

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

(RaO)_x(SiO₂)_y + H₂O SİSTEMİNDƏ GEDƏN RADİASIYA KİMYƏVİ PROSESLƏRİN TƏDQİQİ

İxtisas: 2305.01 – Nüvə kimyası

Elm sahəsi: Kimya

İddiaçı: **Zaur Əflatun oğlu Mənsimov**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün təqdim edilmiş
dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı – 2024

Dissertasiya işi Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyinin Radiasiya Problemləri İnstitutunun “Heterogen proseslərin radiasiya kimyası” laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbərlər:

kimya elmləri doktoru, akademik
Adil Abdulxalıq oğlu Qəribov

kimya elmləri doktoru, professor
Teymur Nəmətulla oğlu Ağayev

Rəsmi opponentlər:

kimya elmləri doktoru, professor
Müslüm Əhməd oğlu Qurbanov

kimya elmləri doktoru, professor
Cəbrayıl İsrəfil oğlu Mirzai

kimya elmləri doktoru, professor
Akif Şıxan oğlu Əliyev

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyinin Radiasiya Problemləri İnstitutu nəzdində fəaliyyət göstərən FD 1.22 Dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının sədri:

AMEA-nın müxbir üzvü, kimya elmləri doktoru, professor
İslam İsrəfil oğlu Mustafayev

Dissertasiya şurasının elmi katibi:

kimya üzrə fəlsəfə doktoru
Ülviyyə Aydın qızı Quliyeva

Elmi seminarın sədri:

kimya elmləri doktoru, dosent
Şiraz Məcnun oğlu Məmmədov



İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Atom - hidrogen energetikası son illərdə yenidən dövrün ən mühüm elmi texniki problemi kimi irəli çıxıb. Belə ki, artıq karbohidrogen mənşəli enerji mənbələrinin istifadəsi katastrəfik ekoloji vəziyyət yaratdığından və digər alternativ enerji mənbələri isə qeyri stabil və güc faktorlarına görə tələbatı ödəmədiyindən atom-hidrogen energetikası və atom energetikası son illərdə yenə də dövrün ən aktual elmi texniki tədqiqat istiqamətlərindən biri olmuşdur. Bu məqsədlə də atom-hidrogen energetikası sahəsində geniş tədqiqat işləri aparılmaqdadır. Məlum olduğu kimi Radiasiya Problemləri İnstitutunda uzun illər bu sahədə tədqiqatlar aparılıb. Atom - hidrogen energetikasının aktual istiqamətlərindən biri də nüvə çevrilmə proseslərinin əsas enerji daşıyıcı zərrəciklərinin enerjisinin birbaşa suyun parçalanma proseslərində istifadəsidir. Ədəbiyyatda uran və plutonium izotoplarının neytronların təsiri altında parçalanma qəlpələrinin enerjisi hesabına suyun radiolitik parçalanmasında hidrogenin çıxımında və əsasən də hidrogenin alınma sürətində artım müşahidə olunub. Nəzərə alsaq ki, mövcud nüvə materialları alfa aktivdir və qəlpə radioliz proseslərində parçalanma prosesindən alınan alfa-hissəciklər, qamma- şüalar və qəlpələrin kinetik enerjisi hesabına yaranan temperaturun təsirini qiymətləndirməklə proseslərin mexanizminin verilməsi və texnologiyaların işlənməsində böyük əhəmiyyət kəsb edir. Odur ki, model radioaktiv izotopların parçalanma prosesindən alınan alfa-hissəciklərin, temperatur və qamma-şüaların təsiri altında suyun radiolitik parçalanma proseslərinin tədqiqi və qanunauyğunluqlarının aşkar edilməsi atom-hidrogen energetikası və nüvə texnologiyaları istiqamətində aktual problemlərdəndir. Uran sırası elementlərin parçalanmasının qız izotoplarından biri olan radioaktiv Ra^{226} izotopunun iştirakı ilə suyun radioliz və termoradioliz proseslərinin tədqiqinin həsr olunduğu dissertasiya işinin mövzusu yüksək aktuallığa malik olub, böyük əhəmiyyət kəsb edir. Qəlpə radiolizində parçalanan nüvəni radiasiya-katalitik aktiv oksid daşıyıcıya daxil edirlər. Təqdim olunmuş dissertasiya işində də Ra^{226} izotopu suyun radiolizində radiasiya-katalitik aktiv silikat üzərinə daxil edilib. Beləliklə müxtəlif miqdarda radium tərkibli silikat sistemi əsasında

qəlpə radiolitik üsulla sudan hidrogenin alınması proseslərində göstərilən problemlərin aydınlaşdırılmasına həsr olunmuş dissertasiya işinin aktuallığına heç bir şübhə yeri qalmır.

Dissertasiya işinin əsas məqsədi – tərkibində müxtəlif miqdarda (aktivlikdə) radioaktiv radium daxil edilmiş radium-silikatın iştirakı ilə suyun radiasiya-kimyəvi parçalanmasından hidrogen alınması prosesinə daxili alfa-hissəciklərin, xarici qamma-şüaların və temperaturun təsiri qanunauyğunluqlarının aşkar edilməsidir.

Məqsədə nail olmaq üçün aşağıdakı məsələlərin həlli qarşıya qoyulmuşdur:

- tərkibində müxtəlif aktivlikli radium olan $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$ sisteminin sintezi,
- alınmış $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$ sistemində radiumun aktivliyindən asılı olaraq struktur xüsusiyyətlərinin tədqiqi,
- $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$ -in iştirakı ilə suyun radiasion-katalitik parçalanmasından molekulyar hidrogenin alınmasında daxili alfa, xarici qamma – şüalanmaların və temperaturun rolunun qiymətləndirilməsi,
- $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$ -dən qamma-kvantların təsiri altında təmas mühitinə emissiya edən ikinci elektron şüaların təsiri altında suyun parçalanmasından hidrogenin alınmasının tədqiqi,
- radiumun daxili və xarici qamma- şüalanma enerjilərinin səthi səviyyəyə ötürülməsi və radiasiya-heterogen proseslərdə suyun $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$ -in səthində parçalanması nəticəsində müxtəlif temperaturlarda molekulyar hidrogenin alınması,
- diferensial termik analiz vasitəsi ilə $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$ sistemlərində termiki və səthi fiziki-kimyəvi proseslərin tədqiqi,
- daxili alfa-şüalanmanın və xarici qamma-şüalanmanın $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$ sisteminin elektrofiziki xassələrinə təsirinin tədqiqi,
- $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$ sistemində γ -şüalanmanın təsiri altında paramaqnit radiasiya defektlərin əmələ gəlməsinin tədqiqi,
- alınmış nəticələrin müzakirəsi və proseslərin mexanizminin verilməsi.

Tədqiqat obyekti olaraq analiz üçün təmiz SiO_2 və xüsusi hidroliz və məhlulda çökdürmə üsulu ilə müəyyən olunmuş temperatur intervalında dəmləməklə alınmış müxtəlif aktivlikli radium tərkibli silikat sistemləri götürülmüşdür.

İşin elmi yeniliyi:

İlk dəfə olaraq:

- qəlpə radiolitik proseslər üçün model variant kimi götürülmüş $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$ sisteminin iştirakı ilə suyun radiasiya-kimyəvi parçalanma prosesindən molekulyar hidrogenin alınması proseslərinin kinetik qanunauyğunluqları tədqiq olunub və kinetik parametrlər təyin edilib,

- radiumun aktivliyinin $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$ sisteminin iştirakı ilə suyun radiasiya və radiasiya-termokatalitik parçalanmasında hidrogenin çıxımına təsiri aşkarlanıb və energetik payı qiymətləndirilib,

- $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$ sisteminin iştirakı ilə suyun radiasiya katalitik parçalanmasından hidrogenin alınması sürəti və radiasiya kimyəvi çıxımına temperaturun $T=300\div 673\text{K}$ oblastında təsiri qanunauyğunluğu aşkar olunub, proseslərin aktivləşmə enerjiləri müəyyən olunub,

- qamma-şüaların təsiri altında $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$ sistemindən təmas mühitinə emissiya edən ikinci elektron şüaların suyun radiasion-heterogen parçalanmasında rolu aşkarlanıb,

- qamma-şüaların təsiri altında radioaktiv $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$ sistemində enerji daşıyıcıları rolu oynayan qeyri tarazlı yükdaşıyıcılarının əmələ gəlməsini xarakterizə etmək üçün elektrik keçiriciliyi və elektron paramaqnit rezonans (EPR) üsulları tədqiq olunub, lokallaşmış yükdaşıyıcıların identifikasiyası aparılıb, daxili və xarici şüaların elektrik keçiriciliyinə təsiri aşkar olunub.

İşin praktiki əhəmiyyəti. Alınmış nəticələr müasir dövrün aktual elmi- texniki problemi olan atom-hidrogen energetikası sahəsində böyük əhəmiyyət kəsb edir. Belə ki, alınmış nəticələr qəlpə radiasiya katalitik üsulla hidrogen alınması üçün katalizator seçimində istifadə olunacaqdır.

Bundan başqa radioaktiv silikat sistemində gedən radiasiya və radiasiya-termik proseslər işlənmiş nüvə materialları və radiokativ maddələrin saxlanma sistemlərində hidrogen təhlükəsizliyinin təminində və radiasiya kimyəvi çevrilmə proseslərin rolunun xarakterizə edilməsində istifadə üçün də təklif oluna bilər.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar:

- tərkibində müxtəlif aktivlikli radium qrupu olan radium-silikat

sisteminin alınması, radioaktivliyi, quruluş və hidrat örtüyünün tədqiqi,

- radiumun aktivliyindən asılı olaraq $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$ sisteminin su ilə təmasında gedən radioliz proseslərinin öyrənilməsi,

- radium-silikatın su ilə təmasında gedən radiasiya-kimyəvi prosesləri nəticəsində müxtəlif temperaturalarda molekulyar hidrogenin əmələgəlmə kinetikasının tədqiq edilməsi,

- radium silikat sisteminin iştirakı ilə suyun radiolitik parçalanma prosesində səthi səviyyəyə və təmas mühitinə enerji ötürülməsinin rolunun xarakterizə olunması,

- radioaktiv radiumun alfa şüalarının və xarici qamma şüalarının radium-silikat sisteminin elektrik keçiriciliyinə təsiri,

- radioaktiv radiumun alfa şüalarının və xarici qamma şüaların təsiri altında paramaqnit radiasion defektlərin yaranması,

- γ -şüalarının təsiri altında radium-silikatda qeyri-tarazlı yükdaşıyıcıların əmələgəlməsi və səthi səviyyələrə ötürülmə prosesləri nəticəsində radiasiya-heterogen proseslərdə suyun parçalanması proseslərinin tədqiqi,

