

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

QAMMA ŞÜALARLA MODİFİKASIYA OLUNMUŞ POLİETİLEN/METAL OKSID (ZrO_2 və SiO_2) NANOKOMPOZİTLƏRİNİN STRUKTURU VƏ DİELEKTRİK RELAKSASIYA PROSESLƏRİ

İxtisas: 2225.01- Radiasiya materialşünaslığı

Elm sahəsi: Fizika

Iddiaçı: **Asif Arashlı oğlu Nəbiyev**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı – 2021

Dissertasiya işi Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Radiasiya Problemləri İnstitutunun "Polimer və elektroaktiv kompozit materialların radiasiya fizikası" laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir

Elmi rəhbərlər:

Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,
professor **Arif Musa oğlu Məhərrəmov**

Fizika-riyaziyyat elmləri namizədi,
dosent **Musa Abduləli oğlu Nuriyev**

Rəsmi opponentlər:

Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,
professor **Rauf Mədət oğlu Sərdarlı**

Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,
professor **Adil Polad oğlu Abdullayev**

Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,
professor **Nizami Mikayıl oğlu Mehdiyev**

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ail Attestasiya Komissiyasının AMEA Radiasiya Problemləri İnstitutu nəzdində fəaliyyət göstərən **FD 1.21** Dissertasiya Şurası

Dissertasiya şurasının sədri: AMEA-nın müxbir üzvü,
fizika elmləri doktoru, professor
Oqtay Əbil oğlu Səmədov

Dissertasiya şurasının
elmi katibi: fizika üzrə fəlsəfə doktoru
Müslüm Əhməd oğlu Məmmədov

Elmi seminarın sədri: fizika elmləri doktoru, dosent
Mətanət Əhməd qızı Mehrabova

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Hal-hazırda nanodispers doldurucu əlavə edilmiş polimer əsaslı kompozit materialların alınması, onların strukturunun və xassələrinin tədqiq edilməsi həm polimer fizikası və kimyasının, həm də müasir radiasiya materialşünaslığının əsas prioritet istiqamətlərindən biridir. Belə ki, müasir dövrdə qeyri-üzvi nano doldurucu əlavəsi ilə alınmış polimer əsaslı kompozit sistemlər geniş miqyaslı tətbiq imkanları və yüksək hibrid xassələri baxımından ən aktual və vacib materiallar qrupunu təşkil edir. Bu səbəbdən də müasir inkişaf etmiş ölkələrdə elm, texnologiya və sənayenin ayrı-ayrı oblastlarında polimer nanokompozit sistemlərin hazırlanaraq, modifikasiya imkanlarının müəyyənləşdirilməsi və fərqli sahələrə potensial tətbiqi olduqca vacib strateji tapşırıq kimi formalaşmışdır. Polimer materiallar texnologiyasının sürətli inkişafı və çoxsaylı tətqiqatlar sübut edir ki, doldurucunun ölçülərini nano miqyasa qədər kiçiltməklə alınan kompozit materialların xassələrində effektiv dəyişikliklər əldə etmək olar. Nanokompozit materiallar mikrokompozitlərlə müqayisədə dəfələrlə yüksək effektivlik nümayiş etdirirlər. Bu səbəbdən də nanokompozitlər qısa zaman ərzində mikrokompozitləri əvəzləyə bildi.

Qeyd edək ki, polimer matrisaya qeyri-üzvi nanoölçülü sferik zərrəciklərin əlavə edilməsi polimerlərin xassələrinin modifikasiyası ilə yanaşı, materiala əlavə yeni smart və hibrid xassələr qazandırır. Belə ki, yüksək effektiv xassələr zərrəciklərin ölçüsündən, formasından, xüsusi səth sahəsindən (specific surface area), kimyəvi təbiətindən, paylanma mexanizmindən, matrisa ilə qarşılıqlı əlaqəsindən və s. asılı olaraq kompozit materialda polimer matrisa ilə müqayisədə dəfələrlə yüksək olur.

Hal-hazırda, yüksək texnoloji tətbiqlər üçün polimer və kompozit materialların fiziki və kimyəvi xüsusiyyətlərinin yaxşılaşdırılmasında radiasiya texnologiyalarından geniş istifadə olunur. İonlaşdırıcı şüalanma, hədəf materialın strukturunda makromolekulyar səviyyədə dönməz fiziki-kimyəvi dəyişikliklərə səbəb olur. Makromolekul zəncirlərinin parçalanması, bir sıra kimyəvi rabitələrin qırılması, molekullararası tikilmə, sərbəst radikal

yarınması, hidrogen çıxımı və bəzi oksidləşmə prosesləri bunun bariz nümunəsidir.

Kompozitlər yüksək fiziki-mexaniki xassələrə (yüksək sərtlik dərəcəsi, mexaniki möhkəmliyi, zərbəyə, sürtünməyə və korroziyaya qarşı davamlılıq), yüngül çəkisinə, geniş temperatur aralığında (-80 – +120°C) praktiki istifadə mümkünlüyünə, eləcə də istənilən konfigurasiyalı detalların istehsalında texnoloji cəhətdən sadəliyinə, metal və ərintilərinə qənaət nöqtəyi nəzərindən, həmçinin istismar müddətinin uzunömürlü olması səbəbindən daha aktual materiallar hesab olunur.

Polimer nanokompozit materialların elektrofiziki xassələrinin temperatur-tezlik asılılığı, keçiricilik mexanizmləri, polyarizasiya və dielektrik relaksasiya prosesləri, həmçinin bu mürəkkəb çoxkomponentli sistemin strukturunun öyrənilməsi, polimer matrisada doldurucunun paylanması tədqiqi, polimer–doldurucu sərhəddində baş verən fazalararası effektlər, eləcə də ionlaşdırıcı radiasiyanın bu materialların struktur və xassələrinə təsirinin tədqiqi və bu xassələrin idarə edilməsi olduqca aktual məsələlərdir. Qeyd edək ki, polimer əsaslı nanokompozitlər gələcək nəsil elektron cihaz və sistemlər üçün elektroaktiv çevirici element qismində perspektiv ümidlər vəd edir. Kompozit materiallarda fazalararası proseslərin təbiəti və dielektrik relaksasiya mexanizmləri hələ də elmi nöqtəyi nəzərdən yaxşı başa düşülməyib və tam araşdırılmayıb. Üzvi matrisa və qeyri-üzvi doldurucular arasındakı fazalararası sərhəd layının doldurucu nanohissəciklərinin səthi aktivləşməsi yolu ilə optimallaşdırılması, polimer-doldurucu arasında mükəmməl uyğunluqun yaradılması üçün vacib şərtidir. Fazalararası proseslərdən materialın elektrik möhkəmliyini yaxşılaşdırmaq və ya polyarizasiyaya həssaslığının artırılması üçün istifadə edilə bilər. Kompozitlərin dielektrik xarakteristikalarının polimer və doldurucunun kimyəvi strukturundan, doldurucuların ölçü və morfologiyasından asılılığı, o cümlədən hibrid dolduruculara malik nanokompozitlər üçün hər iki doldurucunun həcmi payının matrisada optimallaşdırılması gələcək tədqiqatlarda araşdırılmalıdır. Polimer matrisa ilə iki fərqli doldurucunun səthində yük miqrasiyası və yığılması, eləcə də dielektrik relaksasiya proseslərini başa düşmək üçün çoxlu sayda araşdırmalara ehtiyac var.

Bütün yuxarıda sadalananları nəzərə alaraq, nano doldurucu əlavə edilmiş yüksək sıxlıqlı polietilen (YSPE) əsaslı YSPE/ZrO₂ və YSPE/SiO₂ kompozit təbəqələrin elektrofiziki, struktur–morfoloji və termofiziki xüsusiyyətlərinə ionlaşdırıcı γ – şüalanmanın təsirinin, eləcə də radiasiya dozəsindən və doldurucunun həcmi miqdarından asılı olaraq materialın xassələrində baş verən dəyişikliklərin kompleks tədqiqi işin olduqca aktual və zəruriliyinin göstəricisidir. Burada fərqli nano-ZrO₂ və nano-SiO₂ hissəciklərinin seçilməsi bizə, doldurucunun səth xüsusiyyətləri ilə YSPE matrisasının struktur və morfologiyasına təsiri arasındakı əlaqəni aydınlaşdırmağa imkan verdi. Dissertasiya işində polimer və metal oksid əsaslı nanokompozit materialların tətbiqi və daha da inkişaf etdirilməsində mümkün gələcək perspektivlər və problemlərin müzakirəsi aparılmışdır.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri:

Dissertasiya işinin məqsədi nano-ZrO₂ və nano-SiO₂ metal oksid hissəcikləri ilə modifikasiya olunmuş yüksək sıxlıqlı polietilen (YSPE) əsasında alınmış YSPE/ZrO₂ və YSPE/SiO₂ nanokompozitlərinin strukturuna və dielektrik relaksasiya proseslərinə γ – radiasiyanın təsir effektlərinin öyrənilməsi olmuşdur. Xüsusi ilə radiasiyanın təsiri altında baş verən struktur dəyişiklikləri ilə elektrofiziki xarakteristikaların relaksasiya prosesləri arasındakı korrelyasiyanın müəyyənləşdirilməsi, həmçinin nanokompozitlərin praktiki tətbiq imkanlarının araşdırılması da nəzərdə tutulmuşdur.

