ 1148, Bakı, akad. Z. Xəlilov küçəsi, 23*

*BDU Fizika Problemləri ETİ<sup>1</sup>*

*AZ 1148, Bakı, akad. Z. Xəlilov küçəsi, 23*

<sup>1</sup>*AMEA-nın H.M.Abdullayev adına Fizika İnstitutu,*

*Az-1143, Bakı şəhəri, H. Cavid pr. 131.*

*Sh.mamedov62@gmail.com, atayevibrahim@gmail.com*

AdS/KXD-nin yumşaq divar modelində nuklonların aksial–vektor form faktoru hesablanmışdır. Həmçinin form faktorun ötürülən impulsun kvadratından asılılıq qrafiki qurulmuşdur. Bu işdə form faktorun hesablanmasında skalyar sahənin dəqiqləşdirilmiş ifadəsindən istifadə edilmişdir.

**Açar sözlər:** Anti de Sitter fəzası, nuklon, form faktor, AdS/KSN, profil funksiyası.

**UOT:** 530.145.1

### 1. GİRİŞ.

Anti De Sitter fəzası / Konformal sahə nəzəriyyəsi (AdS/KSN) uyğunluğu [1, 2, 3] aşağı enerjilərdə Kvant xromodinamikasında həyəcanlaşma nəzəriyyəsinin həll edə bilmədiyi məsələləri həll etməyə imkan yaradır. Son illərdə yüksək ölçülərdə klassik qravitasiya qarşılıqlı təsir nəzəriyyəsi ilə konformal sahə nəzəriyyəsinin güclü qarşılıqlı təsir halı, yəni  $N=4$  super Yanq–Mils nəzəriyyəsinin  $N_c$  böyük qiymətlər halı arasında uyğunluğun olduğu aşkar edildi. AdS/KSN uyğunluğu “aşağıdan yuxarıya” yaxınlaşmasının əsasını təşkil edir [4, 5]. Bu yaxınlaşmaya görə 5- ölçülü Anti de Sitter fəzasında təyin olunmuş sahəyə bu fəzanın ultra bənövşəyi (UV) sərhəddində operator qarşı qoyulur. AdS/KXD-də 2 əsas model var. Yumşaq divar və sərt divar modelləri [4-11]. Yumşaq divar modelində AdS fəzasının infraqırmızı sərhəddi  $z \rightarrow \infty$  götürülür. Laqranjyanın infraqırmızı sərhəddində (İR) sonlu qalması üçün eksponensial vuruğu daxil edilir.

5-ci ölçü üçün ( $\epsilon \leq z \leq \infty$ )  $\epsilon \rightarrow 0$  ultra bənövşəyi sərhəd şərti götürülür. Sərt divar modelində  $z$  dəyişəni isə məhdud oblastda dəyişir ( $0 \leq z \leq z_m$ ).  $z_m$  kvant xromodinamikasında təcrübədən təyin olunur.

Təqdim olunan işdə yumşaq divar modeli çərçivəsində nuklonların aksial vektor form faktorunun riyazi ifadələri skalyar sahənin dəqiqləşdirilmiş ifadəsi istifadə olunmaqla hesablanmış, onun ötürülən impulsun kvadratından asılılıq qrafiki qurulmuşdur [8, 9].

### 2. YUMŞAQ DİVAR MODELİNDƏ NUKLONLAR.

Nuklonlar spinor sahə ilə təsvir olunduğundan AdS fəzasında onların daxil edilməsi üçün 5-ölçülü bir cüt spinor istifadə olunur. Spinor sahənin təsir inteqralını yumşaq divar modelində aşağıdakı şəkildə daxil edirik:

$$S = \int d^5x \sqrt{g} e^{-\Phi(z)} [i \bar{\psi}_1 e_A^M \Gamma^M D_M \psi_1 - (M + \Phi(z)) \bar{\psi}_1 \psi_1 + (\psi_1 \leftrightarrow \psi_2), M \leftrightarrow -M] \quad (1)$$

Eksponensial üzərindəki  $\Phi(z)$  dilaton sahəsi təsir inteqralının  $z \rightarrow \infty$  - da sonlu etmək üçündür. Burada  $g = |\det g_{MN}|$ , ( $M, N = 0, 1, 2, 3, 5$ ) və dilaton sahəsi  $\Phi(z) = k^2 z^2$  şəklində seçilir.  $k$  ixtiyari sabitdir. AdS fəzasının metrikası isə aşağıdakı şəkildədir:

$$ds^2 = \frac{1}{z^2} (-dz^2 + \eta_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu) \quad \mu, \nu = 0, 1, 2, 3 \quad (2)$$

$\eta_{\mu\nu} = \text{diag}(1, -1, -1, -1)$ .  $\eta_{\mu\nu}$  isə Minkovski fəzasının metrik tenzorudur. (1) düsturuna daxil olan  $D_M$  kovariant törəmə aşağıdakı ifadəyə malikdir:

$$D_M = \partial_M + \frac{1}{8} \omega_{MAB} [\Gamma^A, \Gamma^B] - iV_M \quad (3)$$

Burada  $A = 0, 1, 2, 3$ ,  $\omega_{MAB}$  spin əlaqəsidir. Spin əlaqəsi kəmiyyətinin sıfırdan fərqli komponentləri yalnız 5-ci ölçü komponentləridir  $\omega_\mu^{5A} = -\omega_\mu^{A5} = \frac{1}{z} \delta_\mu^A$ .  $\Gamma^A$  isə 5-ölçülü Dirak matrisləridir:  $\Gamma^A = (\gamma^\mu, i\gamma^5)$ ,  $\gamma^\mu$  isə 4-ölçülü Dirak matrisləridir. (1) ifadəsinə daxil olan  $e_A^M$  kəmiyyəti əyrixətli fəza ilə müstəvi fəza arasında əlaqə yaradan veylbeyndir. AdS fəzası üçün  $e_A^M = z\delta_A^M$ ,  $V_M$  isə vektor sahədir. Onu da qeyd edək ki, (1) -ə daxil olan  $\psi(x, z)$  sağ və sol hissələrin cəmi şəklində  $\psi(x, z) = \psi_L(x, z) + \psi_R(x, z)$  göstərilir. Bu hissələrin Furry çevirməsini belə yazmaq olar:

$$\psi_{L,R}(x, z) = \int \psi(p) f_{L,R}(p, z) e^{-ipx} d^4p \quad (4)$$

(4) ifadəsinə daxil olan  $f_{L,R}(p, z)$  profil funksiyalarıdır.

Əgər (1) təsirini hissə-hissə inteqrallasaq, həmçinin kovariant törəmənin (3) üzərində bəzi hesablamaları apardıqdan sonra (4) çevrilməsini (1)-də nəzərə alsaq spinor sahənin profil funksiyaları üçün (5) tənliklərini alarıq:

$$\left(\partial_z - \frac{2(M+\phi(z))}{z}\right) f_R = -p f_L \quad (5)$$

$$\partial_z f_L = p f_R$$

Nəticədə profil funksiyaları üçün aşağıdakı tənliklər sistemini alarıq:

$$\left[\partial_z^2 - \frac{2(M+k^2 z^2)}{z} \partial_z + \frac{2(M-k^2 z^2)}{z^2} + p^2\right] f_R = 0 \quad (6)$$

$$\left[\partial_z^2 - \frac{2(M+k^2 z^2)}{z} \partial_z + p^2\right] f_L = 0 .$$

(6) tənliklər sistemini həll etdikdə profil funksiyalar üçün  $\alpha = M + \frac{1}{2}$  olmaqla

$$f_L^n(z) = n_L (kz)^{2\alpha} L_n^{(\alpha)}(kz) \quad (7)$$

$$f_R^n(z) = n_R (kz)^{2\alpha-1} L_n^{(\alpha-1)}(kz)$$

(7) ifadələrini alarıq. Profil funksiyalarına daxil olan  $n_L$  və  $n_R$  sabitləri aşağıdakı şəkildə tapılıb [12]:

$$n_L = \frac{1}{k^{\alpha-1}} \sqrt{\frac{2\Gamma(\alpha+1)}{\Gamma(\alpha+n+1)}} \quad (8)$$

$$n_R = n_L \sqrt{\alpha+n}$$

### 3. KXD –də AKSİAL VEKTOR CƏRƏYANI.

KXD- də nuklonların aksial-vektor cərəyanı aşağıdakı ifadə ilə verilir.

$$j^{\mu,a}(x) = \bar{\psi}(x) \gamma^\mu \gamma^5 \frac{\tau^a}{2} \psi(x) \quad (9)$$

Burada  $\psi(x)$   $u$  və  $d$  kvark dubletidir  $\psi = \begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}$ .  $\tau^a$  Pauli matrisləridir. Bir nuklonun 2 müxtəlif halı arasındakı aksial-vektor cərəyanın matris elementi aşağıdakı şəkildə olar:

$$\langle N(p') | j^{\mu,a}(0) | N(p) \rangle = \bar{u}(p') [\gamma^\mu \gamma^5 G_A^2(q^2) + \frac{q^2}{2m_N} \gamma^5 G_p(q^2)] \frac{\tau^a}{2} u(p) \quad (10)$$

$m_N$  isə nuklonun kütləsidir. Burada  $q_\mu = p' - p_\mu$  qarşılıqlı təsir təpəsində ötürülən impulsdur. Uyğun olaraq  $G_A^2(q^2)$  və  $G_p(q^2)$  aksial -vektor və psevdoskalyar form faktorlarıdır.

### 4. AdS FƏZASINDA AKSİAL VEKTOR SAHƏSİ.

$G_A(q^2)$  form faktorunu AdS/KXD nəzəriyyəsində əldə etmək üçün

$$S_{int}^A = \int d^5 x \sqrt{g} e^{-\phi(z)} L_{int}^A(x) \quad (11)$$

aksial izovektor sahə ilə fermion sahəsinin qarşılıqlı təsir inteqralından istifadə etmək lazımdır. Bu inteqralın aksial vektor sahəsinin kinetik hissəsi

$$S_V = \int d^5 x \sqrt{g} e^{-\phi(z)} \text{Tr} \left( -\frac{F_V^2}{2g_5^2} \right) \quad (12)$$

daxildən-sərhəddə propaqatoru  $V(Q, z)$ -i hesablamağa imkan yaradır.

Burada  $F_{MN}^V = \partial_M V_N - \partial_N V_M$ ,  $g_5^2 = \frac{12\pi^2}{N_c}$ ,  $N_c$  - rəng ədədidir. Vektor sahəsinin ifadəsi  $V_\mu(p, z) = V(p, z) V_\mu^0(p)$  olaraq vuruqlara ayrılır. Ultra bənövşə-

yi sərhəddə daxildən – sərhəddə propaqatoru  $V(p, \varepsilon) = 1$  şərtini ödəyir. AdS/KSN uyğunluğuna görə  $V_\mu^0(p)$  4- ölçülü cərəyan operatoru olan  $J_\mu^V$  -in mənbəyidir.  $V_z=0$  şərti daxilində (12) tənliyindən vektor sahəsi üçün alınan tənlik [5]

$$\left[\partial_z \left( \frac{e^{-\phi(z)}}{z} \partial_z \right) + \frac{e^{-\phi(z)}}{z} p^2\right] V(p, z) = 0 \quad (13)$$

şəklindədir. (13) tənliyinin həlli

$$V(Q, z) = \Gamma(1+a) U(a, 0, \xi) \quad (14)$$

ifadəsinə malikdir. Burada  $a = \frac{Q^2}{4k^2}$ ,  $\xi = k^2 z^2$ .

### 5. SKALYAR SAHƏDƏ KİRAL SİMMETRİYANIN POZULMASI.

Beşölçülü fəzada  $X(x, z)$  skalyar sahə üçün təsir inteqralı

$$S = \int d^5 x \sqrt{g} e^{-\phi(z)} \text{Tr} [ |DX|^2 + 3|X|^2 ] \quad (15)$$

Kovariant  $D_M$  törəməsinə  $A_L$  və  $A_R$  kalibrləşmə sahəsi daxildir. Bu sahələr  $SU(2)$  qrup çevrilməsinə tabedir:

$$D_M X = \partial_M X - i(A_L)X + i(A_R)X \quad (16)$$

Əgər təsir inteqralını (15) həll edib  $X$  sahəsi üçün hərəkət tənliyini alsaq, onda hərəkət tənliyinin həlli  $X(x, z)$  sahəsi bu formada tapılar:

$$X(x, z) = v(z) \exp[i\pi\sqrt{2}\pi^a T^a] \quad (17)$$

Harada ki,  $\pi^a$  pion sahəsidir.  $T^a$  isə  $SU(2)$  qrupunun generatorudur. Onu da qeyd edək ki, biz bu məqalədə  $v(z)$  -in tam ifadəsindən [13] istifadə edəcəyik.

$$v(z) = \frac{\sqrt{N_c}}{2} m_q z + \frac{1}{2\sqrt{N_c}} \sigma z^3 \quad (18)$$

## 6. YUMŞAQ DİVAR MODELİNDƏ FORM FAKTORLAR.

AdS fəzasının daxilində  $A_M, X, \psi_{1,2}$  sahələrinin müxtəlif qarşılıqlı təsirləri mövcuddur. Bu qarşılıqlı təsirlərin Laqranjianları daxili spinor sahəsinin aksial vektor cərəyanını ortaya çıxarır. Əslində ümumi Laqranjian həm vektor həm də aksial vektor cərəyanlarının hissələrini özündə saxlayır. Ancaq bizi yalnız aksial vektor hissəsi maraqlandırdığı üçün ümumi cərəyanın yalnız aksial vektor hissəsinə baxacağıq. Bu hissə aksial vektor form faktoruna  $G_A(q^2)$  qatqı verir.  $G_A(q^2)$  form faktorunu əmələ gətirən Laqranjian hissələri [14, 16, 18] məqalələrində daxil edilmişdir. Yumşaq divar modelində  $A_M, X, \psi_{1,2}$  daxili sahələrinin qarşılıqlı təsir Laqranjianları aşağıdakı şəkildə olacaq:

a) Minimal qarşılıqlı təsir hissəsi:

$$L = \bar{\psi}_1 \Gamma^M (A_L)_M \psi_1 - \bar{\psi}_2 \Gamma^M (A_R)_M \psi_2 = \frac{1}{2} (\bar{\psi}_1 \Gamma^M A_M \psi_1 - \bar{\psi}_2 \Gamma^M A_M \psi_2) \quad (19)$$

b) Maqnit kalibrləşmə qarşılıqlı təsir hissəsi:

$$\begin{aligned} L &= ik_1 \{ \bar{\psi}_1 \Gamma^{MN} (F_L)_{MN} \psi_1 - \bar{\psi}_2 \Gamma^{MN} (F_R)_{MN} \psi_2 \} = \\ &= k_1 \{ \bar{\psi}_1 \Gamma^{MN} F_{MN} \psi_1 + \bar{\psi}_2 \Gamma^{MN} (F)_{MN} \psi_2 \} \end{aligned} \quad (20)$$

c) Yukava tipli qarşılıqlı təsir hissəsi hansı ki, skalyar sahə  $X(x, z)$  ilə daxili fermion sahəsi arasındadır.

$$L = g_y (\bar{\psi}_1 X \psi_2 + \bar{\psi}_2 X^+ \psi_1). \quad (21)$$

d) Fermion sahəsi  $\psi_{1,2}$ ,  $X(x, z)$  skalyar sahəsi, vektor və aksial vektor sahəsi ilə qarşılıqlı təsirlərin Laqranjianı aşağıdakı şəkildə daxil edilir:

$$\begin{aligned} L &= \frac{ik_2}{2} \{ \bar{\psi}_1 X \Gamma^{MN} (F_R)_{MN} \psi_2 + \bar{\psi}_2 X^+ \Gamma^{MN} (F_L)_{MN} \psi_1 \} = \\ &= -\frac{i}{2} k_2 \{ \bar{\psi}_1 X \Gamma^{MN} F_{MN} \psi_2 + \bar{\psi}_2 X^+ \Gamma^{MN} (F)_{MN} \psi_2 + h.c \} \end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} L &= \frac{g_y}{2} [\bar{\psi}_1 X \Gamma^M (A_L)_M \psi_2 - \bar{\psi}_2 X^+ \Gamma^M (A_R)_M \psi_1 + h.c] = \\ &= g_y [\bar{\psi}_1 X \Gamma^M A_M \psi_2 + \bar{\psi}_2 X^+ \Gamma^M A_M \psi_1]. \end{aligned} \quad (23)$$

f) Aksial vektor form faktorlarının soft-wall modeldə hesablamaq üçün [16] aşağıdakı minimal qarşılıqlı təsir hissəsi də daxil edilir:

$$L = \bar{\psi}_1 \Gamma^M \Gamma^z A_M \psi_1 + \bar{\psi}_2 \Gamma^M \Gamma^z A_M \psi_2 \quad (24)$$

Qarşılıqlı təsir Laqranjianlarını müəyyənləşdirdikdən sonra asanlıqla biz (holoqrafik) form faktorlar üçün ifadələri ala bilərik. AdS/KSN uyğunluğuna əsasən daxiləki fermion sahəsinin aksial-vektor cərəyanı ilə sərhəddəki KXD-nin nuklonlar və mezonlar üçün aksial-vektor cərəyanı arasında əlaqə var. Daxildəki aksial-vektor cərəyanını tapmaq üçün daxiləki klassik sahə təsirinin eksponenti olan törədici funksional  $Z$ -dən istifadə edək.

$$Z_{AdS} = e^{iS_{int}} \quad (25)$$

Holoqrafik nəzəriyyəyə əsasən AdS fəzasında  $Z_{AdS}$ , KXD- də  $Z_{QCD}$  -ə bərabərdir.

$$Z_{AdS} = Z_{QCD} \quad (26)$$

AdS/KSN uyğunluğuna əsasən sərhəddəki KXD -nin aksial vektor cərəyanı

$$\langle J_\mu^a \rangle^{QCD} = -i \frac{\delta Z_{AdS}}{\delta A_\mu^a} \Big|_{A_\mu^a=0} \quad (27)$$

(10) düsturundakı aksial-vektor cərəyanı,  $J_\mu^a(p', p) = G_A(q^2) \bar{u}(p') \gamma^5 \gamma_\mu \frac{\tau^a}{2} u(p)$  cərəyanı ilə tutuşdurulur.  $G_A(q^2)$   $z$  koordinatı üzrə inteqralla müəyyən olunur.

Qarşılıqlı təsir inteqralı yuxarıda qeyd olunmuş qarşılıqlı təsir Laqranjianlarının (19),(20),(23) düsturlarında inteqrallarının cəmi şəklindədir. 4 ölçülü fəzada Furye komponentləri üzrə inteqral enerji-impulsun  $q = p' - p$  saxlanması qanunu olan  $\delta$  funksiyasını verir. Cərəyan sıxlığı üçün bizə məlum olan aşağıdakı ifadəni yazırıq:

$$J^{5\mu}(p', p) = \bar{u}(p')\gamma^5\gamma_\mu \frac{\tau^a}{2} u(p) \quad (28)$$

Cərəyan sıxlığının ifadəsi müxtəlif laqranjian hədləri üçün təsir inteqralında  $z$ -ə nəzərən inteqralı götürüldükdə ortaya çıxır:

$$\begin{aligned} S^{(a)} &= \frac{1}{2} \int d^4 x \int_0^\infty dz e^{-\phi(z)} \sqrt{g} \{ \bar{\psi}_1 \Gamma^\mu A_\mu \psi_1 - \bar{\psi}_2 \Gamma^\mu A_\mu \psi_2 \} = \\ &= \frac{1}{2} \int d^4 p' d^4 p J^{5\mu}(p', p) A_\mu^a(q) \int_0^\infty dz \frac{1}{z^4} A(q, z) e^{-\phi(z)} [F_{1R}^2(m, z) - F_{1L}^2(m, z)] \quad . \quad (29) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S^{(b)} &= \frac{1}{4} k_1 \int d^4 x \int_0^\infty dz e^{-\phi(z)} \sqrt{g} \{ \bar{\psi}_1 [\Gamma^5, \Gamma_\mu] \partial_5 A_\mu \psi_1 + \bar{\psi}_2 [\Gamma^5, \Gamma_\mu] \partial_5 A_\mu \psi_2 \} = \\ &= \frac{k_1}{2} \int d^4 p d^4 p' J^{5\mu}(p', p) A_\mu^a(q) \int_0^\infty dz \frac{1}{z^3} \partial_z A(q, z) e^{-\phi(z)} [F_{1R}^2(m, z) + F_{1L}^2(m, z)] \quad . \quad (30) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S^{(e)} &= g_y \int d^4 x \int_0^\infty dz \sqrt{g} e^{-\phi(z)} \{ \bar{\psi}_1 X \Gamma^\mu A_\mu \psi_2 + \bar{\psi}_2 X^+ \Gamma^\mu A_\mu \psi_1 \} = \\ &= 2g_y \int d^4 p d^4 p' J^{5\mu}(p', p) A_\mu^a(q) \int_0^\infty dz \frac{1}{z^4} e^{-\phi(z)} A(q, z) 2v(z) F_{1L}(m, z) F_{1R}(m, z) \quad . \quad (31) \end{aligned}$$

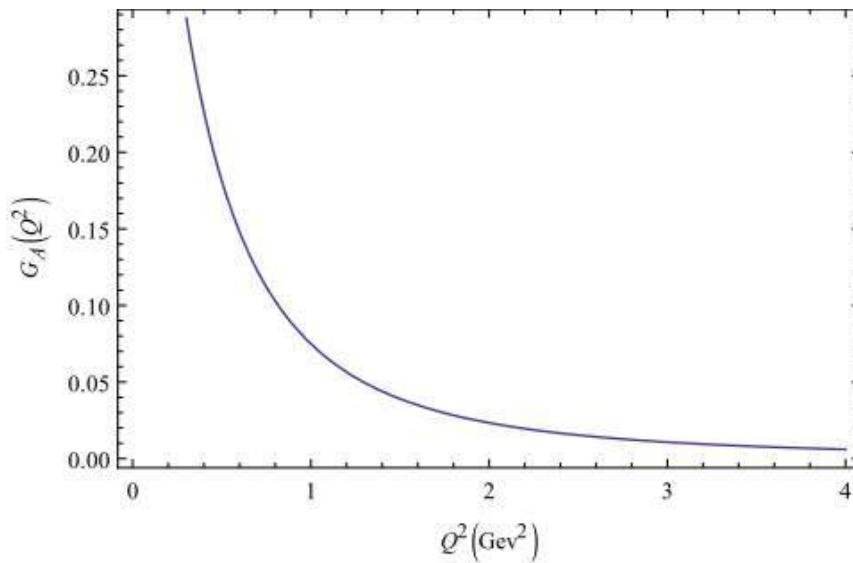
AdS/KSN uyğunluğuna əsasən aksial-vektor form faktoru təsir hədlərinin cəmindən  $S = S^{(a)} + S^{(b)} + S^{(e)}$  əmələ gəlməlidir.  $S^i$  inteqralın hər biri  $G_A(q^2)$  qatki verən  $G_A^i(q^2)$  hissələrini yaradır. Bunun üçün biz  $S^i$  inteqrallarından  $A_\mu^a(q)$  -yə nəzərən variasiya törəməsi almalıyıq:

$$G_A^{(a)}(q^2) = \frac{1}{2} \int_0^\infty dz \frac{e^{-k^2 z^2}}{z^4} A(q, z) [F_{1R}^2(m, z) - F_{1L}^2(m, z)] \quad (32)$$

$$G_A^{(b)}(q^2) = \frac{k_1}{2} \int_0^\infty dz \frac{e^{-k^2 z^2}}{z^3} \partial_z A(q, z) [F_{1R}^2(m, z) + F_{1L}^2(m, z)] \quad (33)$$

$$G_A^{(e)}(q^2) = 2g_y \int_0^\infty dz \frac{e^{-k^2 z^2}}{z^4} A(q, z) v(z) F_{1L}(m, z) F_{1R}(m, z) \quad . \quad (34)$$

Yekun  $G_A(q^2)$  form faktoru  $G_A^i(q^2)$  hissələrinin cəmidir. Yəni  $G_A(q^2) = G_A^{(a)}(q^2) + G_A^{(b)}(q^2) + G_A^{(e)}(q^2)$ . Yekun  $G_A(q^2)$  form faktorunun  $Q^2 = -q^2$  üçün qrafikini MATHEMATİCA proqramı vasitəsilə qursaq şəkindəki asılılıq qrafikini alırıq:



Şəkil 1.  $G_A(q^2)$  -nin MATHEMATİCA proqramında  $Q^2 = -q^2$  üçün qurulmuş qrafiki. Qrafiki qurmaq üçün (32), (33), (34) düsturlarına daxil olan sabitləri MATHEMATİCA proqramına daxil etmək lazımdır.  $k_1 = -0.98$ ,  $m_q = 0.94 \text{ GeV}$ ,  $g_y = 9.182$ ,  $k = 0.350 \text{ GeV}$ ,  $N_c = 3$ ,  $\sigma = 0.311 \text{ GeV}$  sabitlərinin qiymətləri [16] işindən götürülmüşdür.

**NƏTİCƏ.**

Təqdim olunan işdə aksial vektorun  $G_A(q^2)$  form faktorunun AdS/KXD –nin yumşaq divar modelində ifadəsi hesablanmış və  $Q^2 = -q^2$  üçün  $G_A(q^2)$ -nin  $Q^2$  -dan asılılıq qrafiki qurulmuşdur.

Məqalədə yumşaq divar modeli çərçivəsində nuklonlar üçün hərəkət tənlikləri yazılmış, bu tənliklərdən profil funksiyaları tapılmışdır.  $G_A(q^2)$  form faktorunu hesablamaq üçün qarşılıqlı təsir laqranjianın

aksial vektor hissəsindən istifadə edirik. Laqranjianın aksial vektor hissəsindən AdS/KSN uyğunluğuna əsaslanmaqla cərəyan sıxlığı hesablanır.  $G_A(q^2)$  cərəyan sıxlığının KXD-də məlum ifadəsinə əmsal kimi daxildir. AdS/KSN uyğunluğuna əsaslanmaqla hesablanmış cərəyan sıxlığının ifadəsini KXD-dəki məlum ifadəsilə tutuşdurduqda  $G_A(q^2)$  form faktorunun ifadəsini əldə etmiş oluruq. Skalyar sahənin dəqiqləşdirilmiş ifadəsini nəzərə almaqla form faktorun ötürülən impulsun kvadratından asılılıq qrafikini qururuq.

- |  |   |
|--|---|
| <p>[1] <i>J. M Maldacena.</i> Adv. Theor. Math. Math. Phys. 2, 231 (1998) [Int. J. Theor. Phys. 38, 1113, 1999, 9711200.</p> <p>[2] <i>E. Witten.</i> Adv. Theor. Math. Math. Phys. 2, 253, 1998, 9802150 .</p> <p>[3] <i>S.S. Gubser, I.R. Klebanov and A.M. Polyakov.</i> Phys. Lett.B 428 ,105, 1998, 9802109.</p> <p>[4] <i>J.Erlich, E. Katz, D.T. Son and A.M. Polyakov.</i> QCD and Holographic Model of Hadrons, Phys. Rev. Lett. 95, 261602, 2005, 0501128.</p> <p>[5] <i>L. Da Rold and A. Pomarol.</i> Nucl. Phys. B 721, 79, 2005, 0501218 .</p> <p>[6] <i>J. Polchinski and M. J. Strassler.</i> Phys. Rev. Lett. 88, 031601, 2002, 0109174.</p> <p>[7] <i>J. Polchinski and M.J. Strassler.</i> Deep Inelastic Scattering and Gauge / String Duality, JHEP 0305, 012, 2003, 0209211.</p> <p>[8] <i>S.J. Brodsky and G.F. de Teramond.</i> Phys. Lett. B 582, 211, 2004, 0310227.</p> | <p>[9] <i>G.F. de Teramond and S.J. Brodsky.</i> Phys. Rev. Lett. 94, 201601, 2005, 0501022.</p> <p>[10] <i>S.J. Brodsky and G.F. de Teramond.</i> Phys. Rev. Lett. 96, 201601, 2006, 0602252.</p> <p>[11] <i>S.J. Brodsky and G.F. de Teramond.</i> Phys. Rev. D 77, 056007, 2008, 0707.3859.</p> <p>[12] <i>Z. Abidin, C. Carlson.</i> Phys. Rev. D, 79, 2009, 115003.</p> <p>[13] <i>T. Gutsche, V.E. Lyubovitskij, I. Schmidt, A.Vega.</i> Phys. Rev. D 77, 056007, 2012, 1204, 6612, v. 2 .</p> <p>[14] <i>H.R. Grigoryan and A.V. Radyushkin.</i> Phys. Lett. B 650 , 421, 2007, 0703069.</p> <p>[15] <i>H.R. Grigoryan and A.V. Radyushkin.</i> Phys. Rev. D 76, 115007, 2007, 0709.0500.</p> <p>[16] <i>H.R. Grigoryan and A.V. Radyushkin.</i> Phys. Rev. D 78, 115008, 2008, 0808.1243.</p> |
|--|---|

**Sh.A. Mamedov, I.I. Atayev**

**CALCULATION OF AXIAL - VECTOR NUCLEON FORM FACTOR IN THE AdS / QCD SOFT WALL MODEL**

Nucleon axial-vector form factors were calculated in the framework of AdS / QCD soft wall model and dependence of nucleon axial-vector form factor on the square of the transmitted momentum was established, where we used the exact scalar field expression in calculating of form factor.

**Ш.А. Мамедов, И.И. Атаев**

**РАСЧЕТ АКСИАЛЬНО - ВЕКТОРНЫХ ФОРМФАКТОРОВ НУКЛОНОВ В МОДЕЛИ МЯГКОЙ СТЕНКИ AdS / KXD**

Рассчитаны аксиально - векторные формфакторы нуклонов в модели мягкой стены AdS/KXD, а также установлена зависимость формфактора от квадрата передаваемого импульса, в котором мы использовали точное выражение скалярного поля при расчете формфактора

*Qəbul olunma tarixi: 16.09.2019*

**Bi<sub>0,97</sub>Sb<sub>0,03</sub> ƏRİNTİSİNDƏ UDULMA VƏ LÜMINESSENSİYA SPEKTRLƏRİ****X.Ə. HƏSƏNOVA***Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının H.M.Abdullayev adına Fizika İnstitutu  
AZ-1143, Azərbaycan, Bakı, H. Cavid pr.131*

Sintez olunmuş Bi<sub>0,97</sub>Sb<sub>0,03</sub> bərk məhlulunun luminessensiya spektrləri 300-700 nm dalğa uzunluğu aralığında otaq temperaturunda Monk-Giddison monoxromatoru ilə LS-55 spektrometrində tədqiq edilmişdir. Lorens-Qauss paylanması yolu ilə spektrlərin təhlili aparılmışdır.

Aparılan tədqiqatlar tərkibində bismut olan kristallik mühitlərin əksəriyyətinə, geniş (50 - 80 nm) zolağın (göy ( $\tau \approx 1-2$  mksan) və qırmızı ( $\tau \approx 5 - 12$  mksan) luminessensiya müddəti ilə) luminessensiya zolağının xarakterik olmasını göstərmişdir. Tərkibində bismut olan monokristallarda geniş luminessensiya və udulma zolaqları müşahidə olunmuşdur. Bu da öz növbəsində, nadir torpaq ionlarına səciyyəvi olmayan (onlarda optik elektronlar liqandların xarici sahəsindən ekranlaşdır) optik mərkəzin elektron-fonon qarşılıqlı təsiri ilə əlaqələndirilir.

**Açar sözlər:** Bi-Sb ərintiləri, luminessensiya, udulma

**PACS:** 71.20.Nr, 72.20.My, 72.20.Fr, 73.50.Jt

**1. GİRİŞ.**

Son onillikdə bismut-sürmə ərintiləri həm kriogen temperatur diapazonunda termoelektrik və soyudulma üçün ən mükəmməl materiallar sinfi kimi, həm də onlardan kifayət qədər effektiv lazer informasiya sisteminin yaradılması üçün istifadə imkanlarına görə maraq doğurur. Hal-hazırda, rabitə informasiya sistemlərində onların tətbiq şərtlərini təmin edən 1420-1460 nm diapazonda optik gücləndiricilər artıq yaradılmışdır, kəsilməz bismut lazerlərinin maksimum gücü isə 50%-ə qədər effektivliklə 20W səviyyəsinə çatmışdır.

Bu sistemlərin mükəmməlləşdirilməsi yolunda ciddi maneə bismut aktiv mərkəzinin adekvat IQ modelinin olmamasıdır. Qeyd edək ki, hal-hazırda müzakirə olunan nəzəriyyə modellərinin heç biri bu günə qədər mövcud olan bütün eksperimental məlumatları təmin etmir [1]. Bismut-sürmə bərk məhlulları həm də ona görə maraqlı obyekt sayılırlar ki, Bi və Sb yarım-metal birləşmələrindən asılı olaraq, müxtəlif elektron səviyyəsi qrupları öz enerjilərini dəyişirlər. Elementar Bi və Sb üçün yarım-metal davranışa səbəb olan üst-üstə düşən zolaqların təbiəti müxtəlifdir. Zolaqlar kəskin surətdə tərkibdən asılı olaraq enerjini dəyişir və "x" 0,07-dən 0,23-ə qədər əsl yarımkeçirici müşahidə olunur [2]. Darzolaqlı yarımkeçirici birləşmələrdə, valent zonanın və keçiricilik zonasının vəziyyəti enerjiyə əsasən çevrilə bilər və müvafiq olaraq, səth vəziyyəti də dəyişir. Bununla belə, 111 və ya 001 bazis müstəvisi Fermi enerjisini bir neçə dəfə keçən üçqat fırlanma və topoloji səth vəziyyətlərinin simetriyasına malikdir. Səth vəziyyətlərində elektronlar üçün Fermi səthi kifayət qədər mürəkkəbdir. Lakin, topoloji səth vəziyyətlərinin tədqiqi üçün Bi<sub>0,9</sub>Sb<sub>0,1</sub> birləşməsi, demək olar ki, ideal material hesab edilir. Hazırda aparılan tədqiqatlar göstərir ki, tərkibində bismut olan kristallik mühitlərin əksəriyyətinə, geniş (50-80 nm) zolağa (göy ( $\tau \approx 1-2$  mksan) və qırmızı ( $\tau \approx 5-12$  mksan) luminessensiya müddəti ilə) luminessensiya zolağı xarakterikdir. Bismutlu monokristallarda geniş luminessensiya və udulma zolaqları müşahidə

hidə olunmuşdur. Bu da, öz növbəsində, nadir torpaq ionlarına səciyyəvi olmayan (onlarda optik elektronlar liqandların xarici sahəsindən ekranlaşdır) optik mərkəzin elektron-fonon qarşılıqlı təsiri ilə əlaqələndirilir.

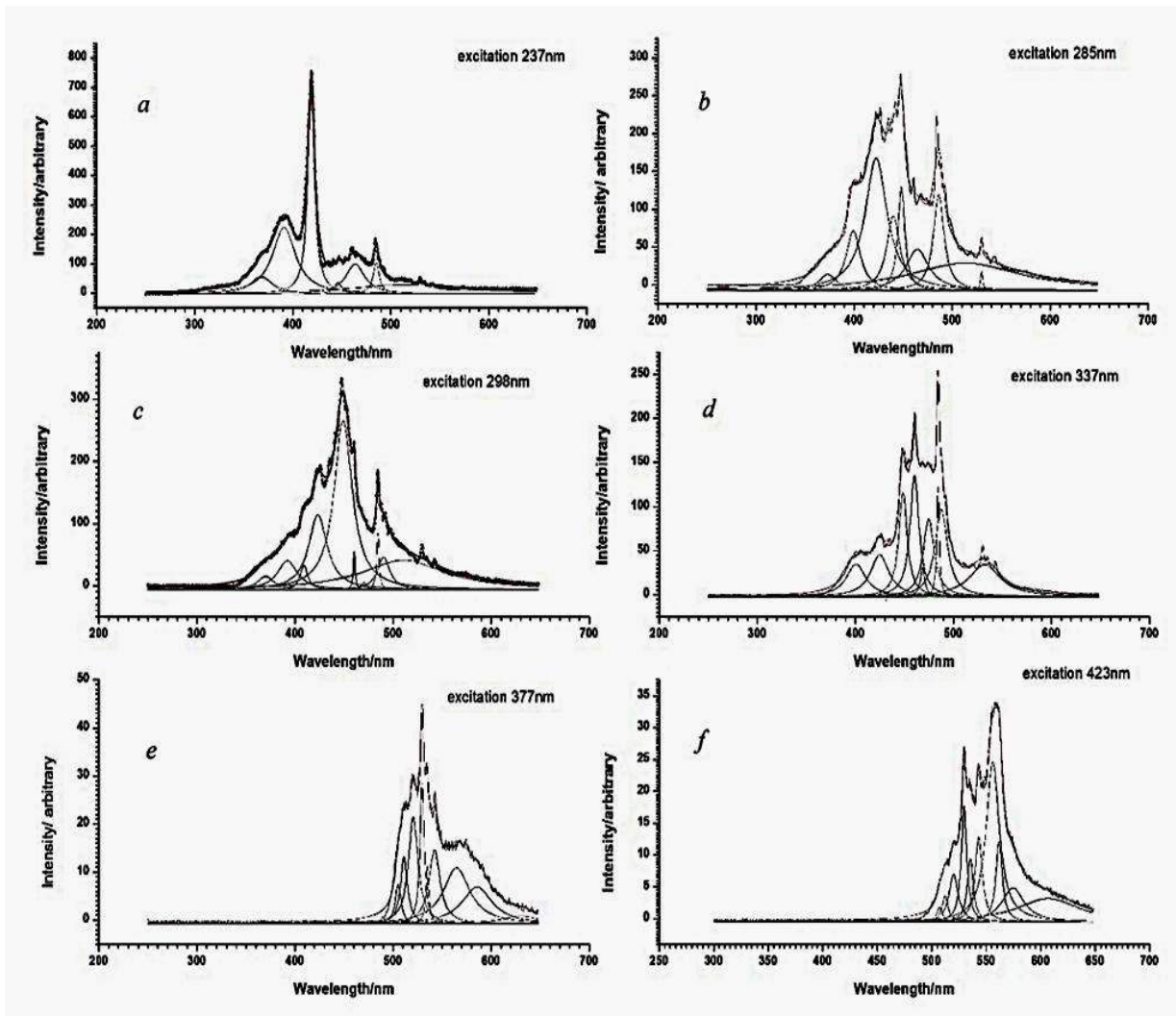
**2. TƏCRÜBƏ HİSSƏSİ.**

Şəkil 1-də Bi<sub>0,97</sub>Sb<sub>0,03</sub>-ün həyəcanlanma halında luminessensiya spektri verilmişdir. Lorens-Qauss paylanması yolu ilə spektrlərin təhlili şəkil 1-də və cədvəl 1-də verilmişdir. Sintez olunmuş Bi<sub>0,97</sub>Sb<sub>0,03</sub> bərk məhlulunun luminessensiya spektrləri 300-700 nm dalğa uzunluğu aralığında otaq temperaturunda Monk-Giddison monoxromatoru ilə LS-55 spektrometrində tədqiq edilmişdir. 150Wt ksenon mənbədən həyəcanlandırılma nəticəsində luminessensiya Xe: 237 nm (5,231 eV), 285 nm (4,35 eV), 298 nm (4,16 eV), 337nm (3,697 eV), 377 nm (3,299 eV), 423 nm (2,931 eV) tərkiblər müvafiq olaraq: x=15; 12; 3. Dalğa uzunluğunun verilmə dəqiqliyi  $\pm 1,0$ nm, dalğa uzunluğunun verilməsinin canlandırılması  $\pm 0,5$ nm.

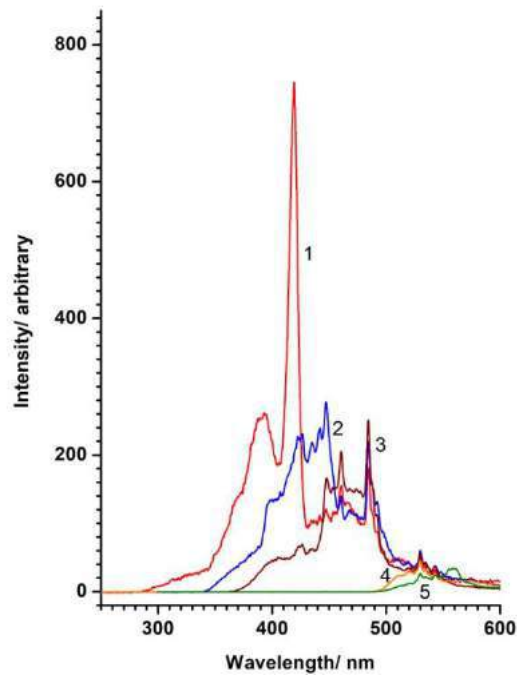
Daha öncə də qeyd edildiyi kimi, enerjiləri Bi və Sb yarım-metal birləşməsindən asılı olaraq dəyişən bismut-sürmə bərk məhlullarının özünəməxsus cəhətləri onlarda elektron səviyyələrinin müxtəlif qruplarının mövcud olmasıdır.