İşin aprobasiyası. Dissertasiya işinin nəticələri aşağıda göstərilən elmi konfranslarda müzakirə edilmişdir: M.Məlikzadənin 100 illik yubleyinə həsr olunmuş Beynəlxalq Konfrans “Nüvə enerjisinin dinc məqsədlərlə istifadəsi” 8-10 noyabr, Bakı Azərbaycan, 2010; Azərbaycan Respublikasının müstəqilliyinin 20 illiyinə həsr olunmuş Respublika Konfransı “Alternativ və bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadənin perspektivləri” 1-2 iyun 2011, Bakı Azərbaycan; IV Beynəlxalq konfrans “Nüvə enerjisinin dinc məqsədlərlə istifadəsi perspektivləri” 23-25 noyabr, 2011; 8-я Международная Конференция «Ядерная и радиационная физика» 20-23 сентября, 2011, Алма-Ата, Казахстан; International Conference “Nuclear science and its application”, Samarkand, Uzbekistan, September 25-28, 2012; The V international conference perspectives of peaceful Use of nuclear energy, November 21-23, 2012 Baku-Azerbaijan; Fizikanın müasir problemlərinə həsr olunmuş 4-cü respublika konfransının materialları, 21–23 noyabr, 2012 Bakı, Azərbaycan; 9th International Conference Nuclear And Radiation Physics, 24-27 september, Almaty, Kazakhstan-2013; 10-я Международная Конференция «Ядерная и радиационная физика»,

08-11 sentyabr, 2015, Kazaxstan; Mezhdunarodnyy Simpozium «Novyye Tendentsii Razvitiya Fundamentalnoy i Prikladnoy Fiziki: Problemy, Dostizheniya i Perspektivy» Tashkent, 10-11 noyabr, 2016 g; 11-ya mezhdunarodnaya konferentsiya «Yadernaya i radiatsionnaya fizika», 12-15 sentyabr 2017, Almaty, Respublika Kazaxstan; VIII mezhdunarodnaya konferentsiya posvyashchennaya Semipalatinitskiy ispytatelnyy poligon, Alma-Ata, 11-13 sentyabr 2018.

Nəşrlər. Dissertasiyanın mövzusu üzrə 26 elmi iş dərc olunmuşdur. Bu elmi işlər Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında AAK-ın tələblərinə tam cavab verən yerli və xarici jurnallarda, digərləri isə Beynəlxalq konfrans və seminarlarda müzakirə olunmuş, tezislər şəklində dərc olunmuşdur.

İşin strukturu və həcmi. Dissertasiya işi girişdən, beş fəsildən, nəticələrdən və istifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. İş 134 səhifədə şərh olunmuşdur, işdə 38 qrafik və şəkil, 15 cədvəl vardır. İstifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısına 141 adda iş, o cümlədən müəllifin şəxsi məqalələri daxildir.

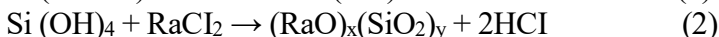
İŞİN QISA MƏZMUNU

Girişdə həll edilən problemin aktuallığı və müasir elmdə onun yeri əsaslandırılmış, tədqiqatın məqsədi və qoyulan məsələlər qısaca və dəqiq ifadə edilmiş, işin elmi yeniliyi və praktiki əhəmiyyəti verilmişdir. Dissertasiyanın fəsillərinin qısa məzmunu şərh edilmiş və dərc edilmiş işlərin siyahısı verilmişdir.

Birinci fəsil ədəbiyyat icmalına həsr edilmiş, silisiumun oksigenli birləşmələrinin alınması, onların fiziki-kimyəvi xassələri, nüvə texnologiyası istiqamətində tətbiqi, suyun radiolizinin ümumi qanunauyğunluqları, ionlaşdırıcı şüaların və temperaturun radium-silikat sistemlərinə təsiri haqqında ətraflı son illərin ədəbiyyat məlumatları verilmişdir. Eyni zamanda bu sistemlərə xarici şüalanmanın təsiri nəticəsində gedən proseslər və həmçinin silikatların da səthində gedən proseslər haqqında dərc olunmuş elmi ədəbiyyatların qısa icmalı verilmişdir. Fəslin sonunda mövcud elmi ədəbiyyatlarda aparılan axtarış-təhlil işinə yekun vurularaq radium-silikat sistemlərinin

mövcud xüsusiyyətləri, tətbiq sahələri nəzərə alınmaqla dissertasiya işinin mövzusunun seçiminin əsaslandırılması aparılıb.

İkinci fəsildə tərkibində müxtəlif aktivliyə malik radium-silikat sistemlərinin sintezi və bu sistemlərin xüsusi aktivliyinin Ge-əsaslı detektorlu qamma-spektrometrində təyini metodikası verilmişdir. Alınmış nümunələrin quruluş xüsusiyyətlərinin öyrənmək məqsədi ilə rentgen difraksiyası, infraqırmızı- spektroskopiya, termik analiz və s. metodlarından istifadə edilmişdir. Bunun üçün məlum metodikalarla sintez aparılıb və tərkibində müxtəlif miqdarda radium saxlayan radium-silikat sistemləri alınıb. Radium - silikatın sintezi üçün RaCl_2 və TEOS (tetraetilortosilikat) məhlullarından, reaksiyanın aralıq məhsullarının təmizlənməsi üçün sirkə turşusundan istifadə olunmuşdur. Əvvəlcə TEOS məhluluna RaCl_2 sonra isə müəyyən ($T > 60^\circ\text{C}$) temperaturda CH_3COOH qatılmışdır. Əmələ gələn $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ aralıq məhsulu CH_3COOH ilə reaksiyaya girir və nəticədə etilasetat efiri əmələ gəlir. Müxtəlif tərkibli silikatların alınması üçün TEOS və RaCl_2 məhlullarından uyğun olaraq 1:1, 1:10, 1:20 nisbətində götürülmüşdür. Reaksiyanın tənliyi və ya sistemin sintezi əsasən aşağıdakı kimyəvi reaksiyalar üzrə aparılıb:

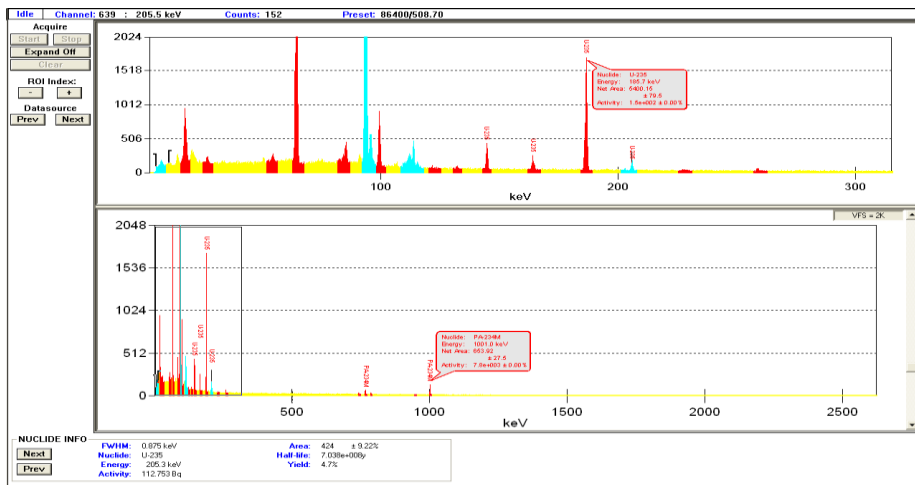


Alınmış birləşmələrin tərkibini ümumi olaraq $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$ kimi ifadə etmək olar. Əsasən üç tərkibli radium-silikat sistemi alınıb və cədvəldə onların radiumun miqdarından asılı olaraq aktivlikləri, eləcə də radiumun miqdarı verilib:

- I tərkibdə 0,6 % Ra olan $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$
- II tərkibdə 4,8 % Ra olan $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$
- III tərkibdə 10,1 % Ra olan $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$

Alınmış müxtəlif aktivlikli radium silikat sistemləri $T=373\text{K}$ temperaturda vakuum şəraitində qurudulmuşdur. Sintez olunmuş radium-silikat sistemlərində radionuklidlərin xüsusi və effektiv aktivliyi - 186 keV enerjili qamma kvantlar əsasında qamma-spektrometrik metodla Canberra (ABŞ) firmasının istehsalı olan yüksək təmizlikli

germanium detektorlu HPGe qamma-spektrometrdə təyin olunmuş və uyğun olaraq 260, 2500, 6100 Bk/q –a bərabər olmuşdur.



Şəkil 1. Tərkibdə 10,1 % radium olan radium-silikat sisteminin qamma spektri

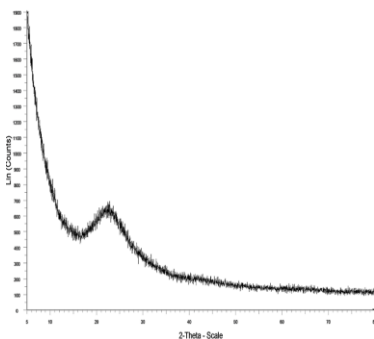
Cədvəl 1.

$(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$ birləşmələrində radiumun aktivliyi və miqdarı

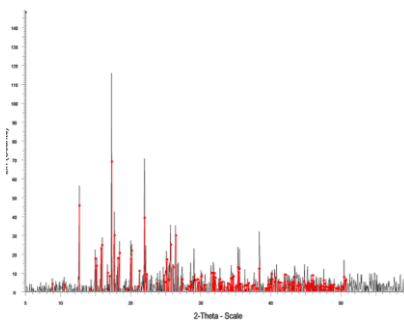
N	Nümunənin adı	Aktivliyi, Bk/q	Nümunənin tərkibində radiumun miqdarı, %-lə
	$(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$	260	0.6
	$(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$	2500	4.8
	$(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$	6100	10.1

Bundan əlavə, $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$ sistemində elektrofiziki xassələrinin tədqiq edilmə üsulları, radiasiya-heterogen sistemlərin səthində gedən proseslərdə əmələgələn məhsulların analizinin metodikası, parametrlərin təyininin xətarlarının qiymətləndirmə metodikası verilmişdir. Alınmış müxtəlif aktivlikli nümunələrin quruluş forması rentgen difraksiya metodu ilə təyin olunmuşdur. Tədqiq olunan nümunələrin rentgen faza analizi D8ADVANCE (Almaniya) ovuntu difraktometrində yerinə yetirilmişdir. İş rejimi: 40kV, 40mA, CuK_2 şüalanma, $\lambda=1,5406\text{\AA}$, $05^0<2\theta<80^0$, $T=300\text{K}$ götürülmüşdür.