Dissertasiya işində göstərilən məqsədə nail olmaq üçün aşağıdakı məsələlər həll edilmişdir:

- Yüksək-sıxlıqlı polietilenlə (YSPE) nano-ZrO₂ və nano-SiO₂ metal-oksit hissəcikləri əsasında polimer kompozitlərin hazırlanma texnologiyasının müəyyənləşdirilməsi və fərqli həcmi konsentrasiyalı YSPE/ ZrO₂ və YSPE/ SiO₂ nanokompozitlərin alınması;

- Alınmış YSPE/ZrO₂ və YSPE/SiO₂ nanokompozit təbəqələrinin ⁶⁰Co izotopu əsasında işləyən MRX-Q-25M markalı qurğuda ionlaşdırıcı γ -radiasiya ilə müxtəlif dozalarda (100, 300, 500 kGy) şüalandırılması;

- İonlaşdırıcı γ – radiasiyanın metal-oksit dolduruculu YSPE/ZrO₂ və YSPE/SiO₂ nanokompozit təbəqələrin struktur-morfologiyasına təsirinin öyrənilməsi;

• γ – şüalanmadan əvvəl və sonra YSPE/ZrO₂ və YSPE/SiO₂ nanokompozitlərinin dielektrik relaksasiya proseslərinin və elektrofiziki xassələrinin tədqiqi;

Tədqiqat metodları: Yüksək sıxlıqlı polietilenin (YSPE) və komponentlərin mexaniki qarışığından termik presləmə üsulu ilə alınmış YSPE/ZrO₂ və YSPE/SiO₂ nanokompozit nazik təbəqələrinin tədqiqi zamanı aşağıdakı metodlardan istifadə edilmişdir:

- polimer və kompozit təbəqələrinin modifikasiyasının aparılması üçün Co⁶⁰ izotopu əsasında işləyən MRX- γ -25M markalı qamma şüalandırma qurğusu;

- ilkin və γ -şüalarla modifikasiya olunmuş polimer və nanokompozitlərinin elektrofiziki xassələrinin dielektrik spektroskopiyası metodu ilə tədqiqi;

- alınmış YSPE/ZrO₂ və YSPE/SiO₂ nümunələrinin tacşəkilli boşalma üsulu ilə polyarizasiyası;

- termoaktivləşmə spektroskopiyası – termostimulə edilmiş depolyarizasiya (TSD) cərəyanları spektrinin qeyd olunması;

- kiçik-bucaqlı neytron səpilməsi (SANS), kiçik-bucaqlı (SAXS) və böyük bucaqlı (WAXS) rentgen səpilməsi metodları;

- Atom güc mikroskopiyası (AGM) və skanedici elektron mikroskopiyası (SEM)

- Differensial skanedici kalorimetriya (DSC), Termoqravimetriya (TQA), Rentgen struktur analizi (RSA), Raman və İnfraqırmızı (FT-İQ) Furiye spektroskopiyası metodları;

Müdafiəyə çıxarılan əsas elmi müddəalar:

1. Yüksək-sıxlıqlı polietilen (YSPE) matrisada nano-ZrO₂ və nano-SiO₂ metal-oksid hissəciklərinin həcmi paylanması və onların matrisada yaratdığı struktur dəyişiklikləri;

2. Nano-ZrO₂ və nano-SiO₂ metal-oksid hissəciklərinin səth morfologiyası, onun polimer-nanozərrəcik fazalararası proseslərində və makromolekul zəncirlərinin kristallaşma kinetikasında rolu, polimer matrisadakı dispersiya dərəcəsi və polimerin kristal strukturuna təsiri;

3. İonlaşdırıcı γ -şüalanmanın YSPE/ZrO₂ və YSPE/SiO₂ nanokompozitlərinin fraktal-aqreqat strukturuna təsiri və polimer-nanozərrəcik fazalararası proseslərdə rolu;

4. İonlaşdırıcı γ -şüalanmanın YSPE/ZrO₂ və YSPE/SiO₂ nanokompozitlərinin ərimə, kristallaşma və termiki deqradasiya kinetikasına təsiri;

5. İlkin və ionlaşdırıcı γ -şüalanma ilə modifikasiya olunmuş YSPE/ZrO₂ və YSPE/SiO₂ nanokompozitlərində fazalararası proseslərin yük halına təsiri;

6. İlkin və ionlaşdırıcı γ -şüalanma ilə modifikasiya olunmuş YSPE/ZrO₂ və YSPE/SiO₂ nanokompozitlərinin elektrofiziki xarakteristikalarının (ϵ , tg δ) temperatur və tezlik dispersiyasına görə dielektrik relaksasiya proseslərinin qiymətləndirilməsi;

Tədqiqatın elmi yeniliyi:

1. YSPE əsasında nano-ZrO₂ və nano-SiO₂ metal-oksid hissəciklərinin fərqli həcmi konsentrasiyalarında alınmış polimer kompozitlərinin struktur-morfoloji quruluşuna, elektrofiziki və termofiziki xassələrinə ionlaşdırıcı γ -radiasiyanın təsiri öyrənilmişdir.

2. Eksperimental olaraq müəyyən edilmişdir ki, polimer-nanodoldurucu sərhəddində formalaşan fazalararası zonanın (interfacial region) xarakteri və polimer-doldurucu qarşılıqlı təsiri ionlaşdırıcı γ -radiasiyanın dozasından və nano zərrəciklərin səth morfologiyasından kəskin asılıdır.

3. İonlaşdırıcı γ -radiasiyanın və nanodoldurucunun ayrı-ayrılıqda polimer matrisanın kristal-lamelyar və fibril strukturuna təsir effektləri öyrənilmişdir.

4. İonlaşdırıcı γ – radiasiyanın YSPE/ZrO₂ və YSPE/SiO₂ nanokompozitlərində polimer matrisanın ərimə, kristallizasiya və termik deqradasiya kinetikasına təsiri araşdırılmışdır;

5. γ – radiasiyanın YSPE/ZrO₂ və YSPE/SiO₂ nanokompozit təbəqələrin strukturunda yaratdığı fiziki-kimyəvi dəyişikliklərlə onların dielektrik relaksasiya və termofiziki xassələri arasında korrelyasiya müəyyənləşdirilmişdir.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti:

İonlaşdırıcı γ -radiasiyanın polimer-metal oksid kompozit sistemlərinin struktur morfolojiyasına, elektrofiziki və termofiziki xassələrinə təsirinin öyrənilməsi, (elektrofiziki və termofiziki xarakteristikaların doldurucunun ölçü və konsentrasiyasından, ionlaşdırıcı radiasiyanın udulma dozasından, temperatur və tezlikdən asılılıqlar), həmçinin struktur dəyişiklikləri və xassələr arasındakı korrelyativ əlaqələrin müəyyənləşdirilməsi radiasiya materialşünaslığı və nanotexnologiya üçün yeni nəsillə çoxfunksiyalı polimer kompozit materiallarının işlənilib hazırlanmasında və fundamental tədqiqatlarda istifadə oluna bilər. İşin digər praktiki əhəmiyyəti polimer matrisanın əsas material xüsusiyyətlərini təkmilləşdirməklə arzu edilən xassəli yeni tip gələcək nəsillə elektron cihaz və sistemlər üçün, eləcə də yüksək gərginlikli texnologiyalarda yeni növ xüsusi elektroizolyasiya sistemlərinin hazırlanmasına imkan yaratmaqdır. Bu materiallar həmçinin kosmik aparatların navigasiya cihazlarının, yüksək radiasiya fonunda işləyən xüsusi qurğuların alət panellərinin effektiv radiasiya mühafizəsini təmin edə bilər.

Tədqiqat işinin aprobeşiyası və tətbiqi:

Dissertasiya işinin nəticələri aşağıda göstərilən beynəlxalq və respublika miqyaslı elmi konfranslarda müzakirə edilmişdir:

- 4th International Summer School and Workshop "Complex and Magnetic Soft Matter Systems: Physico-Mechanical Properties and Structure", 19-23 April 2021, Timisoara, Romania;
- International Conference "Condensed Matter Research at the IBR-2", October 12-16, 2020, Dubna, Moscow region, Russia;
- Multidisciplinary approaches in solving modern problems of fundamental and applied sciences (Natural sciences), 03 – 06 March 2020, Azerbaijan National Academy of Sciences - Baku, Azerbaijan;
- The 19th International Balkan Workshop on Applied Physics and Materials Science, 16-19, July, 2019, Constanta, Romania;
- The 18th International Balkan Workshop on Applied Physics and Materials Science, 10-13, July, 2018, Constanta, Romania;
- The Conference on Neutron Scattering in Condensed Matter NSCM-2018, 17- 21 September 2018, St. Petersburg, Peterhof, Russia;

- 3rd International Summer School and Workshop "Complex and Magnetic Soft Matter Systems: Physico-Mechanical Properties and Structure", 28 – 30 June 2017, Dubna, Russia;

- International Conference «Condensed Matter Research at the IBR-2» 9-12 October, 2017, Dubna, Russia;

- Международная научная конференция студентов и молодых ученых, 17–20 октября 2017 г., г. Донецк, Украина;

- АМЕА-nın Polimer Materialları İnstitutunun 50 illik yubileyinə həsr olunmuş “Makromolekullar kimyası, üzvi sintez və kompozit materiallar” mövzusunda Respublika Elmi Konfransı, 20 – 21 oktyabr 2016, Sumqayıt, Azərbaycan;

- VII Eurasian Conference “Nuclear Science and Its Application” Azerbaijan, Baku, October 21-24, 2014;

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatlar:

Dissertasiya işi, Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Radiasiya Problemləri İnstitutunun elmi-tədqiqat planına uyğun olub “Polimer və elektroaktiv materialların radiasiya fizikası” laboratoriyasında və Rusiya Federasiyasının Dubna şəhərində yerləşən Birləşmiş Nüvə Tədqiqatları İnstitutunun “Frank adına Neytron Fizikası laboratoriyasında” yerinə yetirilmişdir.

Çap edilmiş elmi işlər. Dissertasiya işinə aid AAK-ın beynəlxalq xülasələndirmə və indeksləmə sistemlərinə (Web of Science və Scopus bazalarına) daxil olan dövrü elmi nəşrlərdə dərc edilməsi tələb olunan **ikisi** təkmüəllifli olmaqla 10 məqalə (6 xarici, 4 yerli) nəşr olunub. Ümumilikdə dissertasiya işinə aid 21 elmi-tədqiqat işi (11 tezis və 10 məqalə) dərc edilmişdir.

Dissertasiya işinin quruluşu, həcmi və əsas məzmunu. Dissertasiya işi giriş, dörd fəsil, nəticələr və istinad olunmuş **180** adda ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. İşin ümumi həcmi **210 səhifədən**, o cümlədən: **64 şəkil və 23 cədvəldən** ibarətdir.