Təcrübi olaraq sübut olunmuşdur ki, tərkibində bismut olan kristallik mühitlərin əksəriyyətinə, geniş (50-80 nm) zolağa (göy ( $\tau \approx 1-2$  mksan) və qırmızı ( $\tau \approx 5-12$  mksan) luminessensiya müddəti ilə) luminessensiya zolağı xarakterikdir. Tərkibində bismut olan materialların tədqiqinə dair toplanmış məlumatların təhlilindən, demək olar ki, göy və qırmızı luminessensiya zolağının olmasına aid eksperimental sübutlar var: göy luminessensiya ( $\approx 400-500$ nm) Bi<sup>3+</sup> ionunun energetik səviyyələri arasında <sup>3</sup>P<sub>1</sub> → <sup>1</sup>S<sub>0</sub> elektron keçidi nəticəsində yaranır, bununla bərabər qırmızı luminessensiyanın yaranması Bi<sup>2+</sup> ionu və <sup>2</sup>P<sub>3/2</sub>(1) → <sup>2</sup>P<sub>1/2</sub> keçidi ilə əlaqəlidir. (qırmızı luminessensiyanın mövcudluğu EPR ölçmə nəticələri ilə sübut olunur) [3].





Şəkil 1.  $\text{Bi}_{0.97}\text{Sb}_{0.03}$ -nin lüminessensiya spektrlərinin Lorens-Qauss komponentlərinə ayrılması



Şəkil 2.  $\text{Bi}_{0.97}\text{Sb}_{0.03}$ -ün həyəcanlanma halında lüminessensiya spektri: 1- 237nm, 2- 285nm, 3- 337nm, 4- 377nm, 5- 423nm.

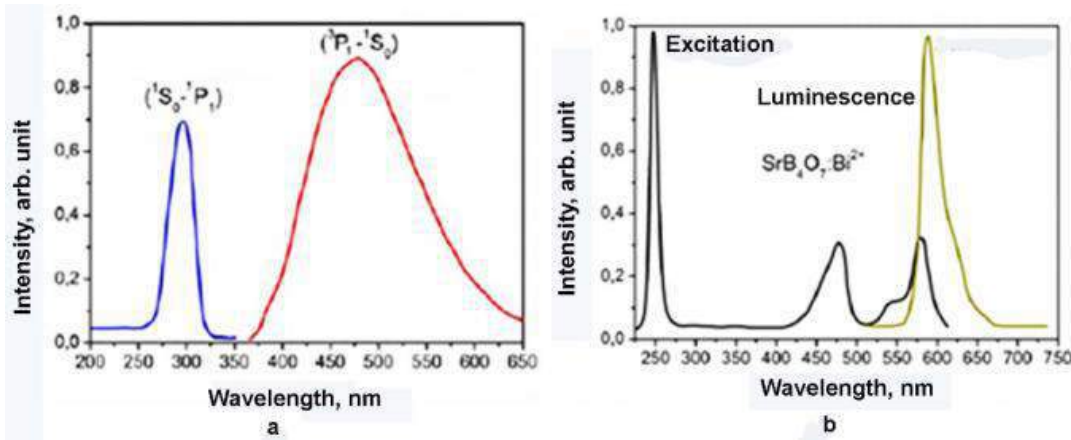
Bi<sub>0.97</sub>Sb<sub>0.03</sub> ərintisində eksperimental lüminessensiya spektrlərinə əsasən hesablanmış Lorens-Gauss komponentlərinin cədvəli

237nm	Area	Center	Width	Height
1	2516,383159	367,6200963	27,13683398	59,03338889
2	10134,58385	390,8803923	28,41123999	227,0888727
3	9115,84707	418,6429756	8,390080269	691,6892688
4	574,6539809	446,0808754	9,341981276	39,16043885
5	3744,753594	463,4824462	23,27715175	102,4173493
6	1281,684127	484,9682822	7,751891798	105,2575911
7	6984,609142	514,384985	138,6946137	32,05993486
<b>285nm</b>				
1	688,9598885	370,0826292	20,20760976	21,70496622
2	1795,76332	392,1386006	24,426441	46,80249718
3	580,3488079	409,0118075	9,286427193	39,78510985
4	4338,800444	423,3300915	22,88694309	120,6874217
5	9630,969348	449,0752485	22,55827241	271,7967672
6	239,9563662	460,3255229	2,435551008	62,72131717
7	111,5815042	470,2731137	5,805230979	12,23637648
8	427,0325963	484,4116168	2,982120349	91,16244901
9	1256,508937	490,2786943	15,27245468	52,37654653
10	7697,135068	510,6435174	102,6747254	47,72497179
<b>298nm</b>				
1	720,7255695	372,9938845	21,36145666	21,47925375
2	2193,510356	399,1069058	17,64201514	79,15377311
3	7502,623833	422,443259	27,21519306	175,5019215
4	2521,726267	439,9555659	16,23068035	98,91025926
5	1821,197558	448,0994148	8,443988261	137,3060145
6	2402,851242	464,4785731	27,83176032	54,96248147
7	2598,162854	486,2567712	13,02942177	126,9466807
8	7890,768122	513,5009393	137,5921104	36,50949891
9	110,3481595	530,0770216	2,787641738	25,20044782
<b>337nm</b>				
1	1397,56674	400,6142716	23,80908415	37,36887206
2	1712,800069	424,8516957	22,91944112	47,5754354
3	1928,779556	448,4507205	10,36249662	118,4945334
4	2419,590895	460,2385795	11,17247279	137,8709471
5	291,5587115	468,4215737	5,676127846	32,70046863
6	1878,307539	474,7445809	13,55668275	88,20503804
7	596,1564878	484,2308574	2,951040046	128,6072034
8	2399,101309	487,5445474	15,43007465	98,98301624
9	2221,916927	531,8582406	38,51328454	36,72800866
<b>377nm</b>				
1	91,05721048	505,0998717	7,106838757	8,156765982
2	186,3550074	511,1032828	8,494720134	13,96600247
3	410,9404328	520,5551284	11,78201608	22,20441757
4	238,6156199	529,6951689	5,149798235	29,49774238
5	70,79477099	534,7712554	3,706141611	12,16072016
6	331,9753638	542,1621576	13,76244368	15,35643563
7	599,4189173	564,7734969	32,73544092	11,65714968
8	447,5163818	585,699488	37,11565504	7,675946359
9	122,3177143	630,0374927	48,10505386	1,618746248
<b>423nm</b>				
1	22,38595328	507,2783048	6,049195942	2,355906573
2	43,35328267	512,2757738	6,795765854	4,06128721
3	118,9949788	520,070216	10,11096815	7,492314801
4	174,337273	529,6372551	6,076210139	18,26575324
5	102,2011202	535,4441268	6,539871682	9,948704961
6	166,5586323	543,1648061	7,993825543	13,2645525
7	578,5175235	555,9704241	14,69544395	25,06189642
8	140,0934691	561,7954979	7,040015988	12,66847584
9	206,0384013	574,6210952	24,5282845	5,347627151
10	398,6712337	606,7921792	68,82667554	3,687552654

### 3. MÜZAKİRƏLƏR VƏ İNTERPRETASIYA.

Beləliklə, həyəcanlanma vəziyyətinə təhrif güclü təsir edir. Bundan əlavə, həyəcanlanma zolağının vəziyyəti nefelaksetik effektin təsirindən yaranan elektron təbəqəsinin deformasiyaya uğramasına görə güclü sürətdə kovalentlik ion-liqand rəbitəsindən (və polyarlaşmadan) asılıdır. “sahib” qəfəsin  $ns^2$  ionlarının energetik səviyyələrinə güclü təsiri nəticəsində UB-dən (göydən) qırmızıya qədər aralıqda dəyişən şüalanmanın müxtəlif enerjilərinin yaranmasına səbəb olur. Lakin,  $ns^2$  – tipli ionların spektroskopik prinsipləri yaxşı başa düşülsə də, bir çox “sahib”- qəfəslərdə şüalanma və həyəcanlanma zolaqlarının interpretasiyası hələ də mürəkkəb və mübahisəli məsələ olaraq qalmaqdadır.  $Bi^{3+}$  sərbəst ionunun əsas vəziyyəti  $^1S_0$ -dən ( $6s^2$  konfigurasiyası) ibarətdir. Eyni zamanda həyəcanlanmış  $6s6p$  konfigurasiyası enerjisinin artması tərtibində  $^3P_0$ ,  $^3P_1$ ,  $^3P_2$  triplet və  $^1P_1$  sinqlet vəziyyətlərə uyğun gəlir.  $^1S_0$  əsas vəziyyətdən  $^3P_1$ ,  $^3P_2$  və  $^1P_1$  həyəcanlanmış vəziyyətə keçidlər, adətən müvafiq olaraq, A, B və C ilə işarə olunurlar (şəkil 1b). Mümkün elektrik dipol  $^1S_0 \rightarrow ^1P_1$  keçidi (C-zolağı) ən böyük enerjiyə malikdir və adətən yüksək ultrabənövşəyi oblastda yerləşir.  $^1S_0 \rightarrow ^3P_1$  və  $^1S_0 \rightarrow ^3P_2$  keçidləri (müvafiq olaraq, A və B zonalarının) spinə əsasən qadağan olunmuşdur; lakin A-keçid  $^3P_1$  və  $^1P_1$  arasında spin-orbital rəbitə hesabına mümkün olur. Nəticədə, az enerji ilə  $^3P_0$  əsas vəziyyətdən həyəcanlanmış vəziyyətə keçid ciddi sürətdə qadağan olunur. Ga(Lu)BO<sub>3</sub>:Bi<sup>3+</sup> birləşməsində lümines-

sensiyanın izah edilməsi üçün [4] işində istifadə olunmuş, göy lüminessensiyanın olması ilə bağlı fərziyyələrdən biri ( $Bi^{4+}+e^-$ ) kompleksinin formalaşması ilə əlaqəli olmuşdur. Müəlliflərin fikrincə, qalium ionunun bismut ionu ilə əvəz olunması kristalda atomların yerləşmə simmetriyasında təhrifə gətirib çıxarır. İnduksiya olunan təhrif  $Bi^{3+}$  ionunun həyəcanlanma vəziyyətində eksiton formalaşmasına səbəb ola bilər ( $Bi^{4+}+e^-$ ).  $Bi^{3+}$  ionunda  $Bi^{4+}$  və  $e^-$  birləşməsi “göy” parlamının yaranmasına səbəb olur. Belə bir model InBO<sub>3</sub>:Bi kristalında 1.25 eV (100 nm) anormal böyük axın irəliləməsi ilə göy lüminessensiyanın yaranmasını izah etmək üçün istifadə edilmişdir. Bismut ionu ilə aktivləşdirilmiş kristallarda müşahidə edilən “göy” lüminessensiyanın təbiətini izah etmək üçün, yetərincə tez-tez kristal qəfəsi civarında yerləşən bismut ionu modelinə baxılır. [5] işində müəyyən edilmişdir ki, YVO<sub>4</sub>:Bi kristalının udulma spektri həm “tək”  $Bi^{3+}$  ionu, həm də kompleks  $Bi^{3+}$  ionu və kristal defekti üçün xarakterik olan UB oblastda zolaqlara malikdir. Belə udulma zolaqlarının yaranması müəlliflər tərəfindən Bi–O və V–O arasında yük daşınma prosesi ilə izah olunmuşdur. Nümunələr aşağıdakı şəkildə verilmişdir: a) GdAlO<sub>3</sub>:Bi<sup>3+</sup> üçün “göy” fotolüminessensiyanın spektri ( $^3P_1 \rightarrow ^1S_0$  keçidi) və onun həyəcanlanma spektri ( $^1S_0 \rightarrow ^1P_1$  keçidi) [6]; b) SrB<sub>4</sub>O<sub>7</sub>:Bi<sup>2+</sup> üçün “qırmızı” fotolüminessensiyanın spektri və onun həyəcanlanma spektri [7].



Üçvalentli sürmə  $5s_2$  elektron konfigurasiyasına malikdir və  $Bi^{3+}$  kimi, civəkimilər ailəsinə aiddir. Bununla belə,  $Sb^{3+}$ -un lüminessensiyası  $Bi^{3+}$ -dan daha az tədqiq edilmişdir [8]. Nümunə üçün [9-13] işlərinə istinad etmək olar. Bu nəşrlərin mətnlərindən aydın olur ki, müşahidə olunan 370nm və 375 nm lüminessensiya zolaqları  $Sb^{3+}$  ionları ilə əlaqəlidir və  $^3P_1 \rightarrow ^1S_0$  keçidinə uyğun gəlir.  $Sb^{3+}$  ionları həmçinin, onların oksigen ionları ilə əhatə konsentrasiyası ilə əlaqəli olan 240nm  $Sb^{3+}$ (I) və 280 nm  $Sb^{3+}$ (II) lüminessensiya zolaqlarının yaranmasına cavabdehirlər. Bununla belə, oksigen ionlarının konsentrasiyası  $Sb^{3+}$ (II) əhatəsində  $Sb^{3+}$ (I) –dən çoxdur. UB şüalanma zamanı  $Sb^{3+}$  və  $Ce^{3+}$  ion-

larının bir hissəsi müvafiq olaraq, beş və dördvalentli vəziyyətə keçərək elektronlarını şüşəyə verir. Sərbəst elektronlar əsasən, beşvalentli sürmə tərəfindən ( $Sb^{5+}$ ) əmələ gətirməklə həmçinin, şüşə torunun defektləri tərəfindən tutulurlar. Bir saat müddətində  $t = 450^\circ C$  temperatur tablanması şüşənin həyəcanlanma spektrinə, (təqribən ilkin vəziyyətə) səbəb olur və bunun nəticəsində  $Sb^{5+}$  ionları tablama zamanı şüşəyə tutulmuş elektron verir. Bu zaman sərbəst qalmış elektronlar beşvalentli sürmənin və dördvalentli seriumun ionlarının bir hissəsini üçvalentli vəziyyətə çevirirlər. Bu tədqiqatlar  $Sb^{3+}$  və  $Bi^{3+}$  arasında davranış oxşarlığını göstərdilər. Lüminessensiya temperaturdan, həyəcan-

lanmanın dalğa uzunluğundan və s. güclü asılılığı nümayiş etdirir. Bütün hallarda optik xassələrə  $s_2$  tək cütün stereokimyəvi aktivliyi (koordinasiya çoxüzlüsünün asimetriya dərəcəsi ilə və onlarla əlaqəli Yan-Teller effektləri ilə) təsir edir.

Qeyd edək ki, xarici oxşarlıqlar ilə bərabər  $Sb^{3+}$  və  $Bi^{3+}$  nəzərə çarpacaq fərqlərə malikdirlər:  $Sb^{3+}$  daha kiçik ion radiusuna malikdir və koordinasiya sayı altıdan artıqdır. Bu, böyük kristal mərkəzlərdə  $Sb^{3+}$ -un həddən artıq nəzərə çarpacaq yerdəyişməsinin mövcudluğunu ehtimal etməyə imkan verir və mahiyyətcə  $Bi^{3+}$  şüalanmasına nisbətən  $Sb^{3+}$  şüalanmasının böyük axın irəliləməsini və Yan-Teller effektinə həssaslığı izah edir [14-15].

Aşağı temperaturlarda belə parlamaya səbəb olan antimonat dəstəsi yaratmaq üçün kiçik bir  $Sb^{3+}$  ionu, sahib-qəfəsdə olan keçid metal kationlarını da əvəz edə bilər.

$Bi^{3+}$  üçün bu aşqarlanma imkanı bu ionun daha böyük ölçüyə malik olması ilə istisna olunmuşdur və müvafiq olaraq,  $Sb^{3+}$  ilə aktivləşdirilmiş birləşmələrin parlama prosesi interpretasiya üçün  $Bi^{3+}$ -da olan prosedən daha mürəkkəb olacaq.

$Sb^{3+}$  ilə aktivləşdirilmiş lüminoforlar arasında  $Sb^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$  halogenfosfat  $Ca_{10}(PO_4)_6(F, Cl)$  ən məşhurdur. Belə parlaq parlama səbəbindən onilliklər boyu ondan lampalarda sənaye lüminoforu kimi istifadə olunmuşdur. Göstərilmişdir ki,  $Sb^{3+}$  göy şüalanmaya cavabdehdir [16].

Bu fosfatda  $Sb^{3+}$  axın irəliləməsi  $19000\text{sm}^{-1}$ -ə çatır və bu da adətən aşağı temperaturlarda əldə olunur [17]. Qeyd edək ki,  $Sb^{3+}$  bu materialda otaq temperaturu şəraitində hansı səbəbdən bu qədər parlaq parlama nümayiş etdirməsinə hələ də aydınlıq gətirilməmişdir [18].

$SrMoO_4$  və  $CaMoO_4$  molibdatlarını tərkibindəki keçirici metalın özündə səkkizvalentli və tetraedrik əlaqəni əks etdirən birləşmələrə nümunə kimi göstərmək mümkündür. Aşqarlanmamış  $CaMoO_4$  260 nm həyəcanlanma zamanı 534nm şüalanma və 320 nm həyəcanlanma zamanı 546nm şüalanma nümayiş etdirir [19].

Aşqarlanmamış  $SrMoO_4$  288nm həyəcanlanma zamanı 429nm şüalanma piki nümayiş etdirir. Hər iki birləşmə  $Sb^{3+}$  ilə aşqarlandıqda 450nm-dən 750 nm-ə qədər göy, yaşıl və qırmızı oblastı əhatə edən çox geniş şüalanma zolağı özündə əks etdirir.  $SrMoO_4$ -də:  $Sb^{3+}$  300nm həyəcanlanma zamanı şüalanma zolağı  $\approx 560\text{nm}$  maksimuma çatır. 330 nm həyəcanlanma zamanı zolaq  $\approx 620\text{nm}$  maksimuma malik olduğu halda, 360 nm həyəcanlanma zamanı maksimum şüalanma  $\approx 690\text{nm}$ -də mərkəzləşmişdir. Bu təsirlər  $Sb^{3+}$ -ə aid edilir. Həyəcanlanma nəzarət olunan şüalanma  $\approx 620\text{nm}$  dalğa uzunluğu üçün qeydə alınmışdır və 360nm qol və  $\approx 310\text{nm}$  maksimum ilə dublet struktur nümayiş etdirmişdir. Eynilə belə bir davranış həyəcanlanma zolağı dublet və ya triplet struktura malik olan,  $ScBO_3$  və  $LuBO_3$ -də kristallik sahədə  $^3P_1$  səviyyəsinin bölünməsi və Yan-Teller effekti ilə baş verən  $Sb^{3+}$  ilə aşqarlanmış digər birləşmələrdə də müşahidə olunmuşdur (məsələn,  $M = Sc, Y, La$  və sirkon quruluşlu fosfatda  $MPO_4$  c  $M=Sc, Lu, Y$  olan  $CaS, MgS, Cs_2NaMC_{16}$  elpasolitlərində) [20-22].

$BaCaMoO_4$ :  $Sb^{3+}$  şüalanma  $\approx 580\text{nm}$ -də maksimaldır. Həyəcanlanma  $\approx 625\text{nm}$ -də ölçülmüşdür və  $\approx 315\text{nm}$ -də maksimumu olan zolaq göstərmişdir.  $Bi^{3+}$  ilə aşqarlandıqda birləşmə 320 nm həyəcanlanma zamanı 586 nm-də sarı emissiya göstərir [23]. Bu isə o deməkdir ki,  $Sb^{3+}$ -in emissiyası  $CaMoO_4$ -də kiçik qırmızı və böyük axın irəliləməsi olan  $Bi^{3+}$  emissiyası ilə analojidir.

- [1] I.A. Bufetov and E.M. Dianov. Laser Physics Letters, 2009, vol. 6, issue 7, p.487–504.
- [2] B. Lenoir, M. Cassart, J. P. Michenaud, H. Scherrer and S. Scherrer. J. Phys. Chem. Solids, 1996, 57, 89.
- [3] H.J. Murphy, K.T. Stevens, N.Y. Garces, M. Moldovan, N.C. Giles, L.E. Halliburton. Radiation Effects and Defects in Solids. 1999, vol.149, issue 1-4, p.273.
- [4] V.P. Dotsenko, N.P. Efryushina, İ.V. Berezovskaya. Luminescence properties of  $GaBO_3: Bi^{3+}$ , Materials Letters, 1996, vol. 28, issue 4-6, p.517.
- [5] R.K. Datta. J. Electrochem. Soc., 1967, vol.114, issue 10, p.1057
- [6] H.Ch. Jung, J.Y. Park, Seeta Rama Raju G., J.H. Jeong, B.K. Moon. New Physics: Sae Mulli (The Korean Physical Society), 2011, vol. 61, issue 4, p. 439.
- [7] M. Peng and L. Wondraczek. J. Am. Ceram. Soc., 2010, vol. 93, issue 5, p.1437.
- [8] Mariam. AMER, Using Semi-Empirical Models For Predicting The Luminescence – Structure Relationships in Near-UV Excited Phosphors Activated with Divalent Europium or Mercury-like Cation, Doctor/Thesis, Université Clermont-Auvergne, 2017. (English)
- [9] L. Chen, A.Q. Luo, Y. Zhang, X.H. Chen, H. Liu, Y. Jiang, S.F. Chen, K.J. Chen, H.C. Kuo, Y. Tao, G.B. Zhang. The site-selective excitation and the dynamical electron–lattice interaction on the luminescence of  $YBO_3: Sb^{3+}$ . Journal of Solid-State Chemistry, 2013, vol. 201, pp. 229–236.
- [10] 10.1016/j.jssc.2013.02.034; S.E. Paje, M.A. Garcia, M.A. Villegas, J. Llopis. Journal of Non-Crystalline Solids, 2000, vol. 278, pp. 128–136.
- [11] 10.1016/S0022 – 3093 (00) 00332 - X; E.W.J.L. Oomen, W.M.A. Smit, G. Blasse. Jahn-Teller effect in the emission and excitation spectra of the  $Sb^{3+}$  ion in  $LPO_4$  ( $L = Sc, Ln, Y$ ). Physical Review B, 1988, vol. 37, no. 1, pp. 18–26.
- [12] 10.1103/PhysRevB.37.18; H. Masai, S. Matsumoto, T. Fujiwara, Y. Tokuda, T. Yoko. Journal of American Ceramic Society, 2012, vol. 95, no. 3, pp. 862–865.

- [13] 10.1111/j.1551-2916.2011. 05055.x; *A.M. Клыкова, А.И. Сидорова, Т.А. Шахвердова. Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics, 2014, № 3 (91).*
- [14] *E.W.J.L. Oomen, W.M.A. Smit and G. Blasse. Luminescence Of The Sb<sup>3+</sup> Ion In Calcium Fluoroapatite and Other Phosphates. Materials Chemistry and Physics , 1988, vol. 19, pp. 357-368.*
- [15] *X. Wang, K. Kunc, I. Loa, U. Schwarz and K. Syassen. Physical Review B, vol. 74, Issue 13, id. 134305.*
- [16] *G. Blasse. Chemical Physics Letters, 1983, vol. 104, pp. 160-162.*
- [17] *D.L. Dexter, C.C. Klick, and G.A. Russell. 1955, Physical Reviews, vol. 100, pp. 603-605.*
- [18] *G. Blasse. Classical phosphors: A Pandora's box. Journal of Luminescence, 1997, vol. 72-74, pp. 129-134.*
- [19] *F. Kang, M. Peng, S. Xu, Z. Ma, G. Dong, and J. Qiu. Broadly. European Journal of Inorganic Chemistry, 2014, pp. 1373-1380.*
- [20] *E.W.J.L. Oomen, W.M.A. Smit and G. Blasse. 1984, Chemical Physics Letters, vol. 112, pp. 547-550.*
- [21] *E.W.J.L. Oomen, L.C.G. Van Gorkom, W.M.A. Smit and G. Blasse. Journal of Solid-State Chemistry, 1986, vol. 65, pp. 156-167.*
- [22] *H. Donker, N. Yamashita, W.M.A. Smit and G. Blasse. Phys. Stat. Solidi, 1989, vol. 156, pp.537-544*
- [23] *F. Kang, M. Peng, S. Xu, Z. Ma, G. Dong, and J. Qiu. Broadly. European Journal of Inorganic Chemistry, 2014, pp. 1373-1380.*

**Kh.A. Gasanova**

**ABSORPTION AND LUMINESCENCE SPECTRA IN Bi<sub>0.97</sub>Sb<sub>0.03</sub>**

The luminescence spectra of the synthesized Bi<sub>0.97</sub>Sb<sub>0.03</sub> solid solution were investigated on a LS-55 spectrometer with a Monk-Giddison monochromator at room temperature in the wavelength range of 300-700 nm. Spectrum analysis was carried out on Lorens-Gauss distribution.

Studies have shown that most bismuth crystalline environments are characteristic of the broad (50-80 nm) luminescence (blue ( $\tau \approx 1-2 \mu\text{sec}$ ) and red ( $\tau \approx 5-12 \mu\text{sec}$ ) luminescence zones (with luminescence duration). Wide luminescence and absorption strands are observed in the monocrystals, which is in turn correlated with the electron-phonon interaction of the optical center, which is not unique to rare earth ions (where the optical electrons are shielded from the outer region of the ligands).

**X. A. Гасанова**

**СПЕКТРЫ ПОГЛОЩЕНИЯ И ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В Bi<sub>0.97</sub>Sb<sub>0.03</sub>**

Спектры фотолюминесценции синтезированных твердых растворов Bi<sub>0.97</sub>Sb<sub>0.03</sub> исследовались на спектрометре LS-55 (Perkin-Elmer) с монохроматором Монка-Гиддисона при комнатной температуре в диапазоне длин волн 300-700нм. Проводился спектральный анализ по распределению Лоренса-Гаусса.

Исследования, проведенные к настоящему времени, показали, что большинству кристаллических сред, содержащих висмут, присущи широкие (50-80 нм) полосы (синей (со временем жизни люминесценции  $\tau \approx 1-2 \text{ мкс}$ ) и красной ( $\tau \approx 5-12 \text{ мкс}$ )) люминесценции. Даже в случае монокристаллов с висмутом наблюдались широкие полосы поглощения и люминесценции, что связывалось с электрон-фонным взаимодействием оптического центра, не свойственного редкоземельным ионам, у которых оптические электроны экранируются от внешнего поля лигандов.

*Qəbul olunma tarixi: 19.09.2019*

## CuGaS<sub>2</sub> MONOKRİSTALININ SƏTHİNDƏ YARANAN NANOQURULUŞLARIN ONUN ELEKTRİK VƏ OPTİK XASSƏLƏRİNƏ TƏSİRİ

İ. QASIMOĞLU, Q.S. MEHDİYEV, Z. QƏDİROĞLU, Ə.H. BAĞIROV,  
İ.T. MƏMMƏDOVA, N.H. MAHMUDOVA, İ.T. NƏSİBOV

Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının H.M. Abdullayev adına Fizika İnstitutu

Az1143, Bakı şəhəri, H.Cavid pr.131

E-mail: [gasimoğlu@yahoo.com](mailto:gasimoğlu@yahoo.com)

Təcrübi olaraq CuGaS<sub>2</sub> monokristalının səthi öyrənilmiş və aşağıdakı nəticələr alınmışdır: I - volt-ampere xarakteristikasında rezonans maksimumu; II - buraxma və lüminessensiya spektrlərində intensivliyin kəskin dəyişməsi.

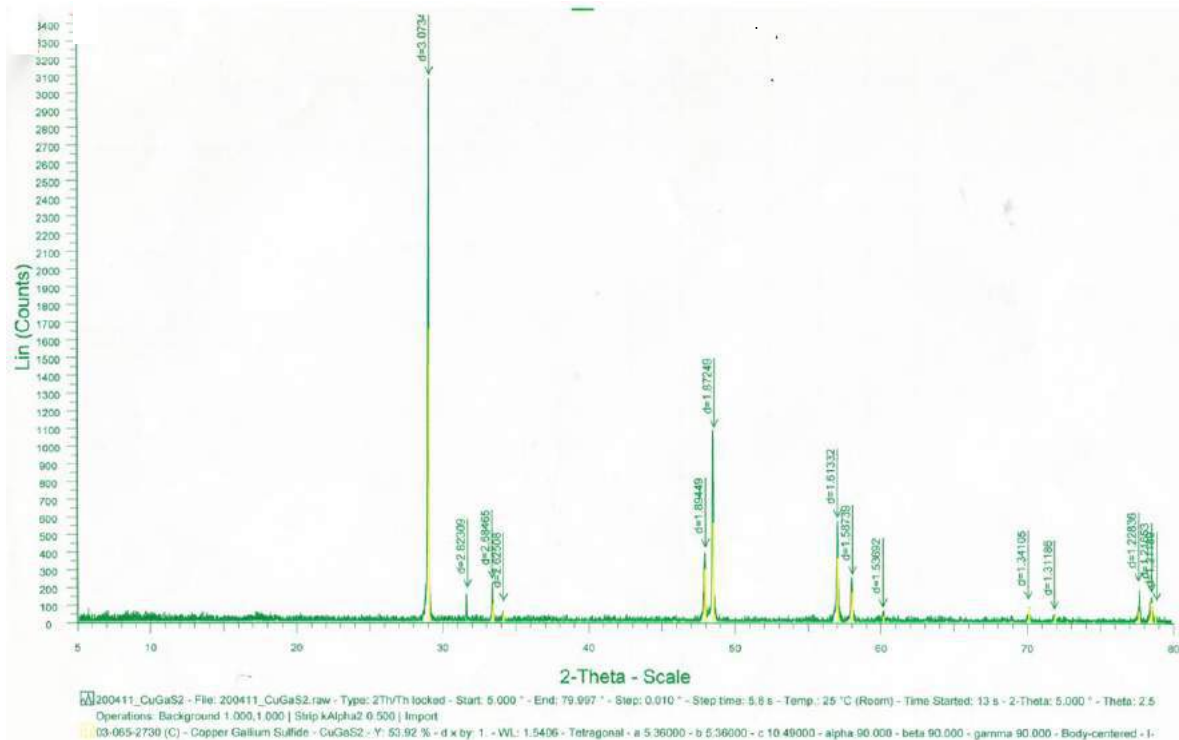
Bu işə müasir nanoelektronikada çoxyaddaşlı sensorların və detektorların hazırlanmasında mühüm şərtlərdən biri sayılır.

**Açar sözlər:** volt-ampere xarakteristikası, buraxma spektri, lüminessensiya, atom güc mikroskopu.

**PACS:** 61.80.Ed

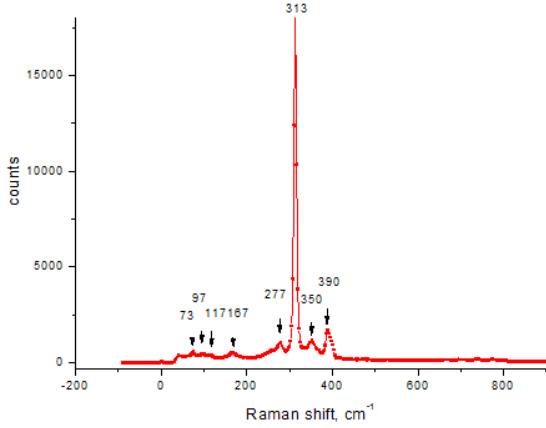
Son illər tədqiqatçılar tərəfindən almazabənzər quruluşlu yarımkeçiricilərə maraq artmışdır [1]. Həmin qrupa daxil olan birləşmələrin bir qismi A<sup>I</sup>B<sup>III</sup>C<sub>2</sub><sup>VI</sup> ümumi formül ilə ifadə olunur, burada A<sup>I</sup>(Cu,Ag), B<sup>III</sup>(Ga,In), C<sup>VI</sup>(S,Se,Te) təmsil edir. Bu tərkibə daxil olan birləşmələrdən biri də CuGaS<sub>2</sub>-dir. A<sup>II</sup>B<sup>VI</sup> birləşmələrindən olan ZnS-in üçqat elektron analogudur. İlk dəfə Xan və əməkdaşları tərəfindən birləşmələrin əksəriyyətinin xalkopirit strukturunda kristallaşdığı aydınlaşdırılmışdır. CuGaS<sub>2</sub> *p*-tip keçiriciliyə malikdir. Düzgün kimyəvi quruluşdan kənara çıxmalar keçiriciliyin tipini dəyişmir. İstisna olaraq birləşmələrin bəziləri həm *p*-tip, həm də *n*-tip ola bilər [2]. Monokristallarda güclü ikiqat sınıma müşahidə olunmuşdur, bu fiziki xassə qeyri xətti optika üçün xüsusi əhəmiyyətə

malikdir. Materialların üstün cəhətlərindən biri də ondan ibarətdir ki, bağlı zonanın daxilində çoxlu sayda energetik səviyyələr mövcuddur. Bunlar passiv və aktiv rekombinasiya mərkəzləridir. Bu birləşmələr düzgün zona quruluşuna malikdir, mütləq ekstremumları Brillüen zonasının  $\Gamma$  nöqtəsində yerləşir. A<sup>I</sup>B<sup>III</sup>C<sub>2</sub><sup>VI</sup> birləşmələrində iki mis atomu iki gallium atomu ilə tetraedr əmələ gətirir, mərkəzdə isə kükürd atomu yerləşir. Birləşmələrin zona quruluşunun ümumi mənzərəsi F.Həşimzadə tərəfindən tədqiq olunmuşdur [3]. CuGaS<sub>2</sub> monokristal xüsusi üsulla sintez olunmuş, sonra isə Bricmen üsulu ilə yetişdirilmişdir. Birləşməyə daxil olan maddələrin təmizlik dərəcəsi aşağıdakı kimidir. Cu-99,999%, Ga-99,9999%, S-99,9999%-dir.



Şəkil 1. CuGaS<sub>2</sub> monokristalının Rentgen şualarının difraksiyası spektri.  $T = 300\text{K}$ . (Diffractometr d8 Advance).

Yuxarı temperatur 1423K, aşağı temperatur 973K olmuşdur. Nümunənin otaq temperaturundakı müqaviməti  $R=40$  Om, ölçüləri  $1 \times 0,5 \times 2$  mm<sup>3</sup> tərtibindədir. Rentgen analizinin nəticələri (şəkil 1) və Raman spektrinin təhlili (şəkil 2) göstərir ki, aldığımız kristalların parametrləri elmi ədəbiyyatda olanlarla uyğunluq təşkil edir. Qəfəs parametrləri belədir:  $a=b=5,36$  Å,  $c=10,49$  Å, fəza simmetriya qrupu (42m)-dir.



Şəkil 2. Monokristal CuGaS<sub>2</sub>. Işığın Raman səpilməsi spektri.

### MÖVZUNUN AKTUALLIĞI.

Xalkopiritlərdə tetraqonal formada kristallaşma, ikitipli fərqli metal atomunun mövcud olması simmetriyanın zəifləməsinə səbəb olur. Bu xüsusiyyət deformasiya hesabına daxili sahənin yaranmasına gətirir. Kristal səthində bir çox mürəkkəb və yeni quruluşlar meydana gəlir. Monoxromatik işığın təsirindən sonra anizotropluğun müşahidə olunması, bir çox yeni mühüm xassələrin aşkara çıxmasına imkan verir. Bunlardan biri, simmetriya mərkəzi olmayan bu tip kristallarda fotovoltaiq effektin, səthdə yaranan nanoquruluşlarla birbaşa əlaqəli olmasıdır. Bu isə tətbiq üçün çox əhəmiyyətlidir [4].

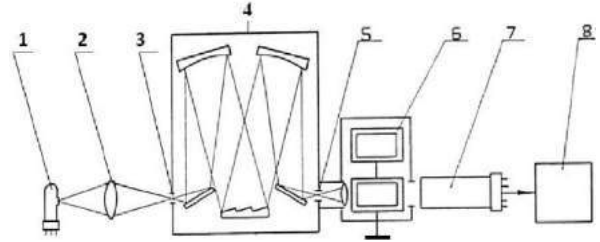
### MƏSƏLƏNİN QOYULUŞU.

CuGaS<sub>2</sub> monokristalının elektrik optik xassələrinin ölçülməsi və səthinin öyrənilməsi, səthdə və daxilə baş verən elektron quruluşu haqqında yeni məlumatların əldə edilməsindən çoxtutumlu yaddaş elementlərinin, sensorların hazırlanmasından, detektorların təkmilləşdirilməsindən günəş elementlərinin hazırlanmasından və yuxarıda sadalananları həyata keçirmək üçün lazım olan fiziki xassələrin araşdırılmasından ibarətdir.

### TƏCRÜBƏNİN APARILMASI:

Elektrik və optik ölçülər aparmaq üçün nümunə xüsusi qutuda yerləşdirilir. Optik xassələri ölçmək üçün istifadə olunan kompleks qurğu aşağıdakı cihazlardan təşkil olunmuşdur. MDR-23, üç güzgü qəfəsdən ibarət olmaqla geniş bir dalğa uzunluğu oblastını əhatə edir. I-güzgü qəfəs (şərti işarəsi-1200), II-güzgü qəfəs (şərti işarəsi-1200), III-güzgü qəfəs (şərti işarəsi-

600). Güclü işıq mənbəyindən düşən şüalar linzalar sistemi vasitəsi ilə nümunənin üzünə yönəldilir. Kristaldan keçən şüalar gücləndiriciyə (İSG) düşür. Oradan detektora, sonda isə Digital Multimeter adlı müasir cihaza daxil olur, sonra siqnal şəklində qeyd olunur. Buraxma spektri əvvəl hər bir dalğa üçün nümunəsiz, sonra isə nümunəli olaraq ölçülür. Kristal üçün  $U$ -nun voltlarla ölçülmüş qiymətlərini, nümunəsiz gücləndiricidə yaranan siqnalın voltlarla ölçülmüş qiymətlərinə bölürük, sonra isə hər bir dalğa üçün aldığımız nisbət qiymətlərini dalğa uzunluğundan asılılığını qururuq. Düstur şəklində belə yazılır -  $F(\lambda)$ . Optik qurğunun sxemi şəkil 3-də göstərilmişdir.



Şəkil 3. Buraxma spektrinin ölçüldüyü optik qurğunun sxemi.

### TƏCRÜBƏDƏN ALINAN NƏTİCƏLƏR.

Qarşıya qoyulan məsələni həll etmək üçün: I - Müasir AGM(atom güc mikroskopu)-dan istifadə olunaraq kristal səthinin təsiri alınmışdır. II - Yeni alınmış kristalın səthi öyrənilmişdir.

Aparılan elektrik və optik araşdırmalar göstərir ki, səthdə yaranan nanoquruluşlar, noqtəvi defektlərdən fərqli olan digər defektlərin quruluş-fəza çevrilməsi hesabına meydana gəlir.