Nümunələrin termik analizi Perkin-Elmer STA 6000 (Amerika) cihazında aparılmışdır. Ölçmə zamanı nümunələr $5^{\circ}\text{C}/\text{dəq}$ sürəti ilə qızdırılmış və sistemin biricinsliyinin saxlanılması üçün arqon qazının sürəti $20\text{ ml}/\text{dəq}$ götürülmüşdür. Alınmış spektrlərdən endo- və ekzo-effektlərin enerjilərinin hesablanma metodikası verilmiş və temperaturdan asılı olaraq kütlənin müxtəlif temperatur intervalında dəyişməsinin metodikası verilmişdir. Struktur əlaqələrini öyrənmək məqsədilə İnfra Qırmızı (İQ) -spektroskopiya metodundan istifadə edilmişdir. Radium-silikat nümunələrində İQ-udulma spektrlərinin “Specord 71 İR” (Almaniya) spektrometrində $4600 - 400\text{ sm}^{-1}$ tezlik diapazonunda çəkilmə metodikası verilmişdir. Daxili və xarici qamma-şüalanmanın təsiri altında radium-silikatlarda yaranan paramaqnit mərkəzlərin tədqiqi EMX plus Bruker markalı EPR spektrometrində aparılmış və elektrik xassələrinin ölçülməsi metodikası verilmişdir. Radium-silikat sistemlərinin iştirakı ilə suyun radiation və radiation termik parçalanma məhsulları “Agilent-7890” və “Svet-102” markalı xromatoqraflarında analiz olunmuşdur. Təcrübi xətlər təyin olunub. Qamma-şüaların udulma dozası ferrosulfat dozimetrik üsulu ilə təyin olunub. Tədqiq olunmuş sistemlərin və etalon dozimetrlin elektron sıxlıqları əsasında konkret tərkibli radium-silikat tərəfindən udulan doza qiymətləri təyin olunub.



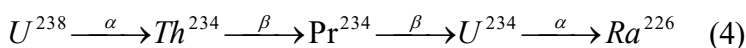
Şəkil 2. SiO_2 birləşməsinin rentgen-difraktoqramı



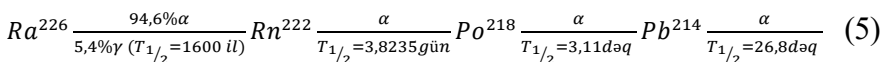
Şəkil 3. tərkibində 10,1 % radium olan radium-silikat birləşməsinin rentgen difraktoqramı

Tədqiqatların müqayisəli aparılması üçün $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$ - la yanaşı təmiz SiO_2 birləşməsi də sintez olunmuş və sintez olunan bütün nümunələrin rentgen faza analizi aparılmışdır. Difraktoqrammalardan məlum olur ki, SiO_2 amorf quruluşlu, $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$ kristallik quruluşdadır və tərkibində müxtəlif sayda su molekulaları laylar arası səviyyələrdə yerləşmişdir.

Üçüncü fəsildə radium izotopunun təbiətdə və nüvə materiallarında əsasən U^{238} izotopunun parçalanma zəncirində yaranması, silikat və radium silikat sistemlərinin İQ - və Diferensial termik analiz (DTA) analizlərinin aparılmasından bəhs olunub:



Yaranmış Ra^{226} izotopu da qeyri-stabil nüvəyə malik olub yarımparçalanma periodu $T_{1/2} = 1600$ il olmaqla alfa parçalanır:



Ra^{226} izotopunun parçalanma prosesində 94,45 % çıxımla enerjisi $E_\alpha=4,7843$ MeV olan α -hissəcik və $E_\gamma = 4,601$ MeV olan 5,55 % çıxımla qamma- şüalar ayrılır.

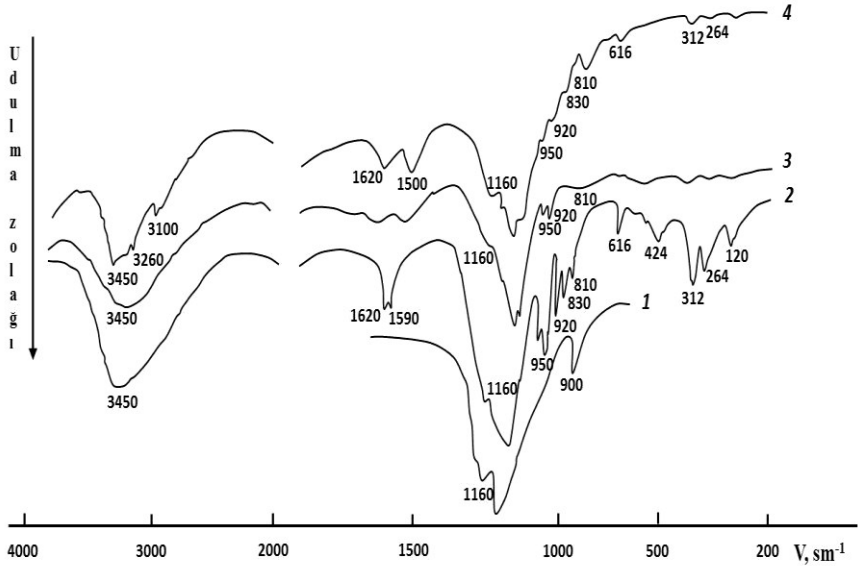
Radiumun qız məhsulu olan Rn^{222} enerjisi $E_\alpha=5,46$ MeV olan 99,99 % çıxımla, $T_{1/2} = 3,8235$ gün yarımparçalanma periodu alfa parçalanmaya uğrayaraq polonium Po^{218} izotopu verir.

Göründüyü kimi tərkibində Ra^{226} izotopu olan istənilən sistem energetik və uyğun olaraq elektrofiziki qeyri-tarazlı halda olacaqdır. Odur ki, bu cür sistemlərin elektrofiziki xassələrində bu dəyişikliklərin və ətraf mühit ilə təmasında gedən proseslərin də təsiri altında qeyri-tarazlı halın mövcudluğu gözlənilən olacaqdır.

Tədqiqat obyektlərində radium ilk olaraq ətraf mühitlə təmasında formalaşan hidrat örtüyü və su örtüyünün elektrik keçiriciliyinə təsir göstərə bilməsini nəzərə alaraq ilkin bu faktorlarda dəyişikliklər tədqiq olunub. Radium-silikatın hidrat örtüyünə radiumun təsiri İQ-Furye spektrometrik və termoqravimetrik üsullarla tədqiq olunub. Radiumun kation və radiumun enerji mənbəyi kimi silikat sisteminin xassələrinə

təsiri təmiz SiO_2 -in xassələri ilə müqayisəli tədqiqi əsasında müəyyən edilib.

İlkin SiO_2 və $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$ sistemlərinin İQ-Furye spektrləri şəkil 4-də verilib. Müşahidə olunmuş udma oblastları standartlara uyğun olaraq identifikasiya edilib və nəticələr 2-ci cədvəldə verilib



Şəkil 4. Silisium və tərkibində müxtəlif miqdarda radium olan radium-silikat nümunələrinin İQ- udulma spektrləri; 1- SiO_2 ; 2-tərkibində 0,6 % radium olan radium-silikat nümunəsi; 3-tərkibində 4,8% radium olan radium-silikat nümunəsi; 4-tərkibində 10.1 % radium olan radium-silikat nümunəsi

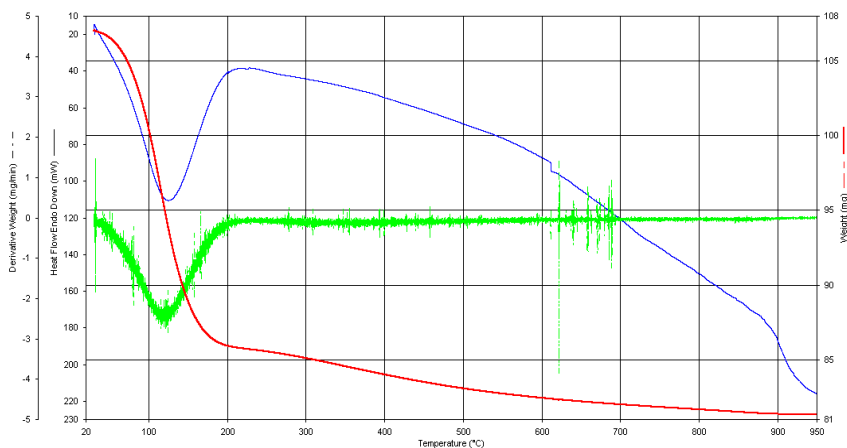
Göründüyü kimi, radiumun daxil edilməsi ilə SiO_2 -ə aid udulma zolaqlarının intensivliyi azalır, hidrəksil örtüyünə aid udma zolaqlarının müqdarı və intensivlikləri artır.

Cədvəl 2.

**Silikat və radium qrupu olan silikatların udulma zolaqlarının
vəziyyəti və intensivlikləri**

Ədəbiyyat nəticələri			Təcrübədən alınan nəticələr
Udulma spektri, sm^{-1}	Udulma spektri, sm^{-1}	Valent rəqslər	Udulma spektri, sm^{-1}
3450	3450±10	$\nu(\text{OH})$	3450±10
1620	1650±5	$\delta(\text{HOH})$	1620±5
1580	1588	$\delta(\text{HOH})$	1590
1180	1180	$\nu(\text{SiO}_2)$	1180
955	963	$\nu(\text{SiO}_2)$	950
905	920±3	$\nu(\text{RaO})\nu_3$	908±2
870	878	$\nu(\text{SiO}_2)$	880
830	835±4	$\nu(\text{RaO})\nu_1$	830±2
809	812±1	$\nu(\text{SiO}_2)$	810±1
610	617	$\delta(\text{SiO}_2)$	616
500	520±10	$\delta(\text{SiO}_2)$	520±5
420	431±4	$\nu(\text{RaO})$	428
305	315±1	$\delta(\text{SiO}_2)$	312±2
268	278	$\delta(\text{RaO})\nu_2$	266
-	-	$\nu(\text{RaO})$	128±1

Radium-silikat sisteminin hidrat örtüyünə təsirini xarakterizə etmək məqsədilə ilkin SiO_2 və tərkibində müxtəlif miqdarda radium saxlayan $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$ sistemi termoqrammetrik üsulla tədqiq olunub. Nümunə üçün şəkil 5-də tərkibində 10,1% radium olan $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$ sisteminin differensial termoqramması verilib.



Şəkil 5. Tərkibində 10,1% radium olan radium-silikat sisteminin differensial termoqramması

Göründüyü kimi DTA xəttində dehidratlaşmaya aid olan geniş endopik və kütlə itkisini ifadə edən TG xəttində müxtəlif itki proseslərinə uyğun oblastlar müşahidə olunub. Tərkibində müxtəlif miqdarda radium saxlayan $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$ nümunələrində hidrat örtüyündə aşkar olunmuş üç temperatur oblastında kütlə itkiləri cədvəl 3-də verilib.