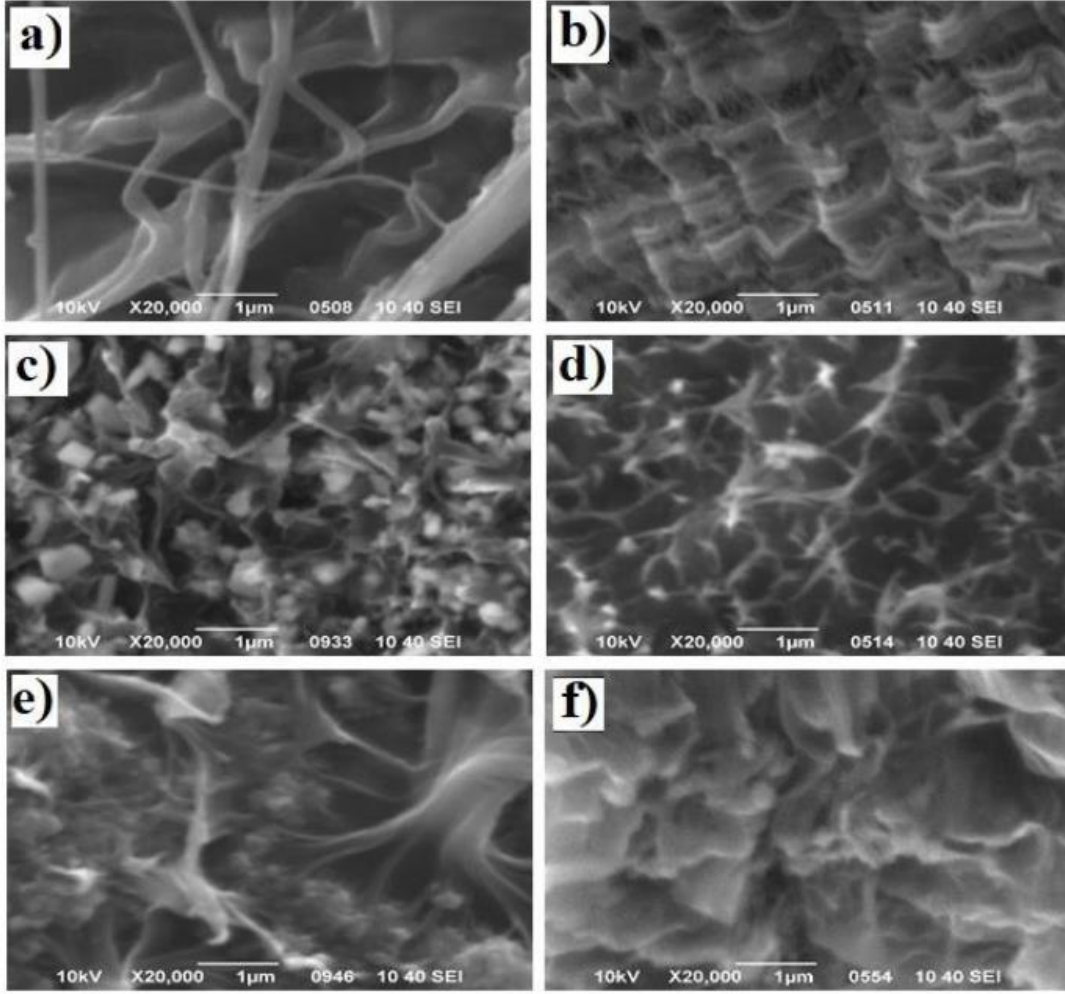
Girişdə dissertasiya mövzusunun aktuallığı əsaslandırılmış, tədqiqatın məqsədi, qoyulmuş məqsədə nail olmaq üçün yerinə yetirilmiş məsələlər, müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar, nəticələrin elmi yeniliyi və praktiki əhəmiyyəti təqdim edilmişdir.

I fəsildə dissertasiyanın mövzusunun əhatə edən ədəbiyyat xülasəsi təqdim edilmişdir. Ədəbiyyat icmalında əsasən polimer

kompozit materialların (PKM) hazırlanma texnologiyaları və perspektivləri, bu materialların struktur morfologiyasına, relaksasiya proseslərinə, dielektrik və termofiziki xassələrinə γ -radiasiyanın təsiri məsələləri, eləcə də bu sahədəki elmi-texniki problemlərdən bəhs edilmişdir. Aparılan elmi mənbələrin təhlili bu kompozitlərə ionlaşdırıcı radiasiyanın təsirinin çox az tədqiq olunduğunu göstərmişdir ki, bu da tədqiqatlarımızın öz aktuallığını saxladığını sübut edir.

II fəsildə nanokompozit təbəqələrin alınma metodikası, onların səth struktur morfologiyasının mikroskopik metodlarla (SEM, AFM) öyrənilməsi, nanostrukturun SANS, SAXS, WAXS, RSA metodları ilə araşdırılması təsvir edilmişdir. Nanokompozitlərin γ -şüalanması və elektrofiziki parametrlərinin ölçülməsi metodikası, termostimüləndirilmiş depolyarizasiya metodu ilə yük halının tədqiqi metodikası və uyğun eksperimental qurğuların təsviri də bu fəsildə öz əksini tapmışdır. Tədqiqat obyektini olan YSPE/ ZrO_2 və YSPE/ SiO_2 kompozitlərinin termik xassələrini müəyyən etmək üçün DSC və TGA metodları, eləcə də materialların struktur xüsusiyyətlərini müəyyənləşdirmək üçün isə infraqırmızı (İQ) və Raman spektroskopiyaya metodları da bu fəsildə verilmişdir.

III fəsildə yüksək sıxlıqlı polietilenlə nano- SiO_2 və nano- ZrO_2 hissəcikləri əsasında müxtəlif həcm nisbətində alınmış, ilkin və şüalandırılmış YSPE/ ZrO_2 və YSPE/ SiO_2 kompozitlərinin strukturuna və termofiziki xassələrinə γ -radiasiyanın təsiri mexanizmləri tədqiq edilmişdir. Eyni zamanda alınmış kompozitlərin səthi və həcmi struktur morfologiyasının mikroskopik metodlarla (SEM, AFM) öyrənilməsi nanodoldurucunun polimer matrisada paylanması, doldurucunun fraktal-aqreqat strukturu və onun parametrləri haqqında müəyyən fikir söyləməyə əsas vermişdir. İlkin və şüalandırılmış YSPE/ ZrO_2 və YSPE/ SiO_2 kompozitlərinin en kəsiyinin skanedicci elektron mikroskopu (SEM) ilə çəkilmiş görüntülərini analiz edək (şəkil 1).



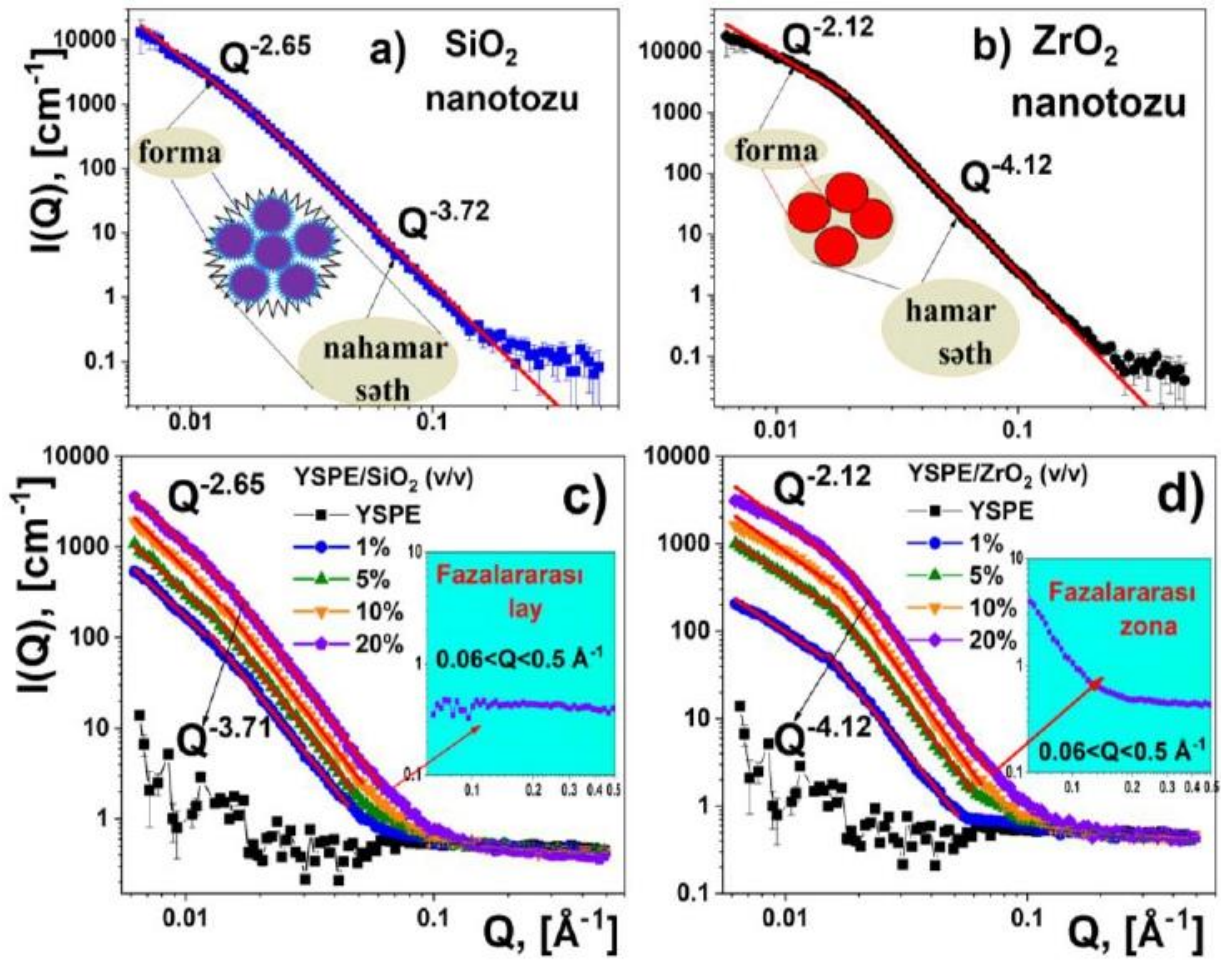
Şəkil 1. YSPE (a,b), YSPE/5%ZrO₂ (c,d) və YSPE/5%SiO₂ (e,f) nümunələri strukturunun 100 kQr dozada şüalanmadan öncə (a,c və e) və sonra (b,d və f) çəkilmiş SEM görüntüləri.

Göründüyü kimi, həm nano-ZrO₂, həm də nano-SiO₂ hissəcikləri YSPE matrisada kifayət qədər bircins paylanır. İlkin YSPE-nin mikrogörüntülərində polietilenin strukturunda müşahidə olunan saçaqlanmış tekstura fibril stuktura adlanır və polietilen üçün xarakterik quruluşdur. Bu fibrillər olduqca bir-birinə möhkəm bağlanaraq kompakt yerləşmişlər və yüksək elastikliyi təmin edirlər. 100 kGy dozada şüalanmadan sonra ilkin polietilenin morfolojiyasında kəskin struktur dəyişikliklərin baş verdiyi təsbit

olundu. Belə ki, polimer matrisanın təkcə struktur dəyişikliyinə deyil, eyni zamanda morfoloji dəyişikliyə də uğradığı görünür. Yüksək elastiki fibrillər arasında radiasiyanın təsiri ilə eninə tikilmələr baş verir ki, bu da nizamlı quruluşun yaranması ilə nəticələnir və polietilenin struktur teksturası kəskin dəyişir. Aparılan araşdırmalar da göstərir ki, polimerin strukturunda baş verən morfoloji dəyişikliklər onun xassələrinə kəskin təsir edir.