Nəticələri izah etmək üçün iki metodika mövcuddur:

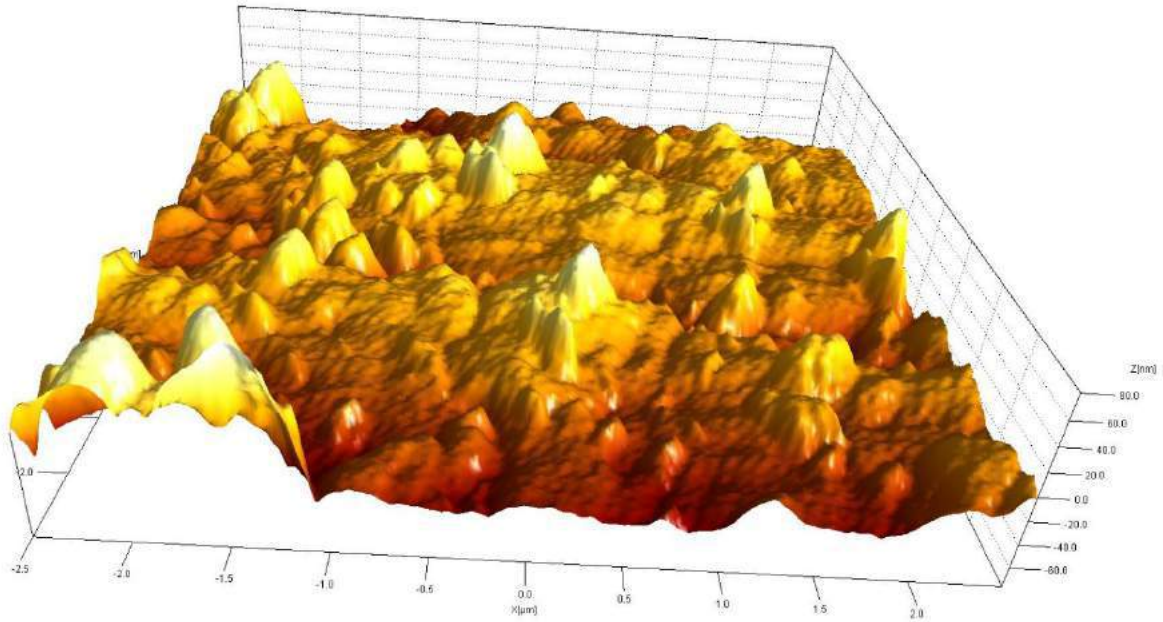
- I - sistemə termodinamik nəzərdən baxılması;
- II - texnoloji yetişdirmə zamanı atomar baxış mexanizmi və kristal səthindəki quruluşu görə.

### ALINAN NƏTİCƏLƏRİN İZAHI:

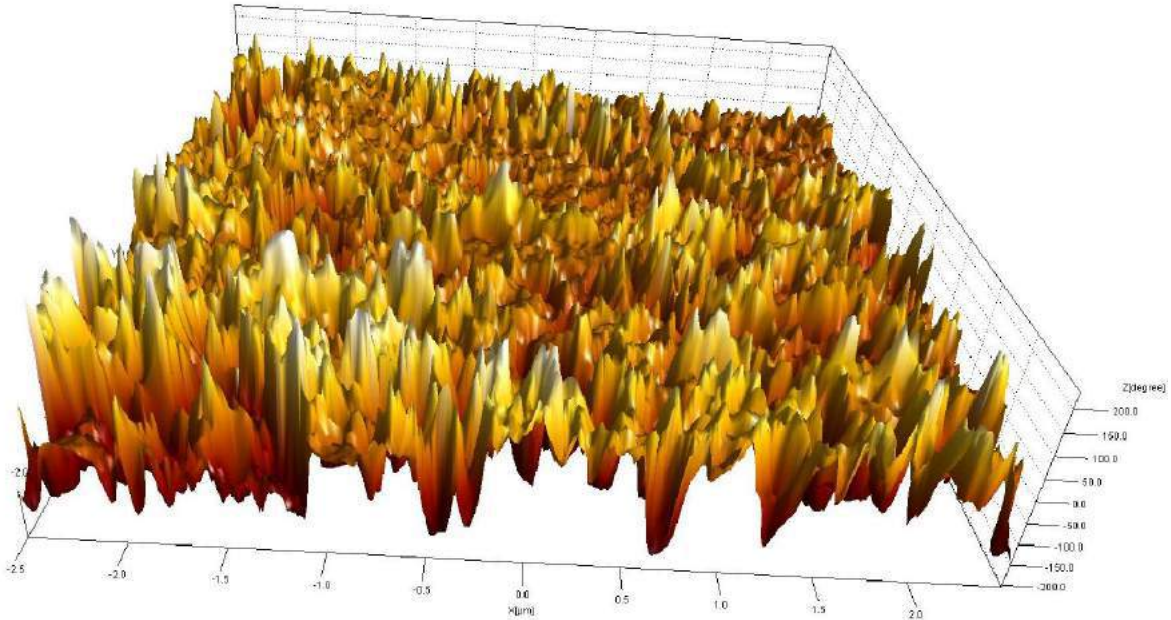
Təqdim olunan işdə II üsula üstünlük verilir, çünki kristal səthində yeni quruluşların əmələ gəlməsi və onların elektrik və optik xassələrə təsirindən söhbət gedir. Birləşmə 1423K temperatürə qədər qızdırılır 2 saat müddətinə soyudulur. Texnoloji olaraq alınma prosesində temperatur qradiyentindən yaranan plastik deformasiyadan nanoquruluşların strukturunun formalaşması üçün fəza keçidləri əmələ gəlir. Sistemin deformasiyaya uğramasını onun hər tərəfdən bərabər sıxılmasına mütənasib götürürlər. Bərabər sıxılma zamanı kristal səthində yükdaşıyıcıların yüüklüyünün artması qanunauyğun sayılır. Kristal soyuyarkən ərinti kristallaşmağa başlayır bu nanoquruluşun yaranmasının birinci fazasıdır və axıcılığın yox olmasını ifadə edir. İkinci faza isə bərk maddənin əmələ gəlməsidir. Bu zaman kristalın səthi enerjisinin ən kiçik qiymətini almağa çalışır. Yaranan nanoada (şəkil 4) və nanoçuxurlar (şəkil 5) bu cür formalaşmağa başlayır. Kristalın optik oxu istiqamətində qüvvələr nisbəti zəif oldu-

ğu üçün maddə kütləsi ox istiqamətində yuxarıya yönəlir və bunu nanoada şəklində müşahidə edirik. Bundan əvvəl çap etdirdiyimiz məqalədə CuAlS<sub>2</sub> monokristalının səthində meydana gələn nanoquruluşlardan danışmışdıq. Cu ( $T=1083^{\circ}\text{C}$ ), Al ( $T=660^{\circ}\text{C}$ ) hər iki metalın ərimə temperaturu yüksək olduğu üçün, termodinamik sabit və dayanıqlı quruluşların əldə olduğunu qeyd etmişdik. CuGaS<sub>2</sub> eyni quruluşa malik maddələr olduğundan, deyilənləri axırıncı maddəyə də aid etmək olar, amma burada bir fərq vardır. Ga metalının ərimə temperaturu aşağıdır ( $T=29,8^{\circ}\text{C}$ ). Bu isə

formalaşma zamanı qüvvələr nisbətinin pozulmasına gətirib çıxarır. Ona görə də, CuGaS<sub>2</sub> kristalında nanoboru deyil nanoçuxur alınmışdır. Bütün bunları nəzərdən keçirdikdə aydın olur ki, biroxlu kristalların səthində nanoquruluşların müxtəlif formada təzahür etməsi birləşmələri təşkil edən maddələrin sıxlığından, ərimə temperaturundan, birdə düzgün seçilmiş temperatur qradientindən asılıdır. Üstifadə olunan kristallar şəqli Bricmen-Stokbarqer üsulu ilə yeni texnologiya tətbiq olunaraq alınmışdır.



Şəkil 4. CuGaS<sub>2</sub> monokristalının səthinin 3D koordinatında çəkilmiş təsviri. Yeni formalaşan nanoada. (AGM-atom güc mikroskopu).



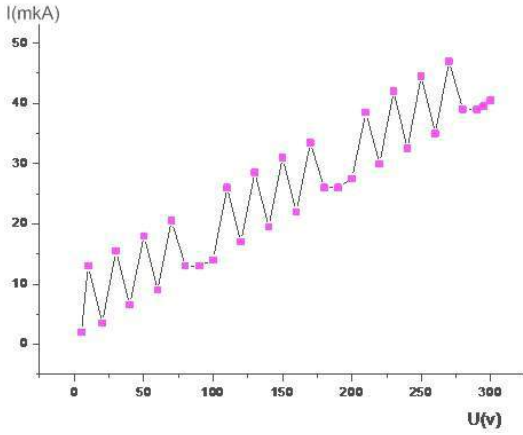
Şəkil 5. CuGaS<sub>2</sub> monokristalının səthinin 3D koordinatında çəkilmiş təsviri. Yeni formalaşan nanoçuxurda. (AGM-atom güc mikroskopu).

Aşqarsız təmiz nümunə stexiometrik ölçülər əsasında yetişdirilmək üçün, ampulaya doldurulmuşdur. Birləşmə ərimə temperaturuna çatdıqdan sonra, qəfil soyudulur və ölçmələr aparmaq üçün hazır vəziyyətə

gətirilir. Səthdə baş verən proseslər AGM (atom güc mikroskopunda) araşdırılır. Araşdırmalardan aydın olmuşdur ki, səth effektləri elektrik və optik xassələrə kəskin şəkildə təsir edir. [5]. Bunları təcrübi olaraq sü-

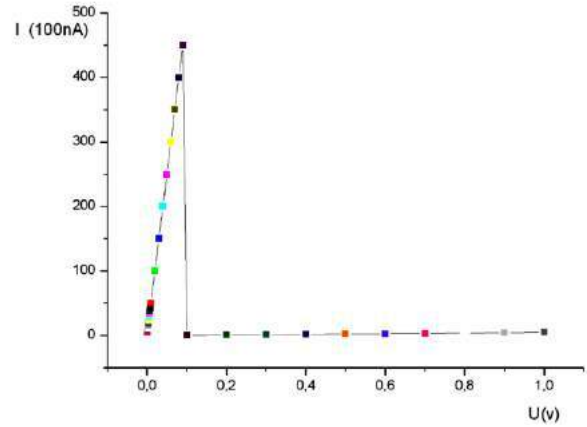


but etmək üçün CuGaS<sub>2</sub> monokristalının elektrik və optik xassələri ölçülmüşdür və müəyyən nəticələr əldə olunmuşdur. Yeni texnologiya ilə yarımkeçiricilərin yetişdirilməsi ona görə əhəmiyyətlidir ki, səthin məsələli olması yeni xassələrin meydana gəlməsinə səbəb olur. Bu tip texnologiyalarla yetişdirilən maddələrin zona quruluşuna deformasiya təsir etmiş olur. Deformasiyaların kristal səthindəki nanoquruluşlara təsiri isə onların morfoloqiyasının dəyişməsinə səbəb olur, bu isə muasir nanoelektronikanın əsası deməkdir. Alınanları dəqiqləşdirmək üçün CuGaS<sub>2</sub> monokristalının volt-ampere xarakteristikası tərəfimizdən ölçülmüşdür. Alınan spektrin təhlili göstərmişdir ki, yönəldici sahənin kiçik qiymətində intensivliyin kəskin artmasını müşahidə edirik. Şəkildə görünən rezonans pikinin yaranmasına səbəb isə verilən yönəldici sahənin hesabına yükdaşıyıcıların müəyyən bir istiqamətdə hərəkət etməsidir. Xarici sahənin təsirindən yaranan pyczoefekt səthdəki nanoquruluşların dartılmasına və genişlənməsinə səbəb olur, bu isə özünü volt-ampere xarakteristikasında döyünən rəqslər şəklində biruzə verir (şəkil 6).

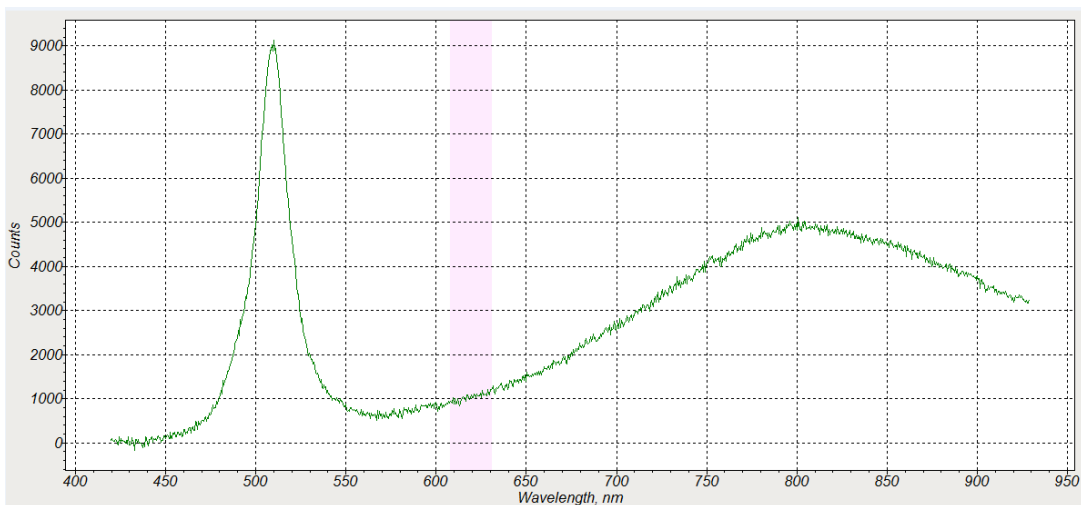


Şəkil 6. CuGaS<sub>2</sub> monokristalı: Yönəldici sahə hesabına kristal səthində yaranan periodik döyünən cərəyan.

Bu rəqslər bəzən periodik, bəzən isə qeyri periodik olur. Periodikliyi biz əsasən yönəldici sahənin böyük intervala malik olan qiymətlərində müşahidə edirik (0-300V), kiçik intervalda isə (0,05V) rezonans müşahidə edirik. Bu, nanoquruluşların morfoloqiyasının kiçik yönəldici sahələrin hesabına daha kəskin dəyişməsinə bir daha təsdiqləyir (şəkil 7). Təcrübələrimizə əsaslanaraq deyə bilərik ki, alınan rezonans maksimumu kristal səthindəki nanoquruluşların hesabına voltaik effektin meydana gəlməsidir. Xarici təsirlər hesabına, nanoquruluşların özlərini membran (Lifşis membranı) kimi aparması, nanoquruluşların morfoloqiyasının dəyişməsi ilə əlaqədardır. Lokal səviyələrdə baş verənləri aydınlaşdırmaq üçün AGM-nun (atom güc mikroskopu) tətbiq olunması yeni quruluşların nanoelektronikadakı rolunu gücləndirmiş olur. Bu tip nanoquruluşların biroxlı kristallardakı rolunun əhəmiyyəti ondan ibarətdir ki, optik ox istiqamətində düzülmiş kvant çuxurlara ötürücü sistem kimi baxdıqda xarici sahənin hesabına hündürlüklərin bərabərləşməsi, tunel keçidinin baş verməsi və cərəyanın kəskin artması müşahidə olunur [8].

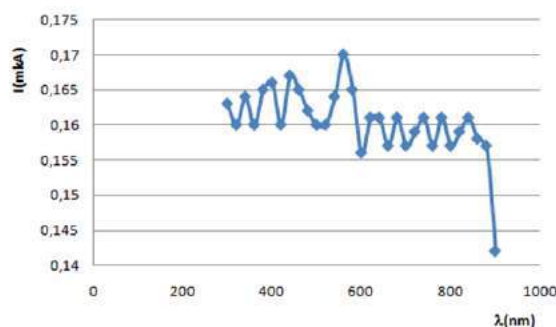


Şəkil 7. Monokristal CuGaS<sub>2</sub>. Səthdə kiçik yönəldici sahə (0,05V) hesabına yaranan rezonans maksimumu.



Şəkil 8. CuGaS<sub>2</sub> monokristalının lüminessensiya spektri.  $E_1= 2,4\text{eV}$ ,  $E_2=1,55\text{eV}$ .

Şəkil 8-də lüminessensiya əyrisində kristal səthindəki nanoquruluşların yaratdığı lokal mərkəzlərin hesabına maksimumun yerdəyişməsi verilmişdir. Mərkəzlərin yaranması kristal səthində olan anizotropluğu hesabına meydana gəlir. Bu isə elektron-deşik cütü ilə defektin birləşməsindən yaranır. F-mərkəzlər, adətən, akseptor tipli olur. Biz, əslində bu təcrübələr vasitəsi ilə yeni quruluşlarda yükdaşıma mexanizmlərinin necə olduğunu aydınlaşdırmış oluruq. Yəni, monokristallardan fərqli olaraq onların səthində yaranan nanoquruluşların xassələri kəskin fərqlənir. volt-ampere xarakteristikasındakı maksimuma struktur dəyişməsi, və ya tünel keçidinin təzahürü kimi baxmaq olar. İkiqat sınıma haqqında məlumat əldə etmək üçün isə buraxma spektrini təhlil etməliyik (şəkil 9). İkiqat sınımanın nanoquruluşların səthdə yaratdığı anizotropluqdan meydana gəldiyi məlumdur. Buraxma spektrindəki faza keçidinin müşahidə olunması, volt-ampere xarakteristikasında müşahidə etdiyimiz rezonans piki və döyünən cərəyanın periodikliyi kimi, burada da səthdəki nanoquruluşların müxtəlif formaya malik olmasından irəli gəlməsini iddia etməyə imkan verir. Bu müxtəliflik isə polyarizasiyanın səthin müxtəlif hissələrində müxtəlif qiymətə malik olması hesabınadır.



Şəkil 9. Monokristal CuGaS<sub>2</sub>. Buraxma spektri.

## YEKUN NƏTİCƏ:

Üçqat birləşmələrin səthinin tədqiqatı göstərir ki, nanotexnologiya üçün, ikiqat analoqlarından fərqli olaraq, bu obyektlər səmərəlidir. Çünki, səthin anizotropluğundan yaranan ikiqat sınımanın olması, qararıqda cərəyanın, müqavimətin qiymətinin kiçik olması simmetriya mərkəzinin olmaması birləşmələrin üstün cəhəti sayılır. Bununla da, biz xalkopiritlərin təbii üçün böyük imkanlara malik olduğunu görürük.

- [1] W.H. Koschel, F. Sorger and J. Baars. J. de Physique, n. 9, t. 36, Sertembre, 1975, p. C3-177.
- [2] G.D.Boyd, H.Mc.Kasper. JhMcFee Quantum Electronics, IEEE Journal, 1971, 7(12), p563-573.
- [3] Ф.М. Гашишзаде. ФТТ, 1963, 5, 1199; А.А.Вайнолин, Ф.М. Гашишзаде, Н.А. Горюнова, Ф.П. Касаманлы, Д.Н. Наследов, Э.О. Османов, Ю.В. Рудь. Изв. АНССР, сер. Физ., 1964, т. 28, ст. 1085.
- [4] Л.А. Головань, В.Ю. Тимощенко, П.К. Кашикарров. УФН, 2007, том 177, н. 6, ст.619-638.
- [5] В.Е. Панин, В.Е. Егорушкин. Физическая мезомеханика, 2009, 12, 4, ст. 7-26.
- [6] А.П. Бахтинов, В.Н. Водоньянов, З.Д. Ковалюк, В.В. Нетьяга, Д.Ю. Конаплянко. ФТП, 2011, том 45, вып. 3, ст. 348-359.
- [7] İ. Qasimoğlu, Q.S. Mehdiyev, Z. Qədiroğlu, Ə.M. Ələsgərov, İ.O. Məmmədov, N.V. Mahmudova. AJP Fizika 2017, Volume XXIII, N2, Section Az, s.10-14.
- [8] G.C. Bhar and R.C. Simith. Phys. Stat. Sol. (a), 1972. 13, 157. p.157-167.
- [9] J.L.Shay and B.Tel and H.M. Kasper. Ap. Phys. Let. , 1971, vol. 19, n. 9, 1 november 1971, p. 366-368.
- [10] L. Roa, P. Grima, J. Gonzalez, J.C. Chervin, J.P. Itie, A. Chevy. Cryst. Res. Technol., 1996, vol. 31, p. 49-52.
- [11] J.C. Rife, R.N. Dexter, P.M. Bridenbaugh, B.W.Veal. Phys.Rev., 1977, vol. 6, N10, 15 November, p. 4491-4500.
- [12] Л.И. Бергер, Ф.Э. Балневская. Неорганические материалы. 1966, том. III, N8, стр. 1514-1515.
- [13] С.Т. Hüseynov, T.Q. Qasimov, Azərbaycan EA Xəbərləri, Fizika-texnika və riyaziyyat elmləri seriyası, 1976, N6, s.105-107.
- [14] Н.Г. Басов. Комбинационное рассеяние света и динамика кристаллической решетки. М.1982, .223с.
- [15] С.А. Медведева. Физика и Химия соединений А<sup>2</sup>В<sup>6</sup>. 1970, 624 с.
- [16] С.И. Радауцан. Тройные полупроводники А<sup>2</sup>В<sup>4</sup>С<sup>25</sup> и А<sup>2</sup>В<sup>23</sup>С<sup>46</sup>. Кишинев, 1972, 259 с.
- [17] Ю.А. Валова. Полупроводники А<sup>2</sup>В<sup>4</sup>С<sup>5</sup>. Н.А.Горюнова, М.1974, 373 с.
- [18] В.В. Соболев. Зоны и Экситоны соединений группы А<sup>2</sup>В<sup>6</sup>. Кишинев 1980, 253 с.
- [19] Yuan deng, Chang-Wei Cui, Ni-La Zhang, Tian-Hao Ji, Qing-lin Yang, Lin Cuo. Solid State Communications, 2006, 138, p. 111-113.
- [20] А.И. Димитриев. ЖТФ, 2012, т. 82, вып. 8, ст. 114-118.
- [21] В.И. Козловский, В.С. Кривобок, П.И. Кузнецов, С.Н.Николаев, Е.Е.Онищенко, А.А.Пручкина, А.Г. Тимирязев, С.И. Ченцов. ФТП, 2016, том 50, вып1, ст.9-17.
- [22] Н.Н. Новикова, В.А. Яковлев, И.В. Кучеренко. Писма в ЖЭТФ, том 102, вып. 4, с.253-256.
- [23] В.Н. Катеринчук, З.Р. Кудринский. ФТП, 2013, том 47, вып. 3 с.320-323.
- [24] J.L. Say, B. Tell, H.M. Kasper and I.M.Schiavone. Compounds. Physical Review, 1972, B, vol. 5, N12, 15 June, p.5003-5005.
- [25] В.П. Жузе, В.М. Сергеева и Е.Л. Штурм. ЖТФ, 1958, том XXVIII, в.10,с. 2094-2108.
- [26] W.H.Koschel, F.Sorger and J.Baars. Journal de Physique. 1975, t. 36, Septembre, p. C3-177 -181.

- [27] *P.B.Поль.* Оптика и атомная физика, 1966, 552 с. [29] *М. Косевич.* Основы механики кристаллической решетки. М.1964.
- [28] *İ. Qasimoğlu.* AJP Fizika, 2014, vol. XX, N 3 Section: Az, s. 25-27. [30] *А.Л. Бучаченко.* УФН. 2014, том 184. N1, с. 101-108.

**I. Gasimoglu, G.S. Mehdiyev, Z. Gadiroglu, A.G. Bagirov, I.T. Mamedova,  
N.G. Makhmudova, I.T. Nasibov**

**THE INFLUENCE OF NANO-STRUCTURES FORMING ON CuGaS<sub>2</sub> SINGLE CRYSTAL PLANE ON ITS ELECTRIC AND OPTICAL PROPERTIES**

The planes of CuGaS<sub>2</sub> single crystals are experimentally investigated. The following I and II are found:

I - The resonance peak in volt-ampere characteristic.

II - The strong intensity changes in transmission and luminescence spectra.

This is the important condition in formation of sensors and detectors in modern nanoelectronics with big memory spaces.

**И. Гасымоглу, Г.С. Мехтиев, З. Гадироглу, А.Г. Багиров, И.Т. Мамедова,  
Н.Г. Махмудова, И.Т. Насибов**

**ВЛИЯНИЕ НАНОСТРУКТУР, ОБРАЗУЮЩИХСЯ НА ПЛОСКОСТИ  
МОНОКРИСТАЛЛА CuGaS<sub>2</sub>, НА ЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА**

Экспериментально исследованы плоскости монокристаллов CuGaS<sub>2</sub> и определены:

I - резонансный максимум в вольт-амперной характеристике.

II – резкие изменения интенсивности в спектрах пропускания и люминесценции.

Это является важным условием в создании сенсоров и детекторов в современной нанoeлектронике с большими объемами памяти.

*Qəbul olunma tarixi: 26.09.2019*

## ZnO-POLİMER ƏSASLI KOMPOZİT VARİSTORLARIN OPTİMAL SİNTEZ ÜSULUNUN VƏ MEXANİKİ XASSƏLƏRİNİN TƏYİNİ

Ş.M. ƏHƏDZADƏ

*Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının H.M.Abdullayev adına Fizika İnstitutu*

*AZ-1143, Bakı, H. Cavid prospekti. 33,*

*e-mail: [ahadzade79@mail.ru](mailto:ahadzade79@mail.ru)*

Məqalədə polimer əsaslı kompozit varistorların hazırlanması üçün optimal olan presləmə üsulu təyin edilmiş və ZnO+PE əsaslı kompozit varistorların mexaniki yaşama müddətinin onun mexaniki möhkəmliyindən və kompozitlərin mexaniki möhkəmliyinin doldurucunun həcmi faizindən asılılıqları öyrənilmişdir.

**Açar sözlər :** kompozit varistorlar, isti presləmə, mexaniki möhkəmlik, yaşama müddəti, ərimə temperaturu, təzyiq.

**UOT:** 621.315.61

### GİRİŞ.

Məlumdur ki, qeyri-xətti keçiriciliyə malik olduğu üçün polyar və qeyri-polyar polimerlər və keramika əsaslı kompozit materiallar energetika sahəsi üçün mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Belə materialların tətbiqi ilə yüksək gərginlik xətlərində və yarımstansiyalarda sıçrayışla arta bilən zərərli gərginlik dalğalarının zəifləməsi təmin olunur [8]. Qeyd etmək lazımdır ki, müasir elektrotexnikada əsasən simmetrik volt-ampere xarakteristikasına malik SiC və ZnO materiallarından istifadə olunur. Əgər belə elementi mühafizə etdiyimiz aparata, məsələn transformatora paralel bağlasaq, onda sıçrayışla arta bilən dalğalar zəifləyir və aparat yüksək keçid gərginliklərini hiss etmir. Bütün bu xüsusiyyətləri nəzərə alaraq elektrotexnika sahəsində ZnO və polimer yarımkeçirici kompozit varistorlarından geniş istifadə olunur.

Bu cür kompozit materialların hazırlanması zamanı texnoloji rejimlərin düzgün seçilməsi əsas məsələlərdən biridir.

Polimer əsaslı kompozit varistorların alınması üçün əsasən aşağıdakı texnoloji metodlardan istifadə olunur:

- isti presləmə;
- ekstruziya;
- kalandırlama;
- məhluldan çökdürmə [1].

Göstərilən metodların tətbiqi son nəticədə kompozitə qoyulan tələbdən asılıdır [3, 4]. Polimer əsaslı kompozit materialların hazırlanması üçün texnoloji üsula aşağıdakı tələblər qoyulur:

- 1) kompozit məsaməli olmalıdır;
- 2) polimer və varistor fazaların nümunədə paylanması bircins olmalıdır;
- 3) alınma prosesinin mərhələləri mümkün qədər az və qısa müddət ərzində olmalıdır;
- 4) kompozitlərin qalınlıqları eyni olmalıdır;
- 5) kompozitlərin alınması ekspress olmalıdır;
- 6) eyni şəraitdə alınmış nümunələrin elektrofiziki, fiziki-mexaniki xassələrinin təkrarlılığı təmin olunmalıdır.

İsti presləmə metodundan başqa digər metodlar göstərilən tələbləri tam ödəmir. Məsələn, kompozit varistorlar üçün çox vacib olan məsaməsiz nümunələri

məhlulda çökdürməklə almaq mümkün deyil. Ekstruziya və kalandırlama metodları ilə kompozitlərin alınması zamanı polimer qeyri-üzvi fazanın (ZnO) həcmi faizini yalnız 25-35% götürmək olar: kimyəvi metodla kompozitlərin alınması isə kompozitlərin tərkibində kiçik molekullu birləşmələrin yaranmasına səbəb olur. Ona görə də, işimizdə əsasən isti presləmə metodu ilə kompozitlərin alınması nəzərdə tutulmuşdur. İsti presləmə metodu, məlum olduğu kimi, polimer kompozitlərin təzyiq və temperaturunun birgə təsiri şəraitində kristallaşmasıdır.

İsti presləmə ekspress metodudur, optimal rejimlərin müxtəlif kompozitlər üçün tez seçilməsinə imkan verir. İsti presləmə metodu ilə kompozit varistorların sıxlığını tətbiq edilən təzyiqin hesabına artırmaq olar. İsti presləmə rejiminin parametrləri presləmə təzyiqi ( $P_{pr}$ ), presləmə temperaturu ( $T_{pr}$ ) və presləmə müddətidir ( $\tau_{pr}$ ). Kompozit varistorların presləmə temperaturu əsasən matrisa kimi götürdüyümüz polimerin ərimə temperaturuna yaxın olduğu üçün, varistor fazası olan keramikalarda struktur dəyişiklikləri baş verə bilməz.

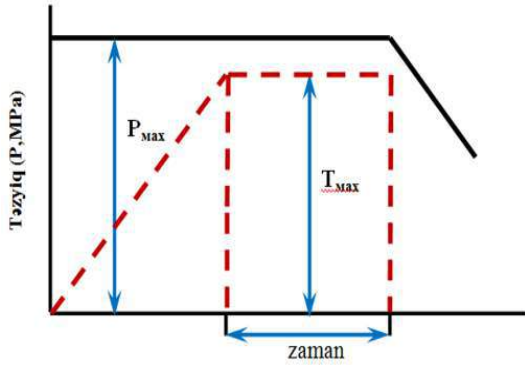
Beləliklə, həm ədəbiyyat, həm də bizim nəticələrimiz göstərir ki, isti presləmə metodu kompozit varistorlar üçün optimal parametrlərin alınmasını və onların məqsədəuyğun şəkildə variasiyasını təmin edir.

İsti presləmə metodu kompozit varistorların tətbiq sahələrini artırır, məsələn, isti presləmə metodu ilə qalınlığı müxtəlif olan nümunələrin alınması kompozit varistorlar əsasında işləyən yüksək gərginlik aparatlarında keçid gərginliklərini məhdudlaşdıran elementlər hazırlana bilər.

İşdə qarşıya qoyulan məqsəd, daha optimal metod olan isti presləmə üsulundan istifadə etməklə, polimer əsaslı kompozit varistorların hazırlanması və alınmış nümunələrin mexaniki xassələrinin təyin edilməsidir.

### TƏCRÜBİ HİSSƏ VƏ NƏTİCƏLƏRİN MÜZAKİRƏSİ.

İsti presləmə metodunun tətbiqində, ( $P_{pr}$ ), ( $T_{pr}$ ) və ( $\tau_{pr}$ ) parametrlərinin optimal seçimi ilə yanaşı, təzyiqin verilmə rejiminin təyini də çox mühüm məsələdir. Şəkil 1-də temperatur və təzyiqin verilmə rejimi göstərilmişdir.



Şəkil 1. Temperatur və təzyiğin verilməsi.

Nümunələrin alınmasında təzyiğin aşağıdakı verilmiş rejimlərdən istifadə edilmişdir:

a) pres-ovuntuya otaq temperaturunda təzyiq verilməmiş və sistemin temperaturu ( $T_{or}$ ), polimerin ərimə temperaturuna qədər qaldırılıb, yəni prosesə izobarik xarakter verilib;

b) nisbətən qalın nümunələrin (>150 mkm) alınması zamanı kristallaşmanın birincisliyi üçün əvvəlcə temperatur (ərimə temperaturuna qədər), sonra isə təzyiq yavaş-yavaş qaldırılır.

İsti presləmə zamanı nümunəyə tətbiq olunan təzyiq 5÷15 Mpa intervalında dəyişmişdir. Tətbiq olunan təzyiq maksimal həddə çatdıqdan sonra  $\tau_{max}=5$  dəqiqə saxlanılır.  $\tau_{max}$  müddəti təcrübə olaraq seçilir və kompozit varistora qoyulan tələblərdən asılıdır. Presləmə təzyiqinin göstərilən həddən sonrakı artımı kompozitin parametrlərinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir etmir və texniki çətinliklər yaradır.  $\tau_{max}=5$  dəqiqə götürmək isə kompozitin alınmasının səbəbsiz uzadılmasına gətirir.

Cədvəl 1-də kompozitlərin alınmasında matrisa kimi istifadə olunan polimerlərin preslənmə rejimləri göstərilmişdir.

Cədvəl 1.

Kompozitlərin preslənmə rejimi

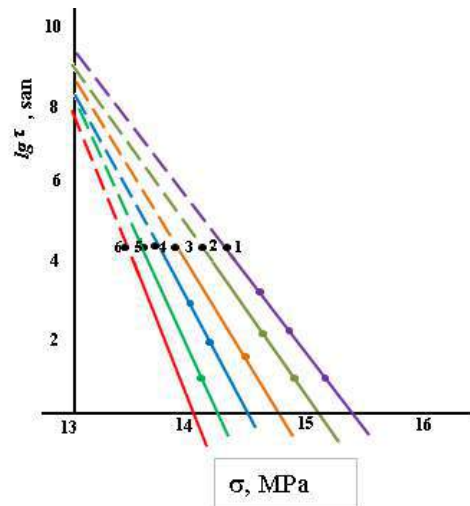
Polimer	Polietylen (PE)	Polivinilidenftorid (F2M)
$T_{or}$ , K	443–453	463–483
$P_m$ , MPa	10	15

Polimer əsaslı kompozit varistorların alınması üçün hidravlik presdən istifadə edilmişdir. Presin aşağı meydanına və tavanına səthləri cilalanmış və qızdırıcı sistem ilə təmin edilmiş puansonlar birləşdirilmişdir. Yuxarı puanson diametri 8 mm olan şarın üzərində qarmaq vasitəsilə yerləşdiyi üçün, sərbəstliyə malikdir və bunun nəticəsində aşağı puansonla paralellik əldə olunur. Puansonlar arasındakı məsafə xüsusi istiqamətvericilər vasitəsilə tənzim olunur. Polimer əsaslı kompozit varistorların alınmasının ilkin mərhələsi birincisli pres-ovuntunun alınması və onu xüsusi formalı qəlibə yerləşdirilməsidir. Nümunənin qalınlığı qəlibdə olan məhdudlaşdırıcılar vasitəsilə təyin olunur.

Kompozit varistorların alınmasının sonrakı mərhələsi nümunəyə elektrodların çəkilməsidir. İsti presləmə metodu ilə qalınlığı 7-30 mkm olan alüminium folqa elektrod kimi asanlıqla nümunənin üzərinə çəkilir. Elektrodlar kimi çox zaman keçiriciliyi yüksək olan xüsusi pastalardan da istifadə olunur.

İşdə hazırlanmış polimer əsaslı kompozit nümunələrin mexaniki xassələri təyin olunmuşdur. Polimer əsaslı kompozit nümunələrin mexaniki xassələrini təyin etmək üçün, kompozitdən xüsusi kəsiyə malik olan bıçaqla iki pər tipli nümunə kəsilir. Nümunənin işlək hissəsinin uzunluğu 10 mm, eni isə 3 mm-dir. Nümunənin bu quruluşda seçilməsi sınaq zamanı tətbiq olunan gərginliyin nümunənin en kəsiyi üzrə bərabər paylanmasını təmin edir. Nümunələrin mexaniki xassələrini təyin etmək məqsədi ilə polimer materiallar üçün qəbul edilmiş  $\tau = \tau_0 e^{k/T}$  formulundan istifadə olunur. [3, 8].

Bunun üçün əvvəlcədən təyin edilmiş temperaturda nümunələrin mexaniki yaşama müddətinin tətbiq olunan mexaniki gərginlikdən asılılığı qurulmuşdur. Götürülmüş hər bir mexaniki gərginlik üçün ən azı 5-6 nümunə sınaqdan keçirilir. Sonra isə mexaniki yaşama müddətinin loqarifminin mexaniki gərginliyin qiymətindən asılılıq qrafiki qurulmuşdur (şəkil 2) [1, 9].



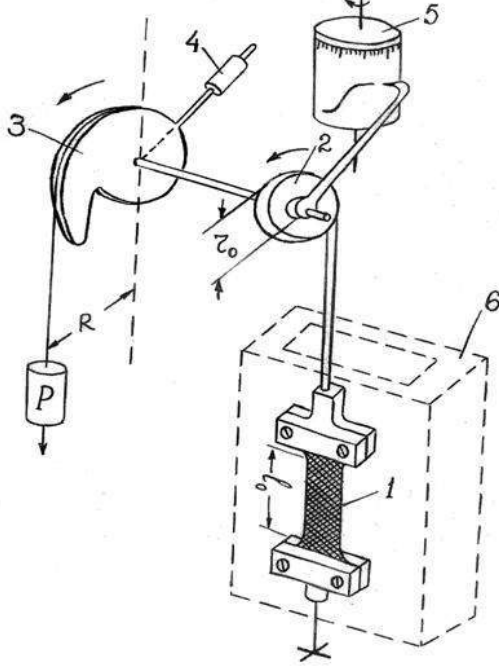
Şəkil 2. ZnO+PE əsaslı kompozit varistorların mexaniki yaşama müddətinin onun mexaniki möhkəmliyindən asılılığı:

- 1-30 %C+70% PE
- 2- 35%C+65% PE
- 3- 40%C+60% PE
- 4-45 %C+55% PE
- 5-50 %C+50% PE
- 6-60 %C+40% PE

Aparılan təcrübə nəticələri göstərir ki,  $lg \tau = \Phi(\sigma)$  asılılığı düz xətlidir. Bu,  $lg \tau = 0$  anı üçün, yəni  $\tau = 1$  saniyə müddətində mexaniki dağılma gərginliyini təyin etməyə imkan verir.

Kompozit varistorların mexaniki möhkəmliyini təyin etmək üçün, şəkil 3-də göstərilən xüsusi qurğudan istifadə edilmişdir. Sınaq zamanı sınaq temperaturunun və tətbiq olunmuş mexaniki dartma gərginliyinin sabit qalması əsas şərtidir. Məlumdur ki, mexaniki yaşama müddəti təyin edildikdə nümunə deformasiya

edərək uzanır, yəni onun en kəsiyinin sahəsi azalır. Ona görə də, deformasiyaya uyğun olaraq tətbiq olunan mexaniki gərginlik azalmalıdır ki, mexaniki qüvvənin nümunənin en kəsiyinin sahəsinə olan nisbəti sabit qalsın. Buna görə də istifadə etdiyimiz qurğuda fiqurlu lingdən istifadə olunmuşdur (şəkil 3).



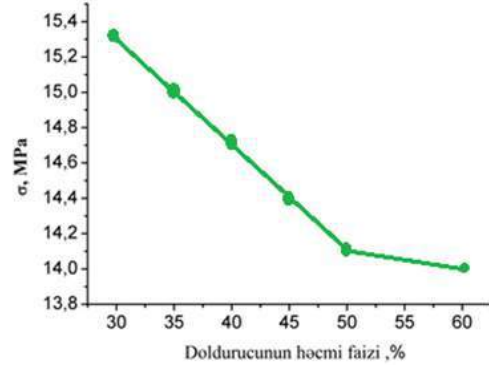
Şəkil 3. Kompozitlərin mexaniki möhkəmliyini təyin etmək üçün istifadə edilən qurğu. 1- nümunə; 2- blok; 3- fiqurlu ling; 4- lingin yarada biləcəyi qüvvəni kompensasiya edən yük; 5- saat mexanizmi; 6- temperatur kamerası.

Gərgunliyin sabit qalması üçün nümunəyə tətbiq olunan mexaniki qüvvə fiqurlu ling vasitəsilə verilir.

Şəkil 3-də kompozitlərin mexaniki gərginliyini təyin etmək üçün istifadə olunan qurğu göstərilmişdir. Nümunənin en kəsiyinin sahəsi azaldıqca, şəkildə göstərilən qüvvənin  $P$  qolu azaldığı üçün, nümunədə həmişə eyni mexaniki gərginlik yaranır. Nümunənin deformasiyası fırlana bilən saat mexanizmi vasitəsilə təyin edilir. İstifadə olunan kompozitlərin qalınlığı 180mkm- yə bərabərdir. Qalınlıq xüsusi optik qalınlıq

ölçən cihaz (İZV-2) vasitəsilə 1 mkm dəqiqliklə təyin edilmişdir.

Şəkil 4-də ZnO+PE əsaslı kompozit varistorların mexaniki möhkəmliyinin doldurucunun həcmi faizindən asılılığı verilmişdir.



Şəkil 4. ZnO+PE əsaslı kompozit varistorların mexaniki möhkəmliyinin doldurucunun həcmi faizindən asılılığı.

Şəkil 4-dən görünür ki, doldurucunun həcmi faizi artdıqca, kompozitlərin mexaniki möhkəmliyi azalır. Bu, onunla izah olunur ki, kompozitə vurulan doldurucunun həcmi faizi artdıqca, kompoziti təşkil edən digər fazanın, yəni polimer qatının qalınlığı azalır. Buna görə də, nümunədə mexaniki möhkəmliyin azalmasına səbəb olan kövrəklik yaranır [2, 5, 6. 7].