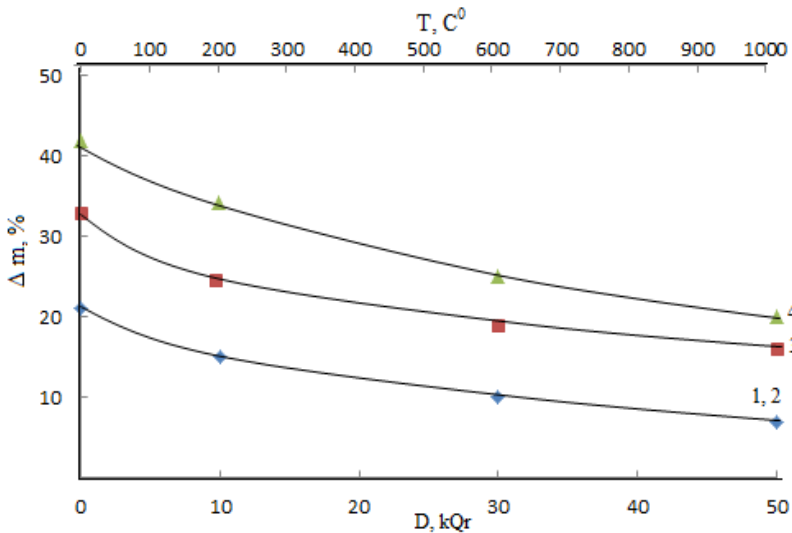
Cədvəl 3.

Şüalanmamış $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$ nümunələrində kütlə itkiləri

Nümunənin adı	I qrup $T \leq 280$ °C	II qrup $T \leq 300 \div 54$ 0°C	III qrup $T \geq 650$ °C
	Temperaturdan aslı olaraq nümunələrin kütlə itkisi, %-lə		
Minimum aktivlikli $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$	6	2	1
Orta aktivlikli $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$	15	11	2
Maksimum aktivlikli $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$	20	17	2

Göründüyü kimi radiumun miqdarı artdıqca hidrat örtüyünün miqdarı artır. Daha çox artım müxtəlif xarakterli adsorbsiya olunmuş molekulyar suyun miqdarında kəskin şəkildə müşahidə olunub.

Qeyd olunduğu kimi işin əsas məqsədi $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$ sisteminin model radioaktiv birləşmə kimi suyun radiolitik parçalanmasından hidrogenin alınması olduğunu nəzərə alaraq xarici qamma şüalanmanın $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$ sisteminin hidrat örtüyünə $D \leq 50$ kGy qamma şüa udulma enerjisi oblastında dəyişmə qanunauyğunluğu tədqiq olunub. Şəkil 6-da göstərilmiş temperatur oblastlarında hidrat örtüyündə kütlə itkisinin gamma-şüaların udulma dozalarından asılılığı verilib.



Şəkil 6. Müxtəlif aktivlikli radium-silikat birləşmələrinin termiki analiz zamanı kütlə itkisinin udulma dozasından asılılığı, 1- SiO_2 birləşməsi; 2- 260 Bk/q aktivlikli radium-silikat sistemi; 3- 2500 Bk/q aktivlikli radium-silikat sistemi; 4- 6100 Bk/q aktivlikli radium-silikat sistemi

Ayrı- ayrı oblastlarda desorbsiya olunan hidrat örtüyünə $D = 50$ kGy dozada qamma şüaların təsiri cədvəl 4-də verilib.

Cədvəl 4.**Şüalanmadan sonra radium-silikat nümunələrində kütlə itkisinin dəyişməsi**

Nümunənin adı	I qrup $T \leq 280 \text{ }^{\circ}\text{C}$	II qrup $T \leq 300 \div 540 \text{ }^{\circ}\text{C}$	III qrup $T \geq 650 \text{ }^{\circ}\text{C}$
	Temperaturdan aslı olaraq nümunələrin kütlə itkisi, %-lə		
Minimum aktivlikli (RaO) _x (SiO_2) _y	4	2	1
Orta aktivlikli (RaO) _x (SiO_2) _y	11	4	3
Maksimum aktivlikli (RaO) _x (SiO_2) _y	12	5	4

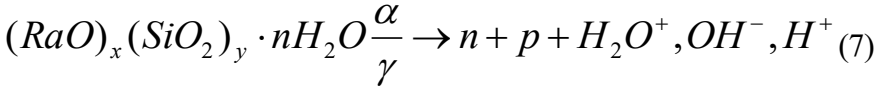
Cədvəldən göründüyü kimi xarici qamma-şüaların təsiri altında əsasən molekulyar şəkildə adsorbsiya olunmuş su molekulları güclü radiolitik parçalanmaya uğrayır və parçalanma məhsullarının struktur fraqmentləri ilə qarşılıqlı təsiri nəticəsində OH qruplarının miqdarında artım müşahidə olunur. Radiumun miqdarının yüksək qiymətlərində hidrat örtüyünün parçalanma sürətləri daha yüksək olur:



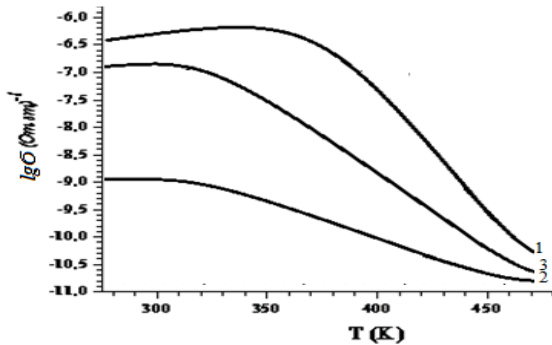
Şəkil 6-dan göründüyü kimi kiçik miqdarda radium tərkibli ($A=260 \text{ Bk/q}$) nümunələrdə qamma şüalanmanın təsiri altında hidrat örtüyündə dəyişiklik təyinat xətaləri çərçivəsində SiO_2 -yə uyğundur. (RaO)_x(SiO_2)_y sistemində radiumun aktivliyi artdıqca hidrat örtüyünün miqdarı artır və bu artım $A \geq 5000 \text{ Bk/q}$ qiymətlərində daha yüksək olur. Termoqrammalar əsasında müxtəlif aktivlikli (RaO)_x(SiO_2)_y sisteminin dehidratasiya proseslərinin entalpiyası təyin edilib. Müəyyən olunub ki, radiumun miqdarı artdıqca dehidratlaşma proseslərinin entalpiyası $4 \div 176 \text{ mC/mq}$ intervalında artır. Sabit $600 \text{ }^{\circ}\text{C}$ -də xarici qamma-şüalanmanın 1 Gy enerjisinə düşən (RaO)_x(SiO_2)_y sistemində dehidratlaşma sürəti radiumun aktivliyinin $260 \div 6100 \text{ Bk/q}$ intervalı artımında $0.43 \div 0.78$ faizlə itki/Gy arasında dəyişir. Yəni yüksək aktivlikli radium-silikat sistemində radiasiya-termik dehidratlaşma daha sürətlə baş verir.

Radiumun parçalanma reaksiyasından göründüyü kimi, $\text{Ra}^{226} \rightarrow \text{Pb}^{214}$ radioaktiv çevrilmə zəncirində yüklü və enerjisi

$E_{\alpha}=4,7843 \div 5.5460$ MeV intervalında olan alfa-hissəciklər və $E_{\alpha}=4,601$ MeV olan qamma-şüalar ayrılır ki, onların təsiri altında silikat matrisasında yüklü hissəciklərin alınma ehtimalı böyükdür. Odur ki, $(RaO)_x(SiO_2)_y$ sisteminin elektrik keçiriciliyinə həm daxili, həm də xarici şüalanmanın təsiri öyrənilib. $(RaO)_x(SiO_2)_y$ sistemi göründüyü kimi yüksək hiqroskopikliyə malikdir və hidrat örtüyü radiumun aktivliyi artdıqca artır:



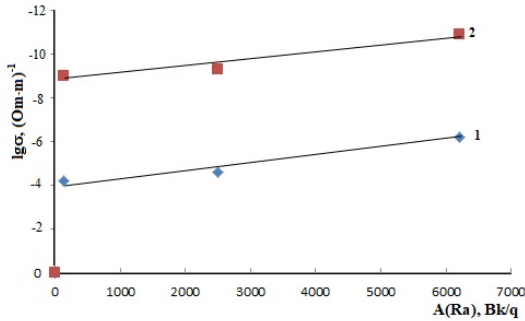
Daxili şüalanmanın təsiri altında $(RaO)_x(SiO_2)_y \cdot nH_2O$ sistemində SiO_2 matrisasında n-elektron, p- deşik xarakterli yükdaşıyıcıları və hidrat örtüyü ilə əlaqədar (7) tənliyində göstərilən ionlar yaranır. Bu proseslərin sürəti radiumun-silikat sistemində aktivliyi artdıqca yüksələcəkdir və son nəticədə elektrik keçiriciliyi də artacaqdır. Hidrat örtüyünün qızdırmaqla azalması, sistemdə yükdaşıyıcıların azalmasına səbəb olacaqdır. $(RaO)_x(SiO_2)_y \cdot nH_2O$ sisteminin elektrik keçiriciliyində dehidratasiyanın baş verdiyi temperatur oblasında temperatur artdıqca şəkil 7-də göstərilən qanunauyğunluqla azalır.



Şəkil 7 $(RaO)_x(SiO_2)_y \cdot H_2O$ sisteminin elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığı, $A=6100$ Bk/q , 1-ilkin, 2- 1 saatdan , 3- 24 saatdan sonra

Odur ki, tədqiq olunmuş temperatur ($T=300 \div 673$ K) oblasında $\delta = f(T)$ asılılığı dielektriklərə xas temperatur asılılığından fərqli olur. Hidrat örtüklü və $T \approx 550$ °C -də ölçülmüş, dehidratlaşmış $(RaO)_x(SiO_2)_y$ nümunələrinin elektrik keçiriciliklərinin nümunə

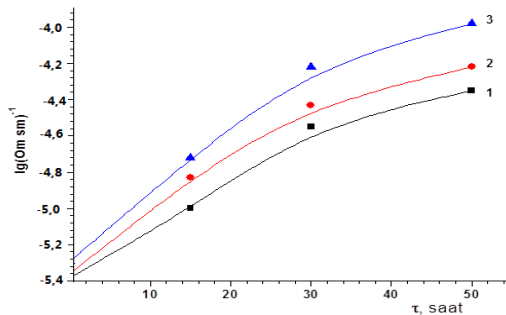
tərkibində radiumun aktivliyindən asılılıqları şəkil 8-də verilib.



Şəkil 8. $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$ nümunələrinin hidrat örtüklü (1) və dehidratlaşmış halda (2) elektrik keçiriciliklərinin nümunələrin tərkibində radiumun aktivliyindən asılılığı, 1-T=300 K, 2-T=550K

Göründüyü kimi $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$ nümunələrində radiumun aktivliyi artdıqca həm hidrat örtüklü, həm də dehidratlaşmış halda elektrik keçiriciliyi xətti olaraq artır. Bu isə onu göstərir ki, $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$ sistemində radiumun parçalanma məhsulları sistemdə əlavə yükdaşıyıcıları yaradır.