Polietilen matrisada hər iki doldurucunun (ZrO_2 və SiO_2) rolu, ilkin və 100 kQr dozada şüalanmış, həcmcə 5% konsentrasiyalı nanokompozitlərin SEM görüntülərinin müqayisəli analizi əsasında aparılmışdır. Doldurucunun miqdarı kompozitdə polimer makromolekul zəncirlərinin dinamikasına ciddi təsir edir və fibril saçaqlarının ölçüləri kiçilməyə başlayır ki, bu da nanohissəciyin matrisanın morfolojiyasına təsir effektinin göstəricisidir. SEM görüntülərindən polimer matrisada nano- ZrO_2 zərrəciklərin sanki xüsusi bir oyuqların içərisində yerləşərək matrisa ilə zəif əlaqədə olduğu, nano- SiO_2 zərrəciklərinin isə polimer zəncirləri ilə bilavasitə təmasda olduğu müşahidə olunur. Bu kompozitlərin struktur və morfolojiyasına γ – radiasiyanın təsir effektlərini aydınlaşdıraraq. Polimerə 5%-ə qədər nanozərrəciklərin əlavə edilməsi 100 kGy dozada şüalanmadan sonra polimerin morfolojiyasını dəyişdirir. Göründüyü kimi hər iki kompozitdə doldurucunun matrisa ilə fərqli qarşılıqlı təsiri radiasiya tikilmələrinin konsentrasiya fərqinə səbəb olur ki, bu da fazalararası oblastın fərqli strukturundan xəbər verir.

İlkin və fərqli dozalarda (100, 300, 500 kGy) şüalandırılmış YSPE/metal oksid kompozitlərində baş verən struktur dəyişiklikləri kiçik-bucaqlı neytron (SANS) və rentgen səpilməsi (SAXS) metodu ilə aparılan tədqiqatlarda da öz təsdiqini tapmışdır (Şəkil 2). SANS spektrlərinin təhlili nəticəsində, həm nano- ZrO_2 , həm də nano- SiO_2 zərrəciklərinin polimer matrisada fraktal-aqreqat struktura formalaşdırdığı müəyyən edilmişdir. Spektrlərin analizi göstərmişdir ki, YSPE/ ZrO_2 kompozitində polimer matrisadan səpilməni əks etdirən $0.06 \leq Q < 0.2 \text{ \AA}^{-1}$ intervalında əlavə bir səpilmə müşahidə edildiyi halda (Şəkil 2,d), YSPE/ SiO_2 nümunələri üçün $I(Q)$ asılılığı sabit qalır, yəni heç bir səpilmə müşahidə edilmir (Şəkil 2,c).



Şəkil 2. Nano-SiO₂ (a), nano-ZrO₂ (b) hissəcikləri və müxtəlif konsentrasiyalı YSPE/%SiO₂ (c) və YSPE/%ZrO₂ (d) nanokompozit təbəqələrinin SANS spektrləri.

Bu əlavə səpilməni, olduqca qeyri-aktiv, hamar, aşağı effektiv səth sahəsinə və sferik morfolojiyaya malik, matrisa ilə zəif qarşılıqlı təsirdə olan nano-ZrO₂ zərrəciklərinin yaxın ətrafında matrisa ilə hissəcik arasında formalaşan, qalınlığı təqribən $\sim 10 \pm 1$ nm ətrafında olan *aşağı sıxlıqlı fazalararası zona* yaradır.

Nano-ZrO₂ zərrəciklərdən fərqli olaraq, nano-SiO₂ zərrəcikləri məsaməli, nahamar morfolojiyaya və aktiv effektiv səth sahəsinə malik olduğundan polimer matrisa ilə daha güclü qarşılıqlı təsirdə olur və nəticədə doldurucunun səthi ilə polimer matrisa arasında güclü adgeziv əlaqə yaranır (şəkil 2,c). Bu isə bizə YSPE/nano-SiO₂

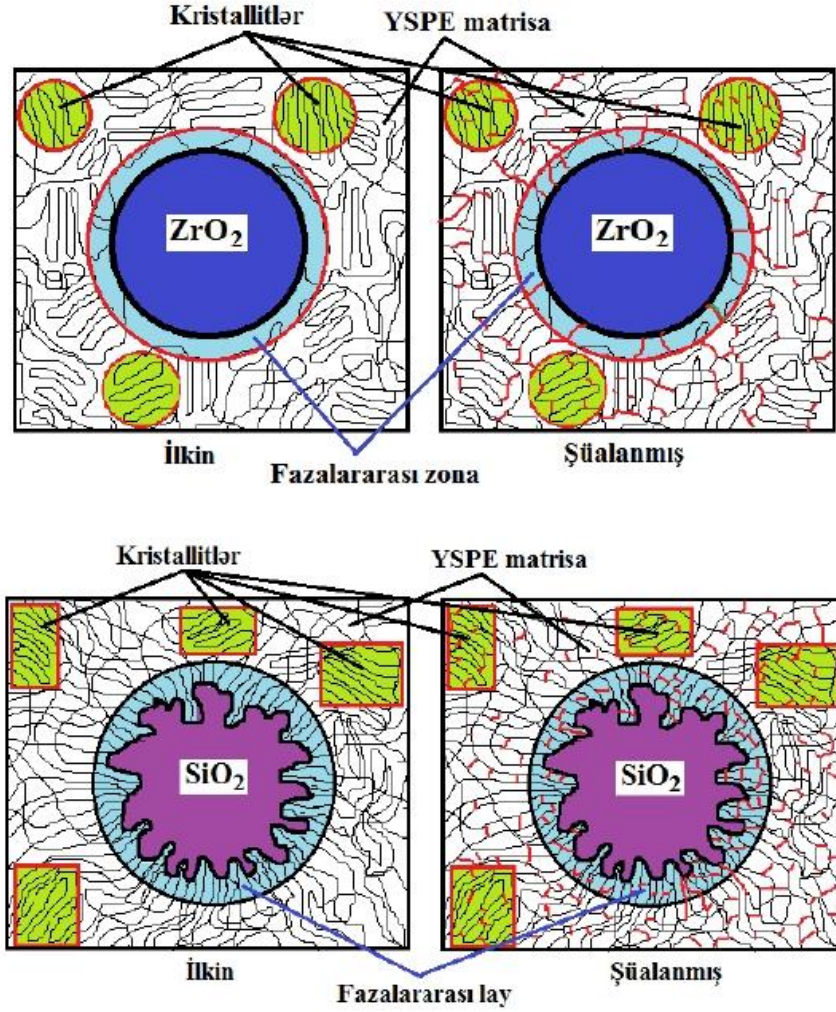
kompozit sistemlərində polimer-doldurucu fazalararası zona əvəzinə hər iki fazanı birləşdirən, qalınlığı təqribən ~ 3 nm ətrafında olan *sərhəd layının* yarandığını söyləməyə əsas verir.

Kompozitlərdə fraktal-aqreqat strukturun, aqreqasiya dərəcəsi və aqreqatlararası məsafənin şüalanma dozəsindən praktiki olaraq asılı olmadığı müəyyən edilmişdir. Radiasiyanın təsir effekti yalnız polimer matrisanın özündə təsbit edilmişdir. Dediklərimizin sxematik təsviri aşağıdakı şəkildə verilmişdir (Şəkil 3).

Elmi ədəbiyyatda polimer-doldurucu sərhəddində gedən proseslər haqqında geniş diskussiyalar aparılır. Aparılan tədqiqatların nəticələri bu polimer-doldurucu fazalararası oblastının strukturunun doldurucunun növü, forması (həndəsi quruluşu), strukturu, xassələri və səthinin energetik aktivliyindən (səthinin effektiv sahəsindən) asılı olduğunu bir daha sübut etmiş oldu. Hesab edirik ki, bu oblastları bir halda (nano-ZrO₂) polimer-doldurucu fazalararası zonası (boşluqlar) (interfacial region), digər halda isə (nano-SiO₂) polimer-doldurucu fazalararası sərhəd layı kimi qəbul etmək olar. Fazalararası oblastın xarakteri kompozitlərin bir çox fiziki xassələrinin, məsələn, dielektrik relaksasiya proseslərinin formalaşmasında xüsusi rol oynayır.

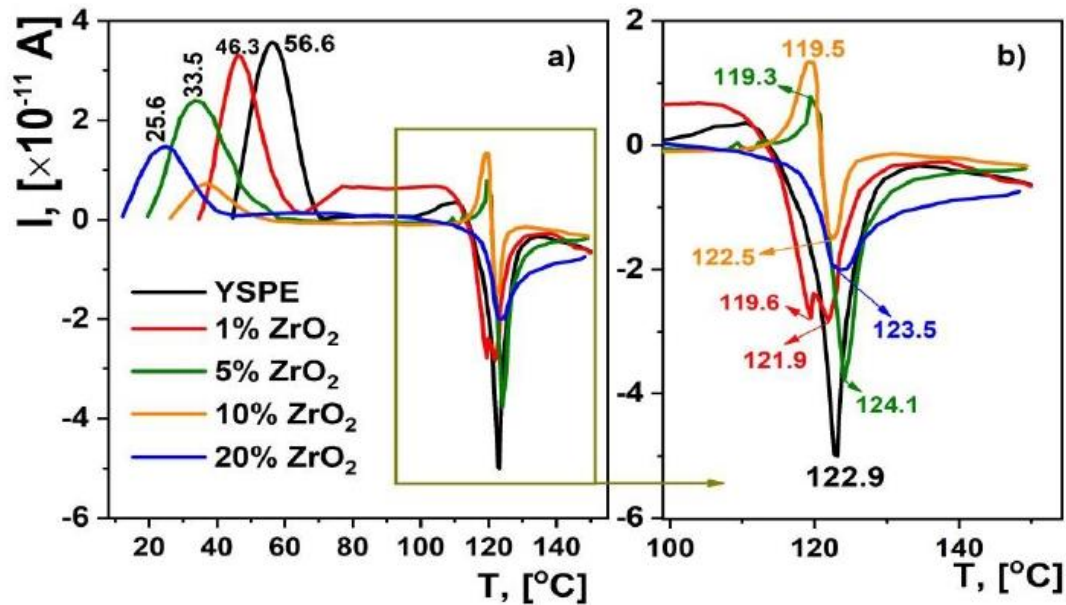
Sonda deyə bilərik ki, tədqiqat zamanı istifadə etdiyimiz differensial skanedic kalorimetriya (DSC), termogravimetriya (TGA), rentgen struktur analizi (RSA), Raman və İnfraqırmızı (İQ) spektroskopiyaya kimi digər fiziki metodlarla aldığımız nəticələr də yuxarıda təsvir etdiyimiz nəticələri təsdiqləyir.