## NƏTİCƏ.

Təcrübə tədqiqatları nəticəsində sintez olunmuş polimer əsaslı kompozit varistorların hazırlanması üçün əlverişli olan presləmə üsulu təyin olunmuş və ZnO+PE əsaslı kompozit varistorların mexaniki yaşama müddətinin onun mexaniki möhkəmliyindən, kompozitlərin mexaniki möhkəmliyinin doldurucunun həcmi faizindən asılılıqları öyrənilmişdir. Məlum olmuşdur ki, kompozit varistorların alınması zamanı istifadə olunan ən yaxşı texnoloji üsul isti presləmə üsuludur. Həmçinin, təyin olunmuşdur ki, doldurucunun həcmi faizi artdıqca, kompozitlərin yaşama müddəti və mexaniki möhkəmliyi azalır.

- [1] A.M. Həşimov, K.B. Qurbanov, Ş.M. Həsənlı, R.N. Mehdizadə, Ş.M. Əzizova (Əhədzadə), X.B. Bayramov. Nazik təbəqəli kompozit varistorun hazırlanma üsulu. Azərbaycan Respublikası Standartlaşdırma, Metrologiya və Patent üzrə dövlət Agentliyi | 2007 0172.
- [2] A.M. Гашимов, Ш.М. Гасанли, Р.Н. Мехтизаде, Ш.М. Азизова (Ахадзаде), Х.Б. Байрамов. ЖТФ, 2007, том 77, вып.8.с.121.
- [3] В.Р. Регель, А.И. Слуцкер, Э.Е. Томашевский. Кинетическая теория прочности твердых тел. М.: Наука, 1974, 560 с
- [4] H. Bidadi, Sh.M. Azizova, Sh.M. Gasanli, R.N. Mehtizadeh, M.R. Allazov, A.S. Bondyakov. Electro physical characteristics of composite

varistors. International Conference on Composite Science & Technology, American University of Sharjah. 2005, p. 266.

- [5] A.M. Hashimov, Sh.M. Hasanli, R.N. Mehtizadeh, Kh.B. Bayramov, Sh.M. Azizova (Ahadzade). Physica Status Solidi (PSS), 2006, (c) 3, N8, p.2871-2875.
- [6] A.M. Hashimov, Sh. M. Hasanli, R. N. Mehtizadeh, Kh. B. Bayramov, Sh. M. Azizova (Ahadzade). Kyoto, Japan. 2006, p. 29.
- [7] A.M. Hashimov, Sh.M. Hasanli, R.N. Mehdizadeh, H.B. Bayramov, Sh.M. Azizova (Ahadzade). Features of electro physical characteristics of zinc oxide and polymer based composite varistors. TPE-2006 Conference Proceeding third

- international Conference on Technical and Physical problems in Power Engineering, Ankara, Turkey, 2006, p. 65.
- [8] *M.Ə. Qurbanov, M.Q. Şaxtaxtinski, A.İ.Məmmədov, M.M.Quliyev, İ.A. Fərəczadə.* AMEA Fizika İnstitutu, Energetikanın problemləri, №2, 2000, s.68-63.
- [9] *Whu Wen-Hwa , Lin Chiung-Chih, Lee Woei-Shyong, Sun Chang-Chun.* Ceramics International, 2008, Vol. 34, p.131-136.

**Sh.M. Ahadzade**

**DEFINITION OF THE OPTIMAL SYNTHESIS METHOD AND MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITE VARISTORS BASED ON ZnO-POLYMER**

In the work, the optimal pressing method for the synthesis of composite varistors was established and the dependences of mechanical durability on mechanical strength and mechanical strength on the percentage of filler were studied. It was established that for the synthesis of composite varistors the optimal technological method of pressing is hot pressing. It was also revealed that with an increase in the percentage of filler, the mechanical durability and strength of the composite varistors decrease.

**Ш.М. Ахадзаде**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДА СИНТЕЗИРОВАНИЯ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТНЫХ ВАРИСТОРОВ НА ОСНОВЕ ZnO-ПОЛИМЕР**

В работе определен оптимальный метод прессования для синтезирования композиционных варисторов и изучены зависимости механической долговечности от механической прочности и механической прочности от процентного содержания наполнителя.

Установлено, что для синтезирования композиционных варисторов оптимальный технологический метод прессования - это горячее прессование. А также выявлено, что при увеличении процентного содержания наполнителя уменьшается механическая долговечность и прочность композиционных варисторов.

*Qəbul olunma tarixi: 01.10.2019*

## POLIETİLEN+NANOĞİL NANOKOMPOZİTLƏRİN ELEKTRİK PARÇALANMA KİNETİKASINDA ELEMENTAR PROSESLƏR

A.R. SADIQOVA

*Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının H.M.Abdullayev adına Fizika İnstitutu,  
AZ-1143, Azərbaycan, Bakı, H. Cavid pr.131  
e-mail: [arzu-sadigova@mail.ru](mailto:arzu-sadigova@mail.ru)*

Polietilen və polietilen əsasında nanogil əlavəli nanokompozit polimer nümunələrin elektrik yaşama müddətinə görə paylanması araşdırılmışdır. Orta yaşama müddətində deşilməyən nümunələrdə elektrik gərginliyinin təsirini aradan qaldırmaqla nümunəyə fasilə verilmişdir. Fasilə müddətindən asılı olaraq bu müddətdə temperaturu dəyişməklə və əks qütblü gərginlik verməklə nümunələrin bu cür işləmərdən sonra yaşama müddətinə görə paylanması dəyişmişdir. Fasiləyə qədər deşilməyən nümunələrdə baş verən hadisələrə (qüsurlarda yığılan yüklər, qırılan rabitələr və s.) fasilə zamanı xarici amillərlə müdaxilə etmək olar. Elektrik parçalanmasına gətirən elementar proseslərin dönən bir proses olduğu müəyyən edilmişdir.

**Açar sözlər:** elektrik parçalanma, nanokompozit, yaşama müddəti, nanogil  
**PACS:** 81.05.Rm

### GİRİŞ.

Polimerlər və onların əsasında fərqli əlavələrlə alınan kompozitlərin elektrik möhkəmliyini  $\tau$  yaşama müddəti (elektrik sahə gərginliyinin sabit qiymətində deşilmə anına qədər keçən müddət) ilə xarakterizə edə bilirik. Bu materialların elektrik parçalanma kinetikasının analizi təcrübə olaraq çox sayda tədqiqatlarda öz əksini tapanmışdır. Deşilməyə hazırlıq mərhələsində elektron proseslər haqqında bəzi təsəvvürlər söylənilmişdir: elektrodlardan elektronların injeksiyası, müxtəlif işarəli həcmi yüklərin formalaşması, elektron tələlərin dinamikası, polimer molekulunun ionizasiyası və s. [1-3]. Polimerlərin deşilmə halına yaxınlaşana qədər bu proseslər kinetik xüsusiyyətlərinə görə hazırlıq prosesində müxtəlif cür iştirak edə bilirlər. Yəni, elektrik deşilməsi ani baş verən kritik bir hadisə deyil, zamandan və başqa amillərdən asılı olan kinetik bir hadisədir. “Gecikən parçalanma” adlanan bu hadisə tətbiq edilən sahə gərginliyinin qiyməti ilə yanaşı başqa amillərdən (temperatur, quruluş, xarici mühit və s.) asılıdır. [4,5]. Elektrik parçalanma kinetikasının tədqiqi fenomenoloji ( $\tau$ -nın elektrik gərginliyindən ( $E$ ) və temperaturdan ( $T$ ) asılılığı) və bir çox birbaşa fiziki üsullarla araşdırılır. Temperaturun müəyyən qiymətində parçalanma termofluktasiya – (çəpərüstü) və tunel (çəpəraltı) mexanizmləri ilə izah edilir [1-3]. Elektrik və mexaniki parçalanma xarici amillərin təsiri ilə, ən sadə halda, atomlararası rabitələrin qırılması nəticəsində yığılan dəyişmələrin müəyyən bir səviyyəyə çatdıqdan sonra materialın bütövlüyünü itirməsidir. Atomlararası rabitələrin qırılmasını gecikdirmək üçün bir sıra üsullar vardır. Bunlardan biri də polimerlərə nanoəlavələr daxil etməklə nanokompozitlərin alınmasıdır. Nanoəlavələr qırılan rabitələrin sayının artmasını gecikdirməklə materialın yaşama müddətini artırsa da, nəticədə parçalanma qaçınmazdır.

Polimerlər əsasında alınan üzvi və qeyri-üzvi əlavələr daxil edilmiş kompozit materialların dinamik-mexanik, elektrik, deformasiya və optik xassələrinin dəyişməsi tədqiq edilmiş və bu dəyişmənin mexanizmi haqqında, az da olsa, məlumat verilmişdir.

Nümunələri parçalanmaya hazırlayan elementar prosesləri idarə etmək qarşımızda duran mühüm məsələlərdən biridir. Yəni, material bütövlüyünü itirənə qədər baş verən dəyişiklikləri, qırılmış rabitələri bərpa etmək mümkündürmü? Elektrik parçalanma kinetikasında elementar proseslərin istiqamətini (dönən və ya dönməyən olmasını) müəyyən edə bilərikmi?

Bu araşdırmalarda saf polietilen (PE) və onun əsasında alınan nanokompoziti elektrik parçalanma kinetikasında deşilməyə qədər olan hazırlıq prosesində molekulyar proseslərin yönünü müəyyən etmək üçün tədqiqat aparılmışdır.

### NÜMUNƏLƏRİN ALINMASI VƏ ÖLÇMƏ METODLARI.

NG müxtəlif faizlərdə toz şəklində PE ilə mexaniki qarışdırıldıqdan sonra, qaynar presləmə üsulu ilə (425 K, 15 Mpa, 10 dəq.) nazik (40-60 mkm) nümunələr əldə edilmişdir. Hər ikisi toz şəklində və sıxlıqları bir-birinə yaxın olduğundan, bircinsli qarışıq alınır. Əlavə olaraq istifadə olunan NG montimorillanit (MM) təbəqəli silikatlardır: ölçüləri 200 nm uzunluğunda 1nm enindədir [6]. MM hissəciklərinin müstəvi şəklində olması bu təbəqələrin bir-biri üzərinə düzülərək polimer matrisası ilə lay-lay təbəqəli quruluş yaradır.

Tədqiqat obyektii olaraq saf PE və PE+3,0%NG nanokompozitdən istifadə edilmişdir. Elektrik sahə gərginliyinin təsiri ilə deşilməyə gətirən yığılma proseslərinin dönmə dərəcəsinə öyrənmək üçün, elektrik sahəsinin davamlı və fasilələrlə təsiri altında  $\tau$  ölçülmüşdür. Bərk cisimlər, o cümlədən, saf polimerlərin mexaniki parçalanması üçün tədqiqatlar aparılmışdır [6, 7].

Polimerin və başqa materialların yaşama müddətinin öyrənilməsində bütün şərtlər eyni olduğu halda ( $E=\text{const}$ ,  $T=\text{const}$ ),  $\tau$ -nın həqiqi qiymətindən kənara çıxmalar olur. Xəta payını azaltmaq üçün, eyni nümunələrdən çox sayda götürüb  $\tau$ -nu ölçməklə həqiqi qiymətə daha çox yaxınlaşmış olarıq. Bu araşdırmada  $\tau$ -nın ölçülməsində 30 nümunədən istifadə edilib və ya-

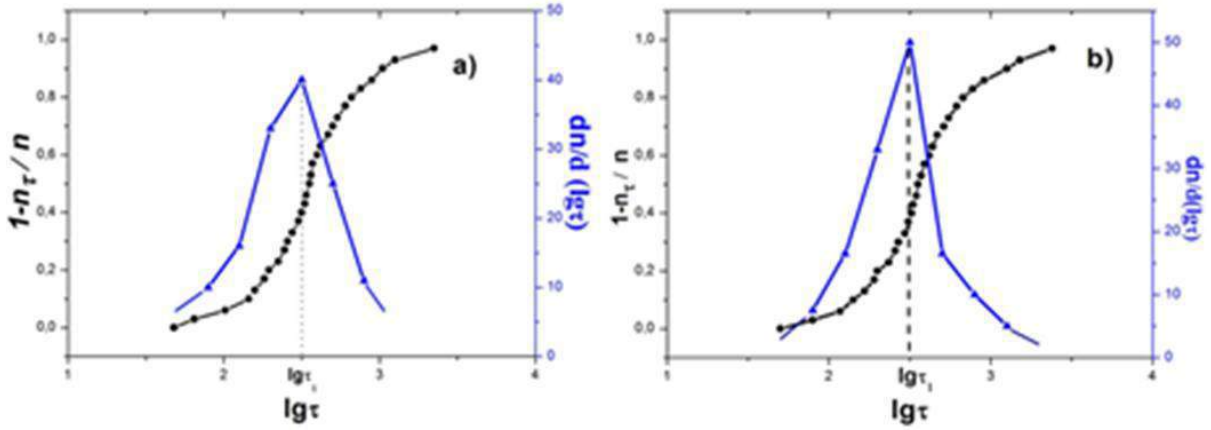


şama müddətinə görə PE və PE+3,0% NG nanokompozitin paylanma funksiyası təhlil edilmişdir.

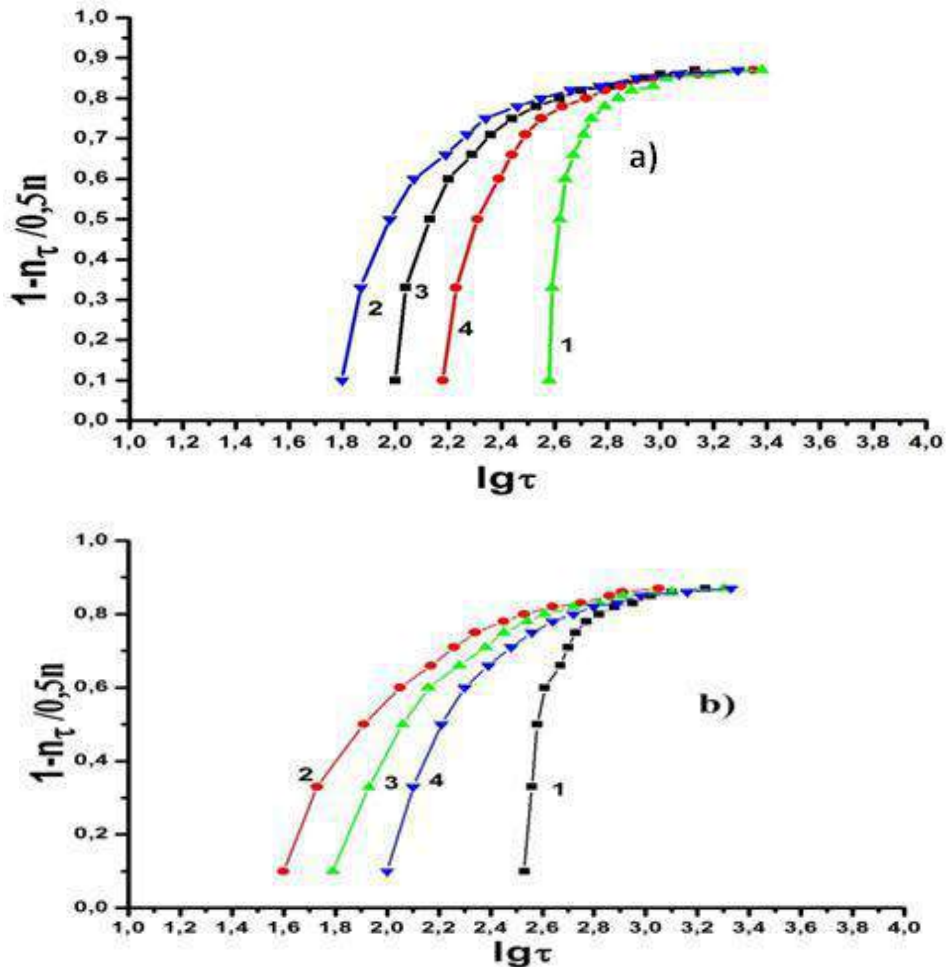
### TƏCRÜBİ NƏTİCƏLƏR VƏ İZAH.

PE və PE+NG nanokompozitlərin elektrik sahəsinin təsiri ilə baş verə bilən dəyişikliklər əvvəlcədən apardığımız tədqiqat işlərində öyrənilmişdir [8]. Mü-

əyyən edilmişdir ki, NG-in miqdarından asılı olaraq PE-nin yaşama müddəti azalır. Araşdırma üçün PE və PE+3,0 % NG nümunəsi götürülmüşdür. Eyni şəraitdə alınan nümunələrdə sabit  $E$ -də və sabit  $T$ -də çoxlu sayda (30 nümunə)  $\tau$ -lar ölçülmüşdür. Təcrübədən alınan bu qiymətlər  $\tau$ -nun artmasına görə düzülür və nümunələrin sayının ( $n$ )  $\tau$ -dan asılılığı qurulur (şəkil 1).



Şəkil 1. YSPE (a) və YSPE+3,0%NG nanokompozitin (b) elektrik yaşama müddətinə görə inteqral və diferensial paylanma əyriləri  $T=293$  k,  $E=5,2 \cdot 10^7 V/m$  (a);  $E=4,0 \cdot 10^7 V/m$  (b)



Şəkil 2. YSPE (a) və YSPE+3,0%NG nanokompozitin (b) elektrik parçalanmasının yaşama müddətinə görə inteqral paylanma əyriləri. 1-  $\tau_1=317$  san-dən sonrakı yaşama müddətinə görə inteqral paylanması; 2-  $\tau_2$  ikinci yaşama müddətinə görə inteqral paylanması; 3- fasilə zamanı  $T=373K$ -də  $10^3$  saniyə gözlədikdən sonra  $\tau_2$ -yə görə inteqral paylanması; 4- fasilə zamanı  $10^3$  saniyə müddətində əks qütblü gərginliyin təsirindən sonra  $\tau_2$ -yə görə inteqral paylanması.  $E=4,5 \cdot 10^7 V/m$  (a);  $E=3,2 \cdot 10^7 V/m$  (b)

Bu qrafik nümunələrin  $E$  və  $T$  - nin sabit qiymətlərində  $lg\tau$ -ya görə paylanmanın inteqral və diferensial funksiyasıdır. Yəni,  $E$ - nin təsiri ilə dəşilən nümunələrin sayının yaşama müddətinə görə paylanma əyrisi-  
dir. Ordinat oxu üzərində  $\frac{1-n_\tau}{n}$  inteqral və  $\frac{dn}{d(lg\tau)}$

diferensial funksiyaları göstərilmişdir.  $n$ - təcrübə üçün hazırlanan nümunələrin ümumi sayı,  $n_\tau$ - $\tau$  zamanında dəşilməyən nümunələrin sayıdır. Paylanmanın effektiv eni  $\Delta lg \tau=1 \div 1,3$  olmaqla  $S$  şəklindədir. Paylanmanın şəkli təsadüfi qiymətlərin normal paylanmasına yaxındır.

Yaşama müddətinə görə diferensial paylanma əyrisi  $\tau$ - nun orta qiymətinə görə simmetrik şəkildə olmaqla Qauss paylanmasına çox bənzəyir və yaşama müddətinin ən ehtimalı qiyməti ətrafında paylanmanın təsadüfi xarakterini göstərir. Təsadüfi nöqtələrin sayı çox olarsa (təcrübə şəraiti dəyişərsə, maddə mü-kəmməl quruluşa malik deyilsə, quruluşdakı qüsurlar çox isə və s.), əyrinin eni böyük olur.  $\tau$ - nun həqiqi qiymətinə yaxınlaşmaq üçün çox sayda nümunələrdən alınan nəticələrin statistik qiymətlərinə baxılmalıdır. Eyni diferensial paylanmanı bərk cisimlər üçün qur-saq, əyrinin eni dar olar, çünki bərk maddələr polimerlərə nisbətən daha nizamlı quruluşa malikdir.

Şəkil 1 a və b-dən göründüyü kimi PE və nano-kompozit üçün nümunələrin yarisinin yaşama müddəti otaq temperaturunda (293K)  $\tau_1$ - 317san-dən çoxdur.  $E$ -nin təsiri ilə baş verən dəyişiklikləri aşkara çıxarmaq üçün  $\tau_1$ - 317san zaman müddətində dəşilməyən nümunələrdə elektrik sahəsinin təsirini aradan qaldırmaqla nümunəyə fasilə veririk. Fasilə zamanı iki hala baxırıq: 1-ci halda  $E$ - ni qaldırıqdan sonra (fasilə zamanı) temperaturu 373 K qədər dəyişərək  $10^3$ san gözlədikdən sonra gərginliyi yenidən verərək  $\tau_2$ -ni ölçürük (ikinci yaşama müddəti). Şəkil 1-dən inteqral paylanma əyrisinin yuxarı hissəsini 0,5 səviyyəsinə görə yenidən qursaq və hər iki nümunə üçün yarım yaşama müddətini nəzərə almasaq, şəkil 2 a, b-dəki qrafikləri alırıq. 2-ci halda fasilə müddətində gərginlik mənbəyində yüksək voltlu elektrodun qütübünü dəyişməklə (yüksək voltlu elektroda fasiləyə qədər müsbət qütbdən gərginlik verilmişsə, fasilə zamanı mənfə qütbdən gərginlik verilir və ya tərsinə)  $10^3$ san müddətində əks işarəli gərginlik verilir. Bu işləmədən sonra həmin nümunəyə fasilədən öncəki gərginliyi verərək  $\tau_2$ -ni ölçürük. Yəni şəkil 2-dəki 1 əyrisi şəkil 1-dəki inteqral paylanmanın  $0,5n$  miqyasına görə təkrarlanmış əyriləridir. Şəkil 2-dəki 2 əyriləri  $\tau_2=\tau-\tau_1$  ikinci yaşama müddətinə görə qurulmuş əyrilərdir.

Tədqiqat işlərində polimerlər üçün  $lg \tau(E, T)$  asılılığının analizi polimerlərin elektrik parçalanma kinetikasının mexanizmini az-çox açıqlamışdır [9, 10, 11 ]. Göstərilmişdir ki, metal elektrodlara tətbiq olunan elektrik gərginliyi zamanı elektrodan polimerə elektronlar injeksiya olur: elektronlar katoddan, dəşiklər anoddan. İnjeksiya olunmuş yüklü zərrəciklər polimerin daxilində müxtəlif ölçülərə malik tələlələrə düşür. Tətbiq olunan elektrik sahəsi tələlərdən çıxan yüklü zərrəciklərə maneəni (əngəli) azaldır. Yüksək temperaturlarda dərin tələlərdən yüklü zərrəciklərin çıxması termofluktuasıya (çəpər üstü) mexanizmi ilə baş verir. Aşağı temperaturalarda isə atermik xarakterə malik olan dərin tələlərdən çıxış çəpəraltı tunel kəşidi ilə baş verir [10]. Hər iki halda müəyyən zaman müddətində (elektrik yaşama müddəti) toplanan həcmi yüklərin kritik qiymətində parçalanma baş verir və nümunə dəşilir.

$\tau_1$  orta yaşama müddətində parçalanma baş verməmişsə, fasilə zamanı 1-ci və 2-ci hallara baxdıqda tələlərdə yığılan yüklərə təsir etməklə rekombinasiya prosesi ola bilərmi? Yığılan yüklərin dəyişməsinə fenomenoloji və birbaşa olan üsullarla öyrənmək olar. Birbaşa ölçmə texniki çətin olduğuna görə, bu üsul yaramır. Fenomenoloji olaraq, yığılan yüklərdə baş verən dəyişiklikləri yaşama müddətinə görə öyrənmək olar. Fasilə müddətində yığılan yüklərin artmasına bir səbəb yoxdur, əksinə işləmə nəticəsində yüklərin sayını azaltmaq olar. Yuxarıda söylədiyimiz kimi, fasilə müddətində nümunənin temperaturunu artırmaqla  $\tau$ -nu ölçmək olar fasilə müddətində əks qütbdən gərginlik verməklə  $\tau$ -ni ölçə bilərik. Təcrübə nəticələr şəkil 2 a, b-də göstərilmişdir. Məlum olmuşdur ki, injeksiya yolu ilə polimer daxilində yığılan yükləri dəyişməklə onların yaşama müddətini dəyişmək olar. Hər iki nümunədə fasilə müddətində həm temperaturu artırmaqla, həm də əks qütblü elektrik gərginliyi verməklə yenidən ölçsək yaşama müddəti artmış olur. Fasilə müddətində aparılan işləmələr nəticəsində elektrik parçalanma prosesini yönləndirmək olar və mexaniki parçalanma prosesindən fərqli olaraq [6] elektrik parçalanma prosesi dönəndir.

## NƏTİCƏ.

Həm PE-də, həm də PE+3,0% NG nanokompozitində elektrik yaşama müddətinin qiymətlərinin statistik analizi göstərdi ki, polimerlərin elektrik parçalanmasına gətirən yığılma prosesi dönəndir və prosesdə NG əlavəsinin heç bir rolu yoxdur.

- [1] *A.И. Слущер, Т.М. Велиев, И.К. Алиева, В.А.Алекперов, С.А. Абасов.* ФТТ, 1990, № 8, с. 2339-2344.  
[2] *A.И. Слущер, Т.М. Велиев, И.К. Алиева, В.А. Алекперов, С.А. Абасов.* Письма в ЖТФ, 1991,Т. 17, № 13,с. 67-72.  
[3] *В.А. Закревский, Н.Т. Сударь.* ФТТ, 2013, Т.55, №7, с.1298-1303.

- [4] *И.К. Алиева, Т.М. Велиев, П.Б. Асилбейли, А.Р. Садыгова, И.М. Исмаилов.* Проблемы энергетики,2017, №1, с. 62-68.  
[5] *И.К. Алиева, Т.М. Велиев, П.Б.Асилбейли, А.Р. Садыгова, Э. С. Сафиев.* Проблемы энергетики, 2018, №1,с.31-36.  
[6] *М.Ə. Ramazanov, A.R. Sadiqova, A.Ə. Hadiyeva, İ.İ. Abbasov.* AJP Fizika, 2018, v. XXIV №2, p. 15-19.

- [7] *А.Р. Садыгова, И.И. Аббасов, Э. С. Сафиев, П.Б. Асилбейли, В.А. Алекперов. Nano-sistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii, 2019, t.17, №1, с. 155-165.*
- [8] *А.И. Слуцкер, В.Л. Гиляров, Д.Д. Каров, Ю.И. Поликарпов. ФТТ, 2011, 53, 7, с.1255*
- [9] *А.И. Слуцкер, Т.М. Велиев, И.К. Алиева, В.А.Алекперов, Ю.И.Поликарпов, Д.Д. Каров. ФТТ, 2016, 58, 9, 1826.*

**A.R. Sadygova**

**ELEMENTARY PROCESSES IN THE KINETICS OF ELECTRIC DESTRUCTION OF POLYETHYLENE + NANOGLINE NANOCOMPOSITES**

The distribution of the electric life time of polyethylene samples and nanocomposite polymeric samples based on polyethylene is studied. In samples not pierced with an average life time, the effect of an electric field was excluded and they were given a break. In dependence on the interruption time, temperature change, and supply of bipolar voltage, the distribution of the electrical lifetime of the samples was studied. The processes in unbroken samples before the break (charges accumulated in structural defects, broken bonds) were affected by external factors and it was found that elementary processes leading to electric destruction are reversible.

**A.P. Садыгова**

**ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ПРОЦЕССЫ В КИНЕТИКЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ НАНОКОМПОЗИТОВ ПОЛИЭТИЛЕН+ НАНОГЛИНА**

Исследовано распределение электрического времени жизни образцов полиэтилена и нанокompозитных полимерных образцов на основе полиэтилена. В образцах не пробитых при средней продолжительности времени жизни было исключено воздействие электрического поля и им был предоставлен перерыв. В зависимости от времени перерыва, изменения температуры, подачи разнополярного напряжения было исследовано распределение электрического времени жизни образцов. На процессы в непробитых образцах до перерыва (заряды накопленные в дефектах структуры, разорванные связи) были воздействованы внешние факторы и установлено, что элементарные процессы, приводящие к электрическому разрушению, являются обратимыми.

*Qəbul olunma tarixi: 14.10.2019*

## BaTiO<sub>3</sub> HİSSƏCİKLƏRİNİN MÜSBƏT DIELEKTRİK ANİZOTROPIYALI SMEKTİK A MAYE KRİSTALIN FAZA KEÇİDLƏRİNƏ TƏSİRİ

Ş.Ə. HÜMBƏTOV

Bakı Dövlət Universiteti, Az1148, Z.Xəlilov küç. 23  
e-mail: shirxan-humbatov@mail.ru

Diferensial skanedici kalorimetriya (DSC) metodunun köməyi ilə müxtəlif (100 nm, 200 nm, 300 nm, 400 nm, 500 nm) ölçülü BaTiO<sub>3</sub> hissəciklərinin müsbət dielektrik anizotropiyalı smektik A maye kristalının faza keçidlərinə təsiri öyrənilmişdir. Göstərilmişdir ki, BaTiO<sub>3</sub> hissəcikləri nematik-izotrop faza keçidi temperaturunu artırır. Hissəciklərin ölçüləri böyüdükcə bu artım daha da çoxalır. Kristal-smektik A faza keçidinin temperaturunu isə azaldır. BaTiO<sub>3</sub> hissəcikləri kristal-smektik A faza keçidi entalpiyasını artırır. 100 nm ölçüdə bu artım daha böyük olur. Nematik-izotrop faza keçidi entalpiyası isə çox cüzi dəyişir: hissəciklərin 300 nm və 400 nm ölçülərində yuxarı qalxır, 200 nm və 500 nm ölçülərində isə aşağı sürüşür.

**Açar sözlər:** smektik maye kristal, seqnetoelektrik, faza keçidləri, diferensial skanedici kalorimetriya.

**PACS:** 42.70.Df; 6470.Nh; 65.90.+i.

### GİRİŞ.

Maye kristallar bərk cisimlərin və mayələrin bəzi xassələrini özündə birləşdirən və bunlar arasında aralıq fazaya (mezofaza) malik üzvi maddələrdir [1, 2]. Bu maddələr malik olduqları əhəmiyyətli fiziki xassələr sayəsində sənayedə geniş tətbiq imkanları tapmış və elmi tədqiqatçıların böyük maraq sahəsinə çevrilmişdirlər. Maye kristalların əsas tətbiq sahəsi displey sənayesi hesab edilsə də, son dövrlər onların tətbiq imkanları (5G antenalarda, optik filtrlərdə, biosensordlarda, termometrlərdə, və s.) genişlənməkdədir [3, 4]. Sürətlə yeniləşən müasir texnoloji həyat digər sahələrdə olduğu kimi, maye kristal elmində də biliklərin dərinləşməsinə, yeni texnologiyaların yaranmasına zəmin yaradacaq yüksək parametrlə maye kristalların əldə olunmasını tələb edir. Yüksək tələbləri ödəyəcək maye kristal molekullarının sintezi kifayət qədər çətin və müəyyən məhdudiyyətlərlə bağlıdır. Lakin, nanotexnologiyanın inkişafı və müxtəlif növ funksional materialların maye kristal matrislərdə dispersiya edilərək kolloid sistemlərin hazırlanmasına başlandıqdan sonra, bir çox texnoloji problemlərin həlli istiqamətində uğurlu nəticələr əldə edilmişdir [5]. Elmi jurnallarda maye kristal kolloidlərin müxtəlif fiziki (elektrooptik, dielektrik, termik və s.) xassələrinə dair məqalələr kifayət qədər çoxdur, hətta bu məqalələrin sayı təmiz maye kristallara həsr olunmuş məqalələrin sayını günü gündən üstələyir [6-8]. Termotrop maye kristalların tətbiqi baxımından ən vacib parametrlərindən biri də onların maye kristallıq fazasının mümkün olduğu temperatur intervalının idarə olunması məsələsidir. Maye kristallarda funksional materialları dispersiya etməklə buna nail olmaq mümkündür. Spontan polyarizasiyaya malik seqnetoelektrik hissəciklər (Sn<sub>2</sub>P<sub>2</sub>S<sub>6</sub> və BaTiO<sub>3</sub>) dispersiya edilmiş maye kristallarda bəzi qiymətli nəticələr alınır [8-10]. Rasna və başqalarının [11] işində göstərilir ki, BaTiO<sub>3</sub> hissəciklərinin konsentrasiyası artdıqca, nematik-izotrop faza keçidi temperaturu ( $T_{NI}$ ) azalır. Eyni nəticəni [12] işində də görmək olar. Kurochkin və başqaları 4,4'-pentilsiano-bifenilin (5CB) maye kristalına seqnetoelektrik Sn<sub>2</sub>P<sub>2</sub>S<sub>6</sub> hissəcikləri əlavə etdikdə faza keçidi temperaturu qeyri-müntəzəm dəyişir [13]. Lin və başqaları tərəfindən, elektrik sahəsi tətbiq etməklə DSK metodu

ilə Sn<sub>2</sub>P<sub>2</sub>S<sub>6</sub> hissəciklərinin 8CB maye kristalının faza keçidi temperaturunu öyrənilmişdir [14]. DSK metodunda göstərilmişdir ki, konsentrasiya artdıqca  $T_{NI}$  azalır, elektrik sahəsi tətbiq etdikdə isə kiçik konsentrasiyalarda  $T_{NI}$  artır. Kalorimetrik metodla müəyyən edilmişdir ki, BaTiO<sub>3</sub> hissəciklərini 8CB maye kristalında dispersiya etdikdə, aşağı konsentrasiyada nematik-izotrop faza keçidi temperaturu artır [15]. Müxtəlif fazaya malik maye kristallarda müxtəlif konsentrasiya və ölçüyə malik seqnetoelektrik zərrəciklərin (Sn<sub>2</sub>P<sub>2</sub>S<sub>6</sub> və BaTiO<sub>3</sub>) dispersiya edilmiş kolloidlərin faza keçidlərinə təsirini araşdırdıqda məlum olur ki, yuxarıda qeyd olunan uyğunsuzluqlar ya zərrəciklərin aqreqasiyası hesabına, ya da aqreqasiyanın qarşısını almaq üçün istifadə edilmiş səthi aktiv maddələrin (məsələn, olein turşusu) hesabına baş verir. Nematik fazalı maye kristallardan fərqli olaraq smektik A fazaya malik maye kristallarda hissəciklərin aqreqasiyası imkanı daha az olur. Bu onunla izah olunur ki, smektik maye kristallar laylı quruluşa malikdir və yüksək özlülük nümayiş etdirirlər. Lakin, bu sahədə aparılmış tədqiqatlara nəzər saldıqda, əsasən, nematik fazaya malik maye kristallarla bağlı işlərə rast gəlinir və əksər işlərdə təcrübələr xarici elektrik sahəsinin təsiri altında xüsusi hazırlanmış dielektrik-temperatur qurğularında yerinə yetirilmişdir. Smektik A fazalı maye kristallarda kolloidlərə aid işlərdə isə təcrübələr daha çox ölçüsü 100 nm-dən kiçik olan seqnetoelektrik hissəciklərlə aparılır [10]. Məlumdur ki, bir çox hallarda, hissəciklərin ölçüsü 100 nm-dən böyük ölçülərdə, seqnetoelektrik xassəsi müşahidə olunur, yəni hissəciklər spontan polyarizasiyaya malik olur. Təqdim edilən işdə müsbət dielektrik anizotropiyaya malik maye kristalda dispersiya edilmiş müxtəlif ölçülü (100 nm, 200 nm, 300 nm, 400 nm, 500 nm) BaTiO<sub>3</sub> hissəciklərin maye kristalın faza keçidlərinə təsiri öyrənilmişdir.

### EKSPERİMENT.

Təqdim olunan işdə smektik A maye kristal matris olaraq *p*-nitrofenil *p*'-desiloksibenzoat turşusu və 4-siano-4'-pentilbifenilin maye kristallarının 1:1 mol nisbətində qarışığından istifadə olunmuşdur (şəkil 1). Bu qarışıq nisbətən geniş temperatur intervalında

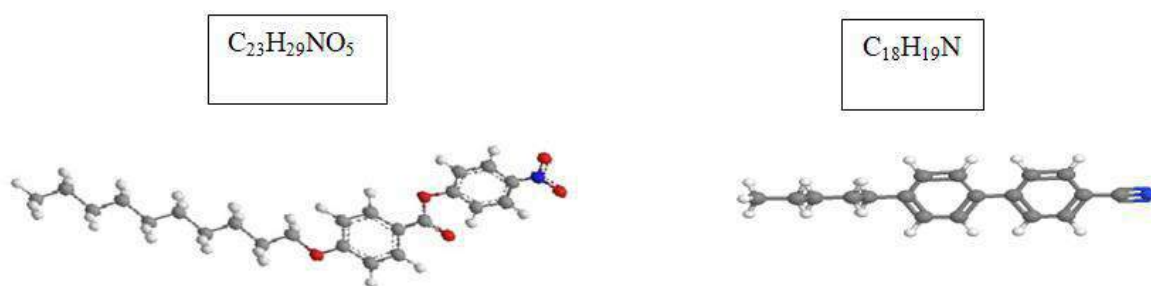
## BaTiO<sub>3</sub> HİSSƏCİKLƏRİNİN MÜSBƏT DİELEKTRİK ANİZOTROPIYALI MAYE KRİSTALIN FAZA KEÇİDLƏRİNƏ TƏSİRİ

(32,5°C-47°C) smektik A və dar temperatur intervalda (47°C-54,5°C) nematik maye kristal fazasına malik olur. Hər iki maye kristalın dipol qrupu molekulun uzun oxu boyunca yönəldiyi üçün, bu maye kristalın molekulu müsbət dielektrik anizotropiyalıdır.

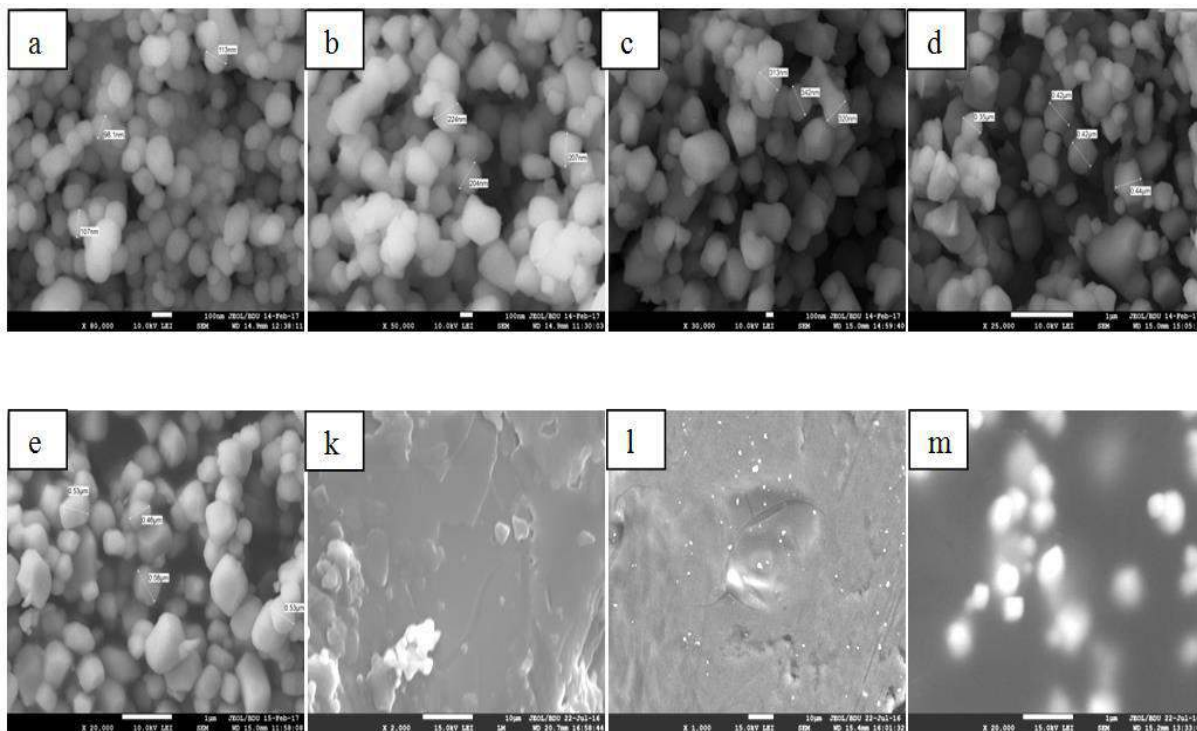
BaTiO<sub>3</sub> seqnetoelektrik hissəciklərinin (US-Nano, ABŞ firması) ölçü müxtəlifliyinə uyğun olaraq (100, 200, 300, 400 və 500nm) hər birinin ayrılıqda SEM (scanning electron microscopy) təsvirinə baxılmışdır (şəkil 2a-e). Kolloidin hazırlanması üçün BaTiO<sub>3</sub> hissəcikləri və maye kristal analitik tərzidə (model PW, Adam Equipment, Böyük Britaniya firması) 10<sup>-4</sup>q dəqiqliklə çəkilir və maye kristalın izotrop fazasında (75°C) qarışdırılır. Bu zaman BaTiO<sub>3</sub> hissəciklərinin ümumi kütləsi elə hesablanır ki, hər bir ölçü üçün bu hissəciklərin say konsentrasiyası eyni olsun (3·10<sup>9</sup>sm<sup>-3</sup>). Hazırlanmış kolloid izotrop fazada ultrasəs disperqatorunda (NATO CD-4800, Çin firması) 1 saat ərzində qarışdırılır və kolloidin temperaturu otaq temperaturuna qədər azalanadək bu qarışdırma

davam etdirilir. Nəticədə, BaTiO<sub>3</sub> nanohissəciklərinin maye kristalda bircins paylandığı stabil kolloid alınır (şəkil 2k-m).