$(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$ sistemində xarici qamma-şüalanmanın təsiri altında əlavə yükdaşıyıcıların yaranmasını xarakterizə etmək üçün müxtəlif aktivlikli nümunələrin elektrik keçiriciliyinə qamma şüalanma dozasının təsiri tədqiq olunub. Şəkil 9-da $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$ sisteminin elektrik keçiriciliyinin qamma şüalanma dozasından asılılığı verilib.



Şəkil 9. $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$ sisteminin elektirik keçiriciliyinin şüalanma müddətindən asılılığı, T= 300 K , $\dot{D} = 0.38$ Gy/san, 1-260 Bk/q, 2-2500 Bk/q, 3-6100 Bk/q).

Göründüyü kimi $lg\delta = f(D)$ asılılığı başlanğıc $D \leq 10$ kGy oblastında xətti xarakterli və $D \approx 10 \div 50$ kGy oblastında statsionar hala keçir. Alınmış nəticələr əsasında $(RaO)_x(SiO_2)_y$ sisteminə xarici qamma-şüaların təsiri altında yükdaşıyıcılarının əmələgəlmə sürətlərinin və onların statsionar qatılıqları nümunə tərkibində radiumun aktivliyi artdıqca artması nəticəsinə gəlmək olar. Alınmış bu nəticələr əsasında radiasiya-heterogen proseslərin mövcud mexanizmləri çərçivəsində $(RaO)_x(SiO_2)_y$ sisteminin iştirakı ilə suyun radiasiya-kimyəvi parçalanması nəticəsində molekulyar hidrogenin radiasiya-kimyəvi çıxımının radiumun aktivliyi artdıqca artmasını gözləmək olar.

Dördüncü fəsilə ilkin olaraq radium tərkibli silikatda daxili şüalanma nəticəsində sistemə verilə biləcək enerjinin qiymətləndirilməsi aparılıb.

Radium - U^{238} sırasının qız elementi olub əsasən alfa parçalanma ilə radioaktiv radon qazı verir. Radium-radon parçalanmasında əsrlik tarazlıq halı əsasən $\tau \geq 10T_{1/2}$ müddətində alınır. Təcrübi müşahidələr göstərir ki, $\tau \geq 15$ vaxtlarında tarazlığa meyllilik müşahidə olunur:

Bu zəncir üzrə radioaktiv parçalanma nəticəsində yaranan Rn^{222} aktivliyinin ana izotop ilə təmas vaxtından asılılığı aşağıdakı empirik ifadə ilə təyin edilə bilər:

$$A(Rn) = A(Ra)(1 - e^{-\lambda\tau}) \quad (9)$$

Burada $A(Ra)$ – alınan radonun aktivliyi, $A(Ra)$ -nümunədə Ra^{226} aktivliyi, τ – müşahidə vaxtı, λ - Rn^{222} parçalanma sabitidir. Bu tənlikdən göründüyü kimi, təqribən $t_t = \frac{3}{4}T_{1/2}$ qiymətlərində Rn^{222} -nin aktivliyi ilkin Ra^{226} -nin aktivliyinə təqribi bərabər olur. Suyun tərkibində radium saxlayan silikat sisteminin iştirakı ilə parçalanması proseslərində tədqiqi üzrə təcrübələrdə $(RaO)_x(SiO_2)_y + H_2O$ sisteminin qapalı qalma müddətləri $\tau_{\text{şüalanma}}$ vaxtına uyğun olduğundan ampula daxilində $Ra \rightarrow Rn$ radioaktivlik parçalanmasında tarazlı hal olmasını qəbul etmək olar. Təcrübə şəraitində bu vaxt ərzində Rn^{222} -nin parçalanma prosesləri də baş verir:



Nəticədə reaktor daxilində yaranan radon qazının emmonasiyası baş verir. Bu parçalanma sırasına baxsaq əsrlik tarazlıq şərti Po^{218} - ə kimi tətbiq oluna bilər. Belə ki, (5) sırasına baxsaq əsrlik tarazlıq üçün əsas olan $T_{1/2}(\text{ana}) \gg T_{1/2}(\text{qız})$ şərti Po^{218} əmələ gələnə kimi ödənilir. Odur ki biz, əsrlik tarazlıq şərtinə görə birinci üç parçalanma üçün aşağıdakı ifadəni yazı bilərik:

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \lambda_3 N_3 \quad (11)$$

Əsr tarazlıq şərtinə uyğun olaraq, müəyyən vaxtdan sonra $\tau \gg T_{1/2}(\text{Rn}) \gg T_{1/2}(\text{Po})$ sistemində mövcud olan Rn^{222} və Po^{218} hər bir maddədə miqdarları təyin oluna bilər. Bunun üçün izotopların $T_{1/2}$ - qiymətləri əsasında aşağıdakı ifadə üzrə onların radioaktiv parçalanma əmsalları təyin oluna bilər:

$$\lambda = \frac{0,693}{T_{1/2}} \quad (12)$$

Təcrübə şəraitində mövcud olan radioaktiv izotopların radioaktiv parçalanma sabitləri və miqdarları aşağıdakı cədvəl 5-də verilib.

Cədvəl 5.

Əsr tarazlığı halında izotopların reaktorda miqdarları

İzotopun adı	A, Bk/q·san	λ , san^{-1}	N, Atom/qram
Ana izotop, Ra^{226}	6100	$1.356 \cdot 10^{-11}$	$4.5 \cdot 10^{14}$
Rn^{222}	6100	$2.9 \cdot 10^{-6}$	$2.1 \cdot 10^9$
Po^{218}	6100	$3.79 \cdot 10^{-3}$	$1.61 \cdot 10^6$

Suyun radiasion-katalitik parçalanmasında reaksiya məhsulu olan hidrogen katalizatorun vahid çəkisinə nisbətən hesablandığından tarazlıqda olan izotopların vahid zamanda parçalanma miqdarına görə katalizatora verilən enerji hesablanı bilər.

İlkin Ra^{226} tərəfindən vahid zamanda sistemə buraxılan alfa-hissəciklərin enerjisi aşağıdakı ifadə ilə təyin edilə bilər:

$$E_{\text{avr.}} = A \cdot E_{\alpha} \quad (13)$$

Burada E_{ayr} - radium tərəfindən silikata alfa hissəciklər vasitəsilə verilən enerji, E_{α} -hər alfa hissəciyin enerjisi, A -aktivliyi

Təcrübələrdə götürülən nümunələrin maksimal aktivliyi $A = 6100 \text{ Bk/q}\cdot\text{san}$ üçün verilən enerjini qiymətləndirək:

$$E(\text{Ra}) = 6100 \cdot 4.77 \text{ MeV} = 2.92 \cdot 10^4 \text{ MeV/q}\cdot\text{san} \quad (14)$$

Uyğun olaraq digər izotoplar tərəfindən silikata verilən enerji qiymətləndirilə bilər:

$$E(\text{Rn}) = 6100 \cdot 5.59 \text{ MeV} = 3.41 \cdot 10^4 \text{ MeV/q}\cdot\text{san} \quad (15)$$

$$E(\text{Po}) = 6100 \cdot 5.46 \text{ MeV} = 3.33 \cdot 10^4 \text{ MeV/q}\cdot\text{san} \quad (16)$$

Bu elementlərin alfa parçalanması zamanı buraxılan qamma və beta şüaların enerjiləri nisbətən kiçik olduğundan nəzərə alınmayıb. Ümumi alfa aktiv izotoplar tərəfindən daxilədən silikata verilən enerji:

$$\Sigma E_i(\alpha) = 2.92 \cdot 10^4 + 3.41 \cdot 10^4 + 3.33 \cdot 10^4 = 9.66 \cdot 10^4 \text{ MeV} \quad (17)$$

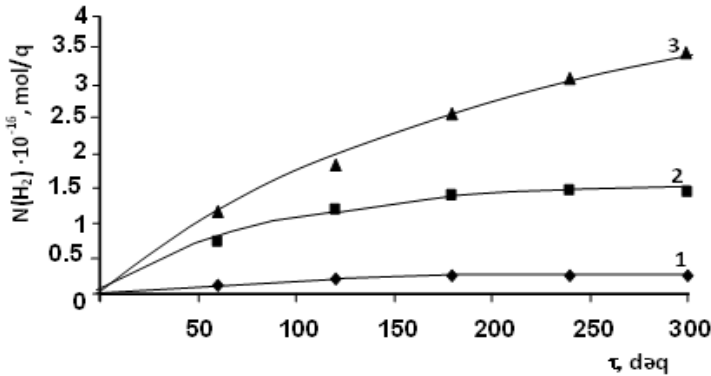
$$\Sigma E_i(\alpha) = 9.66 \cdot 10^{10} \text{ eV/q}\cdot\text{san} \quad (18)$$

Bu hallarda enerji daşıyıcısı He_4^{+2} olduğundan, onların silikat sistemləri ilə qarşılıqlı təsiri zamanı ionlaşma, həyəcanlanma və struktur defektlərinin yaranması daha ehtimallı olacaqdır. Tədqiqat zamanı xarici şüalanmanın intensivliyi:

$$\dot{D} = 0.15 \text{ Gy/san} \approx 0.15 \cdot 10^2 \cdot 6.24 \cdot 10^{13} \text{ eV/q}\cdot\text{san} = 0.936 \cdot 10^{15} \text{ eV/q}\cdot\text{san} = 9.36 \cdot 10^{14} \text{ eV/q}\cdot\text{san} \quad (19)$$

Lakin nəzərə alsaq ki, xarici qamma-şüalanma ilə katalizatorun tərkibinə daxil olan element atomları arasında enerji mübadiləsi əsasən kompton səpilməsi ilə baş verir, daxili şüalanmanın suyun radiasion heterogen parçalanmasında rolu gözlənilən olmalıdır. Odur ki, bu təsiri qiymətləndirmək və gələcək qəlpə radioliz proseslərində alfa-şüaların rolunu aydınlaşdırmaq üçün suyun radium tərkibli silikatın iştirakı ilə $T = 300 \text{ K}$ temperaturda qamma radiolizindən hidrogenin alınma kinetikasi tədqiq olunub. Bu məqsədlə xüsusi ampulalarda $m \approx 4 \cdot 10^{-2} \text{ q}$ radium tərkibli silikat üzərinə ampula həcmində buxar sıxlığı $\rho = 5$

mq/sm^3 miqdarına uyğun su adsorbsiya qurğusunda adsorbsiya olunub, qapalı şəkildə Co^{60} -izotop mənbəyində $\dot{D} \approx 0.15 \text{ Gy/san}$ intensivlikdə müxtəlif vaxtlarda şüalandırmaqla prosesin kinetikası tədqiq olunub.