IV fəsildə İonlaşdırıcı γ – radiasiyanın YSPE/%ZrO₂ və YSPE/%SiO₂ kompozitlərinin elektrofiziki xassələrinə və dielektrik relaksasiya proseslərinə təsiri, həmçinin, polimer-doldurucu fazalararası proseslər, struktur dəyişiklikləri ilə elektrofiziki xassələr arasındakı korrelyasiya əlaqələrinin analizi və nəticələri verilmişdir. TSD cərəyanlarının qeyd edilməsi kompozitlərdə yüktutmə mərkəzlərinə yaşama müddətlərinin (τ), relaksasiya proseslərinin və müddətinin (τ_0) tədqiqi üçün səmərəli analitik metodlardan biridir.



Şəkil 3. YSPE/%ZrO₂ və YSPE/%SiO₂ kompozitlərində polimer-doldurucu sərhəddində formalaşan fazalararası oblastların fərqli strukturunun sxematik təsviri. Şüalanmadan sonra baş verən tikilmələri sxematik olaraq qırmızı rəngdə təsvir etmişik.

Aşağıda YSPE və YSPE/ZrO₂ polimer nanokompozitlərin TSD spektrləri verilmişdir (şəkil 4). Təmiz polietilenin və onun əsasında alınmış nanokompozitlərin TSD spektrlərində 20-60 °C intervalında müşahidə olunan maksimumlar polyarizasiya zamanı aşağı enerjili səthi tələlərdə lokallaşmış yükdaşıyıcıların termik aktivləşməsi nəticəsində yaranır.



Şəkil 4. İlkin YSPE/%ZrO₂ kompozitlərinin TSD spektrləri:
a – 20÷140°C temperatur oblastı; b –100÷140°C temperatur oblastı.

100-140°C temperatur intervalında yaranan maksimumlar isə polimer matrisada stabilləşən həcmi yüklərin və polimer-ZrO₂ fazalararası sərhəd təbəqəsində lokallaşmış yükdaşıyıcıların termik aktivləşməsi hesabına yaranır. Göründüyü kimi, matrisada doldurucunun miqdarı artdıqca 20-60°C oblastındaki relaksasiya xarakterli maksimumlar otaq temperaturuna doğru sürüşür və onların amplitudu azalır. Bu prosesi, doldurucunun təsirindən yaranan mexaniki destruksiya səbəbindən amorf fazanın artması və aşağı enerjili tələlərin yaranması ilə izah etmək olar. İlkin nanokompozitlərin TSD spektrlərinin müqayisəli analizinin nəticələri, depolyarizasiya maksimumlarının, həm polimerin özündə, həm də nanokompozitlərin fazalararası sərhəddində stabilləşmiş yüklərin xarakterik temperaturlarda relaksasiyası nəticəsində baş verdiyini göstərmişdir.

Spektrlərin 100-140 °C temperatur intervalında həm polimerin, həm də kompozitin TSD spektrlərində müxtəlif intensivlikli maksimumlar müşahidə olunur. 110 °C ətrafında maksimum amorf fazada stabilləşmiş həcmi yüklərin termiki relaksasiyasının

nəticəsidir. YSPE-də 122.9 °C temperaturdakı maksimum matrisanın kristallik-amorf fazalararası sərhəddinə yığılan yüklərin hesabına yaranır. YSPE/1%ZrO₂ kompozitində polimerin miqdarı və kristallik fazası yüksək olduğundan 119.6 °C və 121.9 °C temperaturlarda yaranan dublet piklərin birincisini polimer matrisanın kristal-amorf fazalararası sərhəddində, ikincisini isə polimer-doldurucu fazalararası sərhəddində stabilləşən yüklərin relaksasiyası hesabına yaranır. Belə ki, aşağı temperaturda müşahidə olunan maksimum polietilenin amorf fazasında toplanan həcmi yüklərin hesabına, yuxarı temperaturda müşahidə olunan maksimum isə polietilen-ZrO₂ fazalararası sərhəddində yığılmış yüklərin Maxwell–Vagner–Sillars polyarizasiyası nəticəsində baş verir. YSPE və YSPE/ZrO₂ nanokompozitlərinin TSD spektrlərindən alınmış parametrlər əsasında aktivləşmə enerjisi və elektrik yükünün miqdarı təyin edilmiş və hesablanmış xarakterik relaksasiya parametrləri aşağıdakı cədvəldə öz əksini tapmışdır.

Cədvəl

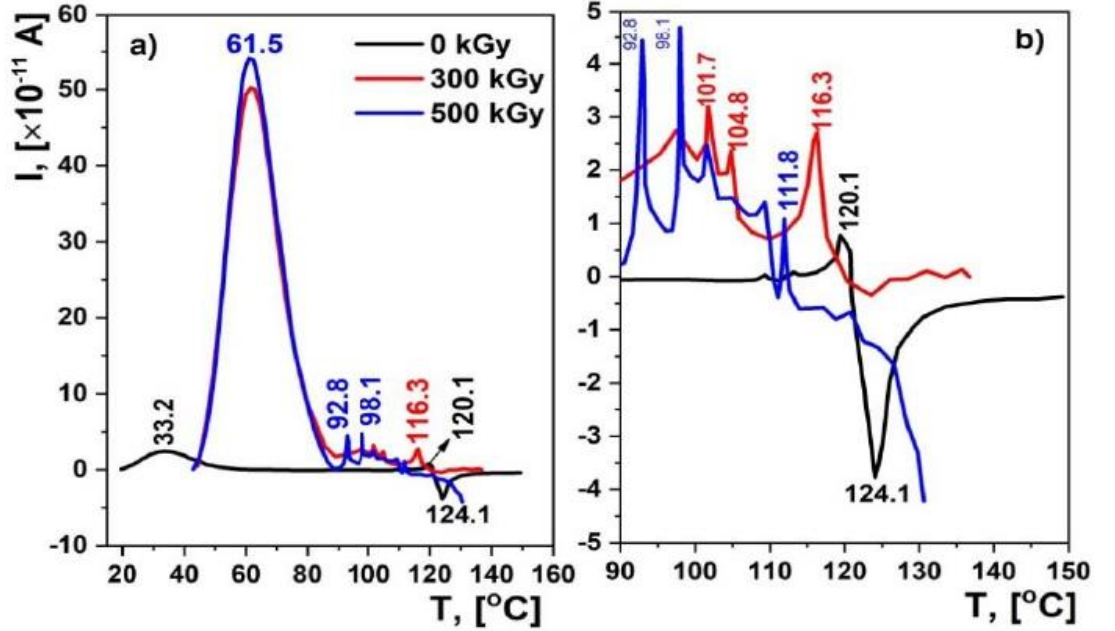
YSPE və YSPE/%ZrO₂ nanokompozitlərinin TSD spektrlərindən hesablanmış xarakterik relaksasiya parametrləri. T_{\max} – piklərin temperaturu, τ_s və $\lg \tau_{\text{istismar}}$ isə maksimum temperatura və istismar temperaturuna görə hesablanmış relaksasiya müddətləridir.

ω , %	S , sm^2	Q , 10^{-11} Kl	σ , 10^{-11} Kl/ sm^2	I_m , 10^{-11} A	τ_s , san	T_m , °C	$\lg \tau_{\text{ist.}}$, gün
0	3.80	240	34.28	5.0	48.40	123	0.54
1	3.50	165	23.57	2.8	59.00	120	6.81
5	7.00	757.30	108.2	3.75	201.9	124	96.3
10	2.66	58.00	8.3	1.50	38.70	122	4.30
20	2.74	66.28	9.5	2.00	33.15	123	3.74

Cədvəldə həm piklərin maksimum temperaturuna (T_{\max}), həm də istismar temperaturuna ($T_{\text{ist.}}$) görə hesablanmış relaksasiya müddəti təqdim edilib. Göründüyü kimi, yüksək yaşama müddəti YSPE/5%ZrO₂ kompozitinə məxsusdur ki, bunun da səbəbi bu

kompozitdə yüklərin nisbətən zəif relaksasiya xarakterinə malik olmasıdır. YSPE/5%ZrO₂ kompozitinin zəif relaksasiyası doldurucunun matrisada bircins paylanması nəticəsidir və polimer-doldurucu fazalararası sərhəddinə məxsus effektiv səthin bu kompozitdə optimal qiyməti ilə əlaqədardır. Hissəciklərin sonrakı həcmi artımı nano ölçülü agregatlar formalaşdırması polimer-doldurucu effektiv səthin sahəsinin azalması və TSD spektrində yüksək temperaturlu maksimumun intensivliyinin azalması ilə nəticələnir.

γ – kvantlarla şüalanmaya məruz qalmış YSPE/5%ZrO₂ nanokompozitinin şüalanmadan əvvəl və sonra çəkilmiş TSD spektrlərini təhlilinə keçək (şəkil 5).