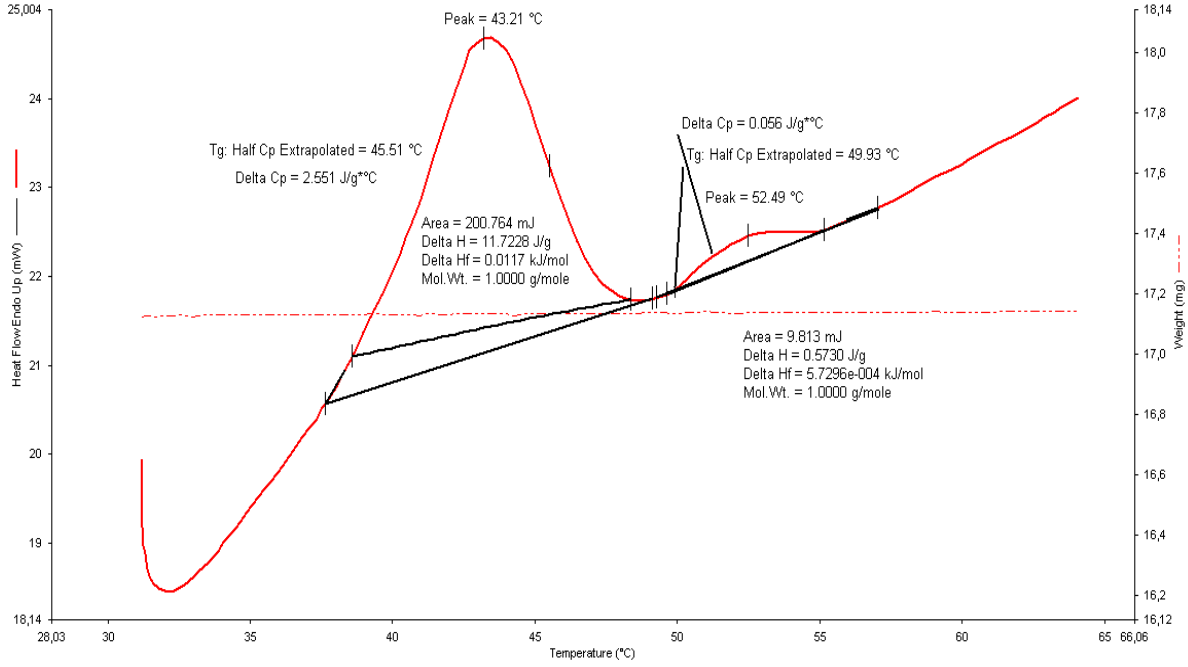
Təcrübədə işçi oblastı 30-1000°C və qızdırılma sürəti 5-20°C/dəq olan STA 6000 (PERKIN ELMER, ABŞ) diferensial skanedici kalorimetrindən istifadə olunmuşdur. Nümunələr 0,2 ml ölçüyə malik alüminium-oksid əsaslı tigələ yerləşdirilir. Proqram təminatı avtomatlaşdırılmış qaydada 10<sup>-3</sup>q dəqiqliyi ilə nümunə ilə dolu tigelin kütləsi ilə boş tigelin kütlə fərqini təyin edir. Sistemdə yanma məhsullarının sistemdən xaric edilməsi və kondensasiya prosesinin qarşısının alınması məqsədi ilə 20 ml/dəq sürət ilə arqon təsirsiz qazından istifadə edilmişdir. Tədqiq edilən nümunənin təbiəti ilə bağlı olaraq, təcrübə 30-65°C intervalında 5°C/dəq sürətlə qızdırılma rejimində yerinə yetirilmişdir. "Pyris Manger" proqram təminatından istifadə olunaraq kinetik parametrlər təyin olunmuşdur. Şəkil 3-də saf maye kristalın faza keçid temperaturlarını əks etdirən termoqram göstərilmişdir.



Şəkil 1. İstifadə edilmiş maye kristal molekullarının 3D sturkturu.



Şəkil 2. Nümunələrin SEM təsviri.



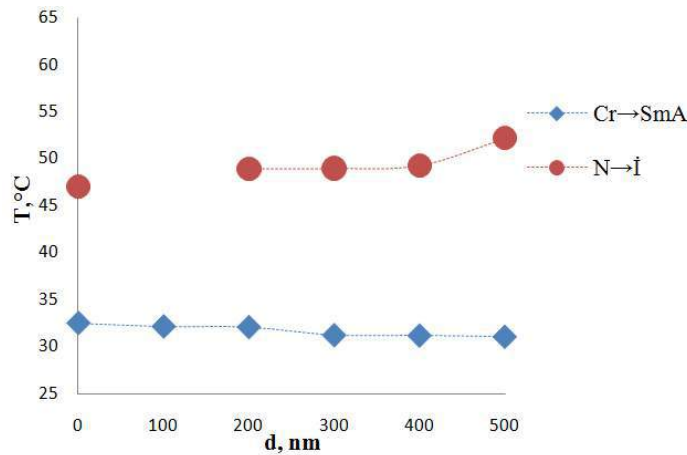
Şəkil 3. Təmiz maye kristalın qızdırılma rejimində çəkilmiş termoqramı.

## EKSPERİMENTAL NƏTİCƏLƏR VƏ ONLARIN MÜZAKİRƏSİ.

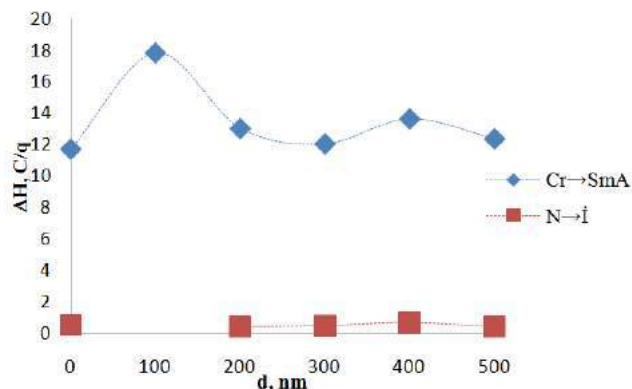
Şəkil 4-də nümunələrin kristal-smektik  $A(T_{CA})$  və nematik-izotrop ( $T_{NI}$ ) faza keçidi temperaturunun  $BaTiO_3$  hissəciklərinin ölçüsündən asılılıq qrafiki göstərilmişdir.  $T_{AN}$  smektik  $A$  – nematik keçidi temperaturu isə bəzi termoqramlarda çox cüzi hiss edilir, bunu smektik  $A$  - nematik faza keçid temperaturunun çox dar intervalda baş verməsi ilə izah etmək olar.  $BaTiO_3$  hissəcikləri kristal-smektik  $A$  faza keçidi temperaturunu ( $T_{CA}$ ) azaldır,  $BaTiO_3$  hissəciklərinin ölçüsü böyükcə bu azalma artır. 500 nm ölçülü  $BaTiO_3$  hissəcikləri üçün bu fərq  $\Delta T_{CA} = -1,46^\circ C$  bərabərdir.  $T_{NI}$  nematik-izotrop faza keçidi temperaturuna  $BaTiO_3$  hissə-

cikləri daha kəskin təsir göstərir, belə ki, keçid temperaturunu artırır və hissəciklərin ölçüsü böyükcə bu artım daha da böyük olur. 500 nm ölçülü  $BaTiO_3$  hissəcikləri halında bu artım  $\Delta T_{NI} = +5,19^\circ C$  təşkil edir. 100 nm ölçülü  $BaTiO_3$  hissəcikləri olan nümunələrdə isə nematik-izotrop keçidi görünmür.

Şəkil 5-də isə nümunələrin  $\Delta H_{CA}$  kristal-smektik  $A$  və  $\Delta H_{NI}$  nematik-izotrop faza keçidi entalpiyası göstərilmişdir.  $BaTiO_3$  hissəcikləri nematik-izotrop faza keçidi entalpiyasına cüzi təsir göstərir. Kristal-smektik  $A$  faza keçidlərində  $BaTiO_3$  hissəciklərinin ölçüsündən asılı olaraq entalpiyaların dəyişməsi uyğunluğu müşahidə olunmur. Lakin 100 nm ölçülü  $BaTiO_3$  hissəcikləri olan nümunədə isə kəskin (1.52 dəfə) artım görünür.



Şəkil 4. Təmiz maye kristalın və  $BaTiO_3$ +MK kolloidlərinin faza keçidi temperaturlarının  $BaTiO_3$  hissəciklərinin ölçüsündən asılılıq qrafiki: dairelər -  $T_{NI}$  nematik-izotrop faza keçidi temperaturu, romblar -  $T_{CA}$  kristal-smektik  $A$  faza keçidi temperaturu.

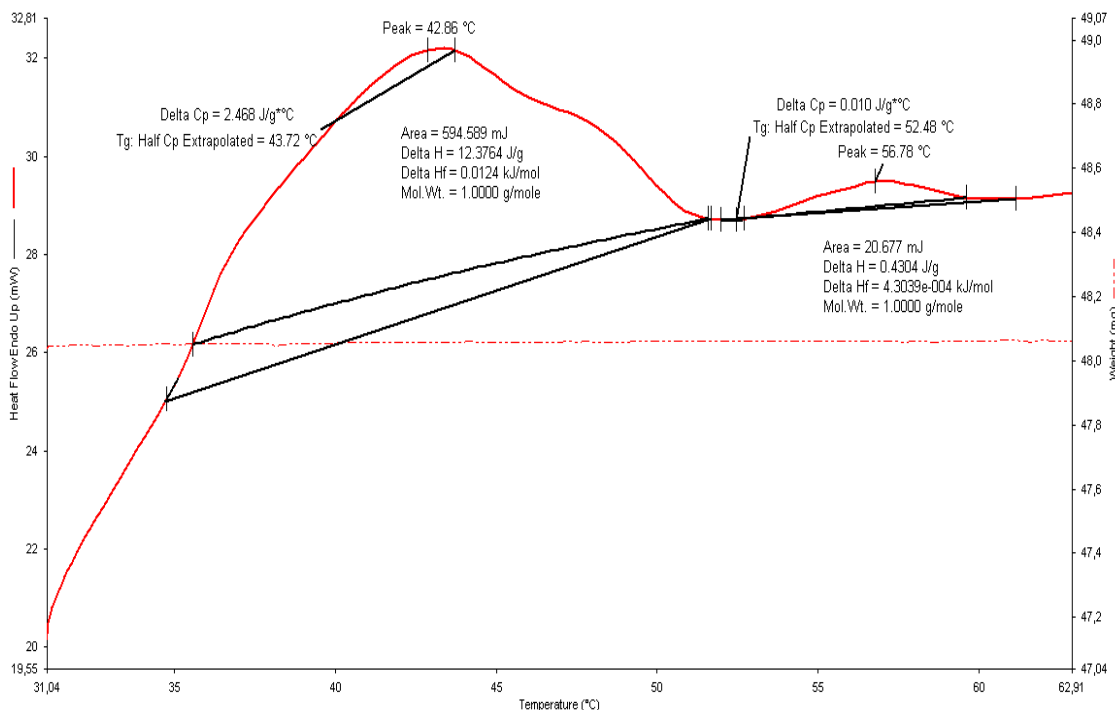


Şəkil 5. Təmiz maye kristalın və BaTiO<sub>3</sub>+MK kolloidlərinin faza keçidi entalpiyalarının BaTiO<sub>3</sub> hissəciklərinin ölçüsündən asılılıq qrafiki: kvadrlar  $\Delta H_{N-1}$  nematik-izotrop faza keçidi entalpiyaları, romblar -  $\Delta H_{Cr}$  kristal-smektik A faza keçidi entalpiyaları.

Cədvəl 1.

Təmiz maye kristalın və müxtəlif ölçülü BaTiO<sub>3</sub> hissəcikləri əlavə olunmuş maye kristalların faza keçidi temperaturlarının və entalpiyalarının qiymətləri

$d, nm$	$T_{Cr-SmA}, ^\circ C$	$\Delta H_{Cr-SmA}, C/q$	$T_{N-1}, ^\circ C$	$\Delta H_{N-1}, C/q$
0	32,5	11,7228	47	0,573
100	32,14	17,8573		
200	32,07	13,0373	48,95	0,4543
300	31,21	12,0563	48,97	0,5158
400	31,17	13,651	49,3	0,705
500	31,04	12,3764	52,19	0,4304



Şəkil 6. 500 nm ölçülü BaTiO<sub>3</sub> hissəciklərinin maye kristalda dispersiyasından alınmış kolloidin qızdırılma rejimində çəkilmiş termoqramı

Cədvəl 1-də təmiz maye kristalın və müxtəlif ölçülü BaTiO<sub>3</sub> hissəcikləri əlavə edilmiş kolloidlərin kristal-smektik A və nematik-izotrop faza keçidlərinin

keçid temperaturları və entalpiyalarının qiyməti göstərilmişdir

Nəticələrin izahı bu istiqamətdə aparılmış təcrübələrə və təcrübələri izah edən modellərə əsaslanaraq aparıla bilər. Seqnetoelektrik hissəciklərin çox zəif konsentrasiya miqdarında maye kristallara əlavə edildikdə faza keçidlərinə üç effektin (hissəciklərlə maye kristal molekulları arasında qarşılıqlı təsir, ion və hissəciklərin polarizasiyası) təsiri müşahidə olunur [16]. DSK metodu ilə faza keçidlərinin analizi zamanı ion effekti müşahidə olunmur. Bizim təcrübədə isə qalan iki effekt nəzərə alınmışdır. Böyük konsentrasiyalarda hissəciklərin aqreqasiyası hesabına fərqli nəticələr əldə edilir ki, bu nəticələrə də münasibət birqiyəmətlilik deyildir. Təcrübədə istifadə edilmiş maye kristalın xüsusiyyətinə uyğun olaraq demək olar ki, kristal-smektik A faza keçidi I növ güclü faza keçidinə malikdir. Smektik A nematik faza keçidi isə bizim nümunədə BaTiO<sub>3</sub> hissəciklərinin 500 nm ölçüsündə çox zəif hiss edilir (şəkil 6).

Nematik-izotrop keçidi zəif I növ faza keçididir. BaTiO<sub>3</sub> hissəciklərinin kristal-smektik A faza keçidini daha da gücləndirməsi (keçid entalpiyasını artırması) oriyentasiya nizam parametrisinin artması ilə izah olunur.

Kristal-smektik A faza keçidi temperaturunun azalması [17] işində verilən nəzəriyyə ilə izah oluna bilər. Nematik-izotrop faza keçidinin temperatur artması isə (1) düsturuna görə [18] izah oluna bilər.

$$T_{NI} = 1.03 \times \frac{\phi_{NP} \Delta \epsilon P^2}{135 k_B \rho_{LC} \epsilon_0 \epsilon^2} \quad (1)$$

Hissəciklərin daha böyük ölçüdə spontan polarizasiyasının daha böyük qiymət alması ilə bağlı [19] faza keçidi temperaturu daha da artır.

- 
- [1] D. Demus, J. Goodby, G. W. Gray, H.-W. Spiess, V. Vill. Handbook of Liquid Crystals, Weinheim; New York; Chichester; Brisbane ; Singapore; Toronto: Wiley-VCH, 4 vol. set, 1998, 2591p.
- [2] L. Blinov. Structure and Properties of liquid Crystals, Springer, Heidelberg, London, New York, 2011, 458p.
- [3] D.K. Yang and S.T. Wu. Fundamentals of Liquid Crystal Devices, John Wiley & Sons, Ltd., 2006, 378 p.
- [4] T. Kato, N. Mizoshita, K. Kishimoto. Angew. Chem. Int. Ed. 45, 2005, 38-68.
- [5] Drzaic, S. Paul. Liquid Crystal Dispersions, World Scientific, Singapore, 1995, 429 p.
- [6] J.P.F. Lagerwall, G. Scalia. Liquid crystals with nano and microparticles, World Scientific, Singapore, 2016, 944 p.
- [7] Y. Shen, I. Dierking. Perspectives in Liquid-Applied Sciences, 2019, 9(12), 2512.
- [8] Y. Jian, C. Junhao. Nanocrystalline Barium Titanate, Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology, Edited by H. S. Nalwa, 2004 by American Scientific Publishers, Volume 6: 389 p.
- [9] Y. Reznikov. Ferroelectric Colloids in Liquid Crystals, Liquid crystals beyond displays : chemistry, physics, and applications edited by Quan Li, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2012, 573 p.
- [10] Y. Garbovskiy and A. Glushchenko. Ferroelectric Nanoparticles in Liquid Crystals: Recent Progress and Current Challenges, Nanomaterials 2017, 7(11), 361.
- [11] M.V. Rasna, L. Cmok, D.R. Evansc, A. Mertelj and S. Dhara. Liquid Crystals, 2015, vol. 42, N7, 1059-1067.
- [12] M. Mishra, R.S. Dabrowski, R. Dhar. J. Mol. Liq. 2016, 213, 247-254.
- [13] O. Kurochkin, H. Atkuri, O. Buchnev, A. Glushchenko, O. Grabar, R. Karapinar, V. Reshetnyak, J. West, Y. Reznikov. Condens. Matter Phys. 2010, 13, 33701.
- [14] Y. Lin, A. Daoudi, A. Segovia-Mera, F. Dubois, C. Legrand, R. Douali. Phys. Rev. E 2016, 93, 062702.
- [15] K.P. Sigdel, G.S. Iannacchione. Chem. Phys. 2013, 139, 204906.
- [16] Y. Lin, R. Douali, F. Dubois, A. Segovia-Mera, and A. Daoudi. Eur. Phys. J. E, 2015, 38: 103.
- [17] M.V. Gorkunov, M.A. Osipov. Soft Matter Mean-eld theory of a nematic liquid crystal doped with anisotropic nanoparticles 7, 4348, 2011.
- [18] L.M. Lopatina and J.V. Selinger. Phys. Rev. E: Stat., Nonlinear, Soft Matter Phys., 2011, 84, 041703
- [19] Ş.Ə. Hümbətov, M.Ə. Ramazanov, A.R. İmaməliyev, Z.Ə. Ağamaliyev, M.N. Mirzəyev. Azərbaycan Fizika Jurnalı, 2017, 23:2, 15-19.

Sh.A. Humbatov

### INFLUENCE OF BaTiO<sub>3</sub> PARTICLES ON THE PHASE TRANSITIONS OF SMECTIC A LIQUID CRYSTAL WITH POSITIVE DIELECTRIC ANISOTROPY

The influence of BaTiO<sub>3</sub> different size particles on phase transitions of smectic A liquid crystal with positive dielectric anisotropy is investigated by DSC method. It is shown that BaTiO<sub>3</sub> particles increase the temperature of the nematic-isotropic phase transition. This increase becomes larger with increase of particle size. BaTiO<sub>3</sub> particles also decrease the temperature of A crystal-smectic phase transition. BaTiO<sub>3</sub> particles increase the enthalpy of the crystal-smectic A. phase transition. This increase is the largest at particle size 100nm. The enthalpy of the nematic-isotropic phase transition changes insignificantly: enthalpy grows slightly at the particle size 300 nm and 400 nm, and it weakly decreases at the particle size 300 nm and 400 nm.



**Ш.А. Гумбатов**

**ВЛИЯНИЕ ЧАСТИЦ BaTiO<sub>3</sub> НА ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ СМЕКТИЧЕСКОГО А ЖИДКОГО КРИСТАЛЛА С ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АНИЗОТРОПИЕЙ**

Методом ДСК исследовано влияние частиц BaTiO<sub>3</sub> различных размеров на фазовые переходы смектического *A* жидкого кристалла с положительной диэлектрической анизотропией. Показано, что частицы BaTiO<sub>3</sub> увеличивают температуру фазового перехода нематик-изотроп. С увеличением размеров частиц это увеличение становится еще больше. Частицы BaTiO<sub>3</sub> снижают также температуру фазового перехода кристалл-смектик *A*. Частицы BaTiO<sub>3</sub> увеличивают энтальпию фазового перехода кристалл-смектический *A*. При размере частиц 100 нм это увеличение наибольшее. Энтальпия фазового перехода нематического-изотроп меняется незначительно: при размере частиц 300 нм и 400 нм энтальпия слабо растет, при размере частиц 300 нм и 400 нм она слабо падает.

*Qəbul olunma tarixi: 04.11.2019*

# NEFT LƏKƏLƏRİNİN MƏSAFƏDƏN AŞKARLANMASI ÜÇÜN MİLLİ AVIASİYA AKADEMİYASINDA İŞLƏNİB HAZIRLANMIŞ FLÜORESSENT LİDAR-ın İŞ PRİNSİPİ, QURULUŞU VƏ ƏSAS MODULLARI

İ.Z. SADIXOV

Milli Aviasiya Akademiyası, Bakı, Mərdəkan pr. 30

e-mail: [ilham-sadixov@mail.ru](mailto:ilham-sadixov@mail.ru)

Tədqim olunan məqalə SOCAR-ın dəstəyi ilə Milli Aviasiya Akademiyasında neft çirklənmələrinin lazer hesabına flüoressensiya metodu əsasında məsafədən aşkarlanması üçün nəzərdə tutulmuş KA-14 LİDAR-ın (Light Identification Detection and Ranging) iş prinsipi, quruluş sxemi və əsas modulların xüsusiyyətləri verilmişdir. LİDAR real zaman axımında zondlamanın aparılması və verilənlərin yerindəcə emal edilə bilməsi kimi müasir tələblərə cavab verir. Bu xüsusiyyətlər neft sızıntılarının operativ aşkarlarına bilməsi baxımından aktual məsələdir.

**Açar sözlər:** LİDAR, məsafədən zondlama, flüoressensiya, lazer, Xəzər dənizi, neftin flüoressensiyası, lazer spektroskopiyası, neft çirklənmələri  
**UOT:** 504.064.37:528.8

## 1. GİRİŞ.

Neft – bu gün sivilizasiyanı onsuz təsəvvür edə bilməyəcəyimiz qədər qiymətli xammaldır. Lakin çox vaxt neft və neft məhsullarının hasil olunması, daşınması, saxlanması və emalı onu ətraf mühitə böyük ölçüdə zərər verən çirkləndirmə mənbəyinə çevirir. Ətraf mühitə daxil olan antropogen mənşəli çoxsaylı zərərli maddələrin arasında neft və neft məhsulları ilk sıralardadır [1, 2]. Neft və onun komponentlərinin ətraf mühitə düşməsi (havaya, suya və torpağa) yaşayış yerlərinin fiziki, kimyəvi və bioloji xüsusiyyətlərinin dəyişməsinə və təbii biokimyəvi proseslərin pozulmasına səbəb olur. Belə kimyəvi maddələr ətraf mühitə düşdükdən sonra bir çoxu artıq öyrənilmiş olan bir sıra mürəkkəb çevrilmələrə məruz qalır. Neft karbohidratları transformasiya nəticəsində əvvəlkindən daha çox kanserogen və mutagen xüsusiyyətlərə malik, mikrobioloji parçalanmaya davamlı toksit birləşmələrə çevrilə bilirlər [3]. Bu baxımdan neft sızıntılarının tez və operativ aşkarlanması məsafədən zondlamanın aktual məsələlərindən biridir. LİDAR texnikasının bu sahədə tətbiq edilməsi günün saatlarından asılı olmayaraq və yetəri qədər geniş atmosfer şərtlərində bu tip monitorinqlərin aparılması üçün çox əlverişlidir [4, 5, 6].

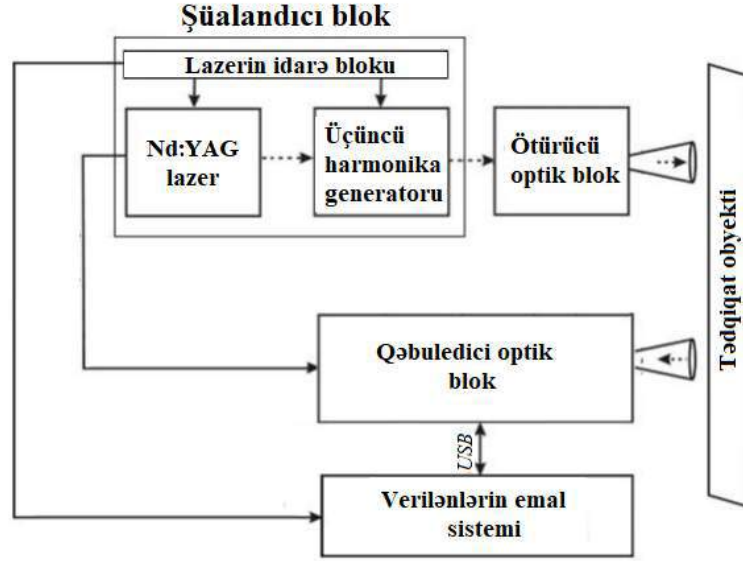
Xam neft çox geniş və müxtəlif maddələr sinifi olub karbohidrogenlərin, duzların, aminlərin, kükürd birləşmələrinin və metalların kompleks birləşmələridir. Məlumdur ki, xam neftin əsas komponentlərinə karbon (83-87%), hidrogen (11-14%), oksigen (3%-ə qədər), azot (0,1-2%), kükürd (0,05-6%) və mikroelementlər-metallar (<0,1%; daha geniş yayılmış metallar: dəmir, nikel, mis və vanadium) daxildir [7]. Neftin ölçülməsi və identifikasiyası üçün tətbiq edilən flüoressent spektroskopiyasının əsasını neftin flüoressensiya mənbəyi olan aromatik birləşmələr və onların törəmələri təşkil edir. Neftin ümumi karbohidrat miqdarının 25-75%-ni əsas hissəsi ikili birləşmələrdən ibarət olan aromatik karbohidratlar təşkil edir. Bu birləşmələr benzol, naftalin, antrasen, fenantren, floran-ten, benzpirol və başqa polisiklik aromatik karbohid-

ratlardan və onların törəmələrindən, həmçinin ağır metallar təşkil edən porfirinlərdən ibarətdir. Sadalanan maddələr  $\pi$  elektronlarla birləşmiş, doymamış quruluşa malikdirlər və neftin flüoressent aşkarlanma metodunun əsasını təşkil edirlər. Milli Aviasiya Akademiyasında yaradılmış KA-14 LİDAR sistemi neftin lazer şüalanması ilə həyəcandırıldıqda flüoressensiya edə bilmək qabiliyyətinə əsaslanmışdır və lidarın əsas xüsusiyyətləri daha öncə nəşr edilən elmi məqalələrdə öz əksini tapmışdır [8, 9, 10]. Tədqim olunan məqalədə lidarın iş prinsipi və ayrı-ayrı hissələri ətraflı şəkildə izah olunur.

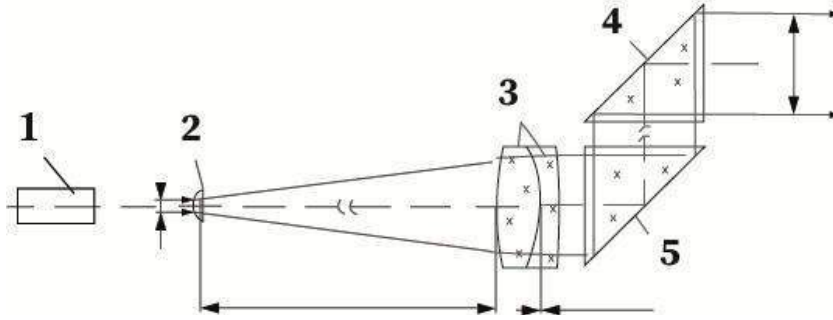
## 2. METODOLOGİYA.

LİDAR-ın iş prinsipi neft çirklənmələrinin lazer vasitəsi ilə şüalandırılması və yaranan flüoressensiya şüalanmasının qəbuledici kanal vasitəsi ilə qeyd edilməsidir. Zond şüalanmasının intensiv impulsları kollimasiya edən optik sistemdən çıxaraq tədqiq obyektinə olan neft nümunəsinə istiqamətləndirilir. Şüalanmanın çox kiçik bir hissəsi ayrılır (1-2%) və istinad siqnalının formalaşdırılması üçün istifadə olunur. Lazer şüasının udulması nəticəsində neft nümunəsində yaranan flüoressensiya qəbuledici optik modul ilə yığılır və ölçmələrin aparıldığı məsafədən asılı olaraq öncədən müəyyən edilmiş iki spektr analizatorundan birinə göndərilir. Son olaraq siqnal analoq-rəqəm çeviricisi vasitəsi ilə kompüter modulunda toplanır və emal olunur. Şəkil 1-də LİDAR-ın ümumi quruluş sxemi təqdim olunmuşdur.

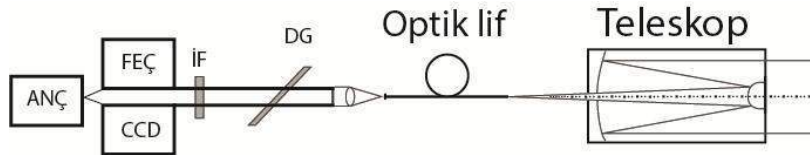
Yaradılan LİDAR sistemində neftin flüoressensiya xassələri nəzərə alınaraq şüalandırma mənbəyi kimi Nd:YAG lazerin (1064 nm) 3-cü harmonikasından istifadə olunur. Qabaritləri, çəkisi və effektiv soyutma sistemi nəzərə alınaraq şüalandırma mənbəyi kimi Nd:YAG lazeri əsasında Quantel CFR 200 model lazer tətbiq edilmişdir. Şüalanmanın dalğa uzunluğu 355 nm, impuls tezliyi 20 Hz, impulsun müddəti 7 nsan, bir impuls üçün enerjisi 60 mCl, enerji stabilliyi <2%, şüanın sərfiyyatı <3,5 mrad, şüa diametri 5,35 mm təşkil edir.



Şəkil 1. Milli Aviasiya Akademiyasında işlənilmiş KA-14 flüoressent LİDAR-ın quruluş sxemi.



Şəkil 2. Flüoressent KA-14 LİDAR-ın lazer şüalanmasının ötürücüsünün optik sxemi. 1– Nd:YAG lazer, 2, 3– lazer şüasının genişləndiricisi, 4, 5– tənzimlənən prizmalar.



Şəkil 3. KA-14 flüoressent LİDAR-ın qəbuledici optik blokunun quruluş sxemi.

LİDAR vasitəsi ilə aparılacaq ölçmələrin etibarlılığı lazer şüasının parametrlərindən birbaşa asılıdır. Bununla birgə təbiidir ki, tədqiqat obyektinə yönləndirilmiş lazer şüasının işlək dalğa uzunluğunda sərfiyyatı minimal və sistemin optik görüş oxu ilə paralelliyi maksimal olmalıdır. Bu səbəbdən, şüalanmanın ötürücü optik blok vasitəsi ilə tədqiqat obyektinə yönləndirilməsi zondlamanın aparılması üçün zəruri şərtədir [11]. Ötürücü optik blok lazer şüasının kollimasiyasını yaxşılaşdırır, məkan süzəgəlməsini həyata keçirir və lazerin özünün yarada biləcəyi arzuolunmaz yan şüalanmanı dəf edir. Yaradılan flüoressent lidarın arzu olunan xarakteristikalarını nəzərə alsaq, genişləndirmə əmsalı 3-4 intervalında olmalıdır. Ötürücü optik modulun quruluş sxemi şəkil 2-də göstərilmişdir.

LİDAR-ın qəbuledici bloku flüoressent şüalanmanın qeydiyyatı üçün nəzərdə tutulmuşdur. Blok optik sistemdən, lazer induksiya flüoressensiya şüalanmasının qeydiyyatının spektral kanallarının seçimini təmin edən spektral interferensiya süzəgələri və dixorik güzgüdən, fotoqəbuledici, fotoelektron çoxaldıcıdan və analoq-rəqəm çeviricisindən ibarətdir (şəkil 3).

Flüoressensiyanın şüalanması qəbuledici obyektiv vasitəsi ilə yığılır, spektral süzəgəlmədən keçir və teleskopun fokus müstəvisində yerləşən optik lifə daxil edilir. Optik lifin istifadəsi qəbuledici optik sistemi ilə spektral bölgü sistemini yaymağa və qəbuledici teleskop ilə qəbuledicinin uyğunlaşdırılmasını sadələşdirməyə imkan verir. Qeydiyyatın spektral diapazonlara bölgüsü qəbuledici teleskopdan sonra dixorik güzgülərin köməyi ilə aparılır.

LİDAR-ın qəbuledici blokunda Nyuton tipli teleskop tətbiq olunmuşdur. Kosmik lidarlarda tədqiqat obyektini ilə lidar arasındakı məsafə çox böyük olduğundan teleskopun diametri əksər zamanlarda yetəri qədər informasiya yığa bilməsi üçün 1-3 metr arası (bəzən çox) olur [12]. Bizim halda isə, yaratdığımız yerüstü KA-14 flüoresent LİDAR-ı ilə aparılacaq eksperimentlər zamanı məsafəni nəzərə alaraq, çəkinin və qabaritlərin azaldılması baxımından tətbiq etdiyimiz Nyuton tipli teleskopun diametri 200 mm-dir.

Fotoqəbuledici LİDAR ilə aparılan ölçmələrin həssaslığını və dəqiqliyini müəyyən edən əsas elementlərdən biridir. Onun seçilməsi ölçmələrin aparılacağı spektral diapazonun müəyyənləşdirilməsindən başlayır. Lidar ölçmələrinin aparılacağı diapazon (300 nm – 800 nm) nəzərə alınaraq fotoqəbuledici kimi xarici fotoeffektdə daha həssas olan və yüksək gücləndirmə əmsalına malik Fotoelektron Çoxaldıcıya (FEU) üstünlük verilmişdir.

KA-14 LİDAR-da sistemin sınaqdan keçirilməsi, kalibrovkası, müxtəlif neft nümunələrinin flüoresent spektral analizinin aparılması məqsədi ilə OCEANOPTICS-in Maya 2000 pro model multikanallı optik analizatoru tətbiq olunmuşdur. Spektrometrin optik diapazonu 380-750 nm arasındadır və laboratoriyaya şəraitində ölçmələrin aparılması üçün istifadə olunur. Real şəraitdə dəniz səthində neft çirklənmələrinin aşkarlanması üçün LİCEL GmbH firmasının MLD (Multispectral LİDAR Detector) 32 spektral kanala malik modeli istifadə olunur. 32 fotokatod elementi 32 təkfotonlu sistemin hesabına sistemi ikiölçülü spektral verilənlər ilə təmin edir. Multispektral lidar aşkarlayıcı

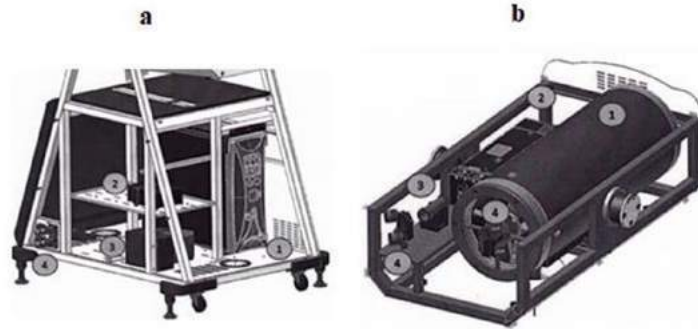
cısı spektrin eyni anda bir neçə dalğa uzunluğunu müəyyənləşdirmək imkanına malikdir. Fotoelektron çoxaldıcıya əsaslanan spektrometrin optik diapazonu 300-880 nm təşkil edir.

Sonda FEU-nun çıxış siqnalları analoq-rəqəm çeviricisinə (ARÇ) yönləndirilir və oradan kompüter ilə qəbul olunur. Burada yığılan siqnallar yerindəcə ilkin emaldan keçir və yaddaşa köçürülür.

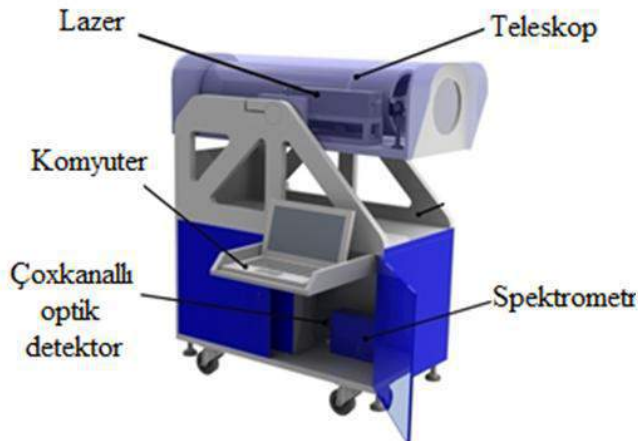
### **3. NƏTİCƏ.**

İstismar şərtlərinin rahat, qabaritlərin kiçik olması, rütubətdən və kənar küylərdən qorunması məqsədi ilə LİDAR-ın bütün modullarının rəqəmsal interfeyslə təmin olunmuş, personal kompüter də daxil olmaqla, bir ana bazada birləşdirilməsi qərara alınmışdır. Belə kompanovka real şəraitdə dəniz kənarı neft platformalarında LİDAR-ın istifadəsi zamanı vacib şərt olan sistemin hermetikliyini və kənar küylərdən qorunmasını təmin edir.

LİDAR əsas və zondlama bucağının dəyişdirilə bilməsi üçün dönmə platforma olmaqla 2 baza bloktan ibarətdir. Şəkil 4 a, b -də görüldüyü kimi əsas blokda şüalandırma mənbəyi olan lazerin 1 – qida bloku, 2 – spektrometr, 3 – çoxkanallı optik qəbuledici, 4 – elektrik qidalanması və kompüter ilə əlaqə üçün birləşdiricilər yerləşdirilmişdir. Dönmə platformada isə 1 – teleskop, 2 – lazer şüalandırıcısı, 3 – lazer şüasının kollimatoru, 4 – iki döngəli güzgüdən ibarət qəbuledici sistem qurulmuşdur. Bu cür tərtibat ölçmələrin  $\pm 20^\circ$  bucaq diapazonunu təmin edir.



Şəkil 4. KA-14 LİDAR-ın a) əsas və b) dönmə bloku.



Şəkil 5. Milli Aviasiya Akademiyasında yaradılmış KA-14 flüoresent LİDAR – ın bütün modullarının birləşdirildiyi ümumi görünüşü.

Sistemin tam olaraq avtomatlaşdırılmış ölçmələri apara bilməsi, avtonom rejimdə işləyə bilməsi və kompüter ilə sinxron bağlantının yaradılması üçün hər iki platforma bir blokda birləşdirilmişdir. Beləliklə, Abşeron yarımadasında ilk dəfə dəniz səthindəki neft çirklənmələrinin məsafədən aşkarlanması üçün real zamanda ölçmələr aparmaq qabiliyyətinə malik, mobil LİDAR sistemi Milli Aviasiya Akademiyasında işlənilib hazırlanmışdır. LİDAR-ın ümumi görünüşü və texniki xarakteristikaları müvafiq olaraq şəkil 5 və cədvəl 1-də təqdim olunmuşdur.