Şəkil 10. Müxtəlif aktivlikli $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$ iştirakı ilə suyun radiation katalitik parçalanmasından hidrogenin alınmasının kinetikası, $T=300 \text{ K}$, $\dot{D} = 0,15 \text{ Gy/s}$, $\rho = 5 \text{ mq/sm}^3$, 1.A= 260 Bk/q; 2. A=2500 Bk/q; 3. A= 6100 Bk/q,

Uyğun metodika ilə müxtəlif aktivlikli radium tərkibli silikatın iştirakı ilə suyun radiation-katalitik parçalanmasından hidrogenin alınma kinetikası tədqiq olunub. Molekulyar hidrogenin alınmasının radiasiya-kimyəvi çıxımı iki cür hesablanıb:

$$G_{\text{üm}}(\text{H}_2) = \frac{W(\text{H}_2)}{D_{\text{kat}} + D_{\text{su}}} \cdot 10^2 \quad (20)$$

$$G_{\text{ads}}(\text{H}_2) = \frac{W(\text{H}_2)}{D_{\text{su}}} \cdot 10^2 \quad (21)$$

Birinci kəmiyyət ümumi radiation-heterogen proseslərin effektivliyi, enerji çevrilməsinin faydalı iş əmsalının hesablanması üçün, ikinci kəmiyyət isə bərk fazadan adsorbsiya olunmuş fazaya enerji ötürülməsi proseslərini xarakterizə etmək üçün hesablanıb. Təcrübi eksperimentlərdən alınmış nəticələr cədvəl 6-da verilib.

Cədvəl 6.

Müxtəlif aktivlikli $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$ sistemlərinin iştirakı ilə suyun parçalanmasından hidrogenin alınma kinetikasının nəticələri

$(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$ sistemində Ra^{226} aktivliyi, Bk/q·san	$W(\text{H}_2)$, molekul. $\text{q}^{-1} \cdot \text{san}^{-1}$	$G_{\text{ads}}(\text{H}_2)$, molekul/ 100 eV	$G_{\text{üm}}(\text{H}_2)$, molekul/ 100 eV
260 ($\dot{D}=0.5$ Gy/san)	$0.28 \cdot 10^{12}$	1.86	0.009
2500 ($\dot{D}=0.5$ Gy/san)	$0.21 \cdot 10^{13}$	13.5	0.068
6100 ($\dot{D}=0.5$ Gy/san)	$0.35 \cdot 10^{13}$	22.58	0.113
İlkin silikat (SiO_2), ($\dot{D}=0.28$ Gy/san)	$9 \cdot 10^{11}$	10	0.05
Təmiz suyun homogen qamma radiolizində $G_{\text{üm}}(\text{H}_2)$, molekul/100 eV	-	0.45	-

Göründüyü kimi, ilkin silikat və radium tərkibli silikatın iştirakı ilə suyun radiolizi nəticəsində hidrogenin çıxımı təmiz suyun radiolizindən $4 \div 50$ dəfə yüksəkdir. Bu da onu göstərir ki, silikat və radium tərkibli silikat suyun radioliz prosesində radiasion-katalitik aktivliyə malikdir. Radium tərkibli silikatda radiumun aktivliyi artdıqca radiasion-katalitik aktivlikdə artır. Bu artım əsasən iki səbəbdən izah edilə bilər:

- radium Ra^{+2} kationunun su molekulları üçün güclü adsorbsiya mərkəzi rolu oynaması nəticəsində enerji ötürülməsi üçün əlverişli şərait yaradılması,
- radium və onun qız parçalanma izotoplarının verdiyi əlavə enerji nəticəsində parçalanma prosesinin sürətlənməsi.

Radium tərkibli silikatın iştirakı ilə suyun radiolizi prosesində həm daxili, həm də xarici şüalanma nəticəsində tipik dielektrik olan silikat sistemlərində əsas enerji daşıyıcıları olan qeyri-tarazlı yükdaşıyıcıları və həyəcanlanmış hallar yaranır (7-ci tənlik üzrə).

Səthi səviyyədə adsorbsiya olunmuş su molekulları ilə yaranmış və səthi səviyyəyə miqrasiya etmiş yük daşıyıcıları və həyəcanlanmış halların qarşılıqlı təsiri nəticəsində su molekulları aşağıdakı sxemlər üzrə parçalanmaya uğrayır:





Aşağı temperaturalarda aralıq məhsullar hidrogen atomlarından molekulyar hidrogenə aşağıdakı reaksiyalar üzrə çevrilir:



Bu zaman böyük ehtimalla



əksinə proses də baş verir.

Qadağan olunmuş zona eni təqribən $E_g \approx 10$ eV-ə uyğun olan silikat sistemlərində qeyri-tarazlı yükdaşıyıcılarının əmələ gəlməsinin hədd enerjisinin $E_h = 2 E_g$ olduğunu nəzərə alsaq, xarici qamma şüaların təsiri altında onların çıxımı $G(n,p) \approx 4-5$ cüt/100 eV gözlənilir. Bu çıxımla n,p cütlüyünün iştirakı ilə yuxarıda göstərilən sxem üzrə hidrogenin çıxımı $G(\text{H}_2) \approx 2-2.5$ molekul/100 eV olmalı idi. Müşahidə olunmuş $G_{\text{üm}}(\text{H})$ qiymətləri göstərir ki, $T = 300$ K-də suyun radium tərkibli silikatların iştirakı ilə radiolizində daxili və xarici şüa enerjilərinin hidrogenə çevrilmə proseslərinin effektivlikləri nisbətən aşağıdır. Bunun əsas səbəblərindən biri kimi yaranan ikinci elektronların təmas mühitinə emissiyası ola bilər. Bu faktoru nəzərə almaq üçün silikat sisteminin suda emulsiya halında radiolizindən hidrogenin alınmasının kinetikasi tədqiq olunub. Tədqiqatlar ilkin SiO_2 ilə ən yüksək aktivlikli radium tərkibli silikat təmsalında suyun səthə adsorbsiya olunmuş və emulsiya ($m=0.2q \text{ H}_2\text{O}$) hallarında müqayisəli aparılmışdır. Alınmış kinetik əyrilər əsasında $T = 300$ K-də, $\dot{D}=0.28$ Gy/san intensivlikli qamma-şüalanma rejimində molekulyar hidrogenin alınmasının kinetik parametrləri təyin edilib və cədvəl 7-də verilib.

Cədvəl 7.

İlkin SiO₂ ilə ən yüksək aktivlikli radium tərkibli silikatın suyun səthə adsorbsiya olunmuş və emulsiya hallarında müqayisəli alınmış qiymətləri

Katalizator nümunələri və suyun radioliz şəraitində halı	$\dot{D}$ Gy/san	T, K	W(H ₂), molekul. q ⁻¹ .san ⁻¹	G _{ads} (H ₂), molekul/ 100 eV	G _{üm} (H ₂), molekul/ 100 eV
Silikat + H ₂ O _{ads} . (m _{H2O} = 5 · 10 ⁻³ q)	0.28	300	9.1 · 10 ¹¹	10	0.005
Silikat + H ₂ O _{emulsiya} (m _{H2O} = 0.2 q)	0.28	300	0.33 · 10 ¹³	0.9	0.18
Radium tərkibli silikat, A= 6100 Bk/q·san + H ₂ O _{ads} . (m _{H2O} = 5 · 10 ⁻³ q)	0.28	300	2.44 · 10 ¹²	28	0.14
Radium tərkibli silikat A= 6100 Bk/q·san + H ₂ O _{emulsiya} (m _{H2O} = 0.2 q)	0.28	300	6.9 · 10 ¹²	2	0.40

Alınmış nəticələr əsasında katalizator + su sistemində xarici şüalanma nəticəsində təmas mühitinə emissiya olunan ikinci elektron şüalanmasının və daxili şüalanmanın suyun heterogen radiolizində rolunu qiymətləndirmək olar. Silikat sistemində təmas mühitinə emissiya edən elektronlar vasitəsi ilə həcmdə qalan və səthi səviyyədə istifadə olunan enerjiden 3.6 dəfə çox enerji daşınır:

$$\frac{G_{\text{üm.emis.}(H_2)}}{G_{\text{üm.həcm.}(H_2)}} = 3.6 \quad (28)$$

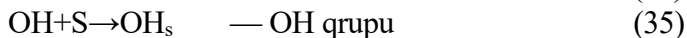
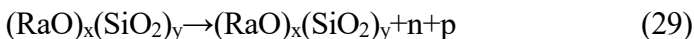
Radium tərkibli silikatın iştirakı ilə suyun radiolizində (A = 6100 Bk/q) təmas mühitinə həcmdən təqribən 3 dəfə çox enerji elektronlar vasitəsi ilə emissiya olunur. Radium tərkibli silikat (A = 6100 Bk/q) ilə ilkin təmiz silikatın suyun radiolizində radiasion katalitik aktivliyi daxili şüalanma nəticəsində təqribən 2.2-2.8 dəfə artır.

Radium tərkibli silikat iştirakı ilə suyun radiolitik parçalanmasında qeyri-tarazlı yükdaşıyıcılarının rolunu müəyyənləşdirmək məqsədi ilə EPR metodu ilə T=77K-də $\dot{D}$ =0.38 Gy/san intensivliklə şüalanma nəticəsində paramaqnit mərkəzlərin əmələgəlmə kinetikasi tədqiq olunub. Radium tərkibli silikatın hidrat

örtüyündən qismən təmizlənmiş nümunələrinin EPR spektrində elektron, dəşik mərkəzlər və H-ə xas xətlər müşahidə olunub.

Radium tərkibli silikatın səthində su molekulları olduğu halda spektrdə elektron və dəşik mərkəzləri, OH qrupuna aid xətlərlə yanaşı H atomlarına xas dublet də müşahidə olunur. Səthi səviyyədə su molekulları olduqda dəşik mərkəzlərinə xas xəttin intensivliyi kəskin şəkildə azalır və müəyyən vaxtdan sonra müşahidə olunmaz olur. Radium tərkibli silikat 77 K-də qamma şüalanma zamanı dəşik mərkəzlərin əmələgəlmə kinetikası tədqiq olunub və radiasiya kimyəvi çıxımın qiyməti $G(DM)=0.31$ hissəcik/100 eV təyin edilib.

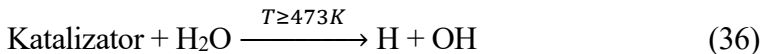
Alınmış nəticələr əsasında qamma şüaların radium tərkibli silikat + su sisteminə təsiri zamanı, paramaqnit hissəciklərin alınması mexanizmi aşağıdakı şəkildə təklif edilib:



Beşinci fəsildə nüvə parçalanmasından alınan qəlpələrin kinetik enerjisi əsasən mühitdə istilik enerjisinə çevrildiyində, suyun silikat və radium-silikat sisteminin səthində parçalanması nəticəsində molekulyar hidrogenin əmələgəlmə proseslərinə temperaturun təsirinə tədqiqindən bəhs olunub. Odur ki, qəlpə radioliz proseslərində reaksiya mühitində temperatur faktoru nəzərə alınmalıdır. Bu məqsədlə dissertasiya işində radium tərkibli silikat sisteminin iştirakı ilə suyun radiolizindən molekulyar hidrogenin əmələgəlmə proseslərinə temperaturun təsiri $T=300-673K$ oblastında tədqiq olunub.