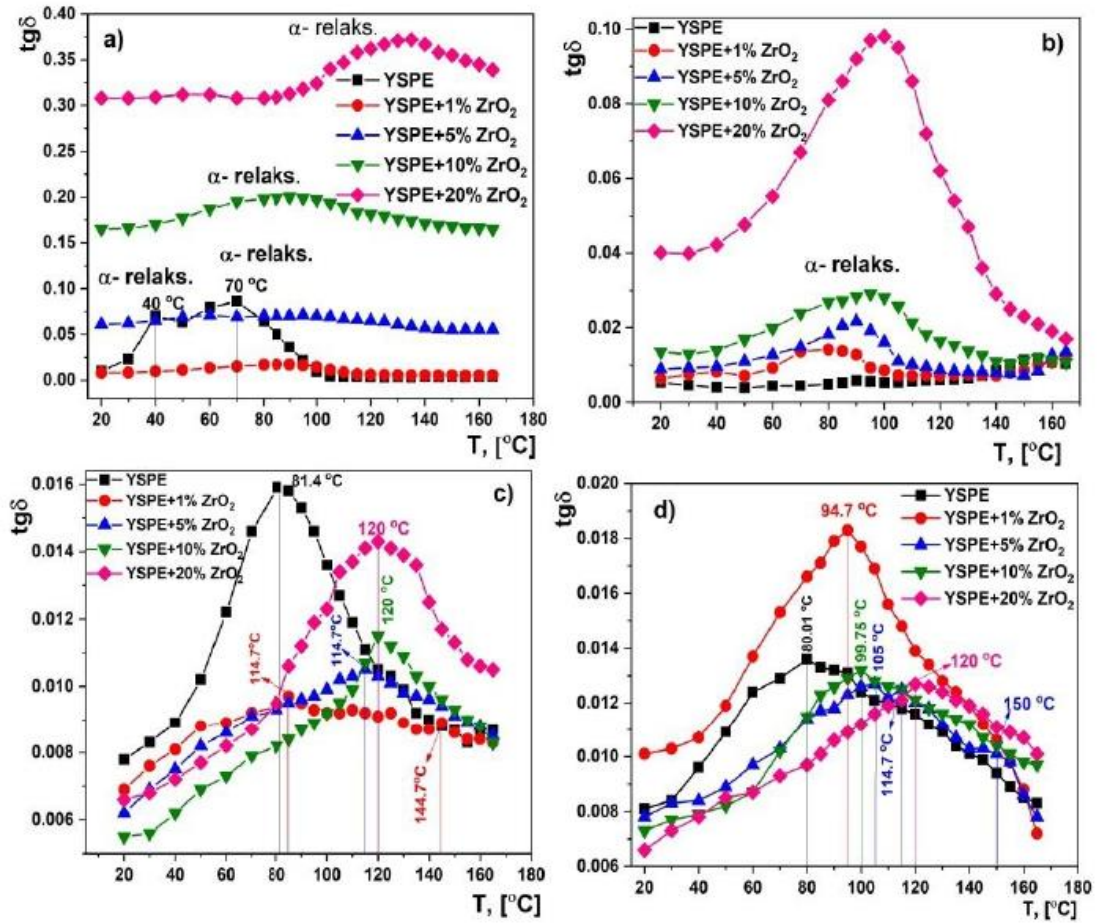
Şəkil 5. Müxtəlif dozalarda şüalandırılmış YSPE/5%ZrO₂ (a, b) nanokompozitlərinin TSD spektrləri: b –spektrlərin 100 – 140 $^{\circ}\text{C}$ oblastıdır.

Göründüyü kimi, şüalanmış YSPE/5%ZrO₂ kompozitinin TSD spektrlərində, 20-60 $^{\circ}\text{C}$ temperatur oblastında yaranan maksimumların intensivliyinin bir tərtib yüksək olmasının qamma şüalanmadan sonra yaranan yüksək enerjili səthi tələlərin konsentrasiyasının artmasıdır.

80-150 °C temperaturlar oblastında isə yaranan maksimumların intensivlikləri isə həm ilkin həm də şüalanmış nümunələr üçün təqribən eyni tərtibdəndir.

90-130 °C temperatur intervalında yaranan maksimumlar güman ki, qamma şüalanmanın matrisada yaratdığı defektlərdə polyarizasiyadan sonra stabilləşmiş yüklərin termik relaksasiyasının nəticəsidir. Beləliklə müəyyən edilmişdir ki, YSPE/nano-ZrO₂ nanokompozitlərin TSD spektrlərində meydana çıxan depolyarizasiya pikləri həm polimer-doldurucu fazalararası sərhəddində, həm də polimerin amorf və kristal fazalararası sərhəddində qamma şüalanma və polyarlaşma nəticəsində stabilləşən yüklərin müvafiq temperaturlarda relaksasiyası nəticəsində baş verir. Yəni, komponentlərin mexaniki qarışığından termik presləmə üsulu ilə alınmış polimer-doldurucu tipli kompozit materialların fazalararası sərhəddində yaranan relaksasiya prosesləri əsasən Maxwell-Wagner-Sillars effekti hesabına baş verir. YSPE/nano-SiO₂ kompozitləri üçün aparılan analogi tədqiqatlardan da YSPE/nano-ZrO₂ kompozitlərinin nəticələri ilə oxşar nəticələr alınmışdır.

Kompozit materialların dielektrik parametrlərinin temperatur asılılığı γ – şüalanma zamanı polimer matrisada yaranan sərbəst yüklərin, ionların, sərbəst radikalların və relaksasiya proseslərinin öyrənilməsində böyük önəm kəsb edir. Şüalanma zamanı dielektrik materialda yaranan həcmi yüklər müxtəlif strukturlu tələlərdə və radiasiya defektlərində stabilləşərək dielektrik parametrlərinin dəyişməsinə səbəb olur. Bu materialların dielektrik parametrlərinin temperatur asılılığını tədqiq etməklə nanokompozitlərdə gedən dielektrik relaksasiya proseslərini öyrənmək olar. Ona görə də, YSPE/ZrO₂ nanokompozitlərinin elektrofiziki xassələrinə və dielektrik relaksasiya proseslərinə γ – radiasiyanın təsirini öyrənmək üçün dielektrik itki bucağı tangensinin ($tg\delta$) temperatur asılılığının müqayisəli təhlilini aparmışıq (şəkil 6). Göründüyü kimi, $tg\delta = f(T)$ temperatur asılılığında relaksasiya pikləri şüalanma dozəsindən asılı olaraq 80–120 °C temperatur intervalında müşahidə olunur. α -relaksasiyanı xarakterizə edən bu piklər məhz kompozitdə baş verən struktur dəyişikliyi ilə sıx bağlıdır.

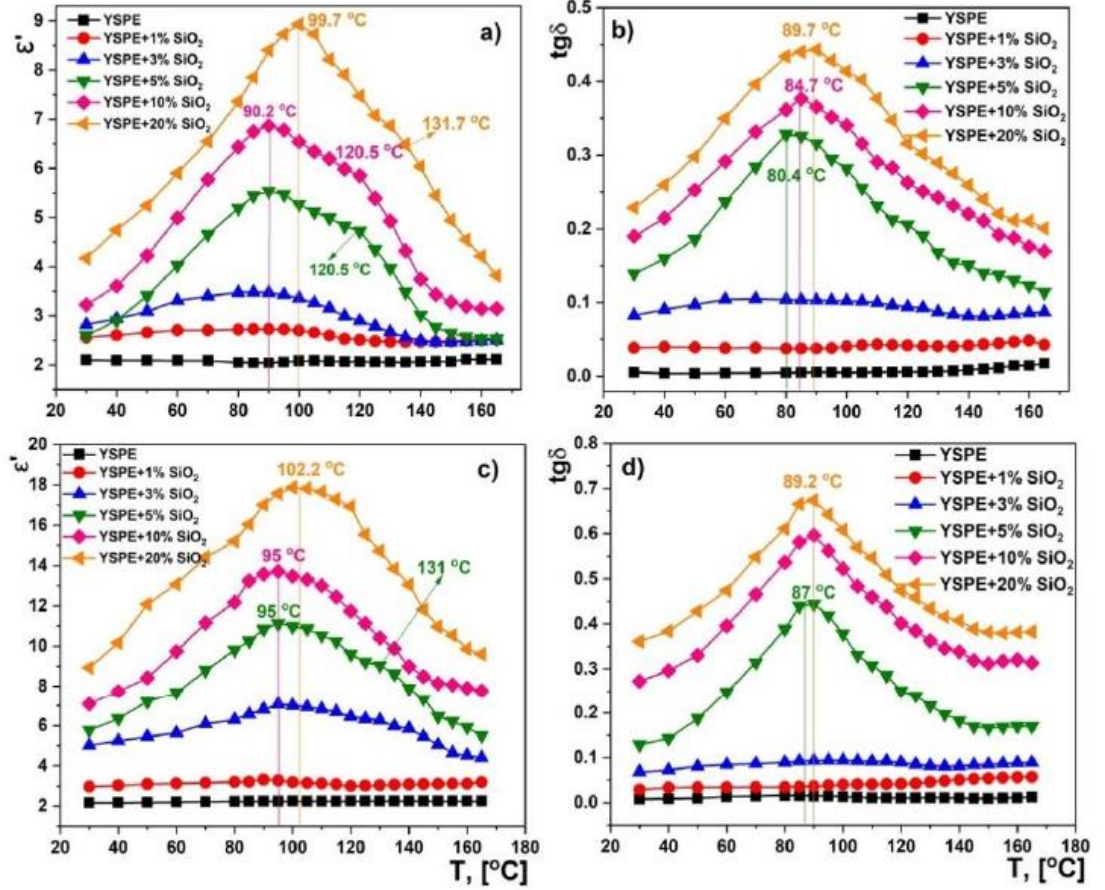


Şəkil 6. İlk və müxtəlif dozalarda γ -şüalandırılmış YSPE/ZrO₂ nanokompozitlərinin $tg\delta = f(T)$ asılılığı (a -0 kGy; b -100 kGy; c -300 kGy; d -500 kGy).

Göstərmişdik ki, matrisada nano-ZrO₂ zərrəciklərini əhatə edən yüksək sıxlıqlı polietilen-nanodoldurucu sərhəddində fazalararası sərhəd zonası formalaşır. Hesab edirik ki, YSPE/ZrO₂ nanokompozitlərinə qamma radiasiyanın təsiri ilə həm matrisada, həm də fazalararası zonada gedən radiasiya tikilmələri səbəbindən və nano-ZrO₂ hissəciklərinin konsentrasiyası artıqca matrisanın makromolekul zəncirlərinin mütəhərriqliyi aşağı düşür, relaksasiya piklərinin isə yüksək temperaturalara doğru sürüşməsi baş verir. Digər tərəfdən şüalanma dozasının artması ilə temperaturun 120°C qiyməti ətrafında fazalararası sərhəd zonaları termiki destruksiyaya uğrayaraq relaksasiyanın sürətlənməsinə səbəb olur. Bu nəticələrlə YSPE/ZrO₂

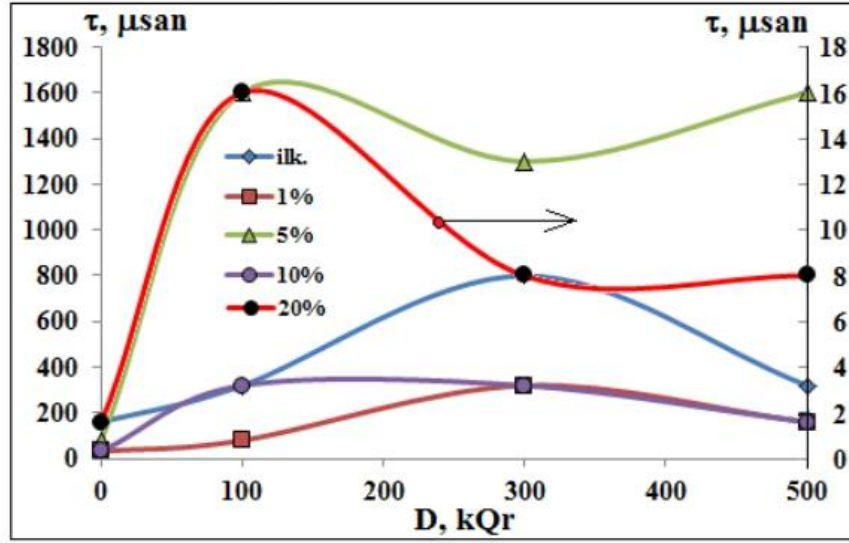
nanokompozitlərinin kiçik-bucaqlı neytron səpilməsinin temperatur asılılığından alınmış nəticələr arasında kifayət qədər yaxşı korrelyasiya müşahidə olunur.