KA-14 flüoresent LİDAR-ı ilə Abşeron yarımadasının müxtəlif zonalarında çıxarılan neft nümunələrinin flüoresent spektrləri ölçülüb və bəzi nəticələr nəşr olunmuşdur [13]. Hal-hazırda SOCAR-ın dəstəyi ilə 8 NQÇİ və 4 birgə müəssisəyə aid olan bütün neft nümunələrinin LİDAR vasitəsi ilə flüoresent spektral analizləri aparılır. Nəticələr əsasında yaxın illərdə bütün neft nümunələrinin flüoresensiya spektrləri əsasında VERİLƏNLƏR BAZASI yaradılması planlaşdırılır.

Cədvəl 1.

KA-14 LİDAR-ın əsas xüsusiyyətləri

No.	Parametrin adı	Qiymət
1	Lazer şüalanmasının dalğa uzunluğu	355 nm
2	Teleskopun diametri	200 mm
3	Kollimatorun çoxaltma əmsalı	3 – dən az olmamaqla
4	Teleskopun ölçmə bucağının diapazonu	±20°
5	Spektral görüntü imkanı	6 nm
6	Spektral diapazon	300 – 880 nm
7	Spektr kanallarının sayı	32
8	Maksimum zondlama məsafəsi	250

#### 4. TƏŞƏKKÜR.

Aparılan işlərə göstərdiyi maddi-texniki dəstəyə görə Azərbaycan Dövlət Neft Şirkətinə və nəticələrin

müzakirəsində göstərdiyi köməyə görə akademik, f.-r.e.d Arif Mircəlal oğlu Paşayevə və professor, f.-r.e.d Kərim Rəhim oğlu Allahverdiyevə öz dərin təşəkkürlərini bildirirəm.

- [1] Ю.С. Другов, А.А. Родин. Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007, 270 с.
- [2] С.А. Патин. Нефть и экология континентального шельфа. М.: ВНИРО, 2001. 247 с.
- [3] Некрасова Алина Александровна, Привалов Дмитрий Михайлович, Попова Ольга Сергеевна, Привалова Наталья Михайловна и Дваденко Марина Владимировна. "Воздействие нефти и нефтепродуктов на окружающую среду" Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета, no. 125, 2017, pp. 309-318.
- [4] Р. Межерис. Лазерное дистанционное зондирование. М.: Мир, 550 с. 1987.
- [5] R.M. Measures. Laser remote sensing. Fundamentals and applications. Krieger Publishing Company. Malabar. Florida. 1992. 510 p.
- [6] V.V.Fadeev, S.A.Burikov, P.A.Volkov, V.B.Lapshin, A.V. Syroeshkin. Oceanology, 2009, vol. 49, N2, p. 205-210.
- [7] A.A. Petrov, 1984. Petroleum hydrocarbons. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, p. 174.
- [8] A. Pashayev, B. Tagiyev, K. Allahverdiyev, A. Musayev, I. Sadikhov. 2015. LIDAR for remote sensing of contaminations on water and earth surfaces taking place during oil-gas production. Proc. SPIE, 2015, vol. 9810, pp. 981018-1–981018-7.
- [9] Arif M. Pashayev, Kerim R. Allahverdiyev, Bahadir G.Tagiyev, and Ilham Z.Sadikhov. Light induced fluorescence lidar developed and employed at the National Aviation Academy of Azerbaijan", Proc. SPIE 10226, 19th International Conference and School on Quantum Electronics: Laser Physics and Applications, 102260W (5 January 2017)
- [10] A.M. Pashayev, A.A. Musayev, N.A. Veliyev, B.G. Tagiyev, Y.M. Baghirov, K.R. Allahverdiyev, I.Z. Sadikhov. DISTINCTIVE FEATURES OF EMISSION SPECTRA OF CRUDE OILS OF THE ABSHERON PENINSULA, International Conference on Modern Trends in Physics, Baku State University, May 2019.
- [11] Serkan, Mert & Kirkici, Hulya. Optical beam-shaping design based on aspherical lenses for circularization, collimation, and expansion of elliptical laser beams. Applied optics. 47. 230-241. 10.1364/AO.47.000230, 2008.

- [12] P. Mazinghi, V. Bratina, D. Ferruzzi, L. Cambicorti, F. Simonetti, A. Zuccaro Marchi, P. Salinari, F. Lisi, M. Olivier, A. Bursi and J. Pereira do Carmo "An ultra-lightweight, large aperture, deployable telescope for advanced lidar applications", Proc. SPIE 10567, International Conference on Space Optics — ICSSO 2006, 105670E. 21 November 2017.
- [13] A.M. Pashayev, B.G. Tagiyev, N.A. Veliyev, Y.M. Bagirov, A.A. Musayev, K.R. Allahverdiyev, I.Z. Sadikhov. Fluorescence spectra of oil spills on Caspian sea surface as measured by KA-14 LIF LIDAR developed at the National Aviation Academy of Azerbaijan, Azərbaycan Neft Təsərrüfatı Jurnalı, №7, s.67-71. 2018.

**I.Z. Sadikhov**

**PRINCIPLE OF OPERATION, OPTICAL STRUCTURE AND MAIN MODULES OF FLUORESCENT LIDAR DEVELOPED AT THE NATIONAL AVIATION ACADEMY FOR THE REMOTE SENSING OF OIL SPILLS**

Principle of operation, technical characteristics for main modules of KA-14 LIDAR (Light Identification Detection and Ranging) based on laser fluorescence method and developed at National Aviation Academy under SOCAR's financial support are described in the present paper. Peculiarities of developed LIDAR respond to all requirements, which demand to this kind of systems. These peculiarities are actual ones for detection of oil leakage.

**И.З. Садыхов**

**ПРИНЦИП РАБОТЫ, ОПТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И ГЛАВНЫЕ МОДУЛИ ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО ЛИДАРА, РАЗРАБОТАННОГО В НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ АВИАЦИИ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ НЕФТЯНЫХ ПЯТЕН**

В настоящей статье представлены принцип работы, технические характеристики основных модулей КА-14 ЛИДАР-а (Идентификация при Помощи Света и Определение Расстояния) для определения нефтяных загрязнений методом лазерной флуоресценции, изготовленного в Национальной Академии Авиации в рамках проекта при финансовой поддержке ГНКАР (Государственной Нефтяной Компании Азербайджанской Республики). Особенности ЛИДАР-а отвечает необходимым требованиям, предъявляемым в настоящее время к системам подобного рода. Эти особенности представляются актуальными с позиций оперативной регистрации утечек нефти.

*Qəbul olunma tarixi: 14.11.2019*

## POLİMER-ÇOXKOMPONENTLİ PYEZOFAZAYA MALİK KERAMİKALARDAN İBARƏT KOMPOZİTLƏRDƏ PYEZO-, PİROELEKTRİK EFFEKTİLƏRİN FORMALAŞMASININ MÜHÜM AMİLLƏRİ

**Z.A. DADAŞOV**

*Azərbaycan MEA-nın H.M.Abdullayev adına Fizika İnstitutu,*

*Az-1143, Bakı şəhəri, H.Cavid pr131*

e-mail: [dadashov.zamir@mail.ru](mailto:dadashov.zamir@mail.ru)

İşdə ftor tərkibli (F-23, F-26) və çoxkomponentli pyezokeramikalarından ibarət kompozitlərdə güclü elektrik sahəsinin, temperaturun və elektrik qaz boşalması plazmasının birgə təsiri şəraitində formalaşan relaksasiya və termiki hadisələr öyrənilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, mövcud modifikasiya üsullarından (temperatur, elektrik sahəsi və mexaniki gərginlik) ən effektivsi elektrik qaz boşalması plazmasının təsiri şəraitində modifikasiyasıdır.

**Açar sözlər:** kompozit, heterogen, relaksator, pyezofaza, domen strukturu, piroelement, polyar və qeyri-polyar polimerlər.

**PACS:** 83.85.Hf, Np 83.80. Tc.

### GİRİŞ.

Hal-hazırda texnikanın bütün sahələrinin, o cümlədən hərbi əhəmiyyətli texniki sistemlərin artan tələblərinə cavab verən çox funksiyalı materialların – yeni smart materialların yaradılması ön planda durur. Bu mühüm məsələnin həlli əsasən yarımkeçiricilər, seqnetopyezokeramikalar, polyar və qeyri-polyar polimerlər və mayekristallar əsasında smart materialların yaradılması ilə aparılır. Eksperimental nəticələrin analizi göstərir ki, yalnız yeni ayrı-ayrı smart materialları sintez etməklə texnikanın və hərbi əhəmiyyətli materialların artan tələbatlarını ödəmək mümkün deyildir. Məhz buna görə də, mövcud çoxlu sayda müxtəlif aktiv, passiv dielektriklərin imkanlarını birləşdirməklə, onların əsasında yeni tipli və daha yüksək xarakteristikalara malik smart materiallar sintez edildi. Belə materiallar çoxfazlı və heterogen olduğu üçün kompozitlər adlandırıldı. Buna misal olaraq, polimer matrisalı mikro- və nanoölçülü seqnetopyezofazalı kompozitləri göstərmək olar. Kompozitlərin çox fazlılığı onlarda fazalararası sərhəddə elektron-ion, polyarlaşma, deformasiya və kimyəvi effektlərin (hadisələrin) yaranmasına səbəb olur. Bütün çoxfazlı sistemlər üçün xarakterik amil onlarda elektrik sahəsinin, temperaturun və mexaniki gərginliyin təsiri ilə xassələri asanlıqla idarə oluna bilən müxtəlif relaksasiya müddətinə malik relaksatorların olmasıdır. Hər relaksatorun özünəməxsus relaksasiya müddəti vardır və smart kompozit materialın makroskopik xarakteristikalarını, stabilliyini və istismar temperatur intervalını təyin edir. Ona görə də, polimer-seqnetopyezokeramika kompozitlərin texnologiyaları işlənildikən onların relaksasiya və termiki xassələri nəzərə alınmalıdır.

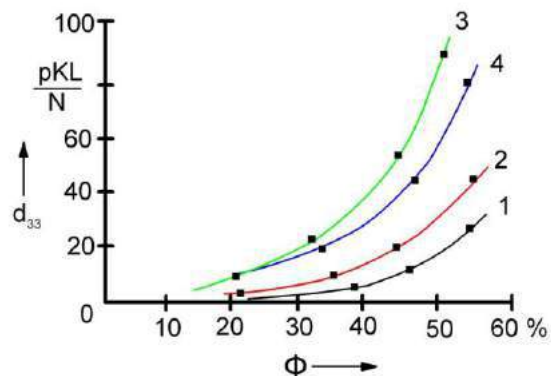
### METODİKA.

Tədqiqat obyektləri kimi ftor tərkibli və yüksək dipol momentinə malik (F-23,F-26) polimerlər götürülmüş, kompozitin digər komponenti isə çoxkomponentli və domen struktura malik seqnetopyezokeramikalar tədqiq edilmişdir. Nəzərdə tutulmuş kompozitlərin tədqiqi üçün isti presləmə metodu ilə alınmış kom-

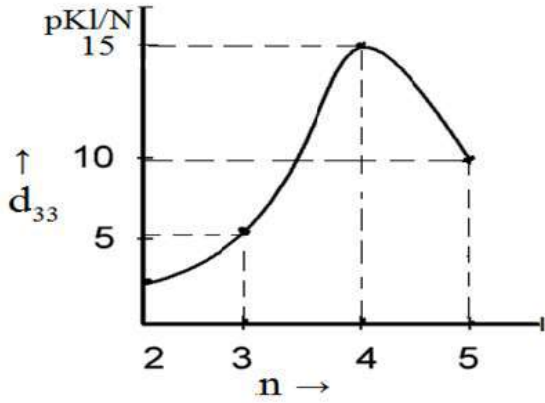
pozitlər götürülmüşdür. Tədqiqat metodları kimi TSD, DSK, DTA metodları istifadə edilmişdir.

### EKSPERİMENTAL NƏTİCƏLƏRİN ANALİZİ.

İşdə qoyulan məqsədə uyğun olaraq kompozitə güclü elektrik sahəsinin, mexaniki gərginliyin və temperaturun birgə təsiri şəraitində yaranan relaksasiya və termiki hadisələrin son nəticədə kompozitin parametrlərinə təsirinə öyrənilməsi vacib faktor kimi ortaya çıxır [1-2]. Bu məqsədlə pyezoelementi xarakterizə edən makroskopik parametrlərin seqnetopyezokeramika komponentlərin sayından asılı olaraq necə dəyişdiyi müəyyən edilmişdir (şəkil 1a və şəkil 1 b). Şəkil 1a və şəkil 1 b-də pyezofaza kimi istifadə etdiyimiz 2-5 komponentli sistemlərin pyezomodulun pyezofazanın komponentlərinin sayından asılı olaraq necə dəyişməsi verilmişdir. Şəkil 1b-dən görünür ki, komponentlərin sayı artdıqca  $d_{ij}$  əvvəlcə artır,  $d_{ij}=f(n)$  asılılığı  $n=4$  olduqda maksimuma çatır və sonra isə azalır, yəni tədqiq etdiyimiz asılılıq ekstermal xarakterlidir.



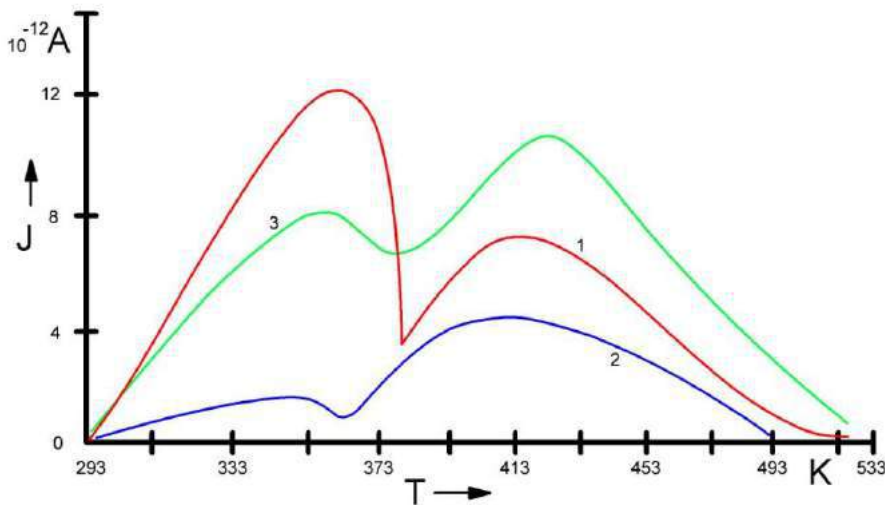
Şəkil 1a. Çoxkomponentli pyezofazaya malik və ftor tərkibli polimer matrisalı kompozitin  $d_{33}$  əmsalının onun həcmi payından asılılığı  $d_{33}=f(\Phi)$ . 1-F-23+PbTiO<sub>3</sub>-PbZrO<sub>3</sub>; 2 - F-23+PbTiO<sub>3</sub>-PbZrO<sub>3</sub>-PbNb<sub>2/3</sub>Mn<sub>1/3</sub>O<sub>3</sub> kompoziti; 3 - F-23+PbTiO<sub>3</sub>-PbZrO<sub>3</sub>-PbNb<sub>2/3</sub>Zn<sub>1/3</sub>O<sub>3</sub>-PbNb<sub>2/3</sub>Mg<sub>1/3</sub>O<sub>3</sub> kompoziti; 4-F-23+PbTiO<sub>3</sub>-PbZrO<sub>3</sub>-PbNb<sub>2/3</sub>Zn<sub>1/3</sub>O<sub>3</sub>-PbNb<sub>2/3</sub>Mn<sub>1/3</sub>O<sub>3</sub>-PbW<sub>1/2</sub>Mg<sub>1/2</sub>O<sub>3</sub> kompoziti.



Şəkil 1b. Çoxkomponentli pyezofazaya malik kompozitlərdə pyezomodulun ( $d_{33}$ ) komponentlərin sayından ( $n$ ) asılılığı,  $d_{33}=f(n)$

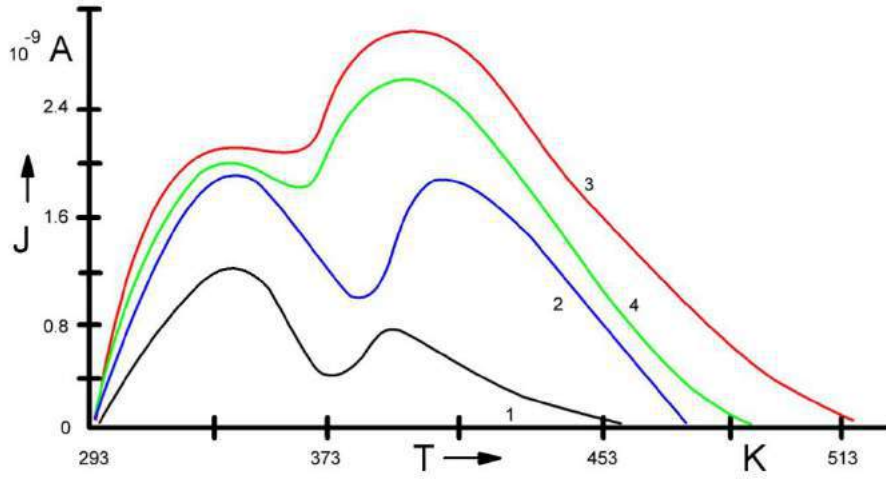
Polimer-çoxkomponentli pyezofazaya malik keramiklardan ibarət kompozitlər üçün alınmış çoxsaylı TSD (termostimullaşdırılmış depolyarlaşma cərəyan) spektrləri göstərir ki, spektrin ikinci maksimumu bilavasitə tədqiq etdiyimiz seqnetopyezokeramik materialın polyarlaşmadan sonra stabilləşdirdiyi yükün miqdarını təyin edir (şəkil 2). Bu effektin birbaşa göstəricisi birinci pikin neytrallaşmasından sonra, ikinci pik qiyətinin dəyişməməsidir. Kompozit şəkil 2-də göstərilən minimumlara yaxın temperaturla qızdırıldıqdan sonra spektrdə birinci maksimumların təqribən itməsi müşahidə olunur. Birinci əməliyyatdan sonra birinci maksimum təqribən yüksək temperatur istiqamətində dəyişdikdə, ikinci maksimum yüksək temperatur istiqamətində nəzərə çarpacaq dərəcədə sürüşür. Şəkil 3-də isə çoxkomponentli pyezofazaya, yüksək polyarlığa, dielektrik xassələrə ( $\epsilon$ ,  $tg\delta$ ,  $\rho_v$ ) və pyezoelektrikliyə malik polimer kompozitlərin TSD spektrləri verilmişdir. Göstərilən spektrlərdən bizi maraqlandıran əsas nəticə onların ikinci maksimumlarının pyezofazanın komponentlərinin sayından asılı olaraq temperatur oxu üzrə yerlərinin dəyişməsidir. Alı-

nan effektin izahı üçün polyar (F-23, F-26) polimer matrisalı kompozitlərin TSD spektrləri geniş öyrənilmişdir. TSD metodunun tətbiqi ilə relaksatorların təbiətinin müəyyən qədər öyrənilməsinə baxmayaraq [2-4], göstərilən mənbələrdəki nəticələr hələ kifayət deyildir, xüsusilə bu amil ftor tərkibli və çoxkomponentli kompozitlərdə daha çox özünü göstərir. İndi də işimizin məqsədinə uyğun olaraq kompozitin  $d_{33}$  və  $\gamma_p$  parametrlərinin formalaşmasında onun dielektrik nüfuzluğunun ( $\epsilon$ ) roluna baxaq. Bu məqsədlə şəkil 4-də ftor tərkibli polimer matrisalı və üçkomponentli seqnetopyezokeramiklardan ibarət kompozitlərin  $\epsilon=f(T)$  asılılığı verilmişdir. Şəkildən görünür ki, kompozitlərin dielektrik nüfuzluğu ( $\epsilon$ )-350-dən 393K-ə qədər temperatur intervalında çox mürəkkəb qanunla dəyişir: Əvvəlcə otaq temperaturundan başlayaraq nəzərə çarpacaq dərəcədə artır və maksimuma çatır. 373-413K temperatur intervalında kəskin azalır; temperaturun sonrakı artımı praktiki olaraq  $\epsilon$ -nin qiymətinə təsir etmir. Eyni zamanda, şəkil 4-dən aydın görünür ki, komponentlərin sayının sabitliyi şəraitində tərkibin dəyişməsi yəni,  $PbNb_{2/3}Mn_{1/3}O_3$ -dan  $PbTa_{2/3}Mg_{1/3}O_3$  keçid  $\epsilon=f(T)$  funksiyasının amplitudu artır, maksimumun özü isə yüksək temperatur istiqamətində yerini dəyişir. Beləliklə, alınan nəticələr göstərir ki,  $\epsilon$ -nin temperaturdan asılı olaraq belə mürəkkəb dəyişməsi təkcə təmiz polimer matrisa ilə yox, həm də pyezofazanın komponentlərinin sayından və tərkibindən asılıdır. Göstərilən effektlərin izahı üçün fazalararası qarşılıqlı təsir və yeni fazanın yaranması anlayışından istifadə etmək lazımdır [4, 5]. Deməli, fazalararası potensial çəpərin yaranması ilə, bir fazada gedən proseslərin, məsələn, polimer fazada molekulyar hərəkətlər digər fazada isə domen strukturun dəyişməsi ilə sıx əlaqədardır. Çünki, pyezohissəciyin təsirindən polimer fazanın molekulyarüstü quruluşu, lokal elektrik sahəsinin təsirindən isə pyezofazanın domen strukturunun dəyişməsi müşahidə olunur.

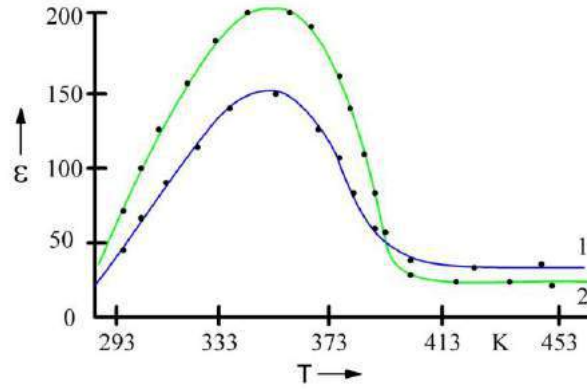


Şəkil 2. F-26 + $PbTiO_3$ - $PbZrO_3$ - $PbNb_{2/3}Mn_{1/3}O_3$ - $PbNb_{2/3}Mg_{1/3}O_3$  kompozitinin TSD spektrləri. 1- polyarlaşmadan əvvəl; 2- polyarlaşmış nümunənin; 3- polyarlaşma temperaturuna qədər qızdırılmış və yenidən polyarlaşmaya məruz qalan nümunənin TSD spektrir. Polyarlaşma şəraiti:  $E_p=8MV/m$ ,  $T_p=373K$ ,  $t_p=0,5$  saat.

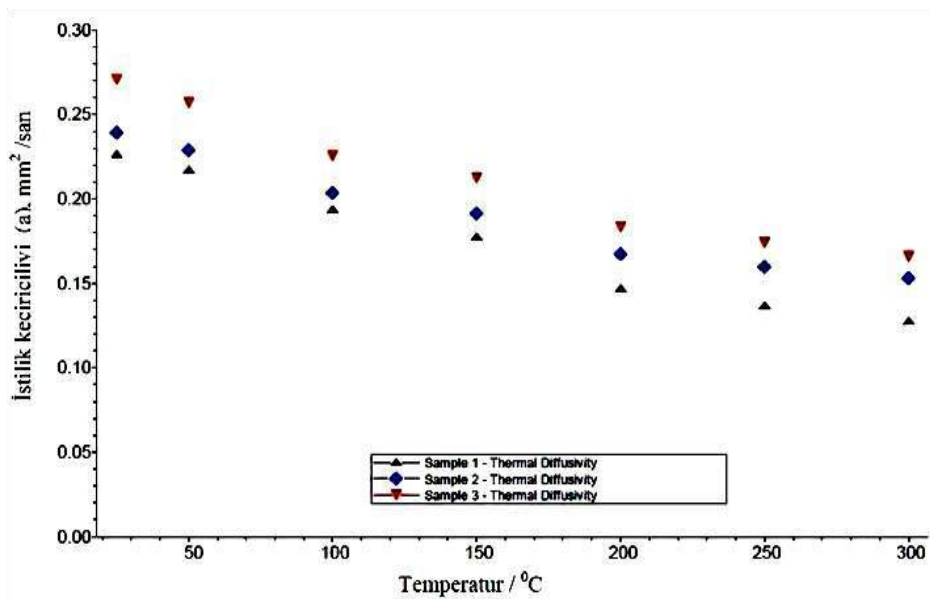




Şəkil 3. Çoxkomponentli polimer kompozitlərin TSD spektrləri. Spektrdə 1- F-23+PbTiO<sub>3</sub>-PbZrO<sub>3</sub> kompozitinin TSD əyrisi; 2- F-23+PbTiO<sub>3</sub>-PbZrO<sub>3</sub>-PbNb<sub>2/3</sub>Mn<sub>1/3</sub>O<sub>3</sub> kompozitinin TSD əyrisi; 3-F-23+PbTiO<sub>3</sub>-PbZrO<sub>3</sub>-PbNb<sub>2/3</sub>Zn<sub>1/3</sub>O<sub>3</sub>-PbNb<sub>2/3</sub>Mg<sub>1/3</sub>O<sub>3</sub>) kompozitinin TSD əyrisi; 4- F-23+PbTiO<sub>3</sub>-PbZrO<sub>3</sub>-PbNb<sub>2/3</sub>Zn<sub>1/3</sub>O<sub>3</sub>-PbNb<sub>2/3</sub>Mn<sub>1/3</sub>O<sub>3</sub>-PbW<sub>1/2</sub>Mg<sub>1/2</sub>O<sub>3</sub> kompozitinin TSD əyrisi. Polyarlaşma şəraiti:  $E_p = 8\text{MV/m}$ ,  $T_p = 423\text{K}$ ,  $t_p = 0,5$  saat.



Şəkil 4. Üçkomponentli pyezofazaya malik və ftor tərkibli polimer matrisadan ibarət kompozitlərin  $\epsilon=f(T)$  asılılığı.  $\Phi=50\%$ . 1- F-23+PbTiO<sub>3</sub>- PbZrO<sub>3</sub>- PbNb<sub>2/3</sub>Mn<sub>1/3</sub>O<sub>3</sub> kompoziti; 2-F-23+PbTiO<sub>3</sub>-PbZrO<sub>3</sub>- PbTa<sub>2/3</sub>Mg<sub>1/3</sub>O<sub>3</sub> kompoziti.



Şəkil 5. Nümunələrin 25°C-dən 300°C-yə qədər qızması zamanı istilik keçiriciliyi (2-ci isitmə).

İşdə qoyulan əsas məsələlərdən biri də plazma üsulu ilə tədqiq etdiyimiz kompozitlərin elektrik yük halının və strukturunun məqsəduyğun modifikasiyasıdır. Qoyulan məqsədə çatmaq üçün plazma üsulu ilə modifikasiyanın pyezo- və piroelektrik kompozitlərin əsas makroskopik parametrləri geniş öyrənilmişdir [1, 3, 4]. Buna misal olaraq, polyar və qeyri-polyar polimer matrisaya və çoxkomponentli pyezofazaya malik keramikalardan ibarət kompozitlərin (1-YSPE+PKR-1, 2-YSPE+PKR-8, 3-YSPE+PKR-57) istilik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığı verilmişdir (şəkil 5). Alınan nəticələr göstərir ki, istilik keçiriciliyi temperatur artdıqca azalır. Bütün nümunələrin istilik keçiriciliyi otaq temperaturundan təxminən 150°C-yə qədər (mak. yayınma 4,4%) eynidir. 150°C-dən sonra 2 və 3 nümunələri 1-ə nisbətən daha çox istilik keçiriciliyi nümayiş etdirir. Şəkil 5-də kompozitlərin ikinci qızdırılmada ölçmələrini təsvir edir. Bu halda otaq temperaturu ilə nümunələr arasında fərq görünə bilər. Nü-

munə 1 ən aşağı istilik keçiriciliyə 0,226mm<sup>2</sup>/san malikdir, ardıcıl olaraq, nümunə 2 (otaq temperaturunda 5,8% yüksək) və nümunə 3 (otaq temperaturunda 19,5% yüksək) göstərilmişdir. Birinci və ikinci qızdırılma arasındakı fərq sonradan bərkimə effektlərinə görə alınır.

#### NƏTİCƏ.

İlk dəfə yüksək polyarlığa malik polimer matrisalı və çoxkomponentli qeyri-üzvi fazalı kompozitlərdə relaksasiya və termiki hadisələrin effektiv variasiya üsulları işlənmişdir. Bundan əlavə, polimer-çoxkomponentli pyezofazaya malik keramikalardan ibarət kompozitlərdə elektrotermopolyarlaşma prosesində fazalararası sərhədə injeksiya olunmuş elektrik yükdaşıyıcıların konsentrasiyası ilə kompozitin  $d_{ij}$  və  $\gamma_p$  əmsalları arasında proporsionallıq müəyyən edilmişdir.

- [1] M.A. Курбанов, Г.Х. Гусейнова, З. А. Дадашов, И.А. Фараджзаде, И.С. Рамазанова, У.В. Юсифова, Б.Г. Худаяров. АМЕА-nın Xəbərləri, fizika-texnika və riyaziyyat elmləri seriyası, fizika və astronomiya, 2016, XXXVI, №2, c. 66-72.
- [2] M.A. Курбанов, И.С. Рамазанова, З.А. Дадашов, Ф.И. Мамедов, Г.Х. Гусейнова, И.В. Юсифова, Ф.Н. Татардар, И.А. Фараджзаде. ФТП 2019, том 53, вып. 8.
- [3] А.Е. Панич, М.А. Курбанов, А.Я. Данцигер и др. Пьезоэлектрические композитные материалы. Тез. Докл. II Всесоюзной конференции «Актуальные проблемы получения применения сегнето- и пьезоэлектрических материалов (г. Москва, октябрь, 1984 г.)». НИИТЭХИМ, 1984, 461 с.
- [4] G.Kh. Guliyeva, I.S. Ramazanova, Z.A. Dadashov. Electronic-ion processes in the composites of based on polymers-seqnetopiezoceramics and physical and chemical effects of the interfacial border. 1-st International Scientific Conference of young scientists and specialists. 15-16 October, 2014, pp. 235-237.
- [5] M.A. Kurbanov, F.N. Tatardar, Z.A. Dadashov. Relationship between composite piezoelectric properties and crystal chemical parameters of piezofiller and polymer matrix. The 5-th International Conference on Control and Optimization with Industrial Applications, 27-29 August, 2015, baku, Azerbaijan, p. 432.

#### Z.A. Dadashov

### MAIN FEATURES OF THE FORMATION OF PIEZO AND PYROELECTRIC EFFECTS IN COMPOSITES BASED ON POLYMERS AND MULTI-COMPONENTS OF PIEZOCERAMICS

In this work, we studied the relaxation and thermal effects in composites based on fluorine-containing polymers and multicomponent segregatopiezoceramics under the simultaneous action of an electric discharge plasma and temperature. It is established that the most effective of the existing modification methods (temperatures, electric field and mechanical stress) is the modification under the influence of electric discharge plasma.

#### З.А. Дадашов

### ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПЬЕЗО- И ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ В КОМПОЗИТАХ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРОВ И МУЛЬТИКОМПОНЕНТОМ ПЬЕЗОКЕРАМИКИ

В работе были изучены релаксационные и термические эффекты в композитах на основе фторсодержащих полимеров и многокомпонентных сегнетопьезокерамик при одновременном действии плазмы электрического разряда и температуры. Установлено, что из существующих методов модификации (температура, электрическое поле и механическое напряжение) самым эффективным является модификация в условиях действия плазмы электрического разряда.

Qəbul olunma tarixi: 14.11.2019

## STANDART MODEL DƏ HIQQS BOZONUN VEKTOR BOZONLA BİRGƏ YARANMA PROSESİNİN TƏDQIQI

F.N. ƏHMƏDOV<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının H.M. Abdullayev adına Fizika İnstitutu, Bakı, Az 1143, H. Cavid, 131

<sup>2</sup> Birləşmiş Nüvə Tədqiqatları İnstitutu, Julyo-Küri küç.6, 141980, Dubna, Rusiya  
E-mail: fahmadov@jinr.ru

Təqdim olunan işdə Standart modeldə Hiqqs bozonun vektor ( $W$  və ya  $Z$ ) bozonla birgə yaranması prosesi tədqiq edilmişdir. Bu prosesdən istifadə edərək Hiqqs bozonun nəzəri məlum olan xassələri Böyük adron kollayderi təcrübələrindən alınan verilənlər vasitəsilə yoxlanılmışdır. Bu məqsədlə Pythia, Powheg və Sherpa kimi generatorlardan istifadə olunaraq modelləşdirilmiş siqnal və fon prosesləri və təcrübi verilənlər analiz edilmişdir. Analizin nəticəsi olaraq Hiqqs bozonun vektor bozonla birgə yaranma prosesinin differensial eninə kəsiyi üçün təcrübədə ölçülən qiymətin nəzəri hesablanmış qiymətlə uyğun olduğu alınmışdır.

**Açar sözlər:** Hiqqs bozonu, Standart model, birgə yaranma,  $W$  və  $Z$  bozonu,  $b$ -kvarkı, eninə kəsik.  
**PACS:**14.80.Cp;11.30.Pb;47.20.

### 1. GİRİŞ

Elementar zərrəciklər fizikasında mövcud zərrəcikləri və onlar arasında qarşılıqlı təsirləri izah edən və təcrübi olaraq tam təsdiqini tapmış yeganə model Standart modeldir (SM). Bu modeldə mövcudluğu təcrübi olaraq təsdiqlənən sonuncu zərrəcik Hiqqs bozonudur [1, 2]. Mövcudluğu nəzəri olaraq 1964-cü ildə verilməsinə baxmayaraq, digər elementar zərrəciklərdən fərqli olaraq, bu zərrəciyin kütləsi nəzəri olaraq təyin edilməmişdir. Mövcudluğu 2012-ci ildə Böyük adron kollayderinin (BAK) iki böyük eksperimenti olan ATLAS və CMS eksperimentləri tərəfindən təcrübi olaraq təsdiqləndikdən [3, 4] sonra aparılan ölçmələrdə bu zərrəciyin kütləsi üçün hər iki eksperimentdə 125 GeV-ə yaxın qiymət alınmışdır. Bu zərrəciyin yaşama müddəti çox kiçik (SM-də  $\sim 10^{-22}$ s) olduğundan, detektorda onu birbaşa müşahidə etmək mümkün deyil. Onu yalnız parçalanma məhsullarını qeydə almaqla təyin etmək mümkündür. Məhz yuxarıda qeyd edilən təcrübələrdə Hiqqs bozonunu iki fotona və  $Z$ -bozon cütünə, onların da leptonlara parçalanması kanalları üzrə müşahidə etmişlər.

Hiqqs bozonun kütləsinin 125 GeV olduğunu nəzərə alsaq, onun əsas parçalandığı zərrəciklər  $b$  anti  $b$ -kvar cütü olacaqdır (58% ehtimalla) [5]. Leptonlar və fotonlar (və ya qamma kvant  $\gamma$ ) detektorda böyük dəqiqliklə qeydə alınır, amma kvarklar sərbəst halda çox az qaldıqlarından onların yalnız hadronizasiya prosesindən sonrakı halı qeydə alınır. Bu səbəbdən kvarkların, o cümlədən  $b$  və anti  $b$ -kvarkın ( $\bar{b}$ ) detektorda qeydə alınması və enerji, impuls və digər kinematik dəyişənlərinin ölçülməsi çox böyük xətalara həyata keçirilir. Ölçmə xətalalarının böyük olması zərrəciyin növünün təyin edilməsini və son hal zərrəciklərinin hansı aralıq zərrəciyin parçalanmasından yarandığını təyin etməyi çətinləşdirir. Hiqqs bozonun  $b\bar{b}$  cütünə parçalanması ( $H \rightarrow b\bar{b}$ ) hadisəsini təcrübədə müşahidə etmək üçün onun hansı kanal üzrə yaranması həlledici

rol oynayır. Qeyd edək ki, Hiqqs bozonu əsasən dörd kanal üzrə yaranır (digər yaranma kanallarının eninə kəsiyi bu dörd kanalla müqayisədə olduqca kiçik olduğundan nəzərə alınmırlar) 1) qlüon qarışığı ( $ggH$ ) və ya inkluziv yaranma, 2) vektor bozon qarışığında yaranma ( $VBF$ -Vector Boson Fusion), 3) vektor bozonla birgə yaranma ( $VH$ ,  $V= W$  və ya  $Z$ ) və 4) top anti top kvark cütü ilə birgə yaranma ( $t\bar{t}H$ ). Inkluziv yaranma prosesinin digərlərinə nisbətən bir tərtib böyük eninə kəsiyə malik olmasına baxmayaraq, Hiqqs bozonun  $b\bar{b}$  cütünə parçalanma kanalı üçün perspektivli proses sayılmır, çünki son halda yalnız kvark cütü olduğundan bu prosesi çox böyük eninə kəsiyə malik (siqnalda  $\sim 10^6$  dəfə böyük) fon proseslərindən ayırmaq mümkün deyil.  $H \rightarrow b\bar{b}$  parçalanma kanalı üçün ən perspektivli yaranma prosesi  $VH$ , yəni  $W$  və ya  $Z$  bozonla birgə yaranma prosesidir. Bu, onunla əsaslandırılır ki,  $W$  və ya  $Z$  bozonun parçalanmasından yaranan əlavə leptonlar siqnal hadisələrinin  $10^6$  dəfə çox olan fon hadisələrindən ayırd edilməsində əlavə imkanlar vardır.

Hiqqs bozonun xassələrinin öyrənilməsi üçün ilk növbədə onun yaranma və parçalanma hadisələri və eyni zərrəciklərdən ibarət son hala malik fon hadisələri modelləşdirilməli, yəni yüksək enerjilər fizikasında geniş istifadə edilən Pythia, Powheg və Sherpa və b. generatorlardan istifadə edilərək hadisələrin yaradılması lazımdır. Sonra bu generasiya olunan hadisələrdən ibarət verilənlərin detektordan alınan verilənlərə uyğun formata salınması üçün, detektorun hadisələrə təsirinin nəzərə alınması, detektorun müxtəlif sistemlərində zərrəciklərin bərpası və digər mərhələlərdən keçirilməsi lazımdır. Sonuncu mərhələdə modelləşdirilmiş və təcrübi verilənlərdə kinematik dəyişənlərə müəyyən məhdudiyətlər qoymaqla fon hadisələrin siqnala nisbətən maksimal dərəcədə azaldılmasına nail olunur (bu barədə daha ətraflı "Hadisələrin seçilməsi" bölməsində verilib). Yekunda siqnal və fon hadisələrinin cəmi təcrübi hadisələrlə müqayisə olunur.