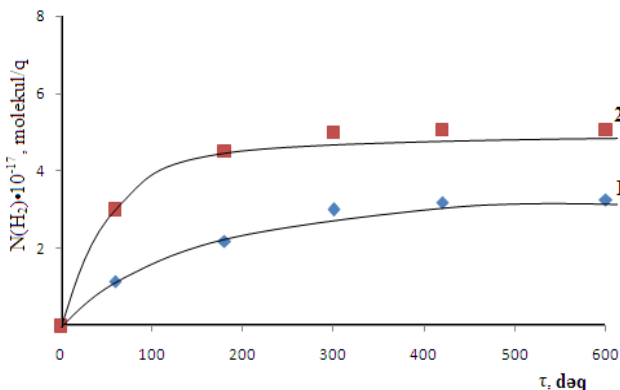
Müəyyən edilib ki, statistik şəraitdə katalizatorun sabit miqdarında suyun radium tərkibli silikat iştirakı ilə radiolitik parçalanmasından molekulyar hidrogenin alınma prosesi əsasən temperatur (T), şüa udulma dozası (D) və suyun reaksiya mühitində buxar sıxlığı ($\rho_{H_2O} = m/q/sm^3$) kimi faktorlardan asılıdır. Qamma şüaların sabit intensivliyində udulma dozasının təsiri şüalanma vaxtı ilə

xarakterizə olunaraq kinetik əyrilərdə ifadə olunub. Alınmış nəticələr göstərir ki, müəyyən temperaturdan sonra istifadə olunmuş katalizatorların iştirakı ilə suyun termo-katalitik parçalanma prosesləri baş verir ($T \geq 473K$):



Odur ki, katalizatorların termokatalitik aktivliyə malik olduğu temperatur oblastında radiasiya-katalitik aktivlik eyni şəraitdə aparılmış radiasiya-termik və termik proseslərin sürətləri fərqiindən təyin edilib və şəkil 11-də göstərilib:

$$W_R(\text{H}_2) = W_{RT}(\text{H}_2) - W_T(\text{H}_2) \quad (37)$$



Şəkil 11. $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$ mühitində suyun ($\text{H}_2\text{O}_{\text{buxar}}$) radiasiya-termiki (2) və termiki (1) parçalanması nəticəsində hidrogenin əmələgəlmə kinetikasi, $T=573K$, $D=0,28\text{Gy/s}$, $\rho_{\text{H}_2\text{O}}=5\text{mQ/sm}^3$

Radiasiya-katalitik proseslərin sürətlərinin qiymətləri əsasında hidrogenin radiasiya-kimyəvi çıxımları təyin edilib.

Suyun radium tərkibli silikatların iştirakı ilə radiasion-katalitik parçalanmasından hidrogenin alınmasına temperaturun təsiri aktivliyi $A= 6100 \text{ Bk/q}$ olan olan radium tərkibli silikat üzrə tədqiq olunub. Bütün kinetik parametrlər proseslərin kinetik əyriləri əsasında təyin edilib və cədvəl 8 -də verilib.

Cədvəl 8.

Temperaturun suyun radium tərkibli silikatın və SiO₂ -nin iştirakı ilə radiasiya-katalitik parçalanması zamanı əmələ gələn molekulyar hidrogenin çıxımına təsiri

	Tədqiqat obyektləri	T, K	ρ_{H_2} , mq/ sm ³	$\dot{D}$, Gy/ san	$W_{RT}(H_2)$, molekul. q ⁻¹ .san ⁻¹	$W_T(H_2)$, molekul. q ⁻¹ .san ⁻¹	$W_R(H_2)$, molekul. q ⁻¹ .san ⁻¹	$G_{ads}(H_2)$, molekul/ 100 eV	$G_{üm}(H_2)$, molekul/ 100 eV
1	(RaO) _x (SiO ₂) _y +H ₂ O A=6100 Bk/q	373	5	0.28	-	-	$1.67 \cdot 10^{13}$	191	0.96
2	(RaO) _x (SiO ₂) _y +H ₂ O A=6100 Bk/q	473	5	0.28	$5.5 \cdot 10^{13}$	$2.2 \cdot 10^{13}$	$3.3 \cdot 10^{13}$	379	1.89
3	(RaO) _x (SiO ₂) _y +H ₂ O A=6100 Bk/q	573	5	0.28	$8.3 \cdot 10^{13}$	$2.5 \cdot 10^{13}$	$5.8 \cdot 10^{13}$	667	3.33
4	(RaO) _x (SiO ₂) _y +H ₂ O A=6100 Bk/q	673	5	0.28	$1.03 \cdot 10^{14}$	$0.28 \cdot 10^{14}$	$7.5 \cdot 10^{13}$	862	4.31
5	SiO ₂ +H ₂ O	673	5	0.28	$3.8 \cdot 10^{14}$	$3.30 \cdot 10^{14}$	$5.0 \cdot 10^{13}$	560	2.8

Göründüyü kimi, temperaturun $T=300\div 673K$ oblastında artması hidrogenin çıxımını təqribən 38 dəfə artırır.

Nəzərə alsaq ki, suyun termoradiolizində $T \geq 673K$ -də aralıq hidrogen atomları hidrogen molekuluna aşağıdakı reaksiya üzrə çevrilə bilər və çıxım $G_{hom}(H_2) = 8$ molekul/100 eV-a çata bilər. $T= 673 K$ -də $G_{ads}(H_2) / G_{hom}(H_2)=108$ dəfə çox olması nəticəsinə gəlmək olar:



Həmin cədvəldə müqayisə üçün təmiz SiO₂-nin iştirakı ilə eyni şəraitdə aparılmış suyun radiation-katalitik parçalanmasından molekulyar hidrogenin alınmasının kinetik parametrləri göstərilib. Göründüyü kimi silikatın tərkibinə radioaktiv Ra²²⁶ izotopunun daxil edilməsi suyun radiation-termokatalitik parçalanmasından hidrogenin alınmasının radiasiya kimyəvi çıxımını ~1,5 dəfə artırır.

Nəzərə alsaq ki, mövcud energetik nüvə reaktorların aktiv zonalarında temperatur $T \approx 673$ K-ə yaxın qiymətlərdə olur alınmış nəticələr real qəlpə radiolizi proseslərinə aid oluna bilər.

Ra^{226} tərkibli silikatların iştirakı ilə suyun radiasion-termokatalitik parçalanmasından molekulyar hidrogenin alınması prosesinin kinetik parametrlərinə $T=373$ K və $T=473$ K -də reaktorda suyun sıxlığının təsiri tədqiq olunub. Müəyyən olunub ki, hidrogenin radiasiya kimyəvi çıxımı Lenqmür kinetikası üzrə baş verir və aşağıdakı tənliklə ifadə olunur:

$$G(H_2) = \frac{kb\rho_{H_2O}}{1+b\rho_{H_2O}} \quad (39)$$

burada k - prosesin sürət sabiti, b -verilmiş şəraitdə suyun adsorbsiya tarazlıq əmsali, ρ_{H_2O} -reaktorda su buxarının sıxlığı.

Son nəticədə silikat sisteminin elektrofiziki xassələrini nəzərə almaqla xarici və daxili şüalanmanın təsiri altında suyun heterogen radiolitik parçalanma proseslərində enerji daşıyıcılarının əmələ gəlməsi, lokallaşma, rekombinasiya və diffuziya proseslərini nəzərə almaqla proseslərin mexanizmi təklif olunub.

ƏSAS NƏTİCƏLƏR

1. Tərkibində müxtəlif qatılıqda Ra^{226} olan silikat sistemi sintez olunub. Qamma spektrometrik metodla sintez olunmuş silikat sistemlərində radiumun aktivlikləri təyin edilib, quruluş xüsusiyyətləri tədqiq olunub. Silikat sistemlərinə daxil edilmiş Ra^{226} , onun qız parçalanma məhsulları və onların arasında əsrlik tarazlıq şərti ilə buraxdıqları daxili şüalanma prosesləri nəticəsində ayrılan enerjilər təyin olunub.

2. Daxili və xarici qamma şüalanma nəticəsində radium tərkibli silikat sisteminin hidrat örtüyündə baş verən proseslər Furye-İQ spektroskopik və derivatoqrafik üsullarla tədqiq olunub. Müəyyən olunub ki, silikatın tərkibində Ra^{226} -nın aktivliyi artıqda hidrat örtüyü adsorbsiya olunmuş molekulyar suyun hesabına kəskin artır. Xarici qamma şüalanmanın təsiri altında radium tərkibli silikatlarda sürətli dehidratasiya və parçalanma prosesləri baş verir. Müxtəlif xarakterli

adsorbsiya olunmuş su molekullarının parçalanma və desorbsiya prosesləri daxili şüalanma ilə stimullaşır və əlavə OH qruplarının əmələgəlmə prosesləri baş verir.

3. Müəyyən olunub ki, radioaktiv radiumun yaratdığı daxili şüalanmanın təsiri altında hidrat örtüklü silikatın elektrik keçiriciliyi artır. Temperatur artdıqca dehidratasiya prosesi və daxili şüalanmanın təsiri altında yaranmış qeyri-tarazlı yük daşıyıcılarının rekombinasiya prosesləri nəticəsində elektrik keçiriciliyi azalır və $T \geq 550^{\circ}\text{C}$ -də silikata məxsus keçiriciliyə bərabər olur. Xarici şüalanmanın təsiri altında silikat sisteminə xas elektrik keçiriciliyinin artımı daxili şüalanma ilə stimullaşır.

4. Radium tərkibli silikat sistemləri suyun radiolitik parçalanmasında radiasion-katalitik aktivliyə malikdir. Ra^{226} -nın silikatda aktivliyi artıqca onların iştirakı ilə suyun radiolitik parçalanmasından hidrogenin alınma sürəti və radiasiya kimyəvi çıxımlarında artım müşahidə olunur. Bu artım daxili şüalanmaların stimullaşdırıcı təsiri nəticəsində baş verir.

5. Xarici qamma şüalanmanın təsiri altında radium tərkibli silikat sistemindən emissiya olunan ikinci elektron şüalarının suyun radiolitik parçalanmasından hidrogenin əmələ gəlmə proseslərində rolu təyin edilib. Müəyyən edilib ki, $A=6100\text{Bk/q-s}$ olan silikat sisteminin iştirakı ilə suyun heterogen qamma radiolizində təmas mühitinə emissiya olunmuş elektronların iştirakı ilə hidrogenin çıxımı səthi səviyyədə radiolitik parçalanmadan alınan hidrogenin çıxımından təqribən 3-4 dəfə çoxdur. Yəni qamma-şüaların radioaktiv silikat sisteminə təsiri zamanı əmələ gələn ikinci elektron selinin əsas hissəsi təmas mühitinə emissiya edir.