Növbəti şəkildə γ – radiasiya ilə 100 və 300 kQr dozada şüalandırılmış YSPE/SiO₂ nanokompozitlərinin dielektrik itki bucağı tangensinin $\text{tg}\delta=f(T)$ temperatur asılılığı təqdim edilmişdir (Şəkil 7). Göründüyü kimi, matrisada doldurucunun həcmi miqdarının artması ilə həm $\epsilon=f(T)$, həm də $\text{tg}\delta=f(T)$ asılılığının 70-100 °C və 100-130 °C temperatur intervalında iki relaksasiya maksimumu müşahidə edilir. Güman edirik ki, birinci maksimum (70–100 °C) temperaturun təsiri ilə matrisada kristallitlərin əriməsi və kristal-amorf fazalararası sərhəddə stabilləşən yüklərin relaksasiyası hesabına baş verir. 100-130 °C intervalında yaranan maksimumlar isə polimer-nano-SiO₂ fazalararası sərhəd layında Makswell–Vagner polyarizasiyasına məxsus yüklərin relaksasiyası nəticəsində baş verir. Nano-SiO₂-nin miqdarının artması ilə relaksasiya maksimumlarının yuxarı temperaturlara tərəf sürüşməsi isə kompozitin həcmində polimer-doldurucu fazalararası effektiv səthin artması və fazalararası adgeziyanın güclənməsi ilə bağlıdır. Effektiv səthin optimal artımını YSPE/5%SiO₂ nanokompozitlərində daha aydın müşahidə edə bilirik. Bunu, YSPE/3%SiO₂ və YSPE/5%SiO₂ kompozitlərinə məxsus maksimumların amplitudunda müşahidə olunan fərqli böyük artım da təsdiqləyir. Şüalandırılmış YSPE/SiO₂ nanokompozitlərinin $\epsilon=f(T)$ və $\text{tg}\delta=f(T)$ dispersiyası göstərir ki, doldurucunun konsentrasiyasının artması ilə kompozitin dielektrik nüfuzluğu və itkilərinin qiymətləri artır. $\text{tg}\delta=f(T)$ asılılığı göstərdi ki, 5%SiO₂ konsentrasiyasından başlayan kəskin relaksasiya, konsentrasiyanın artması ilə yüksək temperaturlara doğru sürüşür. Bu kristal-lamellərin relaksasiyasıdır və α -relaksasiya adlanır. α -relaksasiya polimer matrisada olan kristallitlərin orta qalınlığından asılıdır. Kiçik-bucaqlı neytron səpilməsinin nəticəsinə görə YSPE/SiO₂ nanokompozitlərində fazalararası sərhəd layı yaranır, yəni hissəciklə matrisa arasında kifayət qədər normal kontakt formalaşır. Buna görə də, YSPE/SiO₂ nanokompozitlərində fazalararası yüksək qarşılıqlı təsir dielektrik parametrlərinin də yüksək olmasına səbəb olur.



Şəkil 7. Müxtəlif dozalarda γ -şüalandırılmış YSPE/nano-SiO₂ kompozitlərinin $\epsilon=f(T)$ və $\text{tg}\delta=f(T)$ temperatur dispersiyası: a,b-100 kQr; c,d-300 kQr.

Dielektrik kompozitlərin tətbiqi zamanı böyük önəm kəsb edən dielektrik relaksasiyası proseslərini onların temperatur-tezlik asılılıqlarını analiz etməklə öyrənmək olar. Bu zaman maksimumlara uyğun tezlikləri kifayət qədər dəqiqliklə təyin etmək üçün M^* kompleks elektrik modulu formalizmindən istifadə edirlər. İlkin və şüalandırılmış YSPE/SiO₂ nanokompozitlər üçün kompleks elektrik modulunun M' həqiqi və M'' xəyali hissələrinin qiymətləri arasında $M''=f(M')$ asılılıqlarından müəyyən edilmiş maksimumlara uyğun tezliklərin və bu tezliklərə uyğun relaksasiya müddətinin (τ) hesablanmış qiymətlərinin şüalanma dozəsindən (D) asılılığı verilmişdir (şəkil 8).



Şəkil 8. İkin və müxtəlif dozalarda γ -şüalandırılmış YSPE/SiO₂ nanokompozitlərinin relaksasiya müddətinin (τ) hesablanmış qiymətlərinin şüalanma dozasından (D) asılılığı.

Bu asılılıqdan, udulan dozanın artması ilə relaksasiya müddətinin ən yüksək qiymətinin (1600 μ san.) YSPE/5%SiO₂ nanokompozitləri üçün, aşağı qiymətinin (18 μ san) isə YSPE/20%SiO₂ nanokompozitləri üçün olduğunu müşahidə edirik. Hesab edirik ki, bunun səbəbi YSPE/5%SiO₂ kompozitlərinin alınması zamanı SiO₂ nanohissəciklərinin matrisanın həcmində daha bircins paylanması və nəticədə fazalararası effektiv səthin optimal qiymətə yaxınlaşması olmuşdur. Doldurucunun matrisanın həcmində bircins paylanması udulmuş dozanın matrisaya təsirini azaldaraq tikilmə proseslərinin stimullaşmasına və destruksiyanın ləngiməsinə səbəb olur ki, bunu da YSPE/5%SiO₂ nanokompozit materialının radiasiyaya davamlılığının artması kimi qiymətləndirə bilərik. Tədqiq etdiyimiz hər iki kompozit sistemi 500 kGy dozaya qədər ionlaşdırıcı radiasiya fonunda işləyə bilən izolyasiya materialı kimi istifadə edilə bilər.

Sonda demək olar ki, bu nəticələr bizə fərqli səth morfoloqiyasına və xüsusiyyətlərinə malik nanohissəciklərin polimer matrisanın strukturunda yaratdığı dəyişiklikləri dərinlən anlamağa və yeni tip, arzu edilən nanokompozit sistemlərinin hazırlanmasında yardımçı ola bilər.

ƏSAS NƏTİCƏLƏR

1. Kiçik-bucaqlı neytron səpilməsi metodu əsasında təcrübi olaraq ilk dəfə müəyyən olunmuşdur ki, YSPE/%ZrO₂ kompozitlərində polimer-nanodoldurucu sərhəddində ~10±1 nm qalınlıqlı, matrisa ilə müqayisədə aşağı-sıxlıqlı fazalararası zona, YSPE/%SiO₂ kompozitlərində isə polimer-nanodoldurucu sərhəddində ~3±1 nm qalınlıqlı fazalararası lay formalaşır. SANS və SAXS tədqiqatlarının nəticələri ilə təsbit olunmuşdur ki, inert və hamar səth morfologiyasına malik nano-ZrO₂ hissəcikləri matrisada əsasən kütlə fraktal strukturu (SAXS, D~4,08; SANS, D~4,12), aktiv və kələ-kötür səth morfologiyasına malik nano-SiO₂ hissəcikləri isə əsasən səth fraktal strukturu (SAXS, D~3,8; SANS, D~3,7) formalaşdırır.

2. Müəyyən edilmişdir ki, YSPE+5%nano-SiO₂ kompozitinin optimal polimer-doldurucu fazalararası effektiv səthi qamma şüalanmanın matrisaya təsirini azaldaraq radiasiya tikilmələrinin stimullaşmasına və destruksiyanın ləngiməsinə səbəb olur ki, bu da kompozitin kristallıq dərəcəsinin, radiasiya və termik davamlılığının (~20 °C), artması ilə nəticələnir. YSPE+nano-ZrO₂ kompozitlərində isə polimer-doldurucu sərhəddində formalaşan aşağı sıxlıqlı fazalararası zona və nanohissəciklərin qeyri-aktiv səthi matrisada gedən kristallaşma və radiasiya tikilmələri proseslərini ləngidərək relaksasiya müddətinin azalmasına səbəb olur.

3. Aşkar edilmişdir ki, ionlaşdırıcı γ – radiasiya hər iki metal-oksüdolduruculu nanokompozitin ərimə və kristallaşma kinetikasına təsir edir, onların ərimə, kristallaşma temperaturunun və lamelyar qalınlığının şüalanma dozasının artması ilə azalmasına, matrisanın isə termiki-destruksiyanın sürətlənməsinə səbəb olur.

4. Müəyyən edilmişdir ki, YSPE/ZrO₂ və YSPE/SiO₂ nanokompozitlərinin TSD spektrlərində müşahidə olunan aşağı temperaturlu (20-80°C) maksimumlar səthi tələlərdə stabilləşmiş, yuxarı temperaturlu (100-130°C) maksimumlar isə matrisanın kristal-amorf və polimer-nanohissəcik fazalararası sərhəddində stabilləşmiş, qamma şüalanma və polyarlaşma zamanı yaranan həcmi yüklərin relaksasiyası nəticəsində baş verir.

5. İlkin və (300 kQr dozaya qədər) şüalanmış nanokompozitlərin dielektrik nüfuzluğu və itkilərinin temperatur-tezlik asılılığından təsbit edilmişdir ki, nanohissəciklərin və radiasiya tikilmələrinin konsentrasiyası artdıqca matrisanın makromolekul zəncirlərinin mütəhərriqliyi azalır və relaksasiya piklərinin yüksək temperaturlara doğru sürüşməsi baş verir, bu da kompozitin dielektrik relaksasiyası prosesinin zəifləməsinin göstəricisidir.