## 2. HADİSƏLƏRİN SEÇİLMƏSİ.

Siqnal prosesi olaraq  $ZH \rightarrow \nu b \bar{b}, WH \rightarrow l \nu b \bar{b}$  və  $ZH \rightarrow l \nu b \bar{b}$  prosesləri nəzərdə tutulur, burada  $l$  - elektron və ya müon,  $\nu$  - neytrinodur. Bu proseslərə uyğun olaraq ayrılıqda üç istiqamətdə tədqiqat işi aparılır  $0L$  (0-lepton),  $1L$  (1-lepton) və  $2L$  (2-lepton), burada  $L$ -yüklü leptonudur.  $0L$  – hadisədə heç bir yüklü leptonun olmadığı, yəni  $Z$  bozonun neytrinolarla parçalandığı kanala,  $1L$  -  $W \rightarrow l \nu$  və  $2L$  -  $Z$ -bozonun iki yüklü leptona (elektron-pozitron və ya müon-anti müon cütü) parçalandığı kanala uyğundur. Hər bir kanala uyğun hadisələr ayrı-ayrılıqda seçilir. Hər üç kanalda Higgs bozonu  $b \bar{b}$  cütünə parçalandığından  $b$ -kvarkların detektorda qeydə alınması, bərpası, enerji və koordinatlarının ölçülməsi və digər prosedurlar eyni qaydada aparılır. Siqnal hadisələrini fon hadisələrindən seçmək məqsədi ilə  $b$ -kvarkların enerji və koordinatlarına müəyyən məhdudiyyətlər qoyulur. Qeyd edək ki,  $b$ -kvarklar detektorda şırnaq şəklində qeydə alınır. Ona görə də kvarkların kinematik dəyişənləri dedikdə, onların detektorda yaratdığı şırnaqların kinematik dəyişənləri nəzərdə tutulur. Nəzərə alsaq ki, şırnaq detektorda çox geniş sahəni əhatə edir, onun yalnız məhdud sahədə olan hissəsi, bizim baxdığımız halda radiusu 0.4 olan konusun daxili hissəsində olan şırnaq götürülür və bunun üçün anti- $kt$  alqoritmindən istifadə edilir [6]. İlk məhdudiyyət, iki  $b$ -kvarkdan (və ya şırnağın) daha böyük impulsa malik olanın minimal eninə impulsunun  $45 \text{ GeV}$ -dən çox olması, digəri isə  $b$ -şırnağın eninə impulsunun  $20 \text{ GeV}$ -dən çox olması tələbidir. Bu məhdudiyyətlər əlavə qarşılıqlı təsir proseslərini, ilk və son halda şüalanmadan yaranan kvarkları və digər fon hadisələrinin sayını müəyyən qədər azaldır. Digər bir məhdudiyyət  $b$ -şırnağın hərəkət istiqaməti ilə toqquşan proton dəstəsinin hərəkət istiqaməti, yəni  $z$ -oxu istiqaməti arasındakı bucağa və ya bu bucaqdan asılı olan psevdosürətlilik (pseudorapidity) adlanan parametrdə ( $\eta$ ) tətbiq edilir. Bu parametrdə  $\eta = -\ln[\text{tg}(\theta/2)]$  kimi təyin olunur, burada  $\theta$ -zərrəciyin hərəkət istiqaməti ilə  $z$ -oxu istiqaməti arasında qalan bucaqdır. Hər iki  $b$ -şırnağı üçün  $|\eta| < 2.5$  tələb olunur. Bu məhdudiyyət detektorda zərrəciklərin trayektoriyalarını və koordinatlarını təyin edən sistemin (daxili treker sistemi) əhatə dairəsi ilə bağlıdır. Bu məhdudiyyət təkcə  $b$ -şırnağına deyil qeydə alınmış bütün zərrəciklərə tətbiq edilir.

### 0-lepton kanalı.

Neytrino detektorda qeydə alınmış bilmədiyindən, onu çatışmayan enerji hesabına bərpa edirlər və dəyişən kimi  $E_T^{mis}$  (missing transverse energy- çatışmayan eninə enerji, yəni enerjinin və ya impulsun  $XY$  koordinat müstəvisinə proyeksiyası) daxil edilir.  $0L$  kanalında iki neytrino olduğundan, çatışmayan enerji kifayət qədər böyük olmalıdır. Bu səbəbdən,  $E_T^{mis}$  dəyişəninə aşağı sərhəddi üçün  $150 \text{ GeV}$  qiyməti götürülür. Bu məhdudiyyət son halda yalnız iki  $b$ -şırnağı olan çox böyük sayda fon hadisələrini kəskin azaltmağa imkan verir. Amma bu dəyişən siqnal hadisələrini tam seçilməsi üçün kifayət etmir. Bu səbəbdən digər dəyişənlərdən də istifadə edilir. Məhdudiyyət qoyulan dəyişənlərin tam siyahısı cədvəl 1-də göstərilmişdir [7].

### 1-lepton kanalı

Bu kanalda bir yüklü lepton və bir neytrino olduğundan, 0-lepton kanalından fərqli olaraq, hər bir leptonun eninə impulsuna ayrı-ayrılıqda və nisbətən kiçik məhdudiyyət qoyulur. Həmçinin, yüklü leptonun digər zərrəciklərdən izolyasiya olunması şərti tələb olunur. 1-lepton kanalının tədqiqində, siqnal oblastı ilə yanaşı, əsasən fon hadisələrindən ibarət yoxlama oblastı da daxil edilir. Məqsəd siqnalın əhəmiyyətliyini dəqiq təyin etmək üçün, yalnız fon hadisələrindən ibarət oblastda nəzəri və təcrübi verilənləri müqayisə edib kənar çıxımları siqnal oblastında nəzərə almaqdır. Siqnal və yoxlama oblastı iki dəyişənə:  $b$ -şırnaqların invariant kütləsinə ( $m_{bb}$ ) və top kvarkın verilənlərdən hesablanmış kütləsinə ( $m_{top}$ ) görə bir-birindən fərqlənir. Bu və digər dəyişənlər və onların aldığı qiymətlərə qoyulan məhdudiyyətlər cədvəl 1-də verilmişdir. 1-lepton analizində əsas fon  $t \bar{t}$  prosesidir.

### 2-lepton kanalı

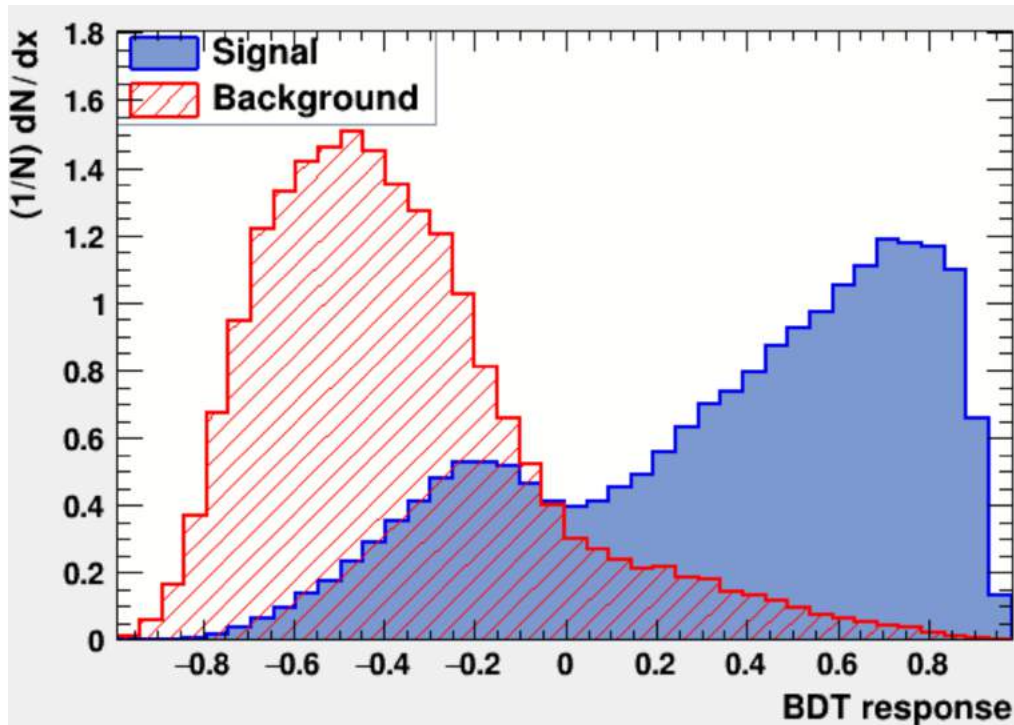
Hadisələrdə eninə impulsu  $7 \text{ GeV}$ -dən çox olan elektron-pozitron və ya müon-anti müon cütünün olması tələb olunur. Lepton cütünün invariant kütləsinin  $[81 \text{ GeV} - 101 \text{ GeV}]$  intervalında olması tələbi  $t \bar{t}$  və çoxşırnaqlı hadisələrin kəskin azalmasına səbəb olur, bu və cədvəl 1-də göstərilən digər məhdudiyyətlər səbəbindən  $t \bar{t}$  prosesi digər kanallardakı kimi əsas fon yox, ikinci dərəcəli fon səviyyəsinə düşür. Bu kanalda ən böyük paya malik fon  $Z$  bozonun  $b$ -şırnaqları ilə birgə yaranması prosesidir. 1-lepton kanalında olduğu kimi, 2-lepton kanalında da siqnal oblastı ilə yanaşı yoxlama oblastı təyin olunur. Siqnal oblastından fərqli olaraq, yoxlama oblastında  $e^+ e^-$  və  $\mu^+ \mu^-$  cütünü deyil,  $e^+ \mu^-$  və ya  $\mu^+ e^-$  cütünün olması tələb olunur. Bu cür cütünü malik hadisələr əsasən  $t \bar{t}$  prosesində olduğundan, yoxlama oblastında hadisələrin  $\sim 97\%$   $t \bar{t}$  fon prosesinə aid olur.

## 3. ÖLÇMƏLƏR.

Yuxarıda qeyd olunan bütün məhdudiyyətlərdən istifadə edilərək fon hadisələrinin kəskin azalmasına baxmayaraq, yekunda fon hadisələrinin sayı siqnala nisbətən bir neçə tərtib çox olur, yəni  $s/f \sim 10^{-3}$  tərtibində olur, burada  $s$  - siqnal hadisələrinin sayı,  $f$  - fon hadisələrinin sayıdır (seçmələrdən öncə  $s/f \sim 10^{-6}$ ). Növbəti mərhələ siqnalın əhəmiyyətli dərəcəsinin təcrübi verilənlərdə təyin edilməsidir. Bunun üçün çoxölçülü analiz (MVA – Multi Variate Analysis) metodundan istifadə edilir. MVA metodunda bir çox alqoritmlər mövcuddur. Bu alqoritmlərdən ən effektivlisi BDT alqoritmidir (Boosted Decision Tree – təkmilləşdirilmiş paylanma həlli) [8]. Bu metod vasitəsilə yuxarıda adı çəkilən bütün dəyişənlər alqoritmə daxil edilir və onlar arasında korrelyasiya nəzərə alınaraq çıxış dəyişəni kimi BDT<sub>VH</sub> dəyişəni alınır, yəni  $(-1, 1)$  arasında qiymətlər alır. 1-lepton kanalında siqnal və fon hadisələrinin bu dəyişənə görə paylanması şəkil 1-də təsvir edilmişdir. Qrafikdə siqnal hadisələri göy, fon hadisələri bənövşəyi rəngdə göstərilmişdir.

Hadisələrin seçilməsində istifadə edilən dəyişənlər və onların aldığı qiymətlərə qoyulan məhdudiyətlər.

Dəyişən	0L	1L		2L
		1e (elektron)	1μ (müon)	
Trigger	$E_T^{miss}$	Tək lepton	$E_T^{miss}$	Tək lepton
Lepton sayı	$p_T > 7$ GeV olan 0 lepton	$p_T > 27$ GeV olan 1 elektron	$p_T > 25$ GeV olan 1 müon	$p_T > 7$ GeV olan 2 lepton və $p_T > 27$ GeV olan ən azı 1 lepton
$E_T^{mis}$	$> 150$ GeV	$> 30$ GeV	-	-
$m_{ll}$	-	-	-	$81 \text{ GeV} < m_{ll} < 101 \text{ GeV}$
Şırnaq sayı	2 və ya 3 şırnaq			2 və ya 3-dən çox şırnaq
Çırnağın eninə impulsu ( $p_T$ )	$p_T > 20$ GeV əgər $ \eta  < 2.5$ olarsa və $p_T > 30$ GeV əgər $2.5 <  \eta  < 4.5$ olarsa,			
b-şırnağın sayı	Yalnız 2 b-şırnağı, enerjisi çox olan b-şırnağın eninə impulsu $p_T > 45$ GeV			
Şırnaqların impulsları cəmi	2-şırnaq $> 120$ GeV, 3-şırnaq $> 150$ GeV	-	-	-
$\min[\Delta\phi(E_T^{mis}, \text{şırnaqlar})]$	2-şırnaq üçün $> 20^\circ$ , 3-şırnaq üçün $> 30^\circ$	-	-	-
$\Delta\phi(E_T^{mis}, bb)$	$> 120^\circ$	-	-	-
$\Delta\phi(b_1, b_2)$	$< 140^\circ$	-	-	-
$\Delta\phi(E_T^{mis}, p_T^{mis})$	$< 90^\circ$	-	-	-
Vektor bozonun eninə impulsu $p_T^V$	$> 150$ GeV			$> 75$ GeV
Siqnalın təyin oblastı	-	$m_{bb} \geq 75$ GeV və ya $m_{top} \leq 225$ GeV		$ee$ və ya müxtəlif yüklü $\mu\mu$
Yoxlama oblastı	-	$m_{bb} < 75$ GeV və ya $m_{top} > 225$ GeV		Müxtəlif yüklü $e\mu$



Şəkil 1. Siqnal və fon hadisələrinin BDT algoritminin çıxış dəyişəninə görə paylanması.

Cədvəl 2. Sıqnalın əhəmiyyətliyinin ölçülməsinə təsir edən nəzəri və təcrübi xətlər.

Xətlərin mənbəyi	Sıqnalın əhəmiyyətliyinə təsir qiyməti
Tam	0.259
Statistik	0.161
Sistematik	0.203
Təcrübi xətlər	
şırnaqlar	0.035
<i>b</i> -şırnaqları	0.061
işıqlıq	0.023
Nəzəri xətlər	
Sıqnal prosesi	0.094
<i>W</i> +şırnaqlar	0.060
<i>tt</i>	0.050
Bozon cütü	0.054
Modelləşdirilmiş hadisələrin statistik	0.070

Qrafikdən göründüyü kimi sıqnal hadisələri üçün BDT daha çox 1 yaxın qiymətlər alır, amma fon hadisələri üçün bu dəyişən -1 yaxın qiymətlər alır. Qeyd etmək lazımdır ki, qrafikdə sıqnal və fon hadisələrinin

BDT paylanması fərqləndiyini aydın göstərmək üçün hadisələrin sayı eyni bir qiymətə normallaşdırılmışdır. BDT vasitəsilə sıqnal hadisələri fon hadisələrindən müəyyən dərəcədə təmizləndikdən sonra, yerdə qalan hadisələrdən istifadə edilərək *VHb $\bar{b}$*  prosesinin bəzi xassələri hesablanır. Bundan əlavə hesablamalar aparılarkən təcrübi və nəzəri xətlər də nəzərə alınır. Həlledici rol oynayan xətlər cədvəl 2-də göstərilmişdir [9].

Təcrübi verilənlər olaraq kütlə mərkəzi enerjisi 13TeV olan proton-proton toqquşmalarından ibarət verilənlərdən istifadə edilmişdir.

#### 4. NƏTİCƏ.

Detektorda aşağı impulsu zərrəciklərin qeyd edilməsində çətinliklərin olduğunu və kiçik enerjilərdə çox böyük fonun olduğunu nəzərə alaraq yalnız yüksək enerji və ya impulsa malik zərrəciklərdən ibarət hadisələr *VHb $\bar{b}$*  prosesinin eninə kəsiyinin ölçülməsində istifadə edilir. Ölçmələrin effektivliyini artırmaq məqsədiylə hadisələr vektor bozonun eninə impulsuna görə bir neçə qrupa bölünürlər,  $75\text{GeV} < p_T^V < 150\text{GeV}$ ,  $150\text{GeV} < p_T^V < 250\text{GeV}$  və  $p_T^V > 250\text{GeV}$ .

Qeyd edilən hər bir intervalda differensial effektiv kəsik hesablanmış və müxtəlif intervallar üçün alınan qiymətlər toplanmışdır. Ölçmələrin nəticələri cədvəl 3-də verilmişdir. Cədvəldən göründüyü kimi, təcrübədən alınan nəticələr xətlər çərçivəsində nəzəri hesablanmış nəticələrə uyğundur.

Cədvəl 3.

*WH* → *lvb $\bar{b}$*  və *ZH* → *llb $\bar{b}$* , *vvb $\bar{b}$*  sıqnal proseslərinin differensial eninə kəsikləri.

Proses və ölçmə oblastı	SM-də gözlənilən [ <i>fb</i> ]	Təcrübədən alınan [ <i>fb</i> ]
<i>WH</i> → <i>lvb<math>\bar{b}</math></i> ; $p_T^V > 150\text{GeV}$	31.1 ± 1.1	28,8 ± 25,5
<i>ZH</i> → <i>llb<math>\bar{b}</math></i> , <i>vvb<math>\bar{b}</math></i> ; $p_T^V > 75\text{GeV}$	74,3 ± 4,8	103,5 ± 47

- |   |   |
|---|---|
| <p>[1] <i>F. Englert and R. Brout</i>. Phys. Rev. Lett. 13, 1964, 321.</p> <p>[2] <i>P.W. Higgs</i>. Phys. Lett., 12, 1964, 132.</p> <p>[3] ATLAS Collaboration, Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC, Phys. Lett. B 716, 2012, 1.</p> <p>[4] CMS Collaboration, Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC, Phys. Lett. B 716, 2012, 30.</p> <p>[5] <i>A. Djouadi, J. Kalinowski, M. Spira</i>. Comput. Phys. Commun. 108, 1998, 56.</p> <p>[6] <i>M. Cacciari, G.P. Salam, G. Soyez</i>. J. High Energy Phys. 04, 2008, 063.</p> | <p>[7] The ATLAS Collaboration, Observation of <i>H</i> → <i>b<math>\bar{b}</math></i> decays and <i>VH</i> production with the ATLAS detector, Phys. Lett. B 786, 2018, 59–86.</p> <p>[8] <i>L. Breiman, J. Friedman, R. Olshen and C. Stone</i>, Classification and Regression Trees, Wadsworth and Brooks, Monterey, CA U.S.A., 1984.</p> <p>[9] ATLAS Collaboration, Measurement of <i>VH</i>, <i>H</i> → <i>b<math>\bar{b}</math></i> production as a function of the vector-boson transverse momentum in 13TeV pp collisions with the ATLAS detector, JHEP 05, 2019, 141.</p> |
|---|---|

**F.N. Ahmadov**

**STUDY OF THE PROCESS OF ASSOCIATED PRODUCTION OF THE STANDARD MODEL HIGGS BOSON WITH A VECTOR BOSON**

In this work, the process of associated production of the Standard Model Higgs boson with a vector ( $W$  or  $Z$ ) boson was studied. Theoretically known properties of the Higgs boson were checked using data obtained in the experiments of the Large Hadron Collider. For this purpose, signal and background processes were simulated using Pythia, Powheg and Sherpa Monte-Carlo generators and were compared to the experimental data. It was found that the measured value of the differential cross sections of the process of associative production of the Higgs boson with the vector boson is in agreement with theoretical estimation.

**Ф.Н. Ахмадов**

**ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА АССОЦИИРОВАННОГО РОЖДЕНИЯ БОЗОНА ХИГГСА СТАНДАРТНОЙ МОДЕЛИ И ВЕКТОРНОГО БОЗОНА**

В данной работе был изучен процесс ассоциированного рождения бозона Хиггса Стандартной модели с векторным ( $W$  или  $Z$ ) бозоном. Теоретически известные свойства бозона Хиггса были проверены с помощью данных, полученных в экспериментах на Большом адронном коллайдере. С этой целью были проанализированы сигнальные и фоновые процессы, смоделированные с помощью генераторов, таких как Pythia, Powheg и Sherpa, и экспериментальные данные. Было установлено, что измеренное значение дифференциальных сечений процесса ассоциативного рождения бозона Хиггса с векторным бозоном согласуется с теоретической оценкой.

*Qəbul olunma tarixi: 26.11.2019*

## FİZİKİ TERMİNLƏR VƏ İFADƏLƏR

A.İ. MUXTAROV

BDU, Z. Xəlilov, 23

M.A. MUXTAROV

AMEA-nın Riyaziyyat və Mexanika İnstitutu

Bakı şəh., F. Ağayev küç., 9.

T.R. MEHDİYEV, K.B. QURBANOV, E.A. AXUNDOVA, N.A. AXUNDOVA,

N.İ. HÜSEYNOVA, S.İ. ƏLİYEV, E.Ə. ƏLƏSGƏROVA

AMEA, akademik H.M. Abdullayev adına Fizika İnstitutu

Az-1143, Bakı şəhəri, H. Cavid pr., 131.

## T

<b>t0710</b>	tərs impuls	inverse pulse	обратный импульс
<b>t0711</b>	tərs istiqamət	reverse direction	обратное направление
<b>t0712</b>	tərs kəmiyyətlər şkalası	reciprocal scale	шкала обратных величин
<b>t0713</b>	tərs Kompton-effekt	inverse Compton effect	обратный комптон-эффект
<b>t0714</b>	tərs münasibət	reciprocal ratio	обратное отношение
<b>t0715</b>	tərs müqavimət	back resistance	обратное сопротивление
<b>t0716</b>	tərs mütənasib	inversely proportional	обратно пропорциональный
<b>t0717</b>	tərs om	reverse ohm	обратный ом
<b>t0718</b>	tərs operator	inverse operator	обратный оператор
<b>t0719</b>	tərs proses	inverse process	обратный процесс
<b>t0720</b>	tərs pyezoelektrik effekti	inverse piezoelectric effect	обратный пьезоэлектрический эффект
<b>t0721</b>	tərs qəfəs fəzası	reciprocal lattice space	пространство обратной решётки
<b>t0722</b>	tərs qəfəs müstəvisi	inverse lattice plane	плоскость обратной решётки
<b>t0723</b>	tərs qəfəs nöqtəsi, tərs qəfəs düyünü	inverse lattice point	точка обратной решётки, узел обратной решётки
<b>t0724</b>	tərs saat	inhour, inverse hour	обратный час
<b>t0725</b>	tərs tenzor	inverse tensor	обратный тензор
<b>t0726</b>	tərs titrləmə	back titration	обратное титрование
<b>t0727</b>	tərs toqquşma	inverse collision	обратное столкновение
<b>t0728</b>	tərs triqonometrik funksiya	inverse trigonometric function	обратная тригонометрическая функция
<b>t0729</b>	tərs uyğunluq	inverse correspondence	обратное соответствие
<b>t0730</b>	tərs vektor	reciprocal vector	обратный вектор, вектор обратной решетки
<b>t0731</b>	tərs xətti təsvir	reciprocal linear representation	обратное линейное представление
<b>t0732</b>	tərs xəyal	reversed image	обратное изображение
<b>t0733</b>	tərs yoxlanma (tutuşdurulma)	backward reading	обратное считывание
<b>t0734</b>	tərs Zeyeman effekti	inverse Zeeman effect	обратный эффект Зеемана



**FİZİKİ TERMİNLƏR VƏ İFADƏLƏR**

<b>t0735</b>	tərsimi həndəsə	descriptive geometry	начертательная геометрия
<b>t0736</b>	təsadüfi azma (çaşma)	random walk	случайное блуждание
<b>t0737</b>	təsadüfi cırlaşma	accidental degeneracy	случайное вырождение
<b>t0738</b>	təsadüfi ədədlər	random numbers	случайные числа
<b>t0739</b>	təsadüfi ədədlər generatoru	random number generator	генератор случайных чисел
<b>t0740</b>	təsadüfi ədədlər ardıcılığı	random number sequence	последовательность случайных чисел
<b>t0741</b>	təsadüfi fazalar yaxınlaşması	random phase approximation	приближение случайных (несогласованных) фаз
<b>t0742</b>	təsadüfi üst-üstə düşmə	accidental coincidence	случайное совпадение
<b>t0743</b>	təsadüfi xəta	accidental' error, random error	случайная ошибка, случайная погрешность
<b>t0744</b>	təsadüfi anizotropluq	ransom anisotropy	случайная анизотропия
<b>t0745</b>	təsadüfi təsir	random effect	случайное влияние
<b>t0746</b>	təsdiq olunma	confirmation	подтверждение, идентификация
<b>t0747</b>	təsdiqləmə	assertion	утверждение
<b>t0748</b>	təşəbbüs etmək	initiation	иницирование, начало (физ.хим.)
<b>t0749</b>	təşəbbüsçü	initiator	инициатор
<b>t0750</b>	təsəvvür olunan şüa	image ray	воображаемый луч
<b>t0751</b>	təshih edən (düzəldən) linza	correcting lens	корректирующая линза
<b>t0752</b>	təsir	influence	влияние, воздействие
<b>t0753</b>	təsir cərəyanı	action current	ток действия (биофизика)
<b>t0754</b>	təsir edici qüvvə	effective force	действующая сила
<b>t0755</b>	təsir edici müqavimət	effective resistance	действующее сопротивление
<b>t0756</b>	təsir əmsalı	influence coefficient	коэффициент влияния
<b>t0757</b>	təsir etmə	action	действие
<b>t0758</b>	təsir funksiyası	influence function	функция влияния
<b>t0759</b>	təsir inteqralı	action integral	интеграл действия
<b>t0760</b>	təsir kütləsi	active mass	действующая масса
<b>t0761</b>	təsir mərkəzi	center of action	центр действия
<b>t0762</b>	təsir miqdarı	impulse, momentum	количество действия
<b>t0763</b>	təsir potensialı	action potential	потенциал действия (биофизика)
<b>t0764</b>	təsir prinsipi	action, mode of functioning	принцип действия
<b>t0765</b>	təsir radiusu	action radius	радиус действия
<b>t0766</b>	təsir sahəsi	domain of influence	область влияния
<b>t0767</b>	təsir xətti	line of action	линия действия
<b>t0768</b>	təsirdə olan kütlələr qanunu	law of mass action	закон действующих масс
<b>t0769</b>	təsiri hiss edən maddə	reactant	реагирующее вещество
<b>t0770</b>	təsiri hiss edən sistem	reacting system	реагирующая система
<b>t0771</b>	təsirlə maqnitlənmə	magnetization over influence	намагничивание через влияние
<b>t0772</b>	təsirli xətt, nüfuz xətti	influence line	линия влияния
<b>t0773</b>	təsirsiz (inert) həlledici	latent solvent	инертный (неактивный) растворитель
<b>t0774</b>	təsirsiz (inert) qaz	inert gas, noble gas	инертный газ, благородный газ
<b>t0775</b>	təsvir edən funksiya, əks etdirici funksiya	mapping function	отображающая функция

<b>t0776</b>	təsvir elementi	picture element	элемент изображения
<b>t0777</b>	təsviretmə	description	описание
<b>t0778</b>	təsvir fəzası	image space	пространство изображения
<b>t0779</b>	təsvir metodu	method of image	метод изображений
<b>t0780</b>	təsvir nöqtəsi, nöqtəvi təsvir	image point	точка изображения, точечное изображение
<b>t0781</b>	təsvir sahəsi	picture area	площадь изображения
<b>t0782</b>	təsvir (şəkil, xəyal) holoqramı	image hologram	голограмма изображения
<b>t0783</b>	təsvir sahəsinin əyriliyi	curvature of image field	кривизна поля изображения
<b>t0784</b>	təsviri astronomiya	descriptive astronomy	описательная астрономия
<b>t0785</b>	təsvirin (xəyalin) təhrifi	image distortion	искажение изображения
<b>t0786</b>	təsvirin (şəkilin) kefiyyəti	picture quality	качество изображения
<b>t0787</b>	təsvirin yalan xəbərdarlığı	ghost signal	ложный сигнал изображения
<b>t0788</b>	təsvirlər fəzası	representation space	пространство представлений
<b>t0789</b>	tətbiq edilmiş elektrik sahəsi	applied electric field	приложенное электрическое поле
<b>t0790</b>	tətbiq edilmiş gərginlik	applied voltage	приложенное напряжение
<b>t0791</b>	tətbiq edilmiş qüvvə	applied force	приложенная сила
<b>t0792</b>	tətbiq edilmiş təzyiq	applied pressure	приложенное давление
<b>t0793</b>	tətbiq olunan maksimal tezlik	maximum usable frequency	максимальная применяемая частота
<b>t0794</b>	tətbiq olunan optimal (ən əlverişli) tezlik	frequency of optimum traffic	оптимальная применяемая частота
<b>t0795</b>	tətbiqi fizika	applied physics	прикладная физика
<b>t0796</b>	tətbiqi iqlimşünaslıq (klimatologiya)	applied climatology	прикладная климатология
<b>t0797</b>	tətbiqi qoniometr	contact goniometer	прикладной гониометр
<b>t0798</b>	tətbiqi meteorşünaslıq	applied meteorology	прикладная метеорология
<b>t0799</b>	tətbiqi mexanika	applied mechanics	прикладная механика
<b>t0800</b>	tətbiqi optika	applied optics	прикладная оптика
<b>t0801</b>	tətbiqi proqram	application program	прикладная программа
<b>t0802</b>	tətbiqi riyaziyyat	applied mathematics	прикладная математика
<b>t0803</b>	təyin etmə	definition	определение (понятие)
<b>t0804</b>	təyinedici, determinant	determinant	определитель, детерминант
<b>t0805</b>	təyinedici oblast	range of definition	область определения (функции)
<b>t0806</b>	təyinedici sahə	field of definition	поле определения
<b>t0807</b>	təyinedici tənlik	indicial equation	определяющее уравнение
<b>t0808</b>	təzahür , aydınlaşdırma	development	проявление
<b>t0809</b>	təzahür etmə (ortaya çıxma) prosesi	development process	процесс проявления
<b>t0810</b>	təzahür mərkəzi	development nucleus	центр проявления
<b>t0811</b>	təzyiq	pressure	давление
<b>t0812</b>	təzyiq, güc	head of fluid	напор
<b>t0813</b>	təzyiq altında sınaq	pressure test	испытание под давлением
<b>t0814</b>	təzyiq amplitudu	pressure amplitude	амплитуда давления
<b>t0815</b>	təzyiq bucağı	pressure angle	угол давления
<b>t0816</b>	təzyiq dalğası	pressure wave, barometric wave	волна давления, волна барическая
<b>t0817</b>	təzyiq dəyişdiricisi	pressure transducer	преобразователь давления

**FİZİKİ TERMİNLƏR VƏ İFADƏLƏR**

<b>t0818</b>	təzyiq düşgüsü	pressure drop	падение давления, перепад давления
<b>t0819</b>	təzyiq əmsalı	pressure coefficient	коэффициент давления
<b>t0820</b>	təzyiq enerjisi	pressure energy	энергия давления
<b>t0821</b>	təzyiq qradienti	pressure gradient	градиент давления
<b>t0822</b>	təzyiq qradientinin mikrofonu	pressure-gradient microphone	микрофон градиента давления
<b>t0823</b>	təzyiq mərkəzinin yer dəyişməsi	displacement of pressure center	перемещение центра давления
<b>t0824</b>	təzyiq mikrofonu	pressure microphone	микрофон давления
<b>t0825</b>	təzyiq müqaviməti	pressure drag	сопротивление давления
<b>t0826</b>	təzyiq releşi	pressure relay	реле давления
<b>t0827</b>	təzyiq tənzimçisi	pressure regulator	регулятор давления
<b>t0828</b>	təzyiq tenzoru	pressure tensor	тензор давления
<b>t0829</b>	təzyiq üzrə həssaslıq	pressure sensitivity	чувствительность по давлению
<b>t0830</b>	təzyiqə qarşı	back pressure	противодавление
<b>t0831</b>	təzyiq-həcm diaqramı	pressure—volume diagram	диаграмма «давление-объем»
<b>t0832</b>	təzyiqi tənzimləmə	pressure control	регулирование давления
<b>t0833</b>	təzyiqin dəyişmə oblastı	allobar	область изменения давления
<b>t0834</b>	təzyiqin mərkəzi	center of pressure	центр давления
<b>t0835</b>	təzyiqin qalxma dərəcəsi	pressure ratio	степень повышения давления
<b>t0836</b>	təzyiqin paylanması	pressure distribution	распределение давления
<b>t0837</b>	təzyiqin sıçrama xətti	pressure jump line	линия скачка давления
<b>t0838</b>	təzyiqin yüksəkliyi	height of delivery	высота давления
<b>t0839</b>	tiksotropiya	thixotropy	тиксотропия
<b>t0840</b>	tilakoid membran	thylakoid membrane	тилакоидная мембрана
<b>t0841</b>	tilli lövhə	ribbed plate	ребристая пластинка
<b>t0842</b>	Tindal effekti	Tindal effect	эффект Тиндала
<b>t0843</b>	tindalemetr	tyndallimeter	тиндалеметр
<b>t0844</b>	tindalemetriya	tyndallimetry	тиндалеметрия
<b>t0845</b>	tir, brus	beam	балка, брус
<b>t0846</b>	tiratron	thyatron	тиратрон
<b>t0847</b>	tiratron gücləndiricisi	thyatron amplifier	тиратронный усилитель
<b>t0848</b>	tiristor	thyristor	тиристор
<b>t0849</b>	tiristor invertoru	thyristor inverter	тиристорный инвертор
<b>t0850</b>	tiristor mühərriki	thyristor motor	тиристорный двигатель
<b>t0851</b>	titan	titanium	титан
<b>t0852</b>	titan anodu	titanium anode	титановый анод
<b>t0853</b>	titanat barium əsasında keramika	barium titanate ceramics	керамика на основе титаната бария
<b>t0854</b>	titr	titer	титр
<b>t0855</b>	titrədicisi	vibrator	дрожатель
<b>t0856</b>	titrəmə	vibration, bouncing, shivering, trembling	дрожание
<b>t0857</b>	titrəyişli (vibrasiyalı) hərəkət	high-frequency motion	вибрационное движение
<b>t0858</b>	titrləmə	titration	титрование
<b>t0859</b>	titrləmə əyrisi	titration curve	кривая титрования
<b>t0860</b>	titrləmə xətası	titration error	ошибка титрования
<b>t0861</b>	tıxac	stopper, plug, tap, cork, fuse	пробка

<b>t0862</b>	tokamak	tokamak	токамак
<b>t0863</b>	toqquşan hədd	collision term	столкновительный член
<b>t0864</b>	toqquşan plazma	collision plasma	столкновительная плазма
<b>t0865</b>	toqquşan relaksasiya	collision relaxation	столкновительная релаксация
<b>t0866</b>	toqquşan zərrəciyin impulsu	incident momentum	импульс налетающей частицы
<b>t0867</b>	toqquşma	collision	столкновение, соударение
<b>t0868</b>	toqquşma effekti	collision effect	эффект столкновения
<b>t0869</b>	toqquşma ehtimalı	collision probability	вероятность столкновения, вероятность соударения
<b>t0870</b>	toqquşma enerjisi	collision energy	энергия столкновения, энергия соударения
<b>t0871</b>	toqquşma inteqralı	collision integral	интеграл столкновений
<b>t0872</b>	toqquşma kəsiyi (effektiv)	collision cross-section	сечение столкновения
<b>t0873</b>	toqquşma radiusu	collision radius	радиус столкновения
<b>t0874</b>	toqquşmalar tezliyi	collision frequency	частота столкновений, частота соударений, число соударений (столкновений) в единицу времени
<b>t0875</b>	toqquşmalar nəzəriyyəsi	collision theory	теория столкновений
<b>t0876</b>	toqquşmalar sıxlığı	collision density	плотность столкновений
<b>t0877</b>	toqquşmanın effektiv kəsiyi	effective collision cross-section	эффективное сечение столкновения
<b>t0878</b>	toqquşmanın uzunmüddətliyi	duration of collision	длительность столкновения
<b>t0879</b>	toqquşmasız plazma	collisionless plasma	бесстолкновительная плазма
<b>t0880</b>	toqquşmasız sönmə	collisionless damping	бесстолкновительное затухание
<b>t0881</b>	toqquşmasız tənlik	collisionless equation	бесстолкновительное уравнение
<b>t0882</b>	toqquşmasız zərbə dalğası	collisionless shock wave	бесстолкновительная ударная волна
<b>t0883</b>	toxuma dozası	tissue dose	тканевая доза
<b>t0884</b>	toxuma ekvivalent ionizasiya kamarası	tissue-equivalent ionization chamber	тканьэквивалентная ионизационная камера
<b>t0885</b>	toxunan	tangent	касательная
<b>t0886</b>	toxunan (tangensial) qüvvə	tangential force	касательная сила (тангенциальная)
<b>t0887</b>	toxunan dairə	osculating circle	соприкасающаяся окружность
<b>t0888</b>	toxunan fəza	tangent space	касательное пространство
<b>t0889</b>	toxunan gərginlik	tangential stress	касательное напряжение
<b>t0890</b>	toxunan component	tangential component	касательная составляющая
<b>t0891</b>	toxunan müstəvi	tangential plane, osculating plane	касательная плоскость, соприкасающаяся плоскость
<b>t0892</b>	toxunan səth	tangent surface	касательная поверхность
<b>t0893</b>	toxunan sfera	osculating sphere	соприкасающаяся сфера
<b>t0894</b>	toxunan təcil	tangential acceleration	касательное ускорение
<b>t0895</b>	toxunan toplanan	tangency component	касательное слагаемое
<b>t0896</b>	toxunan vahid vektor	unit tangent vector	единичный касательный вектор
<b>t0897</b>	toxunma, təmas	contiguity; contact, touch	соприкосновение

**FİZİKİ TERMİNLƏR VƏ İFADƏLƏR**

<b>t0898</b>	toxunma nöqtəsi	point of contact, adherent point , osculation point, tacpoint	точка касания, точка соприкосновения, контакт (электр.), спай (термопары)
<b>t0899</b>	toxunma sahəsi	contact area	площадь соприкосновения
<b>t0900</b>	toluollu termometr	toluene thermometer	толуоловый термометр
<b>t0901</b>	Tomson düsturu	Thomson formula	формула Томсона
<b>t0902</b>	Tomson effekti	Thomson effect	эффект Томсона
<b>t0903</b>	Tomson əmsalı	Thomson coefficient	коэффициент Томсона
<b>t0904</b>	Tomson funksiyası	Thomson function	функция Томсона
<b>t0905</b>	Tomson hadisəsi	Thomson phenomenon	явление Томсона
<b>t0906</b>	Tomson körpüsü	Thomson network	мост Томсона
<b>t0907</b>	Tomson qalvanometri	Thomson galvanometer	гальванометр Томсона
<b>t0908</b>	Tomson səpilməsi	Thomson scattering	томсоновское рассеяние
<b>t0909</b>	Tomson tərəzisi	Thomson balance	весы Томсона
<b>t0910</b>	Tomsonun atom modeli	Thomson atom model	модель атома Томсона
<b>t0911</b>	Tomsonun kompaslı deflektoru	Thomson compass deflector	компасный дефлектор Томсона
<b>t0912</b>	ton	ton	тонна
<b>t0913</b>	tonal	tonal	тональный
<b>t0914</b>	tonal gücləndirici	audio-frequency amplifier	тональный усилитель, усилитель тональной (звуковой) частоты
<b>t0915</b>	tonarm	tone arm	тонарм
<b>t0916</b>	tonika	key-note, keynote	тоника
<b>t0917</b>	tonometr	tonometer	тонометр
<b>t0918</b>	tonometriya	tonometry	тонометрия
<b>t0919</b>	tonun ucalığı	sound pitch	высота тона (звук)
<b>t0920</b>	tonvaryator	tone regulator	тонвариатор
<b>t0921</b>	top tuncu	gun metal	пушечная бронза
<b>t0922</b>	toplama	addition	сложение
<b>t0923</b>	toplama (yığma) effekti	storage effect	эффект накопления
<b>t0924</b>	toplama düsturu	additive formula	формула сложения
<b>t0925</b>	toplama nöqtəsi	accumulation point	точка накопления, предельная точка
<b>t0926</b>	toplama qabiliyyəti	collective /collecting capacity	способность собирательная
<b>t0927</b>	toplama teoremi	addition theorem	теорема сложения
<b>t0928</b>	toplama vaxtı	addition time	время сложения
<b>t0929</b>	toplama və çıxma	addition and subtraction	сложение и вычитание
<b>t0930</b>	toplama, yığma	storage	накопление
<b>t0931</b>	toplanan	summable	суммируемый
<b>t0932</b>	toplanan şüa	convergent beam	сходящийся луч
<b>t0933</b>	toplanan sürət	component velocity	скорость составляющая
<b>t0934</b>	toplanma sxemi	adding circuit	схема сложения
<b>t0935</b>	toplanmaq, yığılmaq	convergence	сходимость
<b>t0936</b>	toplanmış daşıyıcılar	storage carriers	накопленные носители
<b>t0937</b>	toplanmış enerji	stored energy	накопленная энергия
<b>t0938</b>	toplanmış səhv, toplanmış xəta	accumulated error	накопленная ошибка, накопленная погрешность