6. Suyun radioaktiv silikat sisteminin iştirakı ilə heterogen radiolizindən hidrogenin alınması prosesinə temperatur və reaksiya mühitində suyun buxar sıxlığının təsiri qanunauyğunluqları aşkar olunub. Müəyyən edilib ki, radium tərkibli silikat sistemi $T \geq 473\text{K}$ temperatur oblastında suyun parçalanmasında termokatalitik aktivliyə malikdir və bu proseslərin rolu temperatur artdıqca artır. Temperaturun $T=300 \div 673\text{K}$ oblastında artımında suyun tərkibində $A=6100\text{ Bk/q-s}$ aktivlikdə Ra^{226} olan silikatın iştirakı termo-radiasion katalitik parçalanmasından molekulyar hidrogenin çıxımı

təqribən ~30 dəfə artır. SiO_2 -nin tərkibinə $A=6100 \text{ Bk/q.s}$ aktivlikdə Ra^{226} daxil edildikdə $T=673\text{K}$ -də suyun termo-radiasion katalitik parçalanmasından hidrogenin çıxımı radioaktiv olmayan SiO_2 -yə nisbətən ~1,5 dəfə artır ki, bu da daxili şüalanmanın stimullaşdırıcı təsiri ilə izah oluna bilər. Alınmış nəticələr əsasında suyun radioaktiv silikatların iştirakı ilə radiasion- və radiasion-termokatalitik parçalanma proseslərinin mexanizmi verilib.

Dissertasiyanın əsas nəticələrinin əks olunduğu məqalə və tezislər

1. Qəribov, A.A., Ağayev, T.N., **Mənsimov, Z.A.** Radium silikatın sintezi // M. Məlikzadənin 100 illik yubleyinə həsr olunmuş «Nüvə enerjisinin dinc məqsədlərlə istifadəsi» mövzusunda Beynəlxalq Konfrans, – Baku: – 8–10 noyabr, – 2010, – s. 90.
2. Qəribov, A.A., Ağayev, T.N., **Mənsimov Z.Ə.**, Radiumun aktivliyinin $\text{Ra-SiO}_3+\text{H}_2\text{O}$ sistemində radiasiya termokatalitik proseslərə təsiri // Azərbaycan Respublikasının müstəqilliyinin 20 illiyinə həsr olunmuş «Alternativ və bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadənin perspektivləri» mövzusunda Respublika Konfransı, – Baku: – 1–2 iyun, – 2011, – s. 58.
3. Qəribov, A.A., Ağayev, T.N., **Mənsimov, Z.Ə.**, İsmayılov, Ş.S., Ələsgərov, Ə.M., Həşemi, M.Y., Əliyev, S.M. Müxtəlif mühitlərdə radiasiya-oksidləşdirici işlənmənin fosfor örtüklü paslanmayan poladın səth müqavimətinin dəyişməsinə təsiri // Azərbaycan Respublikasının müstəqilliyinin 20 illiyinə həsr olunmuş “Alternativ və bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadənin perspektivləri” mövzusunda Respublika konfransı, – Baku: – 1-2 iyun – 2011, – s. 60.
4. Гарибов А.А., Агаев Т.Н., **Мансимов З.А.**, Гетерогенный гамма радиолиз радий – силиката. Синтез и свойства // Azərbaycan Kimya jurnalı, – 2011. №1, – s. 177-181.
5. Гарибов А.А., Агаев Т.Н., **Мансимов З.А.**, Сорбционные материалы для извлечения радионуклидов из водных систем

- на основе природных цеолитов // Журнал: Химические Проблемы, – 2011, №1, – с.111-118.
6. Гарибов А.А., Агаев Т.Н., **Мансимов З.А.**, Кинетически закономерности радиационно-гетерогенного разложения молекул воды в присутствии радий силиката // Журнал: Химические Проблемы, – 2011, №3, –с.452-458.
 7. Гарибов А.А., Агаев Т.Н., **Мансимов З.А.**, Алиев С.М., Алескеров А.М., Мусаева Ш.З. Кинетика радиационно-каталитического разложения молекул воды в присутствии радий силиката // “Nüvə enerjisinin dinc məqsədlərlə istifadəsi perspektivləri” mövzusunda IV Beynəlxalq konfrans – Baku: – 23-25 noyabr, – 2011, – s. 121.
 8. Гарибов А.А., Агаев Т.Н., **Мансимов З.А.**, Радиационно-термокаталитические процессы в системе $\text{Ra-SiO}_3+\text{H}_2\text{O}$. 8-я Международная Конференция по теме «Ядерная и радиационная физика», – Алма-Ата, Казахстан: – 20-23 сентября, – 2011, – с. 93.
 9. Garibov A.A., Agayev T.N., Imanova G.T., **Mansimov Z.A.**, Regularities of radiation-catalytic system Ra-SiO_3 in water radiolysis // International Conference “Nuclear science and its application”, – Samarkand, Uzbekistan: – September 25-28, – 2012, – p. 372-373.
 10. Garibov A.A., Agayev T.N., Imanova G.T., **Mansimov Z.A.**, A radiation –heterogeneous processes in the system $\text{Ra-SiO}_3+\text{H}_2\text{O}$ // The V international confernce prespectives of peaceful Use of nuclear energy, – Baku, Azerbaijan: – 21-23 November, – 2012, – p. 103.
 11. Гарибов А.А., Агаев Т.Н., **Мансимов З.А.**, Иманова Г.Т. Радиационно-термокаталитические процессы получения водорода из системы $\text{Ra-SiO}_3+\text{H}_2\text{O}$ // 9-я международная конференция по теме «Ядерная и радиационная физика», – Алматы, Казахстан: – 24-27 сентября – 2013, – с. 220.
 12. Агаев Т.Н., **Мансимов З.А.**, Иманова Г.Т. Влияние температуры и плотности паров воды на выход молекулярного водорода в присутствии радий – силиката //

- AMEA-nın “Xəbərlər”-i , Fizika və Astronomiya seriyası, – 2013. №2, – s. 31-35.
13. Garibov A.A. Influence of temperature and density of water vapor on the yield of molecular hydrogen in the presence of radium-silicate / A.A.Garibov, T.N.Agayev, **Z.A.Mansimov**, [et/al.] // – Baku: Journal of Radiation Researches, – 2014, – 1 (1), – p. 56-60.
 14. Garibov A.A., Investigation of radium orthosilicates by methods of FT-IR spectroscopy and derivatography / A.A.Garibov, T.N.Agayev, **Z.A.Mansimov**, [et al.] // J. Austrian of Technical and Natural Sciences, 2014. No 5-6, – p.72-75.
 15. Гарибов А.А., Агаев Т.Н., **Мансимов З.А.**, Гулиева Р.Т. Радиационно-гетерогенные процессы в системе $\text{RaO-SiO}_2+\text{H}_2\text{O}$ // 10-я Международная Конференция «Ядерная и радиационная физика», – г. Курчатов, Казахстан: – 08-11 сентября, – 2015, с.50
 16. Агаев Т.Н., **Мансимов З.А.**, Меликова С.З., Гетерогенный радиолиз воды в присутствии радий-силиката // Вопросы атомной науки и техники, серия «физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение», – 2016, 4 (104), – с. 26-31.
 17. Agayev T.N. Radiation-thermocatalytic process of hydrogen from $\text{RaO-SiO}_2+\text{H}_2\text{O}$ mixture / T.N.Agayev, **Z.A.Mansimov**, G.T.Imanova, [et al.] // – Baku: ANAS Institute of Radiation Problems, Journal of Radiation Researches, – 2016, 3 (1), – p. 74-82.
 18. Агаев Т.Н., **Мансимов З.А.**, Radiation-catalytic processes on the surface of $\text{RaO-SiO}_2+\text{H}_2\text{O}$ // Международный Симпозиум по теме «Новые Тенденции Развития Фундаментальной и Прикладной Физики: Проблемы, Достижения и Преспективы», – Ташкент: – 10-11 ноября, – 2016, – с. 364-365.
 19. Агаев Т.Н., **Мансимов З.А.**, Алиев С.М., Эюбов К.Т., Велиев Э.Р., Сабзалиев С.А., Изучение влияния гамма-излучения на дифференциально термический анализ радий-силиката // 11-я международная конференция по теме

- «Ядерная и радиационная физика», – Алматы, Республика Казахстан: – 12-15 сентября, – 2017, – с. 194.
20. Агаев Т.Н., **Мансимов З.А.**, Алескеров А.М., Влияние гамма излучения на выход водорода в системе радий-силикат + вода в зависимости от активности радия // VIII международная конференция Семипалатинский испытательный полигон, – г. Курчатов, Республика Казахстан: – 11-13 сентября, – 2018, – с. 119-120.
 21. **Мансимов З.А.**, Сорбционные материалы для извлечения радионуклидов из водных система на основе цеолитов // AMEA Gənc alim və mütəxəssislər şurası «Gənc tədqiqatçı» elmi-praktiki jurnalı, – 2020, VI (1), – s. 51-56.
 22. **Mansimov Z.A.**, Kinetics of radiation-thermocatalytic decomposition of water on the surface of radium-silicate depending on the density of water vapors // – Baku: ANAS Institute of Radiation Problems, Journal of Radiation Researches, – 2020, 7 (1), – p. 52-56.
 23. Agayev T.N. Study of the Influence of Aluminum Content on the Radiation-Catalytic Activity of Aluminosilicate in the Process of Water decomposition / T.N. Agayev, S.Z.Melikova, **Z.A.Mansimov**, [et al.] // Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces, – 2022, 158 (4), – p. 677-679.
 24. **Mansimov Z.A.**, Paramagnetic centers in gamma irradiated $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y$ samples with adsorbed water // Journal Chemical Problems, – 2022, 3 (20), – p. 277-281.
 25. **Mansimov Zaur**, Investigation of Radiation-Heterogeneous and Catalytic Processes In The Surface Of $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y + \text{H}_2\text{O}$ System / **Zaur Mansimov**, Gunel Imanova , Adil Garibov [et.al.] // Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry, – 2023 10(2): – p. 487-492.
 26. Imran Ali, Hydrogen production by water splitting using $(\text{RaO})_x(\text{SiO}_2)_y/\text{H}_2\text{O}$ and gamma radiation / Imran Ali, Gunel Imanova, **Zaur Mansimov** [et.al] // – Radiation Physics and Chemistry , 218 (2024) , – p. 111597.

Dissertasiyanın müdafiəsi 31 may 2024 -cü il tarixdə, saat 11:00 Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyinin Radiasiya Problemləri İnstitutu nəzdində fəaliyyət göstərən FD 1.22 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

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

Dissertasiya ilə Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyinin Radiasiya Problemləri İnstitutunun elmi kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyinin Radiasiya Problemləri İnstitutunun rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 30 aprel 2024-cü il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 29.04.2024

Kağızın formatı:A5

Həcm:39288

Tiraj: 100