6. Müəyyən edilmişdir ki, bircins paylanmaya və fazalararası optimal effektiv səthə malik YSPE/5%SiO₂ nanokompozitinin qamma şüalanmadan sonra dielektrik relaksasiyası müddətinin (τ) artmasının ($\tau=1600 \mu\text{san}$) səbəbi, nanokompozitdə 100 - 300 kQr doza intervalında tikilmə prosesinin güclənməsi və polimer- doldurucu qarşılıqlı təsirinin artmasının nəticəsidir.

7. YSPE/SiO₂ nanokompozitlərinin İQ - Furiya spektrlərində müşahidə olunan Si-O-Si (1083sm^{-1}), Si-O-C ($1069, 1086\text{sm}^{-1}$) və Si-O, Si-C (803sm^{-1}) əlaqələri onun YSPE/ZrO₂ ilə müqayisədə daha effektiv radiasiya modifikasiyası qabiliyyətinə malik olduğunu göstəricisidir.

DİSSERTASIYANIN ƏSAS NƏTİCƏLƏRİNİN ƏKS OLUNDUĞU MƏQALƏ VƏ TEZİSLƏR

1. A.M. Maharramov, M.M. Kuliyeu, R.S. Ismayilova, A.A. Nabiyev, The Spectrum of Thermally Stimulated Current of γ -Irradiated in Polyethylene Nanocomposites // VII Eurasian Conference "Nuclear Science and its Application" 21-24 October, – 2014, Baku, Azerbaijan, – p.105-106.
2. M.M. Кулиев, P.C. Исмаилова, A.A.Набиев, A.A. Имамалиева, Диэлектрические Свойства Композиционного Материала: Нано частицы Диоксида Кремния в Матрице Сверх Высокомолекулярного Полиэтилена // Республиканская научная конференция на тему «Химия макромолекул, органический синтез и композитные материалы» посвященное 50-летию Института полимерных материалов НАНА, 20 – 21 октябрь – 2016, Сумгаит, Азербайджан – с. 97-98.
3. Nabiyev A.A., Islamov A.Kh., Maharramov A.M., Nuriyev M.A., Ismayilova R.S., Doroshkevic A.S., Pawlukojs A., Linnik D.S, Kuklin A.I. A Study of Thermally Stimulated Depolarization Current of γ - Irradiated in the HDPE+%ZrO₂ Polymer Nanocomposites // Международная научная конференция студентов и молодых ученых, 17–20 октября – 2017 г., г. Донецк, Материалы конференции, Том 2, – с.327-329.
4. Nabiyev A.A., Islamov A.Kh., Maharramov A.M., Ismayilova R.S., Doroshkevic A.S., Olejniczak A., Pawlukojs A., Kuklin A.I., Structural Studies of HDPE+%ZrO₂ Nanocomposites by Small-Angle Neutron Scattering // International Conference «Condensed Matter Research at the IBR-2» 9-12 October, – 2017, Dubna, Russia, – p.124-125.
5. Nabiyev A.A., Islamov A.Kh., Maharramov A.M., Ismayilova R.S., Doroshkevic A.S., Olejniczak A., Pawlukojs A., Rulev M.I., Kuklin A.I. Influence of gamma-ray irradiation on structural and dielectric properties of high-density polyethylene zirconium dioxide nanocomposites // 3rd International Summer

School and Workshop "Complex and Magnetic Soft Matter Systems: Physico-Mechanical Properties and Structure", Dubna, 28 - 30 June, – 2017, – p.51-52.

6. Asif Nabiyeu, Akhmed Islamov, Arif Maharramov, Andrzej Pawlukojs, Dmitry Linnik, Musa Nuriyev, Aysel Imamalieva, Tatyana Zelenyak, Alexander Doroshkevich, Alexander Kuklin // Effect of γ -Irradiation on the Structural and Thermal Properties of ZrO_2 Nanoparticles Reinforced High-Density Polyethylene, The 18th International Balkan Workshop on Applied Physics and Materials Science, 10-13 July, – 2018, Constanta, Romania, – p. 65-66.
7. A.A. Nabiyeu, A.Kh. Islamov, D.S. Linnik, A.S. Doroshkevich, A. I. Kuklin, Investigation of the Structure and Morphology of HDPE+ ZrO_2 Polymer Nanocomposites by SANS and SAXS Methods // The Conference on Neutron Scattering in Condensed Matter NSCM-2018, 17- 21 September, – 2018, St. Petersburg, Peterhof, Russia, – p.163.
8. Asif Nabiyeu, Arif Maharramov, Andrzej Pawlukojs, Maria Balasoiu, Madalin Bunoiu, Dmitry Linnik, Musa Nuriyev, Rafiga İsmayılova, Aysel Imamalieva, Aysel Nabiyeva, Andrzej Olejniczak, Olexander Ivankov, Alexander Kuklin, Studies on the structural – morphological properties of HDPE+% SiO_2 nanocomposites // 19th International Balkan Workshop on Applied Physics and Materials Science, 16-19 July, – 2019, Constanta, Romania, – p. 57.
9. A.A. Nabiyeu, A.M. Maharramov, A.A. Shukurova, M.A. Nuriyev, Influence of Nanoparticle Weight Fraction on Morphology and Thermal Properties of HDPE/ SiO_2 Composite Films // Second International Scientific Conference of Young Scientists and Specialists Multidisciplinary approaches in solving modern problems of fundamental and applied sciences Dedicated to the 75th anniversary of Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan, 03 - 06 March, – 2020. – p. 274.
10. A.A. Nabiyeu, A. Pawlukojs, A.Kh. Islamov, D.V. Soloviov, O.I. Ivankov, O.Yu. Ivanshina and A.I. Kuklin, Fractal

- Aggregates Structure of HDPE/SiO₂ Polymer Nanocomposite Films // International Conference "Condensed Matter Research at the ĪBR-2", 12-16 October, – 2020, Dubna, Moscow region, Russia, – p. 133-134.
11. Nabiyev A.A., Islamov A.Kh., Olejniczak A., Ivankov O., Bălăşoiu M., Zhigunov A., Shukurova A.A., Kuklin A.I., Interfacial effects in polymer-nanoparticle composite films by small-angle scattering methods // 74th International Summer School and Workshop "Complex and Magnetic Soft Matter Systems: Physico-Mechanical Properties and Structure", 19-23 April, – 2021, Timisoara, Romania, – p.130-131.
 12. М. М. Кулиев, А. М. Маггеррамов, Р. С. Исмаилова, А. А. Набиев, Нанокompозитные короноэлектреты на основе полиэтилена высокой плотности и диоксида кремния // Перспективные Материалы, – 2015, № 9, – с. 17-22.
 13. M. M. Guliyev, R. S. Ismayilova, A. A. Shukurova, A. A. Nabiyev, G.A. Akhundova, Influence of γ -Irradiation on Properties of Composite Structure UHMWPE+ α -SiO₂ // Journal of Radiation Research, – 2016, vol.3, №1, – p.14-23.
 14. A.A. Nabiyev, A.Kh. Islamov, A.M. Maharramov, R.S.Ismayilova, M.N. Mirzayev, A.S. Doroshkevic, V.A. Turchenko, M.I. Rulev, A.I. Kuklin, A Study of Structural and Thermal Properties of HDPE+ZrO₂ Nanocomposites by X-Ray Diffraction (XRD) and Differential Thermal Analysis (DTA) // Conference Proceedings Modern Trends In Physics, – 2017, – p. 43-45.
 15. A.A. Nabiyev, A.Kh. Islamov, A.M. Maharramov, M.A. Nuriyev, R.S Ismayilova, A.S. Doroshkevic, A. Pawlukoje, V.A. Turchenko, M.Ī. Rulev, V. Almasan, A.I. Kuklin, Structural Studies of dielectric HDPE+ZrO₂ polymer nanocomposites: filler concentration dependences // Journal of Physics: Conf. Series, – 2018, 994 012011.
 16. A.A. Nabiyev, A.M. Maharramov, M.A. Nuriyev, Charge State and Relaxation Processes of Polyethylene/ZrO₂ Nanocomposites Modified by γ -Radiation // Transactions of

- Azerbaijan National Academy of Sciences, Physics and Astronomy, –2019, №2, – p. 23-30.
17. A.M. Maharramov, R.S. Ismayilova, M.A. Nuriyev, A.A. Nabyev, Dielectric properties of nanocomposites based on ultra-high molecular weight polyethylene and α -SiO₂ // Пластические массы, № 1-2 (2019), – p. 6-8.
 18. A.A. Nabyev, D.S. Linnik, Y.E. Gorshkova, A.M. Maharramov, M. Balasoiu, A. Olejniczak, A.I. Ivankov, YU.S. Kovalev, A.I. Kuklin, Influence of Gamma Irradiation on The Morphological Properties of HDPE+%ZrO₂ Polymer Nanocomposites // Romanian Journal of Physics, – 2019, Volume 64, Number 5-6, 603, – p. 1-8.
 19. A.A. Nabyev, Influence of Gamma Radiation on Electrophysical Properties of Nanocomposites Obtained on the Basis of High-Density Polyethylene and Nano-Size SiO₂ // Journal of Radiation Researches, vol. 6, №2, – 2019, – p. 97-104.
 20. A.A. Nabyev, Influence of nanoparticle weight fraction on morphology and thermal properties of HDPE/SiO₂ composite films // Eurasian Journal of Physics and Functional Materials, – 2020, 4 (1), – p. 38-49.
 21. A.A. Nabyev, A. Olejniczak, A. Pawlukojs, M. Balasoiu, M. Bunoiu, A.M. Maharramov, M.A. Nuriyev, R.S. Ismayilova, A.K. Azhibekov, A.M. Kabyshev, O.I. Ivankov, T. Vlase, D.S. Linnik, A.A. Shukurova, O.Yu. Ivanshina, V.A. Turchenko, and A.I. Kuklin, Nano-ZrO₂ filled high-density polyethylene composites: structure, thermal properties, and the influence γ -irradiation // Polymer Degradation and Stability, – 2020, Vol. 171, – p. 1-12.

Dissertasiyanın müdafiəsi « » _____ 2021-ci il tarixdə, saat _____-da AMEA-nın Radiasiya Problemləri İnstitutu nəzdində fəaliyyət göstərən FD1.21 Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ 1143, Bakı, B.Vahabzadə küçəsi, 9.

Dissertasiya ilə AMEA-nın Radiasiya Problemləri İnstitutunun elmi kitabxanasında tanış olmaq mümkündür

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları AMEA-nın Radiasiya Problemləri İnstitutunun rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir

Avtoreferat « » _____ 2021-cı il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 01.11.2021

Kağızın formatı: A5

Həcm: 33120

Tiraj: 100