<b>t0939</b>	toplanmış yüklər	stored charges	накопленные заряды
<b>t0940</b>	toplayan diod, elektrik üükü yığılmış diod	storage diode	накопительный диод, диод с накоплением заряда
<b>t0941</b>	toplayan gücləndirici	summing amplifier	суммирующий усилитель
<b>t0942</b>	toplayan halqa	storage ring	накопительное кольцо
<b>t0943</b>	toplayan inteqrator	summing integrator	суммирующий интегратор, суммирующее интегрирующее устройство
<b>t0944</b>	toplayan ölçü cihazı	totalizing instrument	суммирующий измерительный прибор
<b>t0945</b>	toplayan vattmetr	totalizing wattmeter	суммирующий ваттметр
<b>t0946</b>	toplayıcı linza	convergent lens, convex lens	собирающая линза
<b>t0947</b>	toplayıcı lövhə (plastinka)	collective plate	собирающая пластинка
<b>t0948</b>	toplayıcı şüşə	collecting glass	собирающее стекло
<b>t0949</b>	topokimyəvi reaksiya	topochemical reaction	топохимическая реакция
<b>t0950</b>	topoqrafik çəkiliş	topographic mapping	топографическая съемка
<b>t0951</b>	topoqrafiya	topography	топография
<b>t0952</b>	topologiya	topology	топология
<b>t0953</b>	topoloji altfəza	topological subspace	топологическое подпространство
<b>t0954</b>	topoloji cəbr	topological algebra	топологическая алгебра
<b>t0955</b>	topoloji təsviretmə	topological mapping	топологическое отображение
<b>t0956</b>	topoloji fəza	phase space, topological space	топологическое пространство
<b>t0957</b>	topoloji hasil	topological product	топологическое произведение
<b>t0958</b>	topoloji həlqə	topological ring	топологическое кольцо
<b>t0959</b>	topoloji homomorfizm	topological homomorphism	топологический гомоморфизм
<b>t0960</b>	topoloji invariant	topological invariant	топологический инвариант
<b>t0961</b>	topoloji kompleks	topological complex	топологический комплекс
<b>t0962</b>	topoloji müxtəliflik	topological manifold	топологическое многообразие
<b>t0963</b>	topoloji qrup	topological group	топологическая группа
<b>t0964</b>	topoloji sahə	topological field	топологическое поле
<b>t0965</b>	topoloji simpleks	topological simplex	топологический симплекс
<b>t0966</b>	topoloji tam fəza	topologically complete space	топологически полное пространство
<b>t0967</b>	topoloji xassələr	topological property	топологические свойства
<b>t0968</b>	tor	torus	тор
<b>t0969</b>	tor cərəyanı	grid current	ток сетки
<b>t0970</b>	tor qişa (gözdə)	retina	сетчатка, ретина
<b>t0971</b>	tor şəkilli müstəvi	net plane	сетчатая плоскость
<b>t0972</b>	tor itgisi	grid leak	утечка сетки
<b>t0973</b>	tor, qəfəs, şəbəkə	grid	сетка (электроника), решётка (оптика)
<b>t0974</b>	toran görmə	mesopic vision	сумеречное зрение
<b>t0975</b>	tordan səpilmə	grid dissipation	рассеяние (мощности) на сетке
<b>t0976</b>	Toriçelli teoremi	Torichelli theorem	теорема Торичелли

**FİZİKİ TERMİNLƏR VƏ İFADƏLƏR**

<b>t0977</b>	Toriçelli borusu	Torichelli tube	Торичеллиева трубка
<b>t0978</b>	Toriçelli boşluğu	Torricelli vacuum	Торичеллиева пустота
<b>t0979</b>	Toriçelli qanunu	Torricelli's law	закон Торичелли
<b>t0980</b>	Toriçelli təcrübəsi	Torichelli experiment	опыт Торичелли
<b>t0981</b>	torium	thorium	торий
<b>t0982</b>	torium filizi	thorium ore	ториевая руда
<b>t0983</b>	torium nüvə reaktoru	thorium reactor	ториевый ядерный реактор
<b>t0984</b>	toriumlu volfram katodu	thoriated tungsten cathode	торированный вольфрамовый катод
<b>t0985</b>	toriumlu volframın közərmə sapı	thoriated tungsten filament	торированная вольфрамовая нить накала
<b>t0986</b>	torlu dedektə etmə	grid detection	сеточное детектирование
<b>t0987</b>	torlu emissiya	grid emission	сеточная эмиссия, эмиссия сетки
<b>t0988</b>	torlu sarğı	grid winding	сеточная обмотка
<b>t0989</b>	torlu spektroqraf	cellular spectrograph	сетчатый спектрограф
<b>t0990</b>	torlu yarıq	radial slot	сетчатая щель
<b>t0991</b>	tormoz	brake	тормоз
<b>t0992</b>	tormozlama qabiliyyəti	stopping power	тормозная способность
<b>t0993</b>	tormozlama təzyiqi	stagnation pressure	давление торможения
<b>t0994</b>	tormozlama, dempfirləşdirmə	braking	торможение, демпфирование
<b>t0995</b>	tormozlanma kəsiyi (effektiv)	stopping cross-section	сечение торможения (частиц)
<b>t0996</b>	tormozlanma dinamometri	absorption dynamometer	тормозной динамометр
<b>t0997</b>	tormozlanma ekvivalenti	stopping equivalent	тормозной эквивалент
<b>t0998</b>	tormozlanma momenti	retarding torque	тормозной момент
<b>t0999</b>	tormozlanma nöqtəsi	stagnation point	точка торможения (потока)
<b>t1000</b>	tormozlanma qüvvəsi	brake force	сила торможения
<b>t1001</b>	tormozlanma şüalanması	bremsstrahlung	тормозное излучение
<b>t1002</b>	tormozlanma temperaturu	stagnation temperature	температура торможения
<b>t1003</b>	tormozlanmış fırlanma	hindered rotation	заторможенное вращение
<b>t1004</b>	tormozlayıcı təsir	inhibitory [suppressive, depressant] action	тормозящее действие
<b>t1005</b>	tornado	tornado	торнадо
<b>t1006</b>	toroid	toroid	тороид
<b>t1007</b>	toroid metodu	toroid method	метод тороида
<b>t1008</b>	toroidal koordinatlar	toroidal coordinates	тороидальные координаты
<b>t1009</b>	toroidal maqnit özəyi	toroidal magnetic core	тороидальный магнитный сердечник
<b>t1010</b>	toroidal özək	toroidal core	тороидальный сердечник
<b>t1011</b>	toroidal solenoid	toroidal solenoid	тороидальный соленоид
<b>t1012</b>	torpağa (yerə) bağlanmış anodlu gücləndirici	grounded-plate amplifier	усилитель с заземлённым анодом
<b>t1013</b>	torpağa bağlanmış emitterli gücləndirici	grounded emitter amplifier	усилитель с заземлённым эмиттером
<b>t1014</b>	torpağa bağlanmış kollektorlu gücləndirici	grounded collector amplifier	усилитель с заземлённым коллектором
<b>t1015</b>	torpağa bağlanmış katodlu	grounded-cathode amplifier	усилитель с заземлённым

	gücləndirici		катодом
<b>t1016</b>	torpaq termometri	soil thermometer	почвенный термометр
<b>t1017</b>	torsiometr	torque meter	торсиометр
<b>t1018</b>	torun tutumu	grid capacitance	ёмкость сетки
<b>t1019</b>	torziograf	torziograph	торзиограф
<b>t1020</b>	Toundsen boşalması	Townsend discharge	разряд Тоундсена
<b>t1021</b>	toz	powder	порошок
<b>t1022</b>	tozölçən	dust counter	пылемер
<b>t1023</b>	toz qasırgası	dust whirl	пыльный вихрь
<b>t1024</b>	tozlanmış metal	atomized metal	распыленный металл
<b>t1025</b>	tozaoxşar	powdery	порошкообразный
<b>t1026</b>	tozlama	evaporation	напыление
<b>t1027</b>	tozlanan maddə	evaporated substance	напылённое вещество, напыляемое вещество
<b>t1028</b>	tozlanan plyonka	evaporated thin film	напылённая (тонкая) плёнка
<b>t1029</b>	tozlandırıcı (püskürdücü)	sprayer	распылитель
<b>t1030</b>	tozlandırıcı getter	flash getter	распыляющий геттер
<b>t1031</b>	tozlandırılma	spraying	распыление
<b>t1032</b>	tozlanma ilə metallik örtük	metal sputtering	металлизация распылением
<b>t1033</b>	tozşəkili cisim	powdery body	порошкообразное тело
<b>t1034</b>	tozşəkili hal	powdery state	порошкообразное состояние
<b>t1035</b>	tozşəkili maqnit	powder magnet	порошковый магнит
<b>t1036</b>	tozşəkili yanacaq	powdered fuel, pulverized fuel	пылевидное топливо
<b>t1037</b>	törədən funksiya	generating function	производящая функция
<b>t1038</b>	törəmə	derivative	производная
<b>t1039</b>	törəmə çoxluq	derived set	производное множество
<b>t1040</b>	törəmə dalğa	derived wave	производная волна
<b>t1041</b>	törəmə mənbə	derivative source	производный источник
<b>t1042</b>	törəmə ölçü	derived measure	производная мера
<b>t1043</b>	törəmə səs	derived sound	производный звук
<b>t1044</b>	törəmə vahid	derived unit, subunit	производная единица
<b>t1045</b>	törəmə, əmələ gəlmə	origin	происхождение
<b>t1046</b>	törəmə vektor	derived vector	производный вектор
<b>t1047</b>	törənmiş nüvə	iterated kernel	итерированное ядро
<b>t1048</b>	traktrisa	tractrix	трактриса
<b>t1049</b>	transduktor	transducer	трансдуктор
<b>t1050</b>	transfinit induksiya	transfinite induction	трансфинитная индукция
<b>t1051</b>	transfinit sıra ədədi	transfinite ordinal number	трансфинитное порядковое число
<b>t1052</b>	transflüksor	transfluxor	трансфлюксор
<b>t1053</b>	trans-forma	trans form	транс-форма
<b>t1054</b>	transformasiya	transformation	трансформация
<b>t1055</b>	transformasiya əmsalı	ratio of transformation, transformation ratio	коэффициент трансформации
<b>t1056</b>	transformator	transformer	трансформатор
<b>t1057</b>	transformator elektro-hərəkət qüvvəsi	transformer electromotive force	трансформаторная электродвижущая сила



**FİZİKİ TERMİNLƏR VƏ İFADƏLƏR**

<b>t1058</b>	transformator rabitəli gücləndirici, transformator gücləndiricisi	transformer-coupled amplifier, transformer amplifier	усилитель с трансформаторной связью, трансформаторный усилитель
<b>t1059</b>	transformator rabitəsi	transformer coupling	трансформаторная связь
<b>t1060</b>	transilyasiya əməliyyatı	translation operation	операция трансляции
<b>t1061</b>	trans-izomer	trans isomer	транс-изомер
<b>t1062</b>	transkripton	transcription	транскриптон
<b>t1063</b>	transkristallik çat	transcrystalline crack	транскристаллическая трещина
<b>t1064</b>	translyasiya	translation	трансляция
<b>t1065</b>	translyasiya (veriliş) vektoru	translational vector	вектор трансляции
<b>t1066</b>	translyasiya edilən proqram, proqram-translyator	translating program	транслирующая программа, программа-транслятор
<b>t1067</b>	translyasiya periodu	translation period	период трансляции
<b>t1068</b>	translyasiya qrupu	translation group	трансляционная группа
<b>t1069</b>	translyasiya simmetriyası	translational symmetry	трансляционная симметрия
<b>t1070</b>	translyasiyalı fəza qəfəsləri	translational spatial lattices	трансляционные пространственные решетки
<b>t1071</b>	transmissiya	transmission	трансмиссия
<b>t1072</b>	transmissiya dinamometri	transmission dynamometer	трансмиссионный динамометр
<b>t1073</b>	transozond	transosonde	трансозонд
<b>t1074</b>	transpirasiya	transpiration	транспирация
<b>t1075</b>	transponirə edilmiş determinant	transposed determinant	транспонированный определитель
<b>t1076</b>	transponirə edilmiş matrisa	transposed matrix	транспонированная матрица
<b>t1077</b>	transportir	protractor	транспортир
<b>t1078</b>	transpozisiya	transposition	транспозиция
<b>t1079</b>	transqressiya	transgression	трансгрессия
<b>t1080</b>	transsendent	transcendental	трансцендентный
<b>t1081</b>	transsendent ədəd	transcendental number	трансцендентное число
<b>t1082</b>	transsendent element	transcendental element	трансцендентный элемент
<b>t1083</b>	transsendent əyri	transcendental curve	трансцендентная кривая
<b>t1084</b>	transsendent funksiya	transcendental function	трансцендентная функция
<b>t1085</b>	transsendent genişlənmə	transcendental extension	трансцендентное расширение
<b>t1086</b>	transsendent meromorf funksiya	transcendental meromorphic function	трансцендентная мероморфная функция
<b>t1087</b>	transsendent məxsusi nöqtə	transcendental singularity	трансцендентная особая точка
<b>t1088</b>	transsendent tənlik	transcendental equation	трансцендентное уравнение
<b>t1089</b>	transsendentlik	transcendentality	трансцендентность
<b>t1090</b>	transuran elementi	transuranium element	трансурановый элемент
<b>t1091</b>	transversal müşahidə	transversal observation	трансверсальное наблюдение
<b>t1092</b>	tranzistor	transistor	транзистор
<b>t1093</b>	tranzistor bazası dövrəsi	base circuit	цепь базы транзистора
<b>t1094</b>	tranzistorlu	transistored	транзисторный
<b>t1095</b>	tranzistorlu alçaq tezlik	transistor low-frequency	транзисторный усилитель

	gücləndiricisi	amplifier	низкой частоты
<b>t1096</b>	tranzistorlu çevirici	transistor transducer	транзисторный преобразователь
<b>t1097</b>	tranzistorlu generator	transistor oscillator	транзисторный генератор
<b>t1098</b>	tranzistorlu gücləndirici	transistor amplifier	транзисторный усилитель
<b>t1099</b>	tranzistorlu məntiqi sxem	transistor logic circuit	транзисторная логическая схема
<b>t1100</b>	tranzistorlu modulyator	transistor modulator	транзисторный модулятор
<b>t1101</b>	tranzistorlu sabit cərəyan gücləndiricisi	transistor direct-current amplifier	транзисторный усилитель постоянного тока
<b>t1102</b>	tranzistorlu sxem	transistor circuit	транзисторная схема
<b>t1103</b>	tranzistorlu tezlik çeviricisi	transistor frequency converter	транзисторный преобразователь частоты
<b>t1104</b>	tranzistorun səs-küyü	transistor noise	шум транзистора
<b>t1105</b>	tranzit cərəyan	transit current	транзитный ток
<b>t1106</b>	tranzitiv əvəzətmə qrupu	transitive permutation group	транзитивная группа подстановок
<b>t1107</b>	tranzitivlik qanunu	transitive law	закон транзитивности
<b>t1108</b>	tranzitron generator	transitron oscillator	транзитронный генератор
<b>t1109</b>	trapesiya	trapezoid	трапеция
<b>t1110</b>	trapesiyaşəkilli təhrif (səhv)	keystone distortion	трапецеидальное искажение
<b>t1111</b>	trapesoedr	trapezohedron	трапецоэдр
<b>t1112</b>	Traube-Düklo qaydası	Traube-Duclos law	правило Траубе-Дюкло
<b>t1113</b>	trayektoriya	trajectory	траектория
<b>t1114</b>	trek (iz)	track	трек, след (частицы)
<b>t1115</b>	trek detektoru	track detector	трековый детектор
<b>t1116</b>	trenşalter	trenshalter	треншальтер
<b>t1117</b>	Trevelyan effekti	Trevelyan effect	эффект Тревельяна
<b>t1118</b>	trianqulyasiya	triangulation	триангуляция
<b>t1119</b>	trianqulyasiya məntəqəsi (nöqtəsi)	triangulation point	пункт триангуляции, триангуляционный пункт
<b>t1120</b>	trianopiya	trianopia	трианопия
<b>t1121</b>	triboelektriklik	frictional electricity	трибоэлектричество
<b>t1122</b>	triboelektrik sırası	frictional series	трибоэлектрический ряд
<b>t1123</b>	tribolüminessensiya	triboluminescence	триболюминесценция
<b>t1124</b>	tribometr	tribometer, friction gage	трибометр
<b>t1125</b>	trihidrol	trihydrol	тригидроль
<b>t1126</b>	trixit	trichite	трихит
<b>t1127</b>	trixroizm	trichroism	трихроизм
<b>t1128</b>	triqamma-funksiya	trigamma function	тригамма-функция
<b>t1129</b>	triqatron	trigatron	тригатрон
<b>t1130</b>	triqqer	trigger	триггер
<b>t1131</b>	triqqer sxemi	trigger circuit	триггерная схема
<b>t1132</b>	trigonometrik funksiya	trigonometric function	тригонометрическая функция
<b>t1133</b>	trigonometrik nivelirləmə	trigonometric levelling	тригонометрическое нивелирование
<b>t1134</b>	trigonometrik parallaks	trigonometric parallax	тригонометрический параллакс

**FİZİKİ TERMİNLƏR VƏ İFADƏLƏR**

<b>t1135</b>	triqonometrik şəbəkə	trigonometric net	тригонометрическая сеть
<b>t1136</b>	triqonometrik sıra	trigonometric series	тригонометрический ряд
<b>t1137</b>	triqonometriya	trigonometry	тригонометрия
<b>t1138</b>	trilaterasiya	trilateration	трилатерация
<b>t1139</b>	trimmer	trimmer capacitor	триммер
<b>t1140</b>	trimorfizm	trimorphism	триморфизм
<b>t1141</b>	triode	triode	триод, трехэлектродная лампа
<b>t1142</b>	triodlu gücləndirici	triode amplifier	триодный усилитель
<b>t1143</b>	triode-pentod	triode-pentode	триод-пентод
<b>t1144</b>	triplet	triplet	триплет
<b>t1145</b>	triplet hal	triplet state	триплетное состояние
<b>t1146</b>	triplet eksiton	triplet exciton	триплетный экситон
<b>t1147</b>	triplet səpilmə	triplet scattering	триплетное рассеяние
<b>t1148</b>	triplet sistem	triplet system	триплетная система
<b>t1149</b>	triplet term	triplet term	триплетный терм
<b>t1150</b>	triplet xətt	triplet line	триплетная линия
<b>t1151</b>	tripsin	trypsin	трипсин
<b>t1152</b>	trisektrisa	trisectrix	трисектриса
<b>t1153</b>	tritium	tritium	тритий
<b>t1154</b>	triton	triton	тригон
<b>t1155</b>	trivektor (üç vektor)	three-vector, trivector	тривектор
<b>t1156</b>	trivial ad	trivial name	тривиальное название
<b>t1157</b>	trivial həll	trivial solution	тривиальное решение
<b>t1158</b>	troxoid	trochoid	трохоида
<b>t1159</b>	troxoidal dalğa	trochoidal wave	трохоидальная волна
<b>t1160</b>	troxoskop	trochoscope	трохоскоп
<b>t1161</b>	trokotron	trocotron	трокотрон
<b>t1162</b>	tropik ay	tropical month	тропический месяц
<b>t1163</b>	tropik siklon	tropical cyclone	тропический циклон
<b>t1164</b>	tropik cəbhə	tropical front	тропический фронт
<b>t1165</b>	tropik daxili zona konvergensiyası	intertropical convergence zone	внутритропическая (междутропическая) зона конвергенции
<b>t1166</b>	tropik fırtına	tropical storm	тропический шторм
<b>t1167</b>	tropik hava kütləsi	tropical air mass	тропическая воздушная масса
<b>t1168</b>	tropik həyəcan	tropical disturbance	тропическое возмущение
<b>t1169</b>	tropik il	equinoctial year	тропический год
<b>t1170</b>	tropik iqlim	tropical climate	тропический климат
<b>t1171</b>	tropik musson iqlimi	tropical monsoon climate	тропический муссонный климат
<b>t1172</b>	tropik qabarma	tropical tide	тропический прилив
<b>t1173</b>	tropik tropopauza	tropical tropopause	тропическая тропопауза
<b>t1174</b>	tropik zona	tropical zone	тропическая зона
<b>t1175</b>	tropikdən xaric siklon	extratropical cyclone	внетропический циклон
<b>t1176</b>	tropomiozin	tropomyosin	тропомиозин
<b>t1177</b>	tropopauza	tropopause	тропопауза

<b>t1178</b>	tropopauzada dalğa	tropopause wave	волна в тропопаузе
<b>t1179</b>	tropopauza xəritəsi	tropopause chart	карта тропопаузы
<b>t1180</b>	tropopauza qıfı	tropopause funnel	воронка тропопаузы
<b>t1181</b>	troposfer dalğa	tropospheric wave	тропосферная волна
<b>t1182</b>	troposfer əksətmə	tropospheric reflection	тропосферное отражение
<b>t1183</b>	troposfer səpilmə	tropospheric scattering	тропосферное рассеяние
<b>t1184</b>	troposfer yayılma	tropospheric propagation	тропосферное распространение
<b>t1185</b>	troposfer	troposphere	тропосфера
<b>t1186</b>	tropotaksis	tropotaxis	тропотаксис
<b>t1187</b>	Trouton qaydası	Trouton's rule	правило ТROUTОНА
<b>t1188</b>	trunkasion xəta (səhv)	truncation error	трукнационная ошибка
<b>t1189</b>	tubusun optik uzunluğu	optical tube length	оптическая длина тубуса
<b>t1190</b>	tufan	thunderstorm	гроза
<b>t1191</b>	tufan, fırtına	storm	буря
<b>t1192</b>	Tuker mikrofonu	Tuker receiver	микрофон ТУКЕРА
<b>t1193</b>	tulium	thulium	тулий
<b>t1194</b>	tullanmış cisim	projectile	брошенное тело
<b>t1195</b>	tullantılar	waste	отходы, отбросы
<b>t1196</b>	tunel cərəyanı	tunnel current	туннельный ток
<b>t1197</b>	tunel diodu	tunnel diode	туннельный диод
<b>t1198</b>	tunel effekti	tunnel effect	туннельный эффект
<b>t1199</b>	tunel keçidi	tunnel junction	туннельный переход
<b>t1200</b>	tunel tranzistoru	tunnel transistor	туннельный транзистор
<b>t1201</b>	tuneltron	tunneltron	туннельтрон
<b>t1202</b>	turbidimetr	turbidimeter	турбидиметр
<b>t1203</b>	turbidimetrik titrləmə	turbidimetric titration	турбидиметрическое титрование
<b>t1204</b>	turbidimetriya	turbidimetry	турбидиметрия
<b>t1205</b>	turbin	turbine	турбина
<b>t1206</b>	turbinli kəsici	turbine interrupter	турбинный прерыватель
<b>t1207</b>	turboalternator	turbo-alternator	турбоальтернатор
<b>t1208</b>	turbogenerator	turbogenerator	турбогенератор
<b>t1209</b>	turbokompressor	turbocompressor	турбокомпрессор
<b>t1210</b>	turbonasos	turbopump	турбонасос
<b>t1211</b>	turbopauza	turbopause	турбопауза
<b>t1212</b>	turbosfer	turbosphere	турбосфера
<b>t1213</b>	turbulent alov	turbulent flame	турбулентное пламя
<b>t1214</b>	turbulent axın	turbulent flow	турбулентное течение, турбулентный поток
<b>t1215</b>	turbulent daşıma	eddy transfer	турбулентный перенос
<b>t1216</b>	turbulent diffuziya	turbulent diffusion	турбулентная диффузия
<b>t1217</b>	turbulent enerji	turbulent energy	турбулентная энергия
<b>t1218</b>	turbulent hərəkət	turbulent motion	турбулентное движение
<b>t1219</b>	turbulent inversiya	turbulence inversion	турбулентная инверсия, инверсия турбулентности

**E.Ə. Məsimov, B.G. Paşayev, N.F. Orucova**

### **SU-PEQ-KI SİSTEMLƏRİNİN VİSKOZİMETR VƏ DENSİTOMETR METODLARI İLƏ TƏDQIQI**

İşdə su-PEQ-KI sistemlərinin 293.15-323.15 K temperatur və PEQ-in 0-0,001 molyar hissə konsentrasiyası intervalında dinamik özlülüyü və sıxlığı ölçülmüşdür. PEQ-in 1000, 1500, 3000, 4000 və 6000 molekulyar kütləli fraksiyalarına baxılmışdır və KCl-un konsentrasiyası 0.01 molyar hissə götürülmüşdür. Təcrübə nəticələrindən istifadə edərək, tədqiq olunan sistemlərin baxılan temperatur və konsentrasiya intervalında özlü axınının aktivləşmə parametrləri və məhlulda PEQ-in parsial molyar həcmli hesablanmışdır. Müəyyən olunmuşdur ki, həm konsentrasiyanın artması ilə, həm də molekulyar kütlənin artması ilə məhlul daha strukturlaşmış hala keçir.

**E.M. Fərhadzadə, A.Z. Muradəliyev, T.K. Rəfiyeva, A.A. Rustamova**

### **ENERJİ BLOKLARIN TEXNİKİ-İQTİSADI GÖSTƏRİCİLƏRİNİN MÜMKÜN REALLAŞDIRMALARININ FİDUSIAL PAYLAMALARININ TƏHLİLİ**

Fidusial çoxölçülü təsadüfi kəmiyyətlərin, yəni bir sıra əlamət və növlərdən asılı olan təsadüfi kəmiyyətlərin qiymətlərinin paylanması aiddir. Çoxölçülü təsadüfi kəmiyyətlərin əyani nümunəsi kimi elektrik stansiyalarının enerji bloklarının texniki-iqtisadi göstəricilərini qeyd etmək olar. Fidusial paylanma qanunauyğunluqları enerji bloklarının işinin səmərəliliyinə təsir edən amillərdən (əlamətlər) asılıdır. Buna görə birölçülü təsadüfi kəmiyyətlər toplusundan fərqli olaraq, fidusial paylanma yalnız konkret paylanma qanunu ilə deyil, təcrübə olaraq qurulmuş statistik paylanma funksiyası və histoqram ilə xarakterizə olunur. Fidusial intervalın sərhəd qiymətləri əhəmiyyət dərəcəsi ilə deyil, verilmiş əlamət müxtəlifliyinin uyğunluğu ilə təyin olunur. Verilmiş əlamətlər müxtəlifliyinin mühümlüynə görə çoxölçülü verilənlərin təsnifatı zamanı mümkün reallaşmaların sayı azalır. Lakin ümumi toplusundan edilən seçimin paylanmasının parametrlərinin qiymətləndirilməsi üzrə etibarlılıq intervalından fərqli olaraq, fidusial intervalın eni azalır ki, bu da fərdi etibarlılıq hesabının dəqiqliyinin artması ilə uyğunluq təşkil edir. Texniki – iqtisadi göstəricilərin mümkün reallaşmasının növlərindən biri də hesabat zamanı “kobud” səhvlərə səbəb olan və ya qeyri-stasionar rejimlərə uyğun gələn reallaşmalardır. Belə səhv reallaşmaların təyini üzrə avtomatlaşdırılmış sistem enerji blokların müqayisəsi və sıralanmasının obyektivliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Amma müvafiq meyarların ifadə edilməsinə imkan verən texniki-iqtisadi göstəricilərin fidusial paylanmasının qrafik analizi avtomatlaşdırılmış sistem alqoritminin işlənilməsinə zəmin yaradır.

**A.A. Adilov, Ç.O. Qacar, S.A. Musayev, A.S. Həsənova**

### **GOŞ-KONFORMERLİ İZOPROPİL SPİRTİNİN MİLLİMETRLİK RƏQSİ-FIRLANMA SREKTİRLƏRİ (J<50)**

Goş-konformerli izopropil spirtinin 1800-dən çox fırlanma və rəqsi- fırlanma keçidlərinin iştirakı ilə əks məsələ həll edilmişdir və eyni zamanda əsas molekulyar mərkəzəqaçma (4 və 6 tərtibli) daxili fırlanma sabitləri və potensial baryerin hündürlüyü dəqiqləşdirilmişdir. Məsələnin həlli zamanı reduksiya olunmuş hamiltoniandan istifadə edildiyi üçün həmin molekulun spektroskopik sabitləri çox böyük dəqiqliklə təyin edilmişdir.

**T.R.Mehdiyev, X.Ə. Həsənova**

### **Bi<sub>1-x</sub>Sb<sub>x</sub> ƏRİNTİLƏRİNDƏ UDULMA VƏ LÜMINESSENSİYA**

Bi<sub>0,97</sub>Sb<sub>0,03</sub>, Bi<sub>0,88</sub>Sb<sub>0,12</sub> və Bi<sub>0,85</sub>Sb<sub>0,15</sub> ərintilərinin 300 K temperaturda, 250 nm-dən 650 nm-ə qədər diapazonda fotoluminensensiya spektri, Lorens-Qauss paylanması yolu ilə spektrlərin təhlili verilmişdir. Sintez olunmuş Bi<sub>1-x</sub>Sb<sub>x</sub> bərk məhlullarının lüminessensiya spektrləri 300-700 nm dalğa uzunluğu aralığında otaq temperaturunda Monk-Giddison monoxromatoru ilə LS-55 spektrometrində tədqiq edilmişdir. 150W ksenon mənbədən həyəcanlandırılma nəticəsində lüminessensiya Xe: 237nm (5,23eV), 285 nm (4,35 eV), 298 nm (4,16 eV), 337 nm (3,697 eV), 377 nm (3,299 eV), 423 nm (2,931 eV) tərkiblər müvafiq olaraq: x=15; 12; 3. Dalğa uzunluğunun verilmə dəqiqliyi ±1,0 nm.

Hazırda aparılan tədqiqatların nəticələri göstərir ki, tərkibində bismut olan kristallik mühitlərin əksəriyyətinə, geniş (50-80 nm) zolağa (göy ( $\tau \approx 1-2$  mksan) və qırmızı ( $\tau \approx 5-12$  mksan) lüminessensiya müddəti ilə) lüminessensiya zolağı xarakterikdir. Bismutlu monokristallarda geniş lüminessensiya və udulma zolaqları müşahidə olunmuşdur. Bu da, öz növbəsində, nadir torpaq ionlarına səciyyəvi olmayan (onlarda optik elektronlar liqandların xarici sahəsindən ekranlaşdırılır) optik mərkəzin elektron-fonon qarşılıqlı təsiri ilə əlaqələndirilir.

**Y.G. Hacıyeva**

### **$\gamma$ - ŞÜALANMIŞ POLİTETRAFTORETİLEN/CdS NANOKOMPOZİTLƏRİN EPR ÖYRƏNİLMƏSİ**

Müəyyən edilmişdir ki, 5kQr dozada PTFE/CdS nanokompozitləri üçün  $\gamma$ - faktorun sərbəst elektronlara uyğundur. EPR spektrlərində kreyz tsiklinin artması ilə signal intensivliyinin kreyzlərin sayından qeyri-xətti asılılığı müşahidə olunmuşdur.

**T.Y. Orucov**

**Gd<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub>:Ce<sup>3+</sup> VƏ Y<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub>:Ce<sup>3+</sup> FOSFORLARININ QARIŞIĞI İLƏ AĞ İŞIQ DİODLARININ ALINMASI**

Bu məqalədə, sənaye üçün istehsal olunan ağ işıq diodlarının optik performansını artırmanın bir yolu kimi, sırf Y<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub>:Ce<sup>3+</sup> fosforu ilə istehsal edilən ağ işıq diodlarının əksinə olaraq, Gd<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub>:Ce<sup>3+</sup> fosforu ilə Y<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub>:Ce<sup>3+</sup> fosforunun qarışığından istifadə edilməklə alınan ağ işıq diodları tədqiq olunur. Gd<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub>:Ce<sup>3+</sup> fosforu əlavə edilən diodlardakı ağ işığın işıq seli, rəng temperaturu, rəng göstərici indeksi və təmizliyi kimi optik parametrləri öyrənilir.

**H.İ. Məmmədova**

**Ge<sub>x</sub>As<sub>y</sub>Te<sub>100-x-y</sub> SİSTEMLƏRİNİN TƏBƏQƏLƏRİNDƏ MONOPOLYAR İNJEKSIYA CƏRƏYANLARI**

İşdə Te -- Ge<sub>x</sub>As<sub>y</sub>Te<sub>100-x-y</sub> -- Al sendviç quruluşuna malik nazik təbəqədən cərəyankeçmə mexanizminin xüsusiyyətləri tədqiq olunmuşdur. Müəyyən olunmuşdur ki, Te elektroduna müsbət potensial tətbiq olunduqda, dəşiklərin injeksiyası hesabına fəza yükləri ilə məhdudlanmış monopolyar injeksiya cərəyanları yaranır. İnjeksiya cərəyanları haqqında məlum olan klassik Lampert nəzəriyyəindən istifadə edərək müəyyən olunmuşdur ki, yükdaşınma əsasən Fermi və valent zona arasında yerləşən dayaz tələ mərkəzləri ilə idarə olunur. İşdə göstərilən mərkəzlərin energetik dərinliyi və konsentrasiyası müəyyən olunmuşdur. Göstərilmişdir ki, tələlərin dolma sərhəddi oblastında VAX dəşiklərin monoenergetik zəbt etmə səviyyələri üçün tətbiq olunan Lampert nəzəriyyəsinə uyğun deyil, üstlü qanunla dəyişir. Göstərilən nəticənin izahı paylanma funksiyasının Bolsman yaxınlaşmasından Fermi-Diraka keçidini nəzərə alaraq, Fermi səviyyəsinin dəyişməsinə səbəb olan Pul-Frenkel effekti ilə izah olunmuşdur. İstilik-sahə hesabına Kulon baryerinin sifra doğru azalmasına uyğun olan elektrik sahə gərginliyinin böhran və asılılığın tələlərlə idarə olunan kvadratik qanunundan tələsiz hala keçid qiymətləri təyin olunmuşdur.

**S.Q. Abdullayev, E.Ş. Ömərova**

**SUPERSİMMETRİK HİQQS BOZONLARIN İKİ VƏ ÜÇ ZƏRRƏCİKLİ ÇEVRİLMƏ KANALLARI**

Minimal Supersymmetrik Standart Model çərçivəsində  $H$ ,  $A$  və  $H^\pm$  Hiqqs bozonlarının iki və üç zərrəcikli çevrilmə kanalları tədqiq edilmişdir:  $H \rightarrow W^- W^+$ ,  $H \rightarrow Z^0 Z^0$ ,  $A \rightarrow h Z^0$ ,  $H \rightarrow hh$ ,  $H \rightarrow h b \bar{b}$ ,  $H \rightarrow Z^0 A h$ ,  $H^\pm \rightarrow h W^\pm$ ,  $A \rightarrow Z^0 h h$ ,  $H^\pm \rightarrow W^\pm h h$ ,  $H(A) \rightarrow t \bar{b} W^-$ . Bütün çevrilmə kanallarının enləri hesablanmış və onların Hiqqs bozonların kütlələrindən asılılıq qrafikləri qurulmuşdur. Müəyyən edilmişdir ki, çevrilmələrin enləri Hiqqs bozonun kütləsinə olduqca həssasdır. Belə ki, bəzi çevrilmələrdə Hiqqs bozonun kütləsinin artması ilə enin artması müşahidə olunduğu halda, digər çevrilmələrdə isə enin azalması gözə çarpır.

**M.Ş. Qocayev**

**İXTİYARİ POLYARLAŞMIŞ ELEKTRON-POZİTRON TOQQUŞMALARINDA HİQQS BOZONUN ŞÜALANMASI**

Bu yaxınlarda BAK-da ATLAS və CMS kollaborasiyaları tərəfindən Hiqqs bozonun xassələrinə oxşar xassələrə malik 125 QeV kütləli zərrəcik kəşf olunmuşdur. Bu işdə Standart Model çərçivəsində Hiqqs bozon və ağır fermion cütünün elektron-pozitron toqquşmalarında yaranması prosesinə baxılır:  $e^- e^+ \rightarrow H f \bar{f}$ , burada  $f \bar{f}$  – lepton cütü ( $\tau^- \tau^+$ ) və ya kvark cütüdür ( $b \bar{b}$ ,  $t \bar{t}$ ). Hiqqs bozonun ağır fermion cütü tərəfindən şüalanması mexanizmi geniş tədqiq olunmuşdur. Elektron-pozitron cütünün ixtiyari (eninə və uzununa) və fermion cütünün uzununa polyarlaşması nəzərə alınmaqla prosesin diferensial və inteqral kəsikləri üçün analitik ifadələr alınmışdır. Fermionun sol-sağ və eninə spin asimetriyaları və uzununa polyarlaşma dərəcəsi təyin olunmuşdur. Elektron-pozitron cütünün enerjisinin  $\sqrt{s} = 1$  TeV qiymətində effektiv kəsiyin və asimetriyanın enerjiden və uçuş bucağından asılılığı öyrənilmişdir. Hiqqs bozonun  $t \bar{t}$ -kvark cütü ilə əlaqə sabitinin ölçülməsi imkanı müzakirə olunmuşdur.

**A. Məmmədli, N. Süleymanova, R. Əkbərov, S. Nuruyev, N. Sadıqova,  
A. Hüseynova, A. Qarayeva, F. Ağayeva**

**SİLİSIUM FOTOGÜCLƏNDİRİCİSİNİN PİKSEL TUTUMUNUN VƏ ŞUNT TUTUMUNUN TƏDQIQI**

Təqdim edilən işdə, müasir selvari fotogücləndiricinin tutumu tədqiq edilmişdir. Test nümunələri kimi HAMAMATSU şirkətinə aid S13360-1325CS seriyalı fotodiod seçilmişdir. Piksellərin tutumunun və fotodiodun şunt tutumunun təyin edilməsində təcrübə və nəzəri metodlardan istifadə olunmuşdur.

**MÜNDƏRİCAT**

- 
1. İnformasiyanın təhlükəsiz ötürülməsində istifadə olunan yaddaş və məntiq qurğularında yarımkeçirici nanoelektron elementlərin tətbiqi  
**S.N. Musayeva, E.Ə. Kərimov** 3
  2. Karbon nanoboruların funksionallaşdırılması və Raman səpilməsi vasitəsi ilə analizi  
**R.Q. Abaszadə, S.A. Məmmədova, R.İ. Ələkbərov, O.Ə. Əliyev, A.M. Nəbiyev, E.M. Əliyev, O.A.Kapuş, Ş.K.Səfəraliyev** 9
  3. Elektrik boşalması təsiri şəraitində polimer dielektrlərdə həcmi yükün formalaşma xüsusiyyətləri  
**H.S. Əliyev** 15
  4. AdS/KXD-nin yumşaq divar modelində nuklonların aksial–vektor form faktorunun hesablanması  
**Ş.Ə. Məmmədov, İ.İ. Atayev** 19
  5. Bi<sub>0.97</sub>Sb<sub>0.03</sub> ərintisində udulma və lüminessensiya spektrləri  
**X.Ə. Həsənova** 24
  6. CuGaS<sub>2</sub> monokristalının səthində yaranan nanoquruluşların onun elektrik və optik xassələrinə təsiri  
**İ. Qasımoğlu, Q.S. Mehdiyev, Z. Qədiroğlu, Ə.H. Bağırov, İ.T. Məmmədova, N.H. Mahmudova, İ.T. Nəsibov** 30
  7. ZnO-polimer əsaslı kompozit varistorların optimal sintez üsulunun və mexaniki xassələrinin təyini  
**Ş.M. Əhədzadə** 36
  8. Polietilen+nanogil nanokompozitlərin elektrik parçalanma kinetikasında elementar proseslər  
**A.R. Sadıqova** 40
  9. BaTiO<sub>3</sub> hissəciklərinin müsbət dielektrik anizotropiyalı smektik A maye kristalın faza keçidlərinə təsiri  
**Ş.Ə. Hümbətov** 44
  10. Neft ləkələrinin məsafədən aşkarlanması üçün Milli Aviasiya Akademiyasında işlənib hazırlanmış flüoressent LİDAR-ın iş prinsipi, quruluşu və əsas modulları  
**İ.Z. Sadıxov** 50
  11. Polimer-çoxkomponentli pyezofazaya malik keramikalardan ibarət kompozitlərdə pyezo-, piroelektrik effektlərin formalaşmasının mühüm amilləri  
**Z.A. Dadaşov** 55
  12. Standart modeldə Hiqqz bozonun vektor bozonla birgə yaranma prosesinin tədqiqi  
**F.N. Əhmədov** 59
  13. Fiziki terminlər və ifadələr  
**A.İ. Muxtarov, M.A. Muxtarov, T.R. Mehdiyev, K.B. Qurbanov, E.A. Axundova, N.A. Axundova, N.İ. Hüseynova, S.İ. Əliyeva, E.Ə. Ələsgərova** 64
  14. FİZİKA, 2019, vol. XXV №4, section: En buraxılışında dərc olunan məqalələrin qısa xülasəsi 77



[www.physics.gov.az](http://www.physics.gov.